# UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

**TESIS:**

"EVALUACIÓN DEL USO DE BIOCARBÓN DE HUESO DE ACEITUNA (*Olea europea*) EN SUELO CONTAMINADO CON CIPROFLOXACINO Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DE ALFALFA (*Medicago sativa*), ILO, 2023"


**PRESENTADO POR:**

Bach. NORA MAGALY QUISPE CAMATICONA

**ASESOR:**

M.Sc JOSÉ LUIS RAMOS TEJEDA

**COASESOR:**

Dr. FRANZ ZIRENA VILCA


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

ILO – PERÚ

**2025**

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM FEDATARIO

Folio Nº 065

# ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

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

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE FACULTAD Nº 0067 - 2025 - D - FACIA - UNAM

Fecha: 31 - 03 - 2025

III. El jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:
"EVALUACIÓN DEL USO DE BIOCARBÓN DE HUESO DE ACEITUNA (Olea europea) EN SUELO CONTAMINADO CON CIPROFLOXACINO Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DE ALFALFA (Medicago sativa) ILO, 2023"

Bachiller: NORA HAGLY QUISPE CONDICONA

Asesor Principal: MSC. JOSE LUIS RAMOS TESEDA

Co-Asesor: Dr. FREDY ZIRENA VILCA

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: TRECE (13) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 15:56 horas, del 31 de MARZO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

HEBERT HERNAN SOTO GONZALES
Presidente

Ds. EDUARDO C. FLORES QUISPE
Primer Miembro

José Milton Valeriano Zapana
Segundo Miembro

Bachiller

***DEDICATORIA***

*A Dios, por darme la fortaleza, ser mi luz en el camino y guiarme para alcanzar mis sueños.*

*A mis padres, Norma Camaticona López y Efraín Quispe Santos, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y por ser mi mayor fuente de inspiración en cada paso de mi vida.*

*A José L. Mamani Gallegos, por su apoyo constante y por ser una luz de motivación y aliento en cada paso de este camino.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por otorgarme una educación integral y aprendizajes valiosos que han marcado mi desarrollo personal y profesional.

Al Dr. Franz Zirena Vilca, por su confianza, su orientación constante, su inmensa paciencia y su profundo conocimiento, los cuales fueron esenciales para el desarrollo de esta tesis.

Al M.Sc. José Luis Ramos Tejeda, por su constante respaldo, guía y conocimientos compartidos, que resultaron esenciales en cada fase de este trabajo.

Al laboratorio de Contaminantes Orgánicos y Ambiente del INDEP de la Universidad Nacional de Moquegua, por permitirme llevar a cabo mi investigación en sus instalaciones.

Al proyecto titulado “Presencia de residuos de antibiótico en el río Osmore, en agua potable de las ciudades de Ilo y Moquegua y su relación con la salud en la población” aprobado con RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 0310- 2020-UNAM, que permitió la adquisición de equipos para el laboratorio utilizados en esta investigación.

## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el uso de biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con Ciprofloxacino y su influencia en el crecimiento de alfalfa *(Medicago sativa),* para lo cual se realizó la obtención de biocarbón, donde la biomasa de hueso de aceituna se carbonizó en una mufla a 500 °C con una gradiente de 10 °C/min durante 1 hora, luego previa preparación del suelo se dispuso en macetas y aplicó en diferentes concentraciones el biocarbón (1; 3 y 5% ), junto con un grupo control (0% de biocarbón) y un grupo blanco (sin biocarbón ni ciprofloxacino), con cuatro repeticiones por tratamiento y se irrigó con agua contaminada con Ciprofloxacino a concentración de 10 µg $L^{-1}$, para luego evaluar la influencia en las características físicas de la planta. Adicionalmente, para evaluar el porcentaje de germinación, se realizó un experimento donde se usaron placas Petri con 110 g de suelo y 100 semillas por placa. Los resultados mostraron una diferencia significativa en el porcentaje de germinación ($p = 0.0228$), con reducciones del 5.79 % y 8.31 % en los tratamientos con 3 % y 5 % de biocarbón, respectivamente, en comparación con el tratamiento con 1 % de biocarbón. El peso seco de la biomasa aérea y radicular no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$), aunque ambos parámetros disminuyeron en comparación con el tratamiento blanco, 26.06 % en biomasa aérea y 27.83 % en biomasa radicular respectivamente. En cuanto al número de hojas, se observó una disminución estadísticamente significativa ($p = 0.009$ y $p = 0.002$), con reducciones del 22.49 % y 26.17 % en los tratamientos con 1 % y 3 % de biocarbón, respectivamente, en comparación con el tratamiento blanco. La altura de planta y la longitud de raíz no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$); no obstante, se observaron disminuciones de hasta 11.70 % y 7.88 %, respectivamente. Del mismo modo, el número de nódulos no evidenció variaciones significativas. Estos resultados indican que el biocarbón podría modificar las condiciones del suelo y generar efectos adversos en ciertos parámetros del desarrollo de la alfalfa.



**Palabras claves:** *Biocarbón, adsorción, grupos funcionales, patrón metabólico, fisiología, Ciprofloxacino*

ABSTRACT

The present study evaluated the use of olive pit biochar in soil contaminated with Ciprofloxacin and its influence on the growth of alfalfa (Medicago sativa), for which biochar was obtained, where the olive pit biomass was carbonised in a muffle at 500 °C with a gradient of 10 °C/min for 1 hour, then after preparation of the soil it was arranged in pots and applied in different concentrations of biochar (1; 3 and 5%), together with a control group (0% biochar) and a blank group (without biochar or ciprofloxacin), with four replicates per treatment and irrigated with water contaminated with Ciprofloxacin at a concentration of 10 µg $L^{-1}$, in order to evaluate the influence on the physical characteristics of the plant. Additionally, to evaluate the germination percentage, an experiment was carried out using Petri dishes with 110 g of soil and 100 seeds per dish. The results showed a significant difference in germination percentage ($p = 0.0228$), with reductions of 5.79 % and 8.31 % in the treatments with 3 % and 5 % biochar, respectively, compared to the treatment with 1 % biochar. The dry weight of aerial and root biomass did not show significant differences ($p > 0.05$), although both parameters decreased compared to the blank treatment, 26.06 % in aerial biomass and 27.83 % in root biomass respectively. As for the number of leaves, a statistically significant decrease was observed ($p = 0.009$ and $p = 0.002$), with reductions of 22.49 % and 26.17 % in the treatments with 1 % and 3 % biochar, respectively, compared to the blank treatment. Plant height and root length did not show statistically significant differences ($p > 0.05$); however, decreases of up to 11.70% and 7.88%, respectively, were observed. Similarly, the number of nodules did not show significant variations. These results indicate that biochar could modify soil conditions and generate adverse effects on certain parameters of alfalfa development.

**Keywords:** *Biochar, adsorption, functional groups, metabolic pattern, physiology, Ciprofloxacin.*

## ÍNDICE

**Pág.**

**INTRODUCCIÓN** ..... **15**
**I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN** ..... **16**
1.1. Descripción y formulación del problema ..... 16
1.2. Objetivos ..... 19
1.2.1. Objetivo general ..... 19
1.2.2. Objetivos específicos ..... 19
1.3. Justificación e importancia ..... 20
1.4. Hipótesis ..... 21
1.4.1. Hipótesis general ..... 21
1.4.2. Hipótesis específicas ..... 21
1.5. Variables ..... 22
**II. MARCO TEÓRICO** ..... **24**
2.1. Antecedentes ..... 24
2.2. Base teórica ..... 27
2.2.1. Antibióticos ..... 27
2.2.2. Ciprofloxacino ..... 28
2.2.3. Ciprofloxacino en el ambiente ..... 31
2.2.4. El biocarbón ..... 33
2.2.3. El Olivo ..... 37
2.2.4. El cultivo de Alfalfa ..... 41
2.3. Definición de términos ..... 49
**3. METODOLOGÍA** ..... **50**
3.1. Tipo y nivel de investigación ..... 50
3.2. Ámbito temporal y espacial ..... 50
3.3. Población y muestra ..... 52
3.4. Diseño de investigación ..... 52
3.5. Instrumentos ..... 52
3.6. Procedimiento ..... 53
3.6.1. Preparación de biocarbón ..... 53

3.6.2. Instalación del experimento ..... 55
3.6.3. Porcentaje de Germinación de la alfalfa ..... 58
3.6.4. Altura de la alfalfa y longitud de la raíz ..... 60
3.6.5. Número de hojas de alfalfa ..... 61
3.6.6. Número de nódulos ..... 61
3.6.7. Peso seco de biomasa aérea y radicular de alfalfa ..... 61
3.7. Análisis de datos ..... 62
**4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 63**
4.1. Porcentaje de germinación ..... 63
4.2. Peso seco de biomasa aérea, número de hojas y altura de alfalfa ..... 68
4.2.1. Peso seco de biomasa aérea ..... 68
4.2.2. Número de hojas ..... 72
4.2.3. Altura de alfalfa ..... 76
4.3. Peso seco de biomasa radicular, longitud de la raíz y número de nódulos de alfalfa ..... 80
4.3.1. Peso seco de biomasa radicular ..... 80
4.3.2. Longitud de la raíz ..... 83
4.3.3. Número de nódulos ..... 87
**5. CONCLUSIONES ..... 91**
**6. RECOMENDACIONES ..... 92**
**7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 93**
**8. ANEXOS ..... 107**

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Pág.**

**Figura 1** Mecanismos de acción del CIP en el genoma bacteriano..... 30

**Figura 2** CIP en el Ambiente ..... 32

**Figura 3** Mecanismos predominantes en la remoción ambiental de contaminantes orgánicos e inorgánicos ..... 35

**Figura 4** Ventajas del biocarbón ..... 37

**Figura 5** Partes del fruto de Olivo..... 40

**Figura 6** Morfología de la Alfalfa..... 43

**Figura 7** Germinación de la semilla de alfalfa ..... 44

**Figura 8** Nódulos en la raíz de alfalfa..... 45

**Figura 9** Corona de la alfalfa..... 46

**Figura 10** Hojas..... 47

**Figura 11** Mapa de ubicación del proyecto de investigación..... 51

**Figura 12** Proceso de producción de biocarbón..... 55

**Figura 13** Preparación de los tratamientos con las concentraciones de biocarbón .... 56

**Figura 14** Porcentaje de biocarbón en cada tratamiento ..... 57

**Figura 15** Siembra de semillas en las macetas..... 58

**Figura 16** Placas petri con muestras de los diferentes tratamientos..... 59

**Figura 17** Proceso de geminación de las semillas de alfalfa en placas petri ..... 60

**Figura 18** Diagrama de flujo de la investigación experimental ..... 62

**Figura 19** Gráfico sobre porcentaje de germinación ..... 65

**Figura 20** Gráfico de Peso seco de biomasa aérea ..... 70

**Figura 21** Gráfico de número de hojas ..... 74

**Figura 22** Gráfico para altura de planta ..... 78

**Figura 23** Gráfico para peso seco de biomasa radicular ..... 82

**Figura 24** Gráfico para longitud de raíz ..... 85

**Figura 25** Gráfico para número de nódulos ..... 89

## ÍNDICE DE TABLAS

**Pág.**

**Tabla 1** Operacionalización de variables ..... 23

**Tabla 2** Propiedades químicas y físicas del Ciprofloxacino ..... 29

**Tabla 3** Producción Agrícola del cultivo de Olivo en el año 2023 ..... 41

**Tabla 4** Producción de cultivos en la Región Moquegua ..... 48

**Tabla 5** ANOVA de 1 factor para porcentaje de germinación ..... 64

**Tabla 6** ANOVA de 1 factor para peso seco de biomasa aérea ..... 69

**Tabla 7** ANOVA de 1 factor para número de hojas ..... 73

**Tabla 8** ANOVA de un factor para altura de planta ..... 77

**Tabla 9** ANOVA de 1 factor para peso seco de biomasa radicular ..... 81

**Tabla 10** ANOVA de 1 factor para longitud de raíz ..... 84

**Tabla 11** ANOVA de 1 factor para número de nódulo*s*..... 88

**Tabla 12** Prueba de Normalidad para porcentaje de germinación ..... 117

**Tabla 13** Prueba de homocedasticidad de varianzas para porcentaje de germinación ..... 117

**Tabla 14** ANOVA de 1 factor para el porcentaje de germinación de alfalfa..... 117

**Tabla 15** Prueba de contraste (Tukey) para el porcentaje de germinación ..... 118

**Tabla 16** Prueba de Normalidad para el peso seco de biomasa aérea..... 118

**Tabla 17** Prueba de homocedasticidad de varianzas para el peso seco de biomasa aérea ..... 118

**Tabla 18** ANOVA de 1 factor para el peso seco de biomasa aérea ..... 119

**Tabla 19** Prueba de contraste (Tukey) para el peso seco de biomasa aérea..... 119

**Tabla 20** Prueba de Normalidad para el numero de hojas..... 120

**Tabla 21** Prueba de homocedasticidad de varianzas para el numero de hojas..... 120

**Tabla 22** ANOVA de 1 factor para el número de hojas..... 120

**Tabla 23** Prueba de contraste (Tukey) para el numero de hojas ..... 121

**Tabla 24** Prueba de Normalidad para la altura de alfalfa..... 121

**Tabla 25** Prueba de homocedasticidad de varianzas para la altura de alfalfa ..... 121

**Tabla 26** ANOVA de 1 factor para la altura de alfalfa ..... 122

**Tabla 27** Prueba de contraste (Tukey) para la altura de alfalfa..... 122

**Tabla 28** Prueba de Normalidad para peso seco de biomasa radicular ..... 123

**Tabla 29** Prueba de homocedasticidad de varianzas peso seco de biomasa radicular ..... 123

**Tabla 30** ANOVA de 1 factor para peso seco de biomasa radicular..... 123

**Tabla 31** Prueba de contraste (Tukey) para peso seco de biomasa radicular..... 124

**Tabla 32** Prueba de Normalidad para la longitud de raíz..... 124

**Tabla 33** Prueba de homocedasticidad de varianzas para longitud de raíz ..... 124

**Tabla 34** ANOVA de 1 factor para longitud de raíz ..... 125

**Tabla 35** Prueba de contraste (Tukey) para longitud de raíz..... 125

**Tabla 36** Prueba de Normalidad para el número de nódulos ..... 125

**Tabla 37** Prueba de homocedasticidad de varianzas para el número de nódulos..... 126

**Tabla 38** ANOVA de 1 factor para el número de nódulos..... 126

**Tabla 39** Prueba de contraste (Tukey) para número de nódulos ..... 127

**Tabla 40** Rendimiento del biocarbón ..... 127

**Tabla 41** pH para porcentaje de germinación en los diferentes tratamientos ..... 128

**Tabla 42** Determinación de pH de los tratamientos después de la cosecha ..... 129

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

**Fotografía 1** Huesos de aceituna previamente lavados y listos para su uso en el proceso de carbonización. ..... 107

**Fotografía 2** Preparación de huesos de aceituna en crisoles para carbonización en mufla ..... 107

**Fotografía 3** Trituración del biocarbón de hueso de aceituna utilizando una licuadora Oster. ..... 108

**Fotografía 4** Tamizado del biocarbón triturado con la finalidad de obtener partículas finas. ..... 108

**Fotografía 5** Conducción del experimento ..... 109

**Fotografía 6** Preparación de tratamientos en placas petri y preparación de semillas ..... 110

**Fotografía 7** Contaminación del suelo con Ciprofloxacino para evaluar el porcentaje de germinación ..... 110

**Fotografía 8** Colocación de semillas en las placas petri previamente preparadas .. 111

**Fotografía 9** Germinación de semillas de alfalfa ..... 111

**Fotografía 10** Cosecha de alfalfa y remoción del suelo adherido a las raíces ..... 112

**Fotografía 11** Limpieza de las raíces de alfalfa con agua para eliminar completamente los residuos de suelo, permitiendo una observación detallada del sistema radicular. ..... 112

**Fotografía 12** Crecimiento de alfalfa bajo diferentes concentraciones de biocarbón ..... 113

**Fotografía 13** Formación de nódulos en alfalfa ..... 113

**Fotografía 14** Conteo de nódulos en las raíces de alfalfa como parte de la evaluación experimental. ..... 114

**Fotografía 15** Medición de altura de alfalfa..... 114

**Fotografía 16** Medición de la longitud de la raíz de alfalfa para analizar el desarrollo radicular en condiciones experimentales. ..... 115

**Fotografía 17** Conteo de numero de hojas en alfalfa ..... 115

**Fotografía 18** Secado de biomasa radicular y biomasa aérea de alfalfa en la estufa para determinar peso seco. ..... 116

**Fotografía 19** Registro de datos del pesado de la biomasa seca radicular y aérea de alfalfa..... 116

## LISTA DE ABREVIATURAS

CIP: Ciprofloxacino

PTAR: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

FQ: Fluoroquinolonas

ARGs: Genes de resistencia a los antimicrobianos

OTC: Oxitetraciclina

RQ: Cociente de riesgo

NOR: Norfloxacina

$CO_2$: Dióxido de carbono

$N_2O$: Oxido de nitroso

BC: Biocarbón

PFR: Radicales libres persistentes

·OH: Radical hidroxilo

$\cdot O_2^-$: Anión superóxido

HAPs: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

ROS: Especies reactivas de oxígeno

# INTRODUCCIÓN

Los antibióticos han sido fundamentales en el tratamiento de enfermedades desde la introducción de la penicilina a principios del siglo XX. Sin embargo, el uso extensivo de estos medicamentos en la medicina humana y veterinaria ha dado lugar a la aparición de contaminantes antibióticos en diversos entornos, lo que plantea riesgos significativos para los ecosistemas y la salud pública (Albarano et al., 2024). Estos contaminantes, se han encontrado en aguas superficiales y subterráneas, así como en los suelos (Mangala et al., 2018). Uno de los más detectados es el ciprofloxacino (CIP), ampliamente utilizado por su eficacia antibacteriana y cuya eliminación en el organismo es incompleta, excretándose en gran proporción en forma activa (Liu et al., 2018; Zhang et al., 2023).

Debido a la limitación de recursos hídricos, en zonas áridas y semiáridas se ha intensificado el empleo de aguas residuales tratadas para fines de riego agrícola (Rodriguez-Mozaz et al., 2020). Estas aguas, sin embargo, pueden contener antibióticos que no son removidos adecuadamente en las plantas de tratamiento convencionales (Sabri et al., 2020). La incorporación de antibióticos, entre ellos el ciprofloxacino, en las aguas utilizadas para riego representa un riesgo de efectos negativos sostenidos en los sistemas agrícolas (Rodríguez-mozaz et al., 2024). Además, su acumulación en el ambiente puede alterar funciones fisiológicas clave en las plantas, como la germinación y la fotosíntesis, afectando su desarrollo y productividad (Cristina et al., 2021).

En este contexto, el biocarbón ha emergido como una alternativa prometedora para mitigar los efectos negativos de los contaminantes en los suelos. Este material, obtenido a partir de la pirólisis de biomasa residual bajo condiciones de oxígeno limitado, posee propiedades como alta estabilidad, gran área superficial, porosidad desarrollada y una notable capacidad de adsorción (Palansooriya et al., 2019). Estas

características permiten reducir la biodisponibilidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, favoreciendo así la mejora de la calidad del suelo y el desarrollo de cultivos agrícolas (Petronijevi & Milanovi, 2021). En este contexto, este estudio busca evaluar el empleo de biocarbón derivado de hueso de aceituna en suelos contaminados con ciprofloxacino y su impacto sobre el crecimiento de alfalfa en la provincia de Ilo, región Moquegua, con el fin de aportar al diseño de estrategias sostenibles de remediación de suelos y a la promoción de sistemas agrícolas resilientes.

# I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. Descripción y formulación del problema

El consumo de antibióticos a nivel mundial, creció de manera progresiva en los últimos 30 años, especialmente en países en desarrollo (Rodriguez et al., 2020). Se sabe que anualmente el consumo de estos productos supera las 100.000 de toneladas, generando una preocupación por su destino en los ecosistemas (Ourghanlian et al., 2020). Esto se debe principalmente a su alta demanda, no solo para terapias humanas, como curar enfermedades infecciosas, trasplantes, quimioterapia e intervenciones quirúrgicas, sino también con fines terapéuticos y no terapéuticos en la acuicultura y la cría de animales (Yang et al., 2021). Asimismo, la demanda de proteína animal intensifica la producción de alimentos; por tanto, requiere un mayor uso de promotores del crecimiento y antibióticos. En tal sentido, se estima que su demanda se incremente, debido al crecimiento de la población mundial y la necesidad de una mayor producción de alimentos (Kovalakova et al., 2020). En consecuencia, la presencia de antibióticos en el ambiente conduce a su dispersión, lo cual amenaza gravemente la salud humana y los entornos ambientales (Yang et al., 2021).

Los antibióticos representan uno de los descubrimientos más importantes y han supuesto una revolución en el campo de la medicina para la terapia humana, aplicaciones en la agricultura y la ganadería (Kumar et al., 2019). Por lo expuesto, fármacos fluoroquinolonas de segunda generación como el Ciprofloxacino (CIP)

representan a uno de los antibióticos más utilizados en todo el mundo (Buriahi et al., 2022). Por consiguiente, este tipo de sustancias son liberados en el medio agrícola mediante la aplicación directa de estiércol orgánico para la fertilización del suelo, donde alrededor del 90 % de la ingesta de antibióticos se excreta en las heces debido a una mala absorción por el intestino (Cheong et al., 2020), en cuanto al CIP mas del 70 % no se metaboliza debido a su alta estabilidad y baja biodegradabilidad (Aggelopoulos et al., 2020). Estudios realizados en la región de Moquegua han detectado concentraciones de hasta 7.33 ng/g de ciprofloxacino en suelos agrícola (Zirena et al., 2022), convirtiéndola en una fuente de antibióticos activos en el suelo; asimismo, los tiempos de vida media de las fluoroquinolonas en el suelo pueden ser muy largos (Albero et al., 2018); además , cabe mencionar que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) no fueron diseñadas para eliminar antibióticos; por ende, estos compuestos no son completamente eliminados y continúan en el efluente (Szymańska et al., 2019). De este modo, los vertidos de los hogares, los hospitales, las empresas farmacéuticas (Kovalakova et al., 2020), la falta de control sobre el uso de antibióticos, el uso de agua reciclada en la producción de cultivos (Inyinbor et al., 2021), son las principales vías que permiten que los antibióticos entren y persistan en el ambiente (Quaik et al., 2020).

Los antibióticos pueden ser absorbidos por las plantas, sin embargo, algunos de estos productos farmacéuticos son fitotóxicos (Gomes et al., 2018). Puesto que la distribución de los antibióticos en los diferentes órganos y compartimentos subcelulares de la planta está relacionada con sus efectos en la fisiología (Gomes et al., 2019). Por tanto, esto muestra en la planta un impacto negativo del estrés por antibióticos, que afecta el crecimiento, la estructura, los grupos funcionales y el patrón metabólico, siendo el efecto más evidente la inhibición del cloroplasto y del crecimiento que está directamente relacionado con el fotosistema y la actividad del metabolismo (Khan et al., 2021). También, se evidencia la reducción de la fijación de carbono en tallos y hojas de alfalfa en 6.14 % cuando el riego es con 200 $\mu g\ L^{-1}$; del mismo modo, se observa que el número de nódulos se reduce en un 91 % , y la longitud

de la raíz disminuye en un 32 % con respecto al promedio del tratamiento (Zirena et al., 2022). De este modo, los antibióticos pueden interferir en el desarrollo de las raíces y ocasionar efectos relacionados con la nutrición mineral y el consumo de agua (Gomes et al., 2019), debido a que las interacciones fisiológicas hacen que la absorción de estos compuestos sea relativamente fácil (Tasho & Cho, 2016). Finalmente, la frecuencia de contaminantes antibióticos en los campos agrícolas y a través de la absorción de las plantas, entran en la cadena alimentaria (Khan et al., 2021), dando lugar a la contaminación de los cultivos alimentarios y el riesgo para la salud humana (Cheong et al., 2020).

Frente a esto, se ha ido aplicando biocarbón en el tratamiento de suelos contaminados por pesticidas (Tao et al., 2020), esta estrategia de remediación se basa en principales mecanismos de adsorción e interacciones entre los grupos funcionales activos presentes en el biocarbón los que permiten eliminar los contaminantes orgánicos e inorgánicos (Zahed et al., 2021). En un estudio realizado sobre los efectos del biocarbón en la reducción de la abundancia de Oxitetraciclina (OTC), genes de resistencia a los antibióticos y bacterias patógenas humanas en el suelo y la lechuga, dio como resultado una inhibición a la acumulación de OTC en el suelo y la lechuga, asimismo los ARG en el suelo y en los tejidos de la lechuga disminuyeron después de la aplicación de biocarbón (Duan et al., 2017). Por otro lado, la aplicación de biocarbón de paja de trigo a un suelo salino-alcalino contaminado con organoclorados por medio de la descarga de aguas residuales, mostró que el aumento de biocarbón mejoro varias propiedades biogeoquímicas y afecto la composición de la comunidad microbiana, revelando eficiencia en la reducción de compuestos orgánicos halogenados en el suelo (Cui et al., 2019). Por último, la adición de biocarbón derivado de la paja del arroz en los suelos reduce la fitotoxicidad de la sulfentrazona para *Oryza sativa L* (Liu et al., 2016). De acuerdo a lo mostrado, la aplicación de biocarbón representa una nueva alternativa de remediación para solucionar los problemas de suelos contaminados (Zahed et al., 2021).

- **Interrogante general**

¿El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el crecimiento de alfalfa *(Medicago sativa)*?

- **Interrogantes especificas**

¿El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el porcentaje de germinación de semillas de alfalfa *(Medicago sativa)?*

¿El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de la biomasa radicular, la longitud de la raíz y el número de nódulos de alfalfa *(Medicago sativa)?*

¿El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de la biomasa aérea, número de hojas y la altura de alfalfa *(Medicago sativa)?*

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

- Evaluar si el uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el crecimiento de alfalfa *(Medicago sativa).*

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar si el uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el porcentaje de germinación de las semillas de alfalfa *(Medicago sativa).*
- Comprobar si el uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa

radicular, la longitud de la raíz y el número de nódulos de alfalfa *(Medicago sativa).*

- Verificar si el uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa aérea, número de hojas y altura de alfalfa *(Medicago sativa).*

## 1.3. Justificación e importancia

La presencia de contaminantes emergentes en cuerpos de agua ha generado creciente preocupación, ya que muchos compuestos farmacéuticos, como los antibióticos, no son completamente metabolizados tras su consumo y persisten en las aguas residuales. En el Perú, los procesos de tratamiento aplicados no son lo suficientemente eficientes para eliminar los fármacos en las aguas residuales y no contribuyen a reducir el riesgo ambiental. Un estudio nos muestra que en nuestro país existe la presencia de productos farmacéuticos en las aguas residuales tratadas en PTARs, donde se encontró concentraciones de 1,86 a 4,47 µg/L Ciprofloxacino en la PTAR de Lima; del mismo modo, se encontraron con frecuencia en todas las muestras de aguas residuales recolectadas en Cusco, Puno y Juliaca (Nieto et al., 2021).

Los antibióticos, al acumularse en el suelo, afectan negativamente a la biota y a organismos no objetivo como las plantas, alterando su desarrollo, absorción de nutrientes y procesos simbióticos con bacterias fijadoras de nitrógeno. En la región Moquegua, la alfalfa se posiciona como el cultivo predominante, al concentrar el 62,3 % del valor de producción agrícola entre 2014 y 2023; su productividad, tradicionalmente superior al promedio nacional, ha llegado a superar las 70 toneladas por hectárea. (Cabrera et al., 2023). Debido a la importancia de los suelos, un estudio evaluó la presencia de residuos de Fluoroquinolonas, Sulfonamidas y Tetraciclinas en 25 puntos de monitoreo de suelos agrícolas aledaños al Rio Osmore (Moquegua), donde se pudo evidenciar concentraciones máximas de 7.33 ng/gr de Ciprofloxacino (Zirena, et al., 2022), esto nos muestra la presencia de este antibiótico en el departamento de Moquegua.

Históricamente, la restauración de suelos contaminados ha recurrido al uso de diversas enmiendas, tanto de origen orgánico como inorgánico. Entre las estrategias de remediación, el biocarbón destaca por su capacidad para inmovilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos debido a su alta porosidad y contenido de carbono. En Ilo, la agricultura se focaliza principalmente en el cultivo de olivo en el valle de El Algarrobal, que concentra el 65 % del área destinada a este cultivo y constituye la materia prima para la producción de aceite de oliva y sus derivados (Altamar & Olivar, 2019). Por tanto, en el proceso se generan residuos como el hueso de aceituna, el cual puede ser aprovechado para producir biocarbón, es por ello que en el presente trabajo se realiza el uso de este material para aplicarlo como enmienda en suelo contaminado con Ciprofloxacino, y de esta manera reducir los efectos tóxicos generados en alfalfa *(Medicago sativa).*

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el Crecimiento de alfalfa *(Medicago sativa).*

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el porcentaje de germinación de alfalfa *(Medicago sativa).*
- El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa radicular, la longitud de la raíz y el número de nódulos de alfalfa *(Medicago sativa).*
- El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa aérea, número de hojas y altura de alfalfa *(Medicago sativa).*

## 1.5. Variables

### Variable independiente

- Concentración de biocarbón al 0; 1; 3 y 5 % (m/m) de hueso de aceituna (*Olea europea)*.

### Variables dependientes

1. Porcentaje de germinación de la alfalfa *(Medicago sativa).*
2. Longitud de las raíces de la alfalfa (*Medicago sativa*).
3. Altura de la planta de la alfalfa *(Medicago sativa).*
4. Número de hojas de la alfalfa *(Medicago sativa).*
5. Número de nódulos de la alfalfa *(Medicago sativa).*
6. Peso seco de biomasa aérea de la alfalfa *(Medicago sativa).*
7. Peso seco de biomasa radicular de la alfalfa *(Medicago sativa).*

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| Variable | Dimensión | Indicador | Unidad | Tipo de variable |
|---|---|---|---|---|
| **Variable independiente** | Concentración de biocarbón | Biocarbón de hueso de aceituna (0, 1, 3, 5 %) | % | Numérico continuo |
| **Variable dependiente** | Características físicas de la alfalfa *(Medicago sativa).* | Porcentaje de germinación | % | Numérico continuo |
| | | Altura de la alfalfa | cm | Numérico continuo |
| | | Peso seco de biomasa aérea | g. | Numérico continuo |
| | | Longitud de raíz | cm | Numérico continuo |
| | | Peso seco de biomasa radicular | gr | Numérico continuo |
| | | Número de hojas | Numérica | Numérico discreto |
| | | Número de nódulos | Numérica | Numérico discreto |

# II. MARCO TEÓRICO

## 2.1. Antecedentes

En investigaciones a nivel internacional se encontraron a Gomes et al. (2020), quienes desarrollaron su investigación en el laboratorio de anatomía y biomecánica vegetal, en la universidad Federal de Paraná, Brasil. Para lo cual tuvieron como objetivo averiguar si la presencia de Ciprofloxacino y glifosato en el agua utilizada para riego puede representar pérdidas económicas para los agricultores y una preocupación por la seguridad alimentaria, debido a su posible acumulación en los tejidos vegetales. Por tanto, evaluaron la emergencia, el crecimiento y el rendimiento de grano en las plantas de maíz. El estudio se realizó en macetas asociadas al riego con diferentes concentraciones de cipro y glifosato, dando como resultado la disminución de la fotosíntesis, cambios en la anatomía de las hojas y las propiedades biofísicas del tallo, lo cual contribuye a la disminución del rendimiento de los granos. De esta manera, los antibióticos presentes en los tejidos del maíz pueden inducir resistencia en bacterias peligrosas, lo que hace necesario monitorear la calidad del agua utilizada en el riego agrícola.

Según Duan et al.(2017), realizaron un estudio en Northwest A& F Univertity , yangling, República popular China, con el objetivo de evaluar los efectos en la reducción de la abundancia de oxitetraciclina, bacterias patógenas humanas y genes de resistencia a los antibióticos en el suelo y lechuga, esta investigación experimental se realizó en un invernadero donde se probaron 3 tratamientos, es decir, O300:300 mg/kg de oxitetraciclina (OTC), BO300: 300 mg/kg de OTC + 2 % de biocarbón, y un control sin OTC ni biocarbón. Los resultados muestran que bajo BO300, las abundancias relativas de ARGs se redujeron en un 51.8, 43.4 y 44.1 % en las hojas de lechuga, las raíces y el suelo, respectivamente, en comparación con O300. Por otro lado, la aplicación de biocarbón influyo en la desaparición de las bacterias patógenas humanas (HPB), asimismo, demostró que el biocarbón es una enmienda eficaz que contribuye

en la reducción de la abundancia de antibióticos, ARGs y HPB, lo cual permite garantizar la seguridad de los vegetales y proteger la salud humana.

Según Marques et al.(2021), realizaron un estudio en el Laboratorio de Fisiología de Plantas Estresadas, Departamento de Botánica, Universidad Federal de Paraná, Brasil, con el objetivo de evaluar la producción de granos y la acumulación de antibióticos (Enro y Cipro) en plantas de soja, frijol y maíz regadas con agua contaminada con Enrofloxacina. Para el estudio se sembraron las semillas en macetas de siete litros que contenían cinco litros (cuatro kg) de un sustrato de arena y vermiculita (2:1). Cada maceta recibió cuatro semillas. Las macetas se dispusieron aleatoriamente en un invernadero, las plantas se irrigaron inicialmente con 300 ml de agua destilada; 15 días después de la emergencia de las plántulas, se mantuvo solo una planta/maceta. Independientemente de la especie, las mayores concentraciones de enrofloxacino se observaron en sus raíces, seguidas de las hojas y semillas, mientras que las concentraciones de Ciprofloxacino variaron entre los diferentes tejidos vegetales de las diferentes especies. Finalmente, dado que, en países agrícolas como Brasil, el cultivo de soja representa gran parte de la productividad y los ingresos del cultivo, la presencia del antibiótico en el agua utilizada para el riego de la soja resultaría en pérdidas de productividad y una preocupación socioeconómica.

Según Zirena et al. (2022b), quienes desarrollaron su estudio sobre "Presencia de residuos de enrofloxacina en el suelo y su efecto sobre la fijación de carbono, número de nódulos y longitud de raíces de alfalfa (*Medicago sativa*)" manifiestan que los antibióticos son ampliamente utilizados en el tratamiento bacteriano de animales y humanos, lo que afecta negativamente las actividades agrícolas. Su estudio evaluó el efecto de la presencia de residuos de Enrofloxacina en el suelo provenientes del agua de riego contaminada con este antibiótico sobre la de alfalfa (*Medicago sativa*). El estudio se realizó en cámara de crecimiento vegetal controlado durante 40 días, donde se distribuyeron 12 macetas en 3 tratamientos con tres repeticiones y tres testigos. Las plantas se regaron con 100 mL de agua tipo 2 durante los primeros 16 días y con una frecuencia de 48 h, seguido de 200 mL de agua contaminada con enrofloxacina con 2,

20 y 200 µg/L con una frecuencia de cuatro días hasta la cosecha el día 40. Los resultados mostraron que la presencia de enrofloxacina en el suelo redujo la fijación de carbono en tallos y hojas de alfalfa en un 6,14 % cuando el riego fue con 200 µg/L respecto al control control; asimismo, el número de nódulos se redujo en un 91 % cuando la concentración fue de 200 µg $L^{-1}$, y la longitud de la raíz se redujo en un 32 % con respecto al promedio del tratamiento.

Nieto et al. (2021), realizaron una investigación sobre la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR) en Perú para eliminar compuestos farmacéuticos, y su repercusión en las aguas superficiales que reciben el efluente tratado. Se analizaron muestras de PTAR localizadas en diversas regiones de Perú, como Lima (costa peruana), Cusco, Puno y Juliaca (altiplano peruano), así como de aguas superficiales en la confluencia de los ríos Torococha y Coata, en Juliaca. Se evaluaron un total de 38 productos farmacéuticos utilizando cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS), encontrando que aproximadamente entre el 60 % y 75 % de los compuestos analizados eran detectables en aguas superficiales y en las PTAR, respectivamente. El Paracetamol fue el fármaco más comúnmente encontrado, con concentraciones promedio superiores a 100 µg/L en Puno. Otros fármacos, como la Gabapentina, Claritromicina, Trimetoprima, Ciprofloxacino, Sulfametoxazol y Azitromicina, también se detectaron en concentraciones moderadas en las aguas residuales tratadas. La eficiencia de remoción varió entre PTAR, destacando que la PTAR Cusco fue más efectiva que la PTAR Lima. Sin embargo, muchos productos farmacéuticos (alrededor del 50 % de los compuestos evaluados) aún presentaban concentraciones similares o incluso mayores en las aguas residuales tratadas en comparación con las aguas residuales sin tratar. El estudio también evaluó el riesgo ecológico de estos productos farmacéuticos en aguas tratadas y superficiales mediante el cociente de riesgo (RQ). Se identificó un alto riesgo ambiental para algunos antibióticos (Claritromicina, Ciprofloxacino, Clindamicina) y el analgésico paracetamol en el medio acuático. En el río, la mayoría de los antibióticos y otros compuestos analgésicos y antiinflamatorios también presentaron un alto riesgo

ambiental. En tal sentido el estudio muestro que los procesos de tratamiento utilizados en las ciudades del Perú no son suficientemente efectivos para eliminar los productos farmacéuticos de las aguas residuales.

## 2.2. Base teórica

### 2.2.1. Antibióticos

Los antibióticos se definen como agentes farmacológicos que selectivamente pueden matar a la bacteria o inhibir su crecimiento (Bisso & Andrade, 2018). Estos compuestos se emplean extensamente en la salud humana y animal para combatir infecciones microbianas, y también se utilizan en la ganadería como aditivos para mejorar el crecimiento y el engorde de los animales (Montes de Campo, 2016). Asimismo, los antibióticos se pueden administrar por vía oral, endovenosa, intramuscular, inhalatoria o tópica (Lopardo, 2020).

#### *2.2.1.1. Resistencia antibiótica*

La resistencia antimicrobiana es una forma de adaptación que desarrollan los microorganismos para sobrevivir a la acción de uno o más fármacos, mediante mecanismos que disminuyen su efectividad microbicida o inhibidora (Bisso, 2018). Esta resistencia representa una seria amenaza para la salud pública, debido a la creciente propagación de patógenos resistentes a los antimicrobianos (Albarano et al., 2024). Cuando humanos o animales son tratados con estos compuestos, pueden desarrollar bacterias y genes resistentes en sus intestinos, los cuales se eliminan a través de las heces, llegando posteriormente a aguas residuales, lodos, abonos o directamente al suelo (Martínez et al., 2020). No obstante, la exposición ambiental a residuos antibióticos puede favorecer la aparición de genes resistentes, los cuales podrían ser transmitidos a bacterias patógenas (Allen et al., 2010).

### 2.2.2. Ciprofloxacino

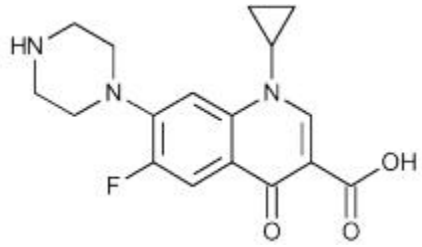
El ciprofloxacino, un antibiótico de segunda generación perteneciente al grupo de las fluoroquinolonas y estructuralmente relacionado con el ácido nalidíxico, posee un amplio espectro de acción frente a bacterias Gram-negativas y Gram-positivas. Su elevada biodisponibilidad y estabilidad, junto con su excreción principalmente en forma activa, contribuyen a su persistencia en el ambiente (González, 2017; Pichai & Lakshmanan, 2022).

#### *2.2.2.1. Propiedades fisicoquímicas y farmacocinéticas*

La farmacocinética del ciprofloxacino evidencia que, al ser administrado por vía oral, alcanza una biodisponibilidad del 70–95 % y se distribuye ampliamente a través de los tejidos y fluidos del organismo. Su vida media en el torrente sanguíneo varía entre 3 y 7 horas. El volumen de distribución es considerablemente amplio, y sufre una transformación parcial en el hígado, donde el grupo piperazinilo se modifica para dar lugar a cuatro metabolitos activos de menor potencia (González, 2017).

**Tabla 2**

*Propiedades químicas y físicas del Ciprofloxacino*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Estructura** |  | **Color** | A la luz polvo cristalino débilmente amarillo |
| | | **Punto de fusión** | 255-257 °C |
| **Nombre IUPAC** | Ácido 1-ciclopropil-6-fluoro4-oxo-7-(piperazin-1-il)- quinolin-3-carboxílico | **Solubilidad** | Insoluble en etanol, soluble en HCl, casi insoluble en agua |
| **Formula empírica** | $C_{17}H_{18}FN_3O_3$ | **LOGP** | 0.28 (no ionizada) |
| **Peso molecular** | 331.341523 g/mol | **Pka** | pKa = 6.09 (ácido carboxílico); pKa = 8.74 (nitrógeno de la piperazina) |
| λ | 278 – 316 nm | | |

*Nota:* Esta tabla muestra las principales propiedades físicas y químicas que posee el Ciprofloxacino, extraído de (González, 2017).

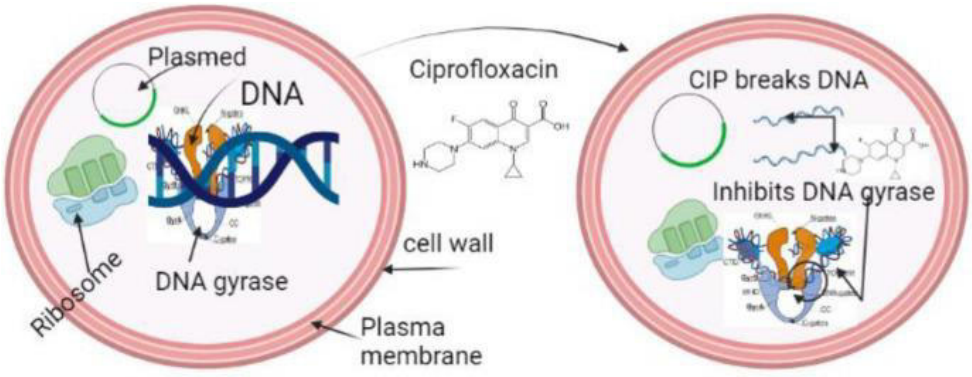
### *2.2.2.2. Mecanismo de acción*

El ciprofloxacino ejerce su efecto al interferir con la síntesis del ADN bacteriano mediante la inhibición de dos enzimas esenciales: la topoisomerasa II (ADN girasa) y la topoisomerasa IV, que son fundamentales para la replicación, transcripción,

reparación y recombinación del ADN (Gomes et al., 2017). Al bloquear la ADN girasa, se evita la generación del nodo de superhélice positiva, esencial para los procesos de replicación y transcripción (Rodriguez-Mozaz et al., 2020). De igual manera, la inhibición de la topoisomerasa IV interfiere con la separación adecuada del ADN replicado entre las células hijas durante la división celular (González, 2017).

**Figura 1**

*Mecanismos de acción del CIP en el genoma bacteriano*




*Nota:* El mecanismo de CIP actúa inhibiendo las enzimas ADN girasa y topoisomerasa IV adquiridas para la replicación, reparación y transcripción de la replicación, reparación y transcripción del ADN bacteriano. El CIP inhibe el potencial proliferativo interfiriendo con su capacidad de proliferación celular, extraído de (Pommier et al., 2010).

#### *2.2.2.3. Uso terapéutico*

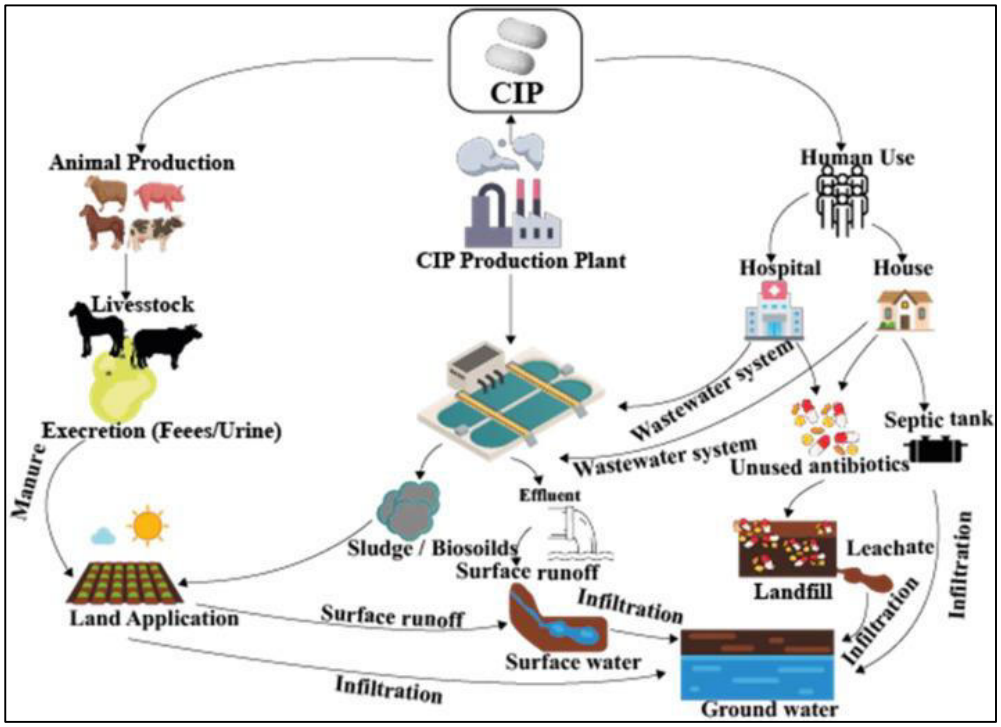
Según Campoli et al. (1988) , el Ciprofloxacino se utiliza en el tratamiento de diversas infecciones, incluyendo aquellas del sistema respiratorio, del tracto genitourinario y del aparato gastrointestinal. También es eficaz frente a infecciones óseas y articulares, así como infecciones cutáneas y de tejidos blandos. Además, se emplea en casos de infecciones sistémicas graves causadas por bacterias gramnegativas, así como en infecciones de las vías biliares, intraabdominales y pélvicas.

### 2.2.3. Ciprofloxacino en el ambiente

Los antibióticos, como las fluoroquinolonas (FQ), ingresan al ambiente principalmente a través de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, biosólidos contaminados y residuos ganaderos, actuando como reservorios persistentes (Rathi et al., 2021). Se ha reportado que las concentraciones de FQ en aguas residuales hospitalarias pueden ser hasta 30 veces mayores que en aguas urbanas, y en el estiércol animal pueden alcanzar niveles de hasta 1,4 g/kg, lo que evidencia su alto potencial de acumulación ambiental (Choi et al., 2020). Además, los antibióticos son comúnmente utilizados como aditivos en la alimentación animal con el objetivo de promover el crecimiento y aumentar la ganancia de peso, especialmente en aves y ganado vacuno (Zhao et al., 2018a). Aunque los sistemas de pequeños agricultores dependen menos de medicamentos antibacterianos, a menudo usan medicamentos de tienda común sin consultar a un veterinario (Gomes et al., 2020). En este sentido, los antibióticos, como la Ciprofloxacina (CIP) y sus derivados, son ampliamente utilizadas en la ganadería y liberados en los desechos animales (Al-Buriahi et al., 2022).

**Figura 2**

*CIP en el Ambiente*




*Nota:* La mayoría de las fuentes de CIP en el ambiente son humanos y sus servicios públicos, como hospitales, centros médicos y fábricas de producción de antibióticos , extraído de (Al-Buriahi et al., 2022)

### *2.2.3.1. Ecotoxicidad de las Fluoroquinolonas(FQ)*

Las fluoroquinolonas (FQ) y sus metabolitos representan una amenaza ecotoxicológica, ya que afectan a organismos no objetivo como algas, bacterias, plantas, crustáceos y peces, incluso a bajas concentraciones (Ramesh et al., 2021). Estos compuestos alteran las comunidades microbianas del suelo y pueden ingresar a la cadena alimentaria, generando riesgos para la salud humana (Girardi et al., 2011). La acumulación de FQ como norfloxacina (NOR) y ciprofloxacina (CIP) en las raíces favorece su translocación hacia las partes comestibles de las plantas, afectando su crecimiento, germinación y desarrollo (Lillenberg et al., 2010). La

exposición al Ciprofloxacino (CIP) puede provocar un significativo aumento en la actividad de enzimas como el glutatión reductasa, glutatión peroxidasa, catalasa y superóxido dismutasa; donde, este incremento en la actividad enzimática es consecuencia del estrés oxidativo inducido por la presencia del antibiótico (Nie et al., 2013). Además, se han observado casos de inhibición del crecimiento en espinacas, anomalías fisiológicas y toxicidad genética (Idrees et al., 2025). Asimismo, en los vegetales interrumpe una serie de funciones fisiológicas como la elongación de tallos y raíces, la germinación de semillas y la respiración (Bartikova et al., 2016; Rocha et al., 2021). Por consiguiente, un impacto negativo en el rendimiento de la producción debido al riego de cultivos con agua contaminada con antibióticos (Marques et al., 2021).

### 2.2.4. El biocarbón

Se define el biocarbón como el producto resultante de la pirólisis de materiales orgánicos a temperaturas inferiores a 700 ºC, en presencia limitada de oxígeno, destinado a aplicaciones agrícolas (Escalante et al., 2016). Se trata de un material con alto contenido de carbono, que puede elaborarse a partir de distintas materias primas orgánicas residuales, como restos agrícolas y lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (Wang & Wang, 2019). De modo que proporciona un mecanismo de adsorción en la superficie, así como microporosidad y los grupos funcionales que tienen una alta afinidad a los compuestos orgánicos polares

#### *2.2.4.1. Fuentes de producción de Biocarbón*

El biocarbón puede ser producido a partir de diversas fuentes, como desechos agrícolas, residuos forestales, desechos orgánicos municipales e incluso estiércol animal. Esta amplia gama de materias primas permite convertir una variedad de productos desechados en recursos útiles, reduciendo la cantidad de desechos que se envían a los vertederos y contribuyendo a una mejor gestión de residuos; no obstante, la elección de la materia prima tiene un impacto significativo en las características y funciones del biocarbón, puesto que la porosidad, la área de superficie y la estabilidad

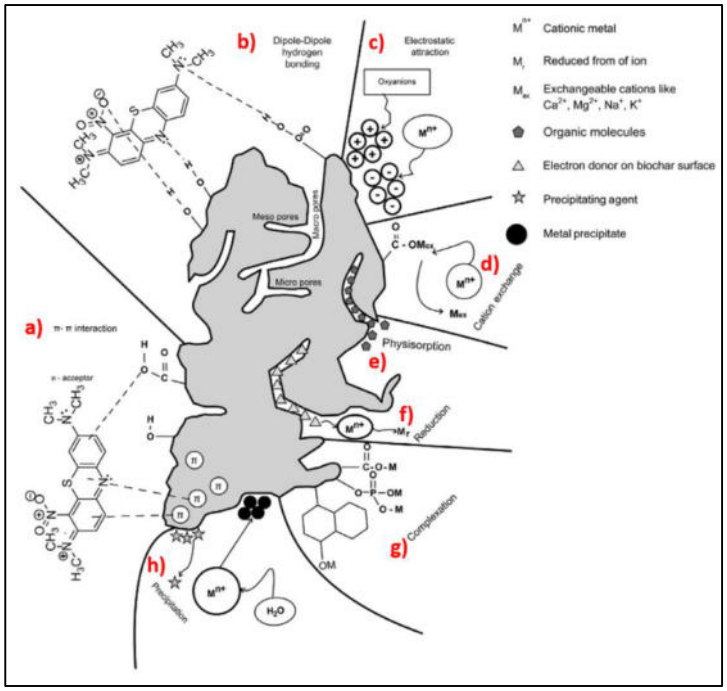
del biocarbón son influenciadas por la composición química de la biomasa utilizada, debido a esta variabilidad en la materia prima, el biocarbón puede ser utilizada para mejorar el suelo, capturar carbono y abordar problemas de remediación ambiental de manera específica (Raj et al., 2022). En tal sentido, puede resolver problemas ambientales regionales y locales, ya que es una opción sostenible de gestión de residuos que mejora la salud y la fertilidad del suelo en zonas con abundantes residuos agrícolas; puesto que, la producción de biocarbón puede reparar suelos deteriorados y estimular la reforestación en lugares ricos en desechos forestales (Manikandan et al., 2023). En resumen la producción de biocarbón y una gestión cuidadosa de la tierra promueven una economía circular (Malhotra et al., 2022).

#### *2.2.4.2. Mecanismo de adsorción del biocarbón*

La adsorción es un proceso mediante el cual átomos, iones o moléculas se adhieren a la superficie de un material adsorbente, como el biocarbón, formando una capa superficial de adsorbato (J. Zhang et al., 2024). En el caso del biocarbón aplicado a la remediación de contaminantes orgánicos, diversos mecanismos explican su capacidad de retención. Entre los más relevantes se encuentran las interacciones π–π, que son interacciones no covalentes entre estructuras aromáticas; la sorción hidrofóbica, que favorece la atracción de compuestos no polares; los enlaces de hidrógeno; las interacciones electrostáticas que dependen del pH y de las cargas superficiales; la difusión a través de poros; la complejación en la superficie, promovida por grupos funcionales oxigenados; y la partición molecular, influenciada por la afinidad entre el contaminante y los grupos funcionales del biocarbón (Ali et al., 2022)

**Figura 3**

*Mecanismos predominantes en la remoción ambiental de contaminantes orgánicos e inorgánicos*




*Nota:* La figura esquematiza los principales mecanismos de adsorción del biocarbón como: a) Interacción π-π, b) Enlace de hidrogeno dipolo-dipolo, c) Interacción electrostática, d) Intercambio catiónico, e) Fisisorción, f) Reducción, g) Complejación, h) Precipitación, extraído de (Ali et al., 2022).

### *2.2.4.3. Grupos funcionales, aromaticidad y polaridad del biocarbón*

La pirólisis de biomasa a temperaturas variables reduce la cantidad de elementos C, H y O en diferentes proporciones, introduciendo proporciones variables de O/C, H/C y N/C en el biocarbón. Estas proporciones se corresponden directamente con el grado de aromaticidad y polaridad de un determinado biocarbón. Estas propiedades son muy importantes para la eliminación de contaminantes orgánicos , ya que promueven la interacción del donador de electrones π–π, la interacción electrofílica, los enlaces de hidrógeno y la interacción hidrofóbica (Dong et al., 2024).

#### *2.2.2.5. La carbonización*

La carbonización consiste en un proceso de transformación en el que los componentes orgánicos incrementan su proporción de carbono, acompañándose de reacciones de descomposición del material durante el proceso (Pérez, 2021). En las etapas iniciales, los enlaces menos estables generan numerosos radicales libres muy reactivos, que en parte se estabilizan y reaccionan con hidrógeno, dando lugar a la formación de material volátil (Raj et al., 2022). Los radicales libres restantes participan en reacciones de polimerización y condensación, contribuyendo a la formación de la estructura sólida del material carbonizado (Bai et al., 2022). El material resultante posee un alto contenido de carbono fijo y una estructura porosa inicial, debido a que durante la carbonización los elementos no carbonosos se desprenden como gases combustibles y los átomos de carbono se reordenan en estructuras microcristalinas grafíticas de bajo orden (Conz, 2015). La formación de esta estructura produce espacios o poros en la superficie del material sólido, y sus características finales dependen de variables del proceso, incluyendo la materia prima empleada, la temperatura, el tiempo de permanencia y la tasa de calentamiento (Ortega & Olaya, 2023). Ademas, se ha observado que la temperatura final del proceso parece ser el factor más determinante, ya que proporciona a las macromoléculas la energía necesaria para romper un mayor número de enlaces químicos, favoreciendo la liberación de productos volátiles y resultando en una mayor compactación del material carbonizado (Rojas & Burgos, 2008).

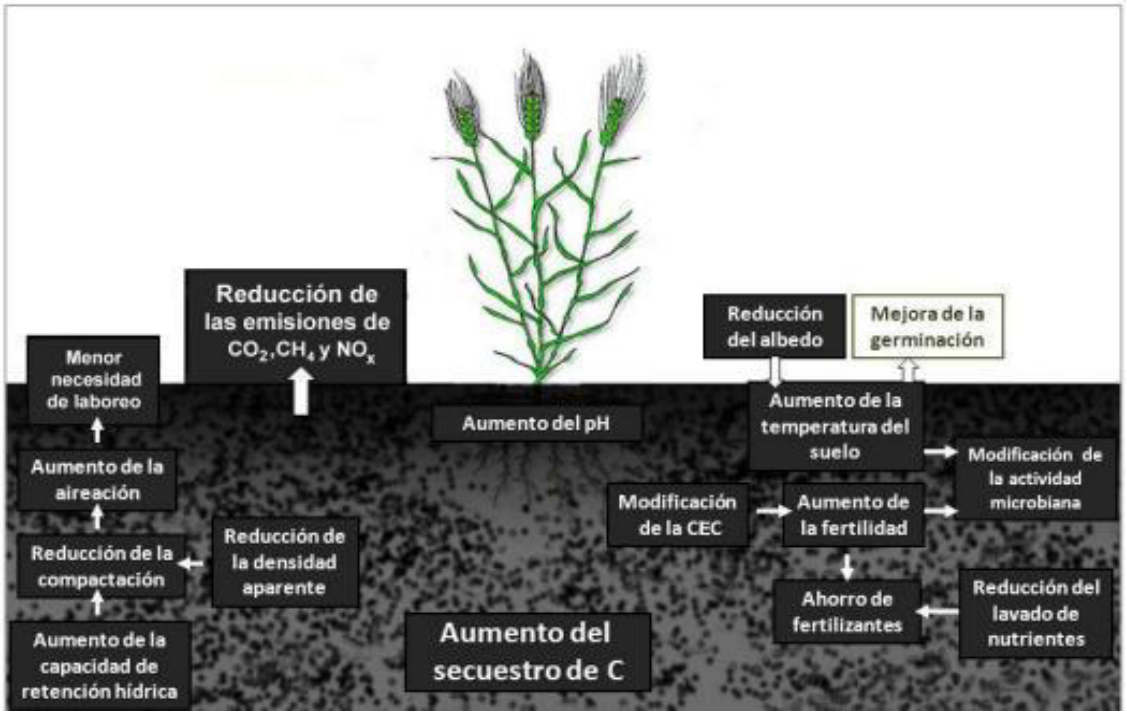
#### *2.2.2.6. Ventajas de Biocarbón*

Las Ventajas del Biocarbón son la retención de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (Pérez et al., 2021b). Además, reduce la acidez del suelo, lo que permite cultivar una mayor diversidad de plantas en el mismo terreno. También mejora la estructura del suelo, incrementa la eficiencia en el uso de nutrientes, aumenta la capacidad de retención de agua y contribuye a la reducción de la emisión de gases de

efecto invernadero, como dióxido de carbono ($CO_2$), metano ($CH_4$) y óxido nitroso ($N_2O$)(Briones, 2017).

**Figura 4**

*Ventajas del biocarbón*




*Nota:* La Figura representa los diversos beneficios que trae consigo la aplicación de biocarbón en el suelo, tomado de (Prieto, 2016).

### 2.2.3. El Olivo

El olivo (*Olea europaea L.),* integrante de la familia *Oleaceae*, crece de forma silvestre en las regiones más cálidas del Mediterráneo, aunque se supone que se originó en el Cáucaso, fue introducido en Sudamérica durante el siglo XVI, particularmente en Perú y Chile, y comprende dos subespecies: *Olea europaea ssp. oleaster y Olea europaea ssp. Sativa* (Aridas et al., 1994).

#### *2.2.3.5. Origen y distribución del olivo en el Perú*

En la costa central del Perú, el cultivo de olivo se inició alrededor de 1560 con plantones importados de Sevilla, España, y posteriormente se difundió hacia el norte y sur, con la región sur identificada como su nicho ecológico óptimo, desde el año 2000, la olivicultura peruana ha tenido un crecimiento sostenido gracias a avances agronómicos, mayor capital y mejoras en la productividad, lo que ha contribuido a un sólido posicionamiento competitivo (Aridas et al., 1994). El departamento de Tacna concentra el mayor crecimiento en la producción de olivo, destacando las irrigaciones La Yarada-Los Palos, Magollo y Sama, con el uso de tecnología media y avanzada, el olivo constituye una actividad rentable que motiva a los agricultores a expandir áreas de cultivo y probar nuevas variedades. Durante la campaña 2018/2019, Tacna fue la región con mayor producción, seguida de Arequipa, Ica, Lima, La Libertad y Moquegua (MINAGRI, 2022).

#### *2.2.3.6. Características morfológicas del olivo*

- **Raíz:** Este órgano permite a la planta captar nutrientes y agua del suelo para su transporte a las partes vegetativas y reproductivas, a la vez que asegura su fijación. Los olivos sembrados a partir de semillas presentan una raíz pivotante principal que sobresale en tamaño y vigor sobre las raíces secundarias, mientras que las plantas propagadas por estaquillas desarrollan entre tres y cuatro raíces secundarias (MINAGRI, 2022).

- **Tronco:** En las etapas iniciales, el árbol posee un fuste cilíndrico, liso y recto; el tronco principal surge de un meristemo y crece de forma vertical antes de formar las ramas (MINAGRI, 2022).

- **Ramas:** Son las partes de la planta de las que emergen hojas, flores y frutos, y se dividen en ramas principales o primarias, secundarias y fructíferas. Las ramas primarias constituyen la estructura central del árbol, normalmente con dos a cuatro brazos principales, sobre los cuales se desarrollan las ramas secundarias, formando

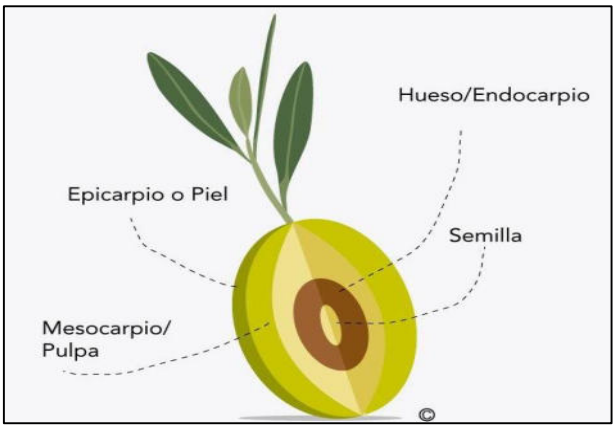
junto con ellas la copa. Tanto las ramas principales como el tronco definen el porte del árbol (MINAGRI, 2022).

- **Hojas:** Estas hojas se caracterizan por ser elípticas, lanceoladas o lineales, con bordes enteros, carentes de estípulas y con un peciolo corto, el limbo coriáceo exhibe únicamente el nervio central, mide entre 3 y 9 cm de largo y de 1 a 2 cm de ancho; la cara abaxial es verde oscuro y la adaxial blanco plateado, con una duración en la planta de 3 a 4 años (MINAGRI, 2022).

- **Flores:** Las flores son los órganos reproductivos de la planta y son perfectas, presentando distintos grados de desarrollo del pistilo en su parte masculina. Cada flor tiene cuatro pétalos blancos y dos anteras, y se disponen en inflorescencias que surgen de las axilas foliares de ramos fructíferos de un año de edad. El ovario cuenta con cuatro óvulos y un estilo muy corto, y la flor en conjunto posee cuatro sépalos, cuatro pétalos, dos estambres y carpelos. Se observa que el número de inflorescencias alcanza entre el 50 y 60 % del total de yemas en las brindillas (MINAGRI, 2022).
- **Fruto:** Se trata de una drupa de color negro vinoso al madurar, rica en energía. Su mesocarpio es carnoso y de forma elipsoidal u ovoide; el epicarpio es muy delgado y se encuentra fuertemente adherido al mesocarpio. El endocarpio es blando en las etapas iniciales, endureciéndose mediante lignificación y esclerificación al iniciarse el envero. El embrión contenido en su interior completa su desarrollo coincidiendo con la esclerificación del hueso (MINAGRI, 2022).

**Figura 5**

*Partes del fruto de Olivo*




*Nota:* Representación de las principales partes del fruto de olivo, Tomado de (Haro, 2020)

- **Polinización:** La polinización es el proceso mediante el cual el polen se transfiere del estambre al estigma; este proceso inicia con la formación del tubo polínico que transporta el polen hasta el ovario, donde el gameto masculino se une con la ovocélula para formar el cigoto, que luego se desarrolla en embrión. Posteriormente, el óvulo funcional se transforma en semilla; la polinización puede ser llevada a cabo por el viento o por insectos (MINAGRI, 2022).

### *2.2.3.7. Producción agrícola del cultivo de Olivo en la región Moquegua*

La producción agrícola del cultivo de olivo en la región de Moquegua se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3**

*Producción Agrícola del cultivo de Olivo en el año 2023*

| REGIÓN / PROVINCIA / DISTRITO POLÍTICO | AÑO 2023 | | |
|---|---|---|---|
| | SUP. COS. Ha | REND. Kg/ha | PRODUCCION t |
| Región Moquegua | **230** | **2,920** | **670.2** |
| Prov. Ilo | 230 | 2,920 | 670.2 |
| Dist. Ilo | 19 | 711 | 13.5 |
| Dist. Pacocha | 23 | 1,036 | 23.3 |
| Dist. El Algarrobal | 188 | 3,369 | 633.4 |

*Nota :* La producción agrícola del cultivo de olivo en la región Moquegua llegó a 670.2 toneladas en el 2023, tomado de (Hilasaca, 2023).

### 2.2.4. El cultivo de Alfalfa

La alfalfa es capaz de desarrollarse en diversas condiciones climáticas, encontrándose en praderas situadas entre 700 y 4000 m.s.n.m., con temperaturas diurnas de 15 a 25 °C y nocturnas de 10 a 20 °C (Clavijo, 2011). Además, se considera que la alfalfa es una especie de día largo, por lo que en zonas con fotoperiodos mayores a 12 horas, la producción de flores es más abundante (Quiroga, 2013). Se trata de una especie herbácea perenne que alcanza alturas de 50 a 90 cm; aunque anteriormente los alfalfares tenían una vida útil de 7 a 8 años con manejo adecuado, actualmente esta se ha reducido a 3–4 años, aumentando así los costos de mantenimiento por hectárea y provocando pérdidas económicas para los agricultores (Grijalva et al., 1995).

**Clasificación taxonómica de la alfalfa (*Medicago sativa L.*)**

Según Rosado Suárez (2011) menciona la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal.

División**:** Tracheophita.

Subdivisión: Pterosida.

Clase: Angiospermae.

Subclase: Dicotiledoneae.

Familia: Leguminoseae.

Subfamilia: Papiloneaceae.

Tribu: Trifoliada.

Género: Medicago.

Especie: Sativa.

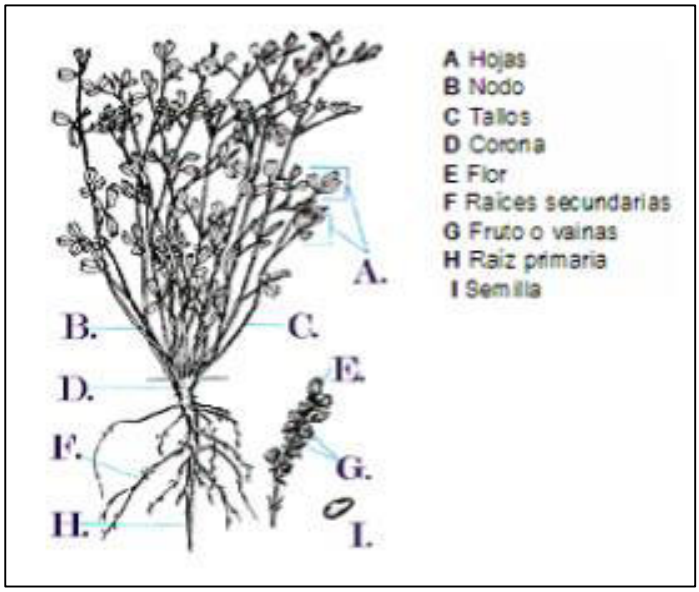
Nombre Científico: *Medicago sativa L.*

### *2.2.4.5. Morfología de la alfalfa*

La morfología botánica es la rama de la botánica dedicada al estudio de la forma de las plantas, abarcando tanto aspectos generales como experimentales. Dentro de la morfología general destaca la organografía, que se ocupa de describir la forma de los órganos vegetales ( Basigalup & Rossanigo, 2007).

**Figura 6**

*Morfología de la Alfalfa*




*Nota*: Representación de las partes morfológicas de la alfalfa, tomado de (Noé, 2005).

## Organografía de la alfalfa

### Semilla

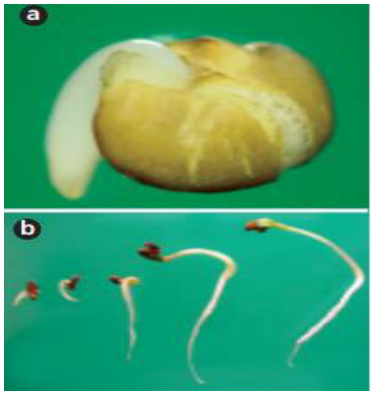
El fruto, denominado legumbre, es el encargado de originar las semillas. Estas suelen ser de forma arriñonada y color amarillento, aunque también pueden presentarse angulares y con tonalidades que van desde verde oliva hasta diferentes tonos de marrón. En estado maduro, las semillas miden aproximadamente 1–2 mm de largo, 1–2 mm de ancho y 1 mm de espesor. Están compuestas por el funículo, el tegumento (testa), el embrión y el albumen. La radícula, que emerge por la micrópila durante la germinación, dará lugar a la raíz. Los cotiledones, gruesos y carnosos, almacenan la mayor parte de los nutrientes necesarios para el desarrollo del embrión. El albumen, reducido en la alfalfa, actúa como tejido de reserva y facilita principalmente el proceso de germinación (Basigalup & Rossanigo, 2007).

**Germinación y primeras etapas del desarrollo**

En el proceso germinativo, la semilla absorbe agua al estar en contacto con el suelo, lo que desencadena el desarrollo de la radícula que dará la raíz y de un tallo que permite la emergencia de los cotiledones. Para que la germinación ocurra correctamente, las semillas requieren suficiente humedad, aunque un exceso puede limitarla al reducir la aireación del suelo. En alfalfa es común hallar semillas «duras», incapaces de absorber agua aun en condiciones favorables, debido al engrosamiento de las paredes exteriores de las células de la testa, lo que constituye una barrera física frente a la entrada de agua y un mecanismo de supervivencia de la especie (Basigalup & Rossanigo, 2007).

**Figura 7**

*Germinación de la semilla de alfalfa*




*Nota:* (a) la radícula emerge y (b) la plántula se desarrolla, mostrando los cotiledones, tomado de (Basigalup & Rossanigo, 2007).

## Raíz

La alfalfa posee un sistema de raíces profundo y robusto, cuya función principal es la captación de agua. Si el perfil del suelo no presenta restricciones, la raíz principal puede alcanzar de 2 a 5 metros en 2 a 4 años, lo que explica su reputación de resistente a la sequía. Desde la raíz principal, ubicada cerca del hilio, pueden originarse raíces secundarias o laterales en número variable. Este sistema radicular se clasifica en pivotante (axonomorfa), ramificada, rizomatosa y rastrera. En alfalfas sin reposo invernal, predomina la raíz pivotante con escasas ramificaciones. Las raíces establecen una interacción compleja con bacterias libres, dando lugar a la formación de nódulos donde se multiplican. El tamaño y la forma de estos nódulos varían entre especies (Basigalup & Rossanigo, 2007).

**Figura 8**

*Nódulos en la raíz de alfalfa*



*Nota:* La Figura muestra nódulos ubicados en raíz principal de la alfalfa, tomado de (Atamisqui & Estero, 2019).

## Tallo y Corona

El tallo primario tiene sección transversal cuadrada y está cubierto de estomas y pelos. Además del crecimiento primario, presenta crecimiento secundario que origina un eje leñoso o porción perenne, formando parte de la corona. En la sección herbácea del tallo se encuentran los nudos, de donde emergen las hojas. El crecimiento de los

tallos puede ser estimulado por el pastoreo, el corte o el inicio de un nuevo ciclo fisiológico (Basigalup & Rossanigo, 2007).

**Figura 9**

*Corona de la alfalfa*



*Nota:* Etapas tempranas en la formación de la corona de plantas de cuatro meses, tomado de (Basigalup & Rossanigo, 2007).

## Hoja

En la plántula de alfalfa, la primera hoja es unifoliolada y de contorno orbicular, mientras que las siguientes son hojas imparipinnadas o pinnaticompuestas que se originan en el ápice del tallo. En plantas adultas, las hojas pueden desarrollarse tanto desde el ápice como desde yemas laterales ubicadas en los nudos. Estas hojas se unen al tallo por medio del pecíolo y suelen ser trifolioladas, con tres folíolos. Los folíolos normalmente son oblongos u obovados, aunque existen formas que van desde redondeadas hasta obovado-oblongas e incluso lineales (Basigalup & Rossanigo, 2007).

**Figura 10**

*Hojas*




*Nota:* Diferentes patrones del margen dentado de los folíolos: restringido al tercio superior (a), abarcando la mitad superior (b) o extendiéndose hasta el tercio inferior (c), tomado de (Basigalup & Rossanigo, 2007).

**Estadios de madurez de la alfalfa**

Se cuenta con múltiples clasificaciones para describir la fenología y el desarrollo de la alfalfa. La identificación de los estadios de madurez permite aplicar prácticas de manejo adecuadas. Considerando la altura del dosel y la sucesión de los estados vegetativos y reproductivos, se establecen cuatro categorías esenciales: vegetativo, botón floral, floración y fructificación (Basigalup & Rossanigo, 2007).

Según Delgado & Fabi ( 2015) los estadios de madurez son los siguientes:

- **Emergencia:** Momento en que los cotiledones emergen sobre la superficie del suelo. Esta etapa solo se observa durante el primer año de la plantación; en años posteriores, se sustituye por la fase de botón floral.
- **Botón floral:** Aparición de los primeros botones florales.
- **Floración:** Inicio de la apertura de la primera flor.
- **Maduración:** En alfalfa destinada a forraje, se registra la fecha de corte; en cultivos para producción de semilla, la madurez fisiológica se indica por el oscurecimiento de las vainas.

### *2.2.4.6. Cultivo de alfalfa en la región Moquegua*

A continuación se presentan los cultivos con mayor producción en la región Moquegua.:

**Tabla 4**

*Producción de cultivos en la Región Moquegua*

| Producto | SUP.COS. has | Rendimiento kg/ha | Producción t |
|---|---|---|---|
| **Alfalfa** | **9,521** | **49,722** | **473,404.2** |
| Anís | 7 | 851 | 6.0 |
| Apio | 4 | 14,652 | 54.6 |
| Arracacha | 6 | 6,948 | 41.7 |
| Arveja grano verde | 24 | 4,370 | 104.9 |
| Avena forrajera | 14 | 16,179 | 226.5 |
| Beterraga | 3 | 15,697 | 47.1 |
| Camote | 2 | 9,700 | 19.4 |
| Cebada grano | 154 | 1,092 | 168.2 |
| Cebolla | 57 | 26,624 | 1,517.6 |
| Cebolla china | 4 | 10,812 | 43.3 |

*Nota :* La producción de cultivos en la región de Moquegua está liderada por la alfalfa, siendo uno de los cultivos con mayor rendimiento y producción .Tomado de (Estad & Agropecuario, 2016).

## 2.3. Definición de términos

- **Antimicrobiano:** Se trata de una sustancia química capaz de actuar sobre los microorganismos, destruyéndolos o inhibiendo su desarrollo, aun en bajas concentraciones (Riaz et al., 2017).
- **Fotoperiodo:** El desarrollo vegetal depende en gran medida de la exposición a la luz. El término fotoperiodo describe la influencia que los periodos de luz y oscuridad tienen sobre las plantas a lo largo de un día, estación o ciclo solar (Noé, 2005).
- **Hueso:** Sección dura y compacta ubicada en el interior de ciertos frutos, como aceitunas, guindas o duraznos, que alberga la semilla (Haro, 2020).
- **Fluoroquinolonas:** Constituyen un grupo de antibióticos sintéticos, de acción bactericida y amplio espectro, que inhiben las enzimas bacterianas topoisomerasa II (ADN girasa) y topoisomerasa IV, esenciales para la replicación, transcripción, reparación y recombinación del ADN (Hernández et al., 2019).
- **Contaminantes emergentes:** Se trata de sustancias presentes en productos farmacéuticos y de cuidado personal que, por lo general, se consideran emergentes porque han sido recientemente identificadas o se ha comenzado a prestar atención a sus posibles efectos. Además, se reconoce que pueden representar un riesgo importante tanto para la salud humana como para el ambiente (Fan et al. 2023).

# 3. METODOLOGÍA

## 3.1.Tipo y nivel de investigación

**Tipo:** Es una investigación fundamental o básica de enfoque cuantitativo, que implica la recolección y análisis de datos para responder preguntas de investigación y comprobar hipótesis previamente formuladas, haciendo uso de la medición de variables y diversos instrumentos de investigación (Ñaupas et al., 2018).

**Nivel de investigación:** Explicativo, debido a que pretende explicar la hipótesis mediante la relación causa y efecto con diseños ex-postfacto o con diseños experimentales o cuasiexperimentales (Ñaupas et al., 2018). En otros términos, el investigador modifica la variable independiente y analiza cómo responden las variables dependientes, buscando identificar cambios.

## 3.2. Ámbito temporal y espacial

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Moquegua - Filial ILO. La producción de biocarbón se realizó en las instalaciones del laboratorio de contaminantes orgánicos y ambiente. Posterior a ello, se instaló el experimento en condiciones ambientales típicas de la ciudad de Ilo en los meses de agosto a octubre, donde la temperatura media fue de 20.4 °C, Humedad relativa 78.3 %, velocidad de viento de 4,1 a 6,8 m/s y 11 horas luz solar aprox. (SENAMHI, 2023); para lo cual, se utilizaron 16 macetas de polipropileno, cada una conteniendo 3.5 kg de sustrato (tierra de lomas y compost), con semillas de alfalfa respectivamente. La cosecha se realizó en el mes de octubre del 2023, a los 73 días; luego, se evaluaron diversas características físicas de la planta, como el número de nódulos, numero de hojas, la longitud de raíz y altura de planta, asimismo se determinó la biomasa seca aérea y radicular, de la misma manera se estimó el porcentaje de germinación dentro de las instalaciones del laboratorio.

**Figura 11**

*Mapa de ubicación del proyecto de investigación*



## 3.3.Población y muestra

- **Población**: Suelos irrigados con Ciprofloxacino, ya que existe evidencia de la presencia de residuos de este antibiótico en aguas superficiales en varias regiones del Perú (Nieto et al., 2021).
- **Muestra:** Número de repeticiones de 4 Maceteros por tratamiento con suelo regados con Ciprofloxacino a una concentración de 10 $\mu g\ L^{-1}$.

## 3.4.Diseño de investigación

El presente proyecto de investigación fue experimental, debido a que sus componentes principales son el control, la manipulación y la medición. Se optó por 4 repeticiones por tratamiento en este estudio debido a limitaciones logísticas, de espacio y de recursos disponibles. No obstante, se procuró garantizar la homogeneidad de las condiciones experimentales, asegurando así la validez estadística de los resultados.

## 3.5.Instrumentos

### A. Materiales

- Probeta 50, 250, 500 y 1000 mL
- Fiolas de 10 ml
- vasos precipitados de 100 ml
- Pipeta pasteur
- Micro pipeteadores 1000, 100, 10 y 5 µL
- Maceteros
- Flexómetro o regla
- Tamiz
- Mortero
- Crisoles de porcelana
- Bolsas de compost

- Semillas de alfalfa
- Placas Petri
- Pastillas Ciprofloxacino con concentración de 500g
- Cuaderno de campo
- Balanza de mano

**B. Equipos**

- Balanza analítica
- Refrigerador de laboratorio
- Purificador de agua destilada
- pH metro
- Estufa
- Mufla ISOLAB – ALEMANIA de 5L
- Cámara fotográfica – Cannon Reflex

**C. Reactivos**

- Agua destilada
- Agua ultra pura (milli Q)
- Agua destilada tipo II
- Hidróxido de sodio

## 3.6.Procedimiento

### 3.6.1. Preparación de biocarbón

Primeramente, se obtuvo los huesos de aceituna en las cercanías de una instalación de extracción de aceite y elaboración subproductos a base de olivo, ubicada antes del ingreso al distrito de El Algarrobal en la provincia de ILO. Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de lavado utilizando hidróxido de sodio y abundante agua (40L para 5kg de hueso de aceituna), con el fin de eliminar las impurezas y el aceite residual, luego se dejó secar al aire libre durante un día. Posterior a ello, los 5kg de

biomasa de hueso de aceituna fue sometido a un proceso de secado, a 107 °C durante 48 horas en una estufa (Ji et al., 2020). Con el fin eliminar toda la humedad.

Seguidamente para el proceso de carbonización, se pesaron los crisoles vacíos y se colocaron en los crisoles las muestras de hueso de aceituna, seguidamente los crisoles llenos también se pesaron y se cubrieron con las tapas de los crisoles (Ji et al., 2020). En seguida se introdujo a una mufla de marca ISOLAB – ALEMANIA de capacidad de 5L para carbonizar a 500 °C , a una gradiente de 10 °C/min durante 60 min (Pap et al., 2018). En general, el biocarbón (BC) de temperaturas relativamente altas (> 450 ◦C) desarrollan una porosidad y un área de superficie elevada (Lima et al., 2022). Es decir que, las estructuras de los poros y el área superficial, se desarrollan lo suficiente alrededor de los 500 °C (Lee et al., 2013). Luego se sacó los crisoles de la mufla y se dejó enfriar a temperatura ambiente. El rendimiento del biocarbón se midió por la relación del peso de los materiales antes y después de la carbonización (Ji et al., 2020), obteniendo un rendimiento aproximado del 30 %, como se muestra en la **Tabla 40**. Seguidamente se molió y se tamizó el biocarbón a través de una malla de 200 $\mu m$ (Ji et al., 2020), tamaño de partícula que presenta una mayor área superficial específica, lo que le confiere una mejor capacidad de adsorción. de contaminantes orgánicos (Singh et al., 2024). Por último, el biocarbón se almacenó en una bolsa hermética.

Para el cálculo del rendimiento del biocarbón, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento del biocarbón}(\%) = \frac{W_i}{W_f} x100$$

Dónde: $W_i$ = Peso del biocarbón después de la carbonización; $W_f$ = Peso del hueso de aceituna antes de la carbonización.

**Figura 12**

*Proceso de producción de biocarbón*




*Nota*: Obtención de biocarbón en mufla a 500 °C a una gradiente de 10 °C/min durante 1h.

### 3.6.2. Instalación del experimento

Para el experimento, se seleccionó un suelo que estaba distante de posibles fuentes de contaminación por antibióticos, en este caso el suelo es proveniente de las lomas de Ilo, el cual se encuentra alejado de cualquier granja de ganado, plantas de tratamiento de aguas residuales y otras fuentes de emisiones domésticas (Li et al., 2022). Después, se mezcló la cantidad de tierra necesaria para los tratamientos con fertilizante orgánico; se agregó compost en una proporción de 1:2 p/p, es decir, (1 kilo de compost y 2 kilos de suelo) para todos los tratamientos y se realizó la homogenización respectiva; luego se procedió a tomar una muestra representativa de suelo utilizando por el método del cuarteo con el fin de enviar la muestra a un laboratorio para evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo. Posteriormente, se procedió a la preparación de los tratamientos, los cuales incluyeron un grupo blanco (sin Ciprofloxacino ni biocarbón), un control al 0 % (con Ciprofloxacino pero sin

biocarbón) y tratamientos con biocarbón al 1, 3 y 5 % (m/m), cada uno con cuatro repeticiones (Mielke et al., 2022).

**Figura 13**

*Preparación de los tratamientos con las concentraciones de biocarbón*



*Nota:* homogenización del suelo con la dosis de biocarbón correspondiente al tratamiento.

Luego las macetas se dispusieron aleatoriamente, y posterior a ello se procedió a sembrar las semillas de alfalfa de la variedad Cuf 101 Hortus a 1 cm de profundidad en macetas con 3.5 kg de suelo, cada recipiente recibió 12 semillas, (Marques et al., 2021). Para mantener la humedad del suelo al 70 % de su capacidad de campo, se efectuó el riego tres veces por semana, aplicando 300 ml por maceta de una solución recién preparada de ciprofloxacino (10 µg $L^{-1}$) preparada con agua osmotizada, donde la solución madre se preparó disolviendo 16.187 mg de Ciprofloxacino en polvo en 100 µL de NaOH al 0.1 %, completando el volumen con agua ultrapura hasta alcanzar un total de 10 mL. Esta solución fue agitada para garantizar su homogeneidad y luego fue diluida hasta obtener la concentración deseada (10 µg $L^{-1}$), dicha concentración representativa se determinó debido a que proporciona una condición de estrés a las

plantas y por ende un efecto inhibitorio en el crecimiento (Zhao et al., 2018b). Después de la emergencia de las plántulas, a los 15 días se seleccionó la planta más grande de cada maceta, manteniendo solo una planta por maceta (Marques et al., 2021).

Aunque el experimento se realizó bajo condiciones ambientales, se tomaron medidas para reducir la variabilidad entre tratamientos. Todas las macetas fueron ubicadas en un mismo espacio al aire libre, con orientación uniforme para asegurar una exposición homogénea a la luz solar. El riego se realizó tres veces por semana, en horarios constantes y de forma controlada, para mantener la humedad adecuada en todas las unidades experimentales. La temperatura ambiental media fue de 20.4 °C durante el periodo experimental, con poca variación entre días. Estas acciones permitieron minimizar los efectos de factores ambientales externos y asegurar la validez del diseño experimental.

**Figura 14**

*Porcentaje de biocarbón en cada tratamiento*

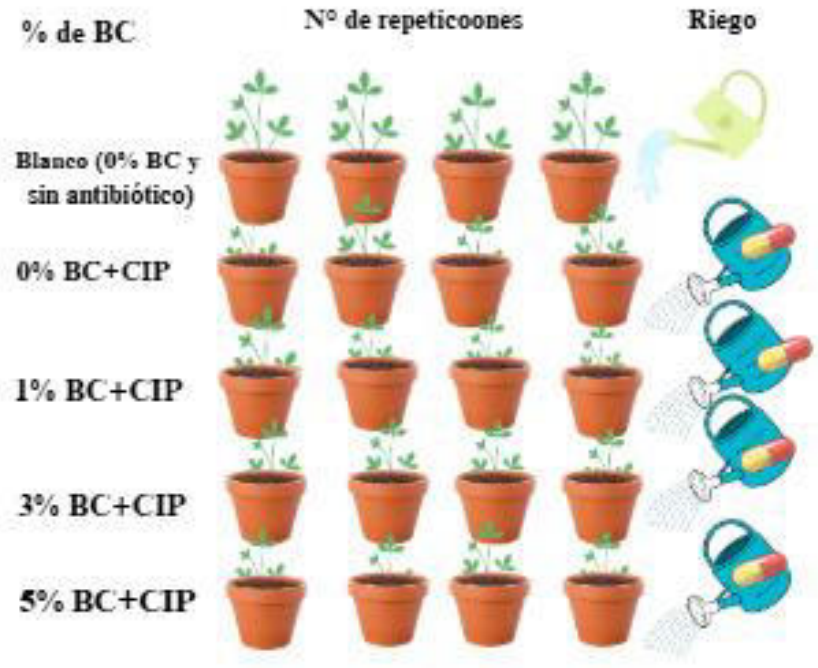


**Figura 15**

*Siembra de semillas en las macetas*



*Nota*: siembra de 12 semillas por maceta en aproximadamente 1 cm de profundidad

### 3.6.3. Porcentaje de Germinación de la alfalfa

Se considera una semilla germinada cuando es visible la radícula más de 1mm (Gorim & Asch, 2012).

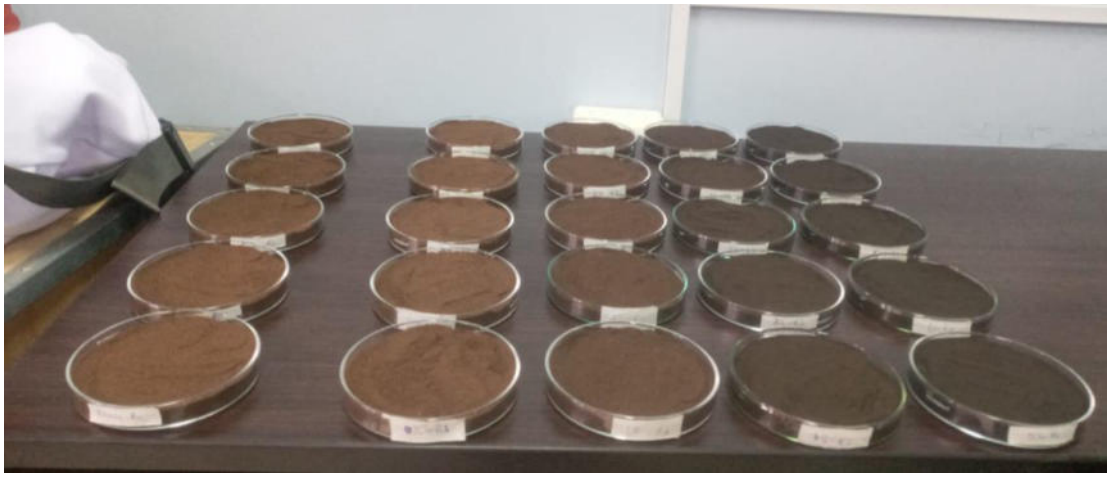
La siguiente formula permitió determinar el % de germinación:

$$\%G = \frac{N°de\ semillas\ germinadas}{N°\ de\ semillas\ sembradas} x\ 100$$

Para evaluar el porcentaje de germinación de la alfalfa, se llevó a cabo los siguientes pasos: primero, se tamizo el suelo para quitar los residuos y luego se procedió a la preparación de los tratamientos, los cuales incluyeron un grupo blanco (sin Ciprofloxacino ni biocarbón), un control al 0 % (con Ciprofloxacino, pero sin biocarbón) y tratamientos con biocarbón al 1 %, 3 % y 5 % (m/m), cada uno con cinco repeticiones. Estos tratamientos se dispusieron en placas Petri, donde cada una contenía 110 gr de suelo. Luego, se realizaron cuatro riegos con una solución recién preparada de Ciprofloxacino con concentración de 10 µg $L^{-1}$ a lo largo de 10 días (Li et al., 2015).

**Figura 16**

*Placas petri con muestras de los diferentes tratamientos*



*Nota:* Representación de la aplicación de diferentes dosis de biocarbón (m/m) en placas Petri con sustrato de 110gr.

Después de estos riegos, se distribuyeron 100 semillas en las 25 placas Petri y se procedió a realizar un riego con 20 ml de la misma solución preparada. Posteriormente, al tercer día , se llevó a cabo el conteo de las semillas germinadas con el fin de determinar el porcentaje de germinación (Bai et al., 2022).

**Figura 17**

*Proceso de geminación de las semillas de alfalfa en placas petri*



*Nota:* Germinación de semillas de alfalfa en el día 3

**Determinación del pH**

Según la metodología de Bazán (2017) la lectura de pH del suelo en relación 1:2 (p/v) se realizó de la siguiente manera:

- Se pesó 30 gr de suelo contenidas en las placas Petri en un vaso de 100 mL.
- Se adiciono 60 mL de solución 0.01 M de $CaCl_2$ previamente preparado.
- Se agito intermitentemente durante 30 minutos en una máquina de agitación. Terminada la agitación se dejó en reposo 15 minutos.
- Luego se insertó los electrodos del pH metro y se determinó el pH de cada tratamiento.

### 3.6.4. Altura de la alfalfa y longitud de la raíz

La recolección de la alfalfa se llevó a cabo tras la etapa de floración. Las plantas fueron extraídas con precaución de las macetas y limpiadas sobre una bandeja. Luego,

se midió su altura en centímetros utilizando un flexómetro para cada tratamiento, tomando como referencia la base del tallo hasta la parte más alta de la planta, siguiendo la metodología descrita por (Capio, 2011). Mientras que la longitud se midió desde el inicio de la raíz o base del tallo hasta la parte final de las raíces de la planta (Pandey & Gupta, 2020).

### 3.6.5. Número de hojas de alfalfa

El conteo del número de hojas se realizó manualmente, utilizando las manos como herramienta principal. Este método permitió una observación directa y detallada de cada planta, asegurando la precisión en la identificación y contabilización de las hojas presentes en cada planta.

### 3.6.6. Número de nódulos

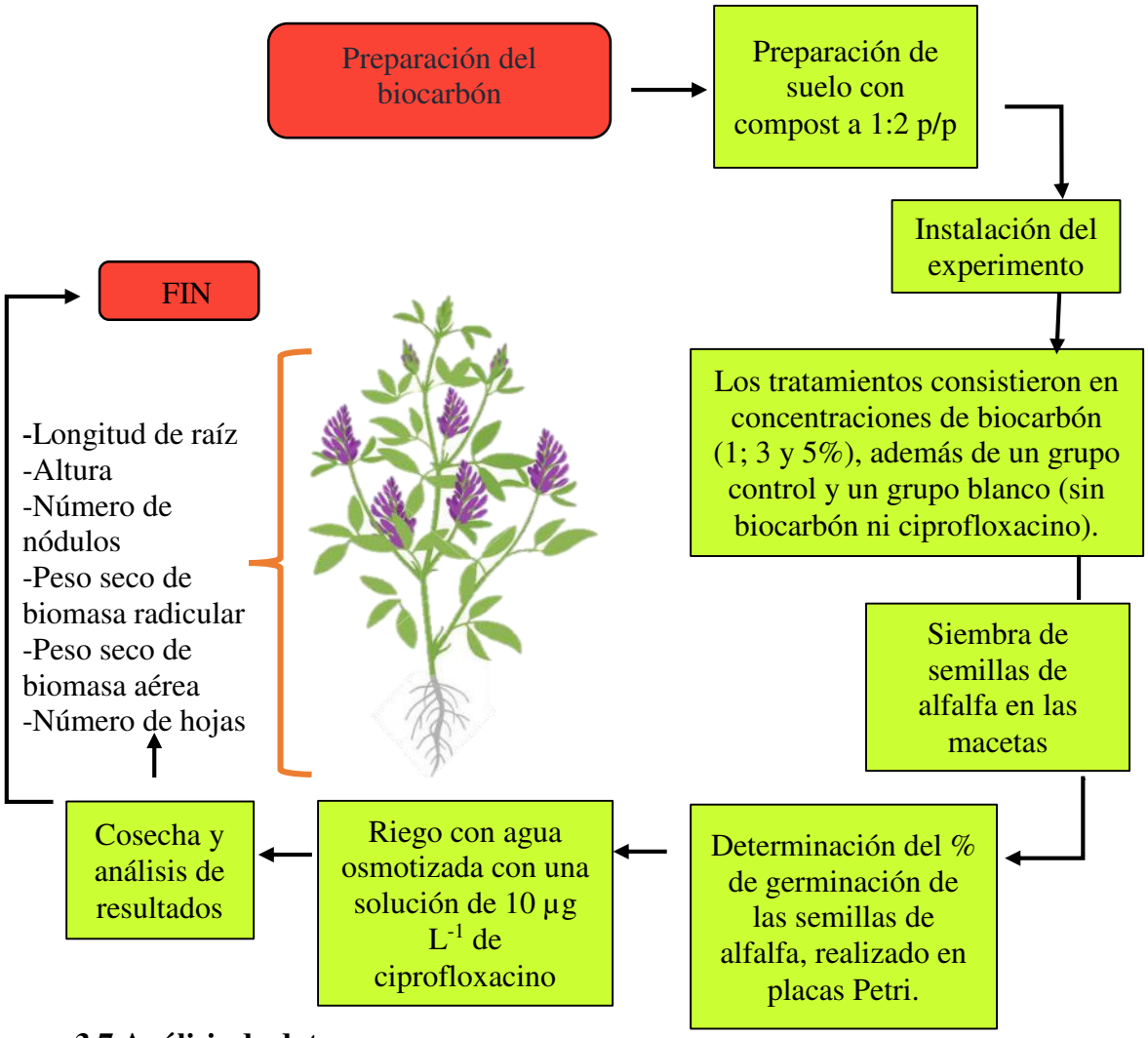
Para realizar el conteo de los nódulos se agito suavemente la planta para desalojar el suelo rizosférico (Thies et al., 1991). Se utilizó bandejas de plástico para la separar las raíces del suelo, seguidamente se procedió a limpiar con agua destilada los residuos presentes en las raíces (Pourbabaee et al., 2021), y finalmente se empezó el conteo de nódulos en cada raíz (Lessonia et al., 2018).

### 3.6.7. Peso seco de biomasa aérea y radicular de alfalfa

Para determinar el peso seco de la biomasa aérea que comprende hoja y tallo de los diferentes tratamientos se colocó en una bolsa de papel Kraft debidamente rotulada y se procedió a secar a 75 ° C en un horno durante 72 h hasta obtener un peso constante, luego se pesó en una balanza analítica (Yang et al., 2022). El mismo procedimiento se siguió para determinar el peso seco de la biomasa radicular.

**Figura 18**

*Diagrama de flujo de la investigación experimental*




### 3.7.Análisis de datos

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software R Studio (versión 4.2.1). Según los objetivos del estudio y teniendo en cuenta las variables de respuesta, se empleó un Diseño Completamente al azar DCA, representado por un solo factor con 5 niveles o tratamientos (Blanco, control, trat1, trat2 y trat3) cantidad de concentración de biocarbón, así como 4 repeticiones por tratamiento.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para evaluar el nivel de significancia de las variables estudiadas. Previamente, se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas utilizando el Test de Levene. Se consideró un nivel de significancia estadística de $P \leq 0.05$. En los casos donde se encontraron diferencias significativas, se realizó una prueba de contraste (Test de Tukey) para identificar las diferencias específicas entre los tratamientos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y la discusión se estructuraron según los objetivos específicos, destacando el efecto de las distintas dosis de biocarbón en las características físicas de la alfalfa, con el propósito de mitigar los efectos tóxicos del Ciprofloxacino.

### 4.1.Porcentaje de germinación

**a) Formulación de Hipótesis**

- H0: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en el porcentaje de germinación de las semillas de alfalfa *(Medicago sativa).*
- Ha: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el porcentaje de germinación de las semillas de alfalfa *(Medicago sativa).*

**b) Estadístico de prueba**

Para determinar si el biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el porcentaje de germinación de las semillas de alfalfa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Antes de su aplicación, se verificaron los siguientes supuestos:

**Prueba de normalidad:** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.5286, superior al nivel de significancia 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de homogeneidad de varianza:** Se aplicó la prueba de Levene, obteniendo un p-valor de 0.667. Al ser mayor a 0.05, entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Dado que ambos supuestos se cumplen, se procede con el análisis de varianza **(Tabla 5),** cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 5**

*ANOVA de 1 factor para porcentaje de germinación*

| Porcentaje de germinación | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **suma de cuadrados** | **media cuadrática** | **F** | **p-valor** |
| **Tratamientos** | 4 | 156.2 | 39.06 | 3.603 | 0.0228 |
| **Error** | 20 | 216.8 | 10.84 | | |
| **Total** | 24 | 373 | | | |

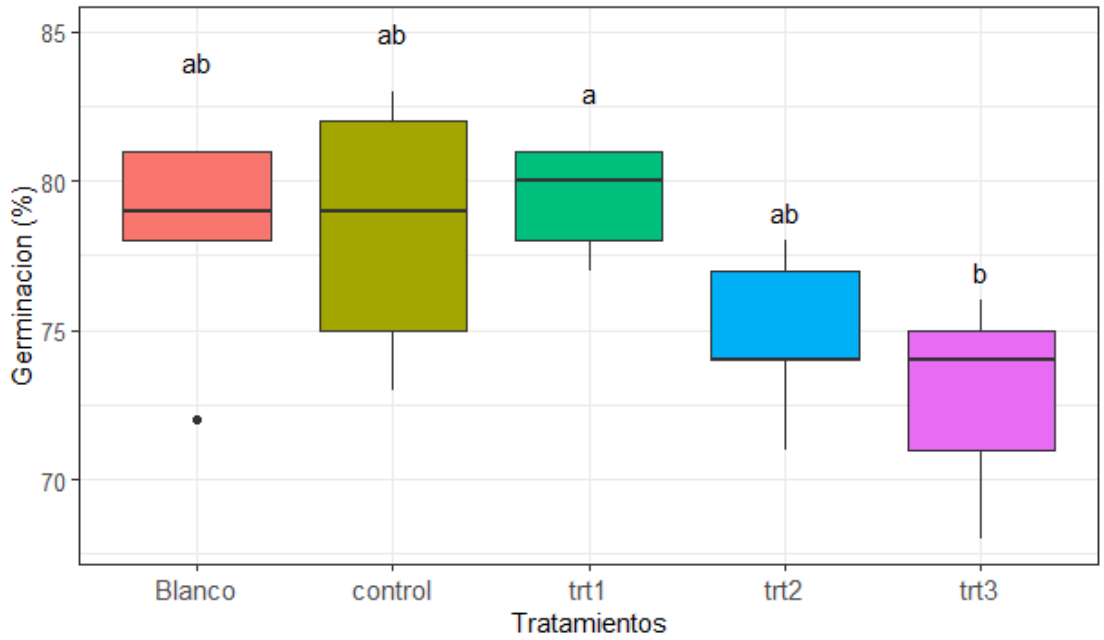
*Nota*: Si el p-valor es menor 0.05, entonces al menos uno de tratamientos es diferente.

**c) Toma de decisión**

Los resultados del ANOVA indicaron un valor de p = 0.0228, menor al umbral de significancia de 0.05, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa. En consecuencia, el uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europaea*) en suelos con contaminación por Ciprofloxacino tiene un efecto sobre el porcentaje de germinación de semillas de alfalfa.

**Figura 19**

*Gráfico sobre porcentaje de germinación*




*Nota*: Letras diferentes indican diferencias significativas por cada variable respuesta ($p < 0.05$)

Estos resultados evidencian como el porcentaje de germinación de alfalfa *(Medicago sativa)* varía según los tratamientos aplicados, incluyendo el tratamiento blanco y aquellos con diferentes concentraciones de biocarbón de hueso de aceituna (0; 1; 3 y 5 %) bajo riego con Ciprofloxacino (10 µg $L^{-1}$) **(Figura 19).** El tratamiento blanco, sin presencia de contaminantes ni biocarbón, presentó una germinación estable, reflejando condiciones óptimas para el desarrollo de las semillas. De manera similar, el tratamiento control (0 % de biocarbón con ciprofloxacino) mostró una germinación semejante a la del blanco. Al incorporar biocarbón, se observó que el tratamiento con 1 % (trt1) mostró una leve mejora en la germinación con un promedio de 79.4 ± 1.82 %. No obstante, al incrementar la concentración a 3 % (trt2) y 5 % (trt3), se registró una disminución en el porcentaje de germinación, alcanzando promedios de 74.8 ± 2.77 % y 72.8 ± 3.27 %**,** respectivamente. Estas cifras representan una reducción de 5.79 % y 8.31 % en comparación con el tratamiento trt1, lo que sugiere que dosis más altas de

biocarbón, en combinación con ciprofloxacino, pueden generar condiciones desfavorables para la germinación.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de biocarbón de hueso de aceituna influyo significativamente en el porcentaje de germinación, y el test de tukey indicó que trt3 mostró una diferencia significativa con respecto a trt1 ($p < 0.05$) lo cual subrayaría la importancia de ajustar cuidadosamente la dosis de biocarbón en suelos contaminados, ya que dosis inapropiadas podrían afectar negativamente el desarrollo de las plantas. Este hallazgo coincide con el estudio realizado en semillas de *Centaurea cyanus L., Asteraceae*, donde dosis bajas de biocarbón como 0.5 o 1 % muestran beneficios en la germinación, sin embargo, al aplicar concentraciones más altas como 2 %, el porcentaje disminuye, alcanzando niveles similares al control (media = 42 %), este comportamiento sugiere un efecto hormético del biocarbón, caracterizado por efectos beneficiosos en dosis bajas y efectos tóxicos en dosis altas (Fedeli et al., 2024). Por otra parte, la reducción en el porcentaje de germinación podría estar relacionada con los compuestos recondensados producidos durante pirólisis del biocarbón, los cuales presentan efectos fitotóxicos. Lo que significaría que, a medida que aumenta la concentración de biocarbón, también se incrementa la probabilidad de que dichos compuestos afecten negativamente a las semillas (Li et al., 2015).

Estudios previos han demostrado que la inhibición de la germinación y el daño a las membranas celulares de las semillas, se correlacionan con la presencia de radicales libres persistentes (PFR) en el biocarbón, los cuales se producen durante el proceso térmico de materiales orgánicos (Qin et al., 2018). Estos radicales libres, debido a su vida media relativamente prolongada, generan especies reactivas de oxígeno (ROS) al entrar en contacto con soluciones acuosas, lo que ocasiona estrés oxidativo en las plantas, inhibiendo la germinación y el crecimiento de los brotes (Zhang et al., 2024b). Entre las ROS más comunes se encuentran el radical hidroxilo ($\cdot OH$) y el anión superóxido ($\cdot O_2^-$), que inducen daño oxidativo en las células vegetales, este efecto es especialmente notable en biocarbones producidos a altas temperaturas (500 °C y 800 °C), donde la toxicidad observada se asocia principalmente con los radicales libres (Bai et al., 2022). En consecuencia, todo ello evidenciaría que el aumento de la

concentración de biocarbón estaría incrementando el riesgo de daño oxidativo a las semillas, lo que lo lleva a reducir su capacidad de germinación y desarrollo adecuado (Nagel O et al., 2019).

Por otro lado, teniendo en cuenta la generación de subproductos tóxicos durante la elaboración de biocarbón, este causaría la modificación del entono de desarrollo de la germinación, debido a que principalmente el biocarbón posee características en donde a menudo el pH característico tiende a ser alcalino (Dayoub et al., 2024), y con ello se dé una posible alteración con el incremento del pH del suelo una vez mezclados o incorporados al suelo (Shi et al., 2019). Esta propiedad del biocarbón altera las condiciones químicas del suelo, como se observó en el presente estudio, donde los valores de pH obtenidos para los tratamientos fueron los siguientes: blanco (7.65), control (7.65), trt1 (7.84), trt2 (8.19) y trt3 (8.37), este aumento progresivo del pH con mayores concentraciones de biocarbón resalta el efecto alcalinizante del material. Por tanto, la naturaleza alcalina del biocarbón puede afectar la germinación de semillas al inducir un estrés osmótico y un desequilibrio en la disponibilidad de nutrientes, donde Un pH elevado puede causar la insolubilización de nutrientes esenciales como el fósforo, el hierro y el manganeso, lo que disminuye su disponibilidad para las plantas, lo resulta en un entorno desfavorable para las semillas, ya que los nutrientes son esenciales para el desarrollo de las raíces y el crecimiento (Carril et al., 2023). Además, ciertos iones presentes en el biocarbón, como el potasio (K) y el cloro (Cl), pueden ejercer efectos tóxicos sobre componentes esenciales de las semillas, como enzimas, organelos, hormonas vegetales y membranas celulares del embrión; de este modo, esta toxicidad afectaría la actividad metabólica del embrión y, en consecuencia, reducir la capacidad germinante (Luo et al., 2024). La germinación es una etapa especialmente vulnerable del ciclo de vida de los cultivos, por consiguiente, el estrés salino generado por el aumento del pH y la acumulación de ciertos iones, disminuye la capacidad de las semillas para absorber agua (estrés osmótico) y genera un desequilibrio en los iones dentro de la semilla (estrés iónico), lo que en última instancia inhibe la germinación y dificultan el desarrollo de las plantas (De et al., 2020). Es preciso mencionar que la

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), posiciona a un rango óptimo de pH en cultivos (6 – 7 pH) mientras que esta entidad también menciona que un rango por encima de ello, signifique un suelo con deficiencia nutricionales, es decir que el suelo se encuentre impermeable disminuyendo la infiltración y percolación, considerándolo así un entorno poco favorable para el desarrollo de la planta (FAO, 2009)

## 4.2.Peso seco de biomasa aérea, número de hojas y altura de alfalfa

### 4.2.1. Peso seco de biomasa aérea

**a). Formulación de Hipótesis**

- H0: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en el peso seco de biomasa aérea de alfalfa *(Medicago sativa).*
- Ha: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa aérea de alfalfa *(Medicago sativa).*

**b). Estadístico de prueba**

Para determinar si uso biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa aérea de alfalfa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Antes de su aplicación, se verificaron los siguientes supuestos:

**Prueba de normalidad:** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.5601, superior al nivel de significancia 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de homogeneidad de varianza:** Se aplicó la prueba de Levene, obteniendo un p-valor de 0.7701. Al ser mayor a 0.05, entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Dado que ambos supuestos se cumplen, se procede con el análisis de varianza **(Tabla 6),** cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 6**

*ANOVA de 1 factor para peso seco de biomasa aérea*

| Peso seco de biomasa aérea | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fuente de variación | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | p-valor |
| **Tratamientos** | 4 | 5.17 | 1.2925 | 2.516 | 0.108 |
| **Error** | 10 | 5.138 | 0.5138 | | |
| **Total** | 14 | 10.308 | | | |

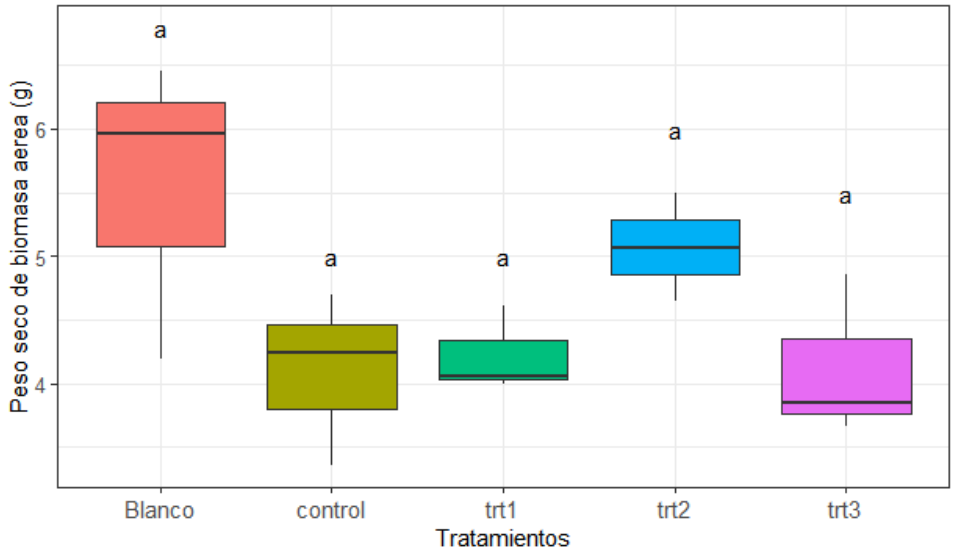
*Nota*: Si el p-valor es menor 0.05, entonces al menos uno de tratamientos es diferente

**c). Toma de decisión**

Los resultados del ANOVA mostraron un valor de p = 0.108, mayor que 0.05, lo que indica que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa. Por lo tanto, el uso de biocarbón de hueso de aceituna (*Olea europaea*) en suelos con contaminación por Ciprofloxacino no influye en el peso seco de la biomasa aérea de alfalfa *(Medicago sativa).*

**Figura 20**

*Gráfico de Peso seco de biomasa aérea*




*Nota*: Letras iguales indican que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

Sin embargo, los resultados nos muestran cómo varía el peso seco de la biomasa aérea de alfalfa *(Medicago sativa)* bajo diferentes tratamientos (**Figura 20**) incluyendo el tratamiento blanco y aquellos con diferentes concentraciones de biocarbón de hueso de aceituna (0;1; 3 y 5 %) bajo riego con Ciprofloxacino (10 µg $L^{-1}$). El tratamiento blanco (sin Ciprofloxacino ni biocarbón) presenta el mayor peso seco promedio 5.54 ± 1.19 g, indicando un crecimiento óptimo de las plantas en ausencia de contaminación. En el control (0 % de biocarbón, con Ciprofloxacino), el peso disminuye (4.09 ± 0.68 g.), evidenciando un posible efecto negativo del Ciprofloxacino sobre el desarrollo de la biomasa. El tratamiento con 1 % de biocarbón (trt1) mostró un valor promedio de 4.23 ± 0.34 g, muy similar al control, sin mejoras aparentes. Sin embargo, con una dosis de 3 % de biocarbón (trt2), el peso seco aumentó a 5.07 ± 0.43 g, lo que sugiere un posible efecto protector o mejorador del biocarbón. En contraste, al 5 % de biocarbón (trt3), el peso seco disminuyó nuevamente a 4.12 ± 0.64 g, lo que podría

indicar que dosis más altas de biocarbón generan condiciones desfavorables para el crecimiento.

La aplicación de biocarbón de hueso de aceituna no influyo de manera significativa en el peso seco de la biomasa aérea ($P > 0,05$). Sin embargo, el tratamiento blanco presenta un crecimiento mayor a todos los tratamientos con biocarbón e incluyendo al control (con CIP). Asimismo, este tratamiento control evidencia una disminución en porcentaje de hasta 26.06 % en comparación del Blanco (sin biocarbón ni antibiótico), pasando de 5.54 ± 1.19 g a 4.09 ± 0.68 g**.** De ello corroboraría con estudios realizados por Ramos et al., (2023), quienes evidenciaron que la presencia del CIP, incluso a concentraciones tan bajas como 1 μg $L^{-1}$**,** puede generar efectos negativos significativos en el desarrollo vegetal. Por otro lado, si bien el tratamiento con biocarbón al 3 % (trt2) mostró una respuesta positiva en el crecimiento, el tratamiento con 5 % de biocarbón evidenció una disminución en el peso seco, lo que podría atribuirse a la generación de radicales libres inducidos por la presencia del fármaco (Ramos et al., 2024; Ramos et al., 2023; Zirena et al., 2024) y consecuentemente con la presencia de HAPs generados durante el proceso de pirolisis (Vega et al., 2024), formarían parte del daño estructural en la célula, sufrido a raíz de la generación fragmentos en la estructura del ADN (Sampaio et al., 2021). No obstante, mediante la concentración en dosis del 3 % de biocarbón, a su vez reflejaría que a medida que aumenta la dosis llegando a evidenciar un supuesto de hormésis, y que más adelante una aplicación mayor de dosis se reflejaría disminución en el desarrollo de la planta; de ello respondería a los resultados evidenciados por Ramos et al., (2023), Además, este aumento en el porcentaje de biocarbón, combinado con la presencia de CIP, podría ser responsable de provocar lesiones necróticas a nivel celular, lo que eventualmente derivaría en alteraciones hormonales, específicamente en las giberelinas, las cuales desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la planta (peso y altura de la planta) (Niharika et al., 2021). No obstante, más allá de apreciar cambios en los tratamientos, no se puede concluir estadísticamente dichos variaciones.

### 4.2.2. Número de hojas

**a). Formulación de Hipótesis**

- H0: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en el número de hojas de alfalfa *(Medicago sativa).*
- Ha: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el número de hojas de alfalfa *(Medicago sativa).*

**b). Estadístico de prueba**

Para determinar si uso biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el número de hojas de alfalfa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Antes de su aplicación, se verificaron los siguientes supuestos:

**Prueba de normalidad:** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.912, superior al nivel de significancia 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de homogeneidad de varianza:** Se aplicó la prueba de Levene, obteniendo un p-valor de 0.5916. Al ser mayor a 0.05, entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Dado que ambos supuestos se cumplen, se procede con el análisis de varianza **(Tabla 7),** cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 7**

*ANOVA de 1 factor para número de hojas*

| Número de hojas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | p- valor |
| **Tratamientos** | 4 | 8568 | 2142.1 | 6.599 | 0.00286 |
| **Error** | 15 | 4869 | 324.6 | | |
| **Total** | 19 | 13437 | | | |

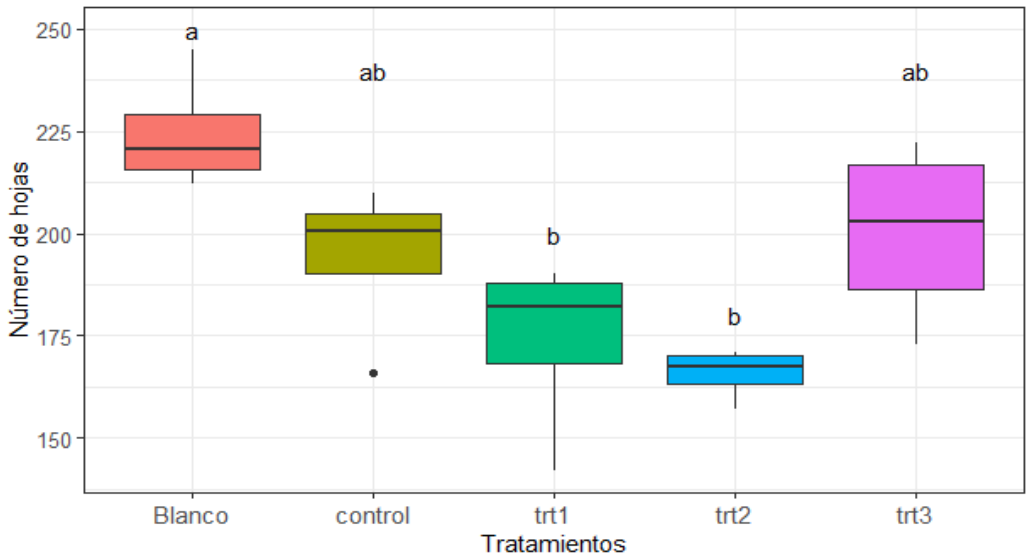
*Nota*: Si el p-valor es menor 0.05, entonces al menos uno de tratamientos es diferente

**c). Toma de decisión**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor de p=0.00286< 0.05, lo cual es menor al nivel de significancia, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Por tanto, se concluye que el uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el número de hojas en alfalfa *(Medicago sativa).*

**Figura 21**

*Gráfico de número de hojas*




*Nota:* Letras diferentes indican diferencias significativas por cada variable respuesta ($p < 0.05$).

Los resultados evidencian el efecto del biocarbón y CIP en los distintos tratamientos sobre el número de hojas de la alfalfa (*Medicago sativa*) **(Figura 21)**. En primer lugar, el tratamiento Blanco (sin biocarbón ni Ciprofloxacino) muestra la mayor mediana, lo que indica que en condiciones no contaminadas y sin la aplicación del biocarbón, las plantas tienen un crecimiento más vigoroso. El tratamiento Control, que involucra suelo sin biocarbón, muestra una mediana ligeramente inferior al Blanco, lo que sugiere que la contaminación con Ciprofloxacino afecta de manera leve el número de hojas, pero aún permite un crecimiento relativo. Por otro lado, se detectaron diferencias significativas ($p = 0.009$ y $p = 0.002$), con reducciones del 22.49 % y 26.17 % en los tratamientos con 1 % y 3 % de biocarbón, respectivamente, en relación con el blanco. El trt2 (3 % de biocarbón) es el tratamiento más afectado, mostrando tanto la menor mediana como una dispersión reducida (165.75 ± 6.39 g), lo que podría indicar que este tratamiento particular tiene un efecto desfavorable sobre el crecimiento foliar. Finalmente, el tratamiento trt3 (5 % de biocarbón) evidencia una leve

recuperación en el número de hojas, lo que podría atribuirse a un efecto amortiguador o beneficios marginales del biocarbón.

El test de Tukey indicó que los tratamientos con 1 % (trat1) y 3 % (trat2) de biocarbón mostraron una diferencia significativa en el número de hojas con respecto al tratamiento blanco. En el tratamiento blanco (sin biocarbón ni ciprofloxacino), se obtuvo un promedio de 224.5 ± 14.53 hojas, mientras que en los tratamientos con 1 % (trt1) y 3 % (trt2) de biocarbón se registraron promedios de 174.25 ± 22.04 y 165.75 ± 6.39 hojas, respectivamente. Esto se debería a que el biocarbón modifica las propiedades fisicoquímicas del suelo, como la capacidad de intercambio catiónico y la retención de agua; sin embargo, también puede alterar la disponibilidad de nutrientes, lo que podría limitar el crecimiento de las plantas y reducir la producción de hojas (Melo & Afanasjeva, 2022). Además, revelan que el biocarbón puede alterar la función celular, induciendo estrés oxidativo, lo cual puede reducir la actividad clorofílica, limitando la capacidad de las plantas para realizar una fotosíntesis eficiente, lo que se traduce en una menor producción de energía para el crecimiento foliar (Barrezueta et al., 2024).

Por otro lado, la presencia de Ciprofloxacino (CIP) en el suelo también genera efectos fisiológicos adversos en las plantas. Este compuesto bioacumulado puede inducir cambios significativos, como la inhibición del crecimiento de raíces y hojas, así como la reducción del contenido de pigmentos esenciales (Qi et al., 2025). Estos efectos están relacionados con el estrés oxidativo causado por la alteración de la homeostasis de especies reactivas de oxígeno, lo que interfiere en la síntesis de clorofila y limita la fotosíntesis (Sun et al., 2021). Asimismo, estudios reportaron que en concentraciones relativamente bajas, el Ciprofloxacino afecta negativamente el desarrollo de diversas especies vegetales, reduciendo tanto el número de hojas como el tamaño de las plantas (Ortega & Olaya, 2023). Por otro lado, sugieren que los HAPs también generan estrés oxidativo en las células vegetales, lo que afectaría negativamente la fotosíntesis al reducir la actividad de la clorofila, limitando la capacidad de las plantas para realizar una fotosíntesis eficiente, lo que a su vez

restringe la síntesis de compuestos esenciales necesarios para su crecimiento y desarrollo (Guerrero et al., 2022). Por consiguiente, los HAPs pueden alterar la absorción de nutrientes, interfiriendo con la estructura de las raíces y reduciendo la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas; de este modo, agravaría el impacto sobre el crecimiento foliar (Ochandía et al., 2024).

### 4.2.3. Altura de alfalfa

#### a). Formulación de Hipótesis

- H0: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en la altura de alfalfa *(Medicago sativa).*
- Ha: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en la altura de alfalfa *(Medicago sativa).*

#### b). Estadístico de prueba

Para determinar si el uso biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en la altura de alfalfa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Antes de su aplicación, se verificaron los siguientes supuestos:

**Prueba de normalidad:** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.2805, superior al nivel de significancia 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de homogeneidad de varianza:** Se aplicó la prueba de Levene, obteniendo un p-valor de 0.4999. Al ser mayor a 0.05, entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Dado que ambos supuestos se cumplen, se procede con el análisis de varianza **(Tabla 8),** cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 8**

*ANOVA de un factor para altura de planta*

| **Altura de planta** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | p-valor |
| **Tratamientos** | 4 | 163.9 | 40.97 | 1.439 | 0.269 |
| **Error** | 15 | 426.9 | 28.46 | | |
| **Total** | 19 | 590.8 | | | |

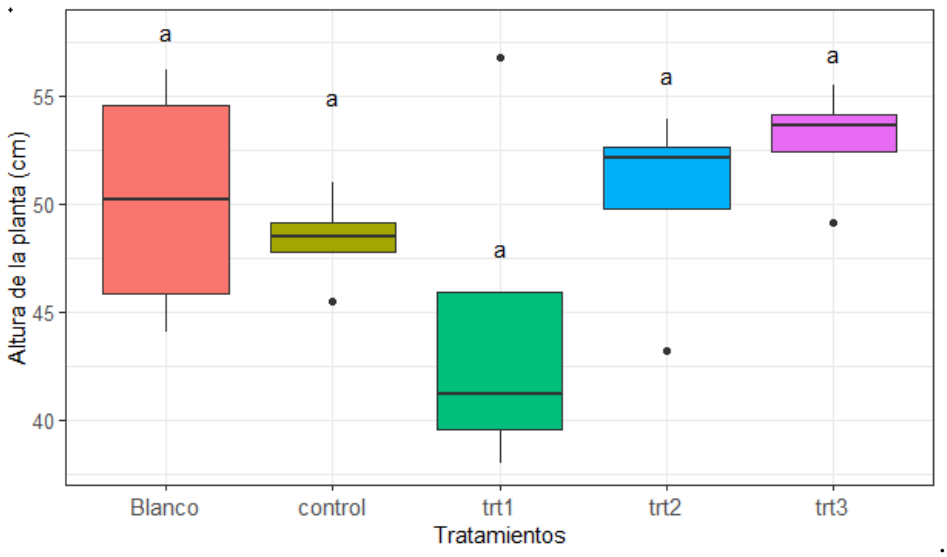
*Nota*: Si el p-valor es menor 0.05, entonces al menos uno de tratamientos es diferente

**c). Toma de decisión**

Los resultados del ANOVA mostraron un valor de p = 0.269, mayor que 0.05, lo cual indica que es mayor al nivel de significancia, entonces se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula. Por tanto, se concluye el uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en la altura de alfalfa *(Medicago sativa).*

**Figura 22**

*Gráfico para altura de planta*




*Nota*: Letras iguales indican que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

Los resultados obtenidos nos revelan que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, observamos (**Figura 22)** cómo los diferentes tratamientos varían en cuanto a la altura de la alfalfa *(Medicago sativa).* El grupo Blanco (suelo no contaminado y sin biocarbón) presentó un promedio de 50.18 ± 5.83cm sugiriendo un crecimiento óptimo. En contraste, el grupo Control (suelo contaminado con Ciprofloxacino y sin biocarbón) muestra una reducción moderada en la altura con un promedio de 48.38 ± 2.25 cm**.** Aunque no existe diferencia significativa estadísticamente podemos evidenciar un comportamiento en los diferentes tratamientos con biocarbón (Trt1, Trt2 y Trt3): donde Trt1 (1 %) presenta la menor mediana y mayor dispersión (44.3± 8.51 cm) con disminución de 11.70 % respecto al blanco, sugiriendo un impacto negativo; Trt2 (3 %) y Trt3 (5 %) reflejan una recuperación leve mostrando valores promedio de 50.33 ± 4.83 cm y 52.95 ± 2.72 cm respectivamente. Esto sugiere que el biocarbón, dependiendo de su concentración, puede influir en la altura de la alfalfa.

Gutiérrez et al. (2021), sugieren que el biocarbón, en concentraciones moderadas, puede no tener un efecto directo tan marcado sobre el crecimiento vertical de las plantas, pero sí influye en la disponibilidad de nutrientes y en la estructura del suelo, lo que podría causar un leve cambios en el crecimiento. Aunque el biocarbón no causó un cambio considerable en la altura, su influencia no puede descartarse por completo. Además, los antibióticos pertenecientes a la familia de las quinolonas como el Ciprofloxacino, pueden actuar en la modificación del microbiota del suelo, lo que podría haber afectado indirectamente la altura de las plantas (Reyes et al., 2023). Asimismo, en el presente estudio, se ha observado que, a medida que aumenta la dosis de biocarbón, el pH del suelo también tiende a incrementarse debido a la naturaleza alcalina del biocarbón. Esta característica desempeña un papel crucial en la disponibilidad de nutrientes, ya que influye en la solubilidad y en la interacción de los compuestos químicos con el biocarbón, un pH más alto puede modificar la disponibilidad de ciertos nutrientes en el suelo, afectando así los procesos de nutrición vegetal (Cabello et al., 2021). Por otro lado, el biocarbón posee una alta capacidad sedimentaria debido a su estructura porosa, lo que le otorga excelentes propiedades de adsorción, especialmente para compuestos lipofílicos, esto se debe a la alta área superficial del biocarbón, que facilita la retención de sustancias lipofílicas, como los antibióticos, que tienen afinidad por las superficies hidrofóbicas (Cotrina-Teatino et al., 2024). En el caso del CIP (Ciprofloxacino), su naturaleza lipofílica hace que se adsorba sobre el biocarbón, lo que podría reducir su disponibilidad en el suelo y limitar su absorción por las plantas (Curaqueo et al., 2024). De modo que, el antibiótico es retenido por el biocarbón y su presencia en el suelo no afectaría significativamente la altura de la planta, es decir que la planta no estaría en contacto directo con el antibiótico disponible para ser absorbido (Silva Guerrero et al., 2022). Además, considerando la baja solubilidad (0.1 g/L) y poseer un coeficiente octanol agua (-0.14), hace que muestre preferencia por el agua sobre las membranas lipídicas, y que en efecto el ingreso sea notable, pero con una baja afinidad por las fases lipídicas (Ramos et al., 2022). Por lo tanto, el biocarbón podría actuar como un reservorio para el CIP, reduciendo sus efectos adversos sobre el crecimiento vegetal (Cabello-Torres et al.,

2021b). No obstante, nace el supuesto de formación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los mismos que son generados durante procesos de combustión y pirolisis (Vega et al., 2024), Una vez formados y presentes en el medio, pueden modificar el sistema celular de la planta, lo que desencadena la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Este proceso puede causar daño a las células vegetales y perjudicar el desarrollo de las plantas (Wang , 2019). Además, el aumento del pH asociado con la incorporación de biocarbón, más allá de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), estaría directamente relacionado con la oxidación de carboxilatos, estos compuestos desempeñan un papel fundamental en el suministro de energía y la producción de metabolitos esenciales para neutralizar radicales libres (Yao et al., 2024; Zhang et al., 2024a). En conjunto, estos procesos interactúan en el suelo, influyendo en los efectos sobre el crecimiento vegetal. Sin embargo, más allá de apreciar cambios en los tratamientos, no se puede concluir estadísticamente dichos casos.

## 4.3.Peso seco de biomasa radicular, longitud de la raíz y número de nódulos de alfalfa

### 4.3.1. Peso seco de biomasa radicular

**a). Formulación de Hipótesis**

- H0: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en el peso seco de biomasa radicular de alfalfa *(Medicago sativa).*
- Ha: El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa radicular de alfalfa *(Medicago sativa).*

**b). Estadístico de prueba**

Para determinar si el uso de biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el peso seco de biomasa radicular de

alfalfa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Antes de su aplicación, se verificaron los siguientes supuestos:

**Prueba de normalidad:** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.9809, superior al nivel de significancia 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de homogeneidad de varianza:** Se aplicó la prueba de Levene, obteniendo un p-valor de 0,7884. Al ser mayor a 0.05, entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Dado que ambos supuestos se cumplen, se procede con el análisis de varianza **(Tabla 9),** cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 9**

*ANOVA de 1 factor para peso seco de biomasa radicular*

| Peso seco de biomasa radicular | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | p-valor |
| **Tratamientos** | 4 | 3.929 | 0.9823 | 1.849 | 0.196 |
| **Error** | 10 | 5.314 | 0.5314 | | |
| **Total** | 14 | 9.243 | | | |

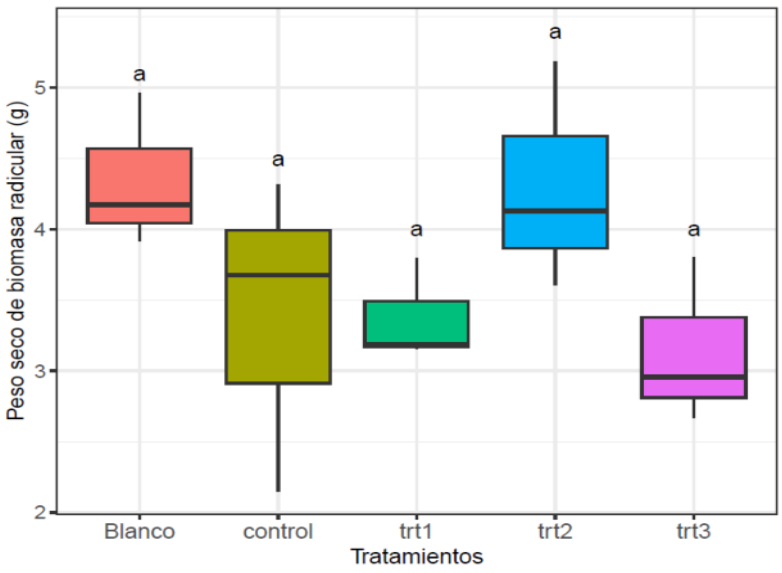
*Nota*: Si el p-valor es menor 0.05, entonces al menos uno de los tratamientos es diferente

**c). Toma de decisión**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor de p = 0.196> 0.05, lo cual es mayor al nivel de significancia, entonces se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula. Por tanto, se concluye el uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en el peso seco de biomasa radicular de alfalfa *(Medicago sativa).*

**Figura 23**

*Gráfico para peso seco de biomasa radicular*




*Nota:* Letras iguales indican que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

La aplicación de biocarbón de hueso de aceituna no influyo de manera significativa en el peso seco de biomasa radicular de la planta (P > 0,05). No obstante, los resultados **(Figura 23)** muestran variaciones claras entre tratamientos. El tratamiento blanco (sin ciprofloxacino ni biocarbón) presentó el mayor valor promedio de peso radicular, con 4.35 ± 0.55 g. En comparación, algunos tratamientos con biocarbón y ciprofloxacino mostraron reducciones notables. Trt1 (3 % de biocarbón) registró un promedio de 3.38 ± 0.36 g, lo que representa una disminución del 22.3 % respecto al blanco; asimismo, el Trt3 (5 % de biocarbón), con un valor promedio de 3.14 ± 0.59 g, equivalente a una disminución del 27.8 %, de ello se evidenciaría de estudios realizados por Carril et al., (2023), quienes mencionan que concentraciones mayores a 1 % presentarían alteraciones en el orden del crecimiento de la alfalfa. No obstante, más allá de presentar decrecimiento en los tratamientos (trt1 y tr3), se puede apreciar un comportamiento de crecimiento y adaptabilidad en la concentración de aplicación de biocarbón con 3 %, evidenciando así hormésis en planta (Ramos et al.,

2023); es decir que a concentraciones de 1 % la planta comienza a asimilar y por ende tiende a sufrir daño, más adelante la concentración de 3 % tiende a adaptarse y a reaccionar de manera positiva y que finalmente una concentración de 5 % de biocarbón terminaría con daño celular y problemas en señaléticas celulares (Li et al., 2023), además todo ello llevaría a modificaciones químicas (disminución de clorofila), afectando el proceso ontogénico de la alfalfa (Rydzyński et al., 2017), terminando así que las alteraciones en desarrollo y consecuentemente disminución en peso radicular. Es preciso mencionar que, una vez ingresante la presencia tanto de HAPs y CIP, se origina la generación desenfrenada y la sobreproducción de Ross (Panda et al., 2024); se considera a la raíz como las vías principales de dicho ingreso, y que esta su vez se realiza de forma activa (uso de energía en forma de ATP) o ingreso por proteínas transportadoras como las gliceroporinas, quienes serían las encargadas del transporte de moléculas de HAPs producidos durante la producción de biocarbón (Shen et al., 2016). Todo ello sería prueba principal que el ingreso y traslocación a través de las raíces facilite los daños en un principio. Pero esta el caso de una concentración como el tratamiento de 3% de biocarbón (trt2), donde se evidencie que el desarrollo y generación de peso de biomasa este vinculado con la posible fragmentación del CIP en un entorno de biocarbón y que estos a su vez sean promovedores de proteínas, liberación de nucleótidos y antioxidantes que estarían actuando como defensa y desarrollo (Ramos et al., 2023). Sin embargo, más allá de apreciar cambios en los tratamientos, no se puede concluir estadísticamente dichos casos.

### 4.3.2. Longitud de la raíz

#### a). Formulación de Hipótesis

- H0: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en la longitud de la raíz de alfalfa *(Medicago sativa).*

- Ha: El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en la longitud de la raíz de alfalfa *(Medicago sativa).*

**b). Estadístico de prueba**

Para determinar si el uso de biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en la longitud de la raíz de alfalfa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Antes de su aplicación, se verificaron los siguientes supuestos:

**Prueba de normalidad:** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.4429, superior al nivel de significancia 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de homogeneidad de varianza:** Se aplicó la prueba de Levene, obteniendo un p-valor de 0.2497. Al ser mayor a 0.05, entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Dado que ambos supuestos se cumplen, se procede con el análisis de varianza **(Tabla 10),** cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 10**

*ANOVA de 1 factor para longitud de raíz*

| | Longitud de la raíz | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | p-valor |
| **Tratamientos** | 4 | 10.34 | 2.585 | 0.456 | 0.767 |
| **Error** | 15 | 84.98 | 5.665 | | |
| **Total** | 19 | 95.32 | | | |

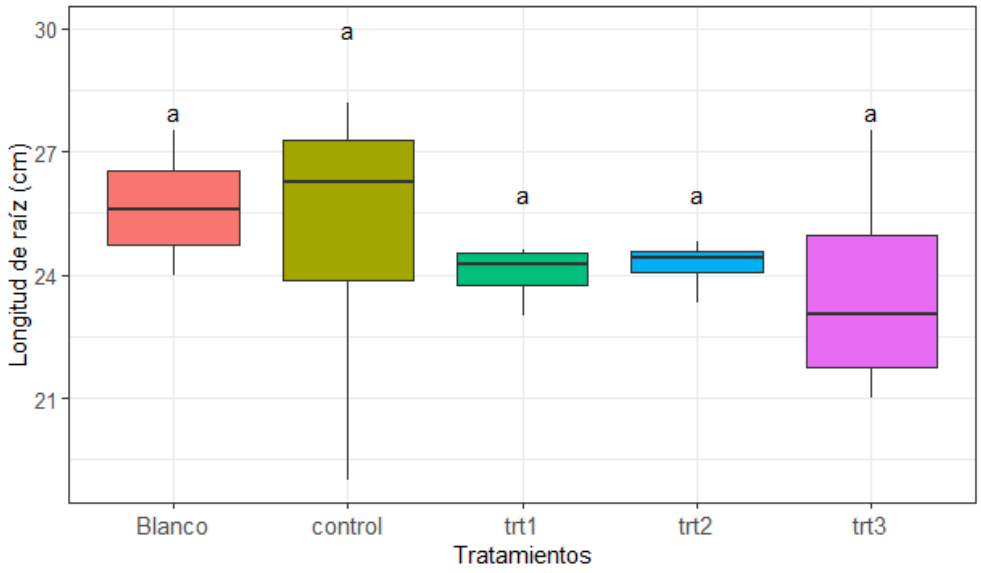
*Nota*: Si el p-valor es menor 0.05, entonces al menos uno de tratamientos es diferente

**c). Toma de decisión**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor de p = 0.767 > 0.05, lo cual es mayor al nivel de significancia, entonces se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula. Por tanto, se concluye el uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en la longitud de raíz de alfalfa *(Medicago sativa).*

**Figura 24**

*Gráfico para longitud de raíz*




*Nota:* Letras iguales indican que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

La aplicación de biocarbón de hueso de aceituna no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la longitud de la raíz de *Medicago sativa* (p > 0.05). No obstante, los resultados muestran variaciones relevantes entre los tratamientos **(Figura 24).** El tratamiento blanco (sin ciprofloxacino ni biocarbón) presentó la mayor longitud promedio, con 25.68 ± 1.51 cm, indicando condiciones óptimas para el crecimiento radicular. En comparación, el tratamiento control (con ciprofloxacino y sin biocarbón) mostró una ligera reducción con un promedio de 24.93 ± 4.10 cm, equivalente a una disminución del 2.92 % respecto al blanco. Los

tratamientos con biocarbón también evidenciaron descensos en la longitud radicular: trt1 (1 %) tuvo un promedio de 24.03 ± 0.73 cm (6.42 % menos que el blanco), trt2 (3 %) presentó 24.23 ± 0.65 cm (5.64 % de disminución), y trt3 (5 %) mostró la menor longitud, con 23.65 ± 2.87 cm, lo que representa una reducción del 7.88 %. Este efecto leve podría estar relacionado con cambios en la estructura del suelo provocados por la adición de biocarbón. lo que podría haber influido en el desarrollo radicular.

Estudios previos han asociado consistentemente la aplicación de biocarbón con una mejora en el crecimiento de las raíces debido a una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo (Joseph et al., 2021). Sin embargo, mencionan que la porosidad del suelo puede modificarse con la adición de biocarbón, dificultando la penetración al suelo, lo que puede influir en su longitud (Pérez-cabrera, 2021). Además, evidencias recientes destacan la importancia de la estructura de los poros del suelo bajo la aplicación de biocarbón, especialmente en lo que respecta a la resistencia a la penetración de las raíces y al contacto raíz-suelo (Rellán-álvarez et al., 2016). No obstante, sugieren que solo los poros del suelo de tamaño adecuado (por ejemplo, poros de 0,5 mm de diámetro) mejoran la absorción de agua o nutrientes por las raíces, ya que las raíces que crecen en estos poros hacen un buen contacto con las paredes de los poros (Xiong et al., 2022). Un estudio realizado con raíces de maíz reveló que la aplicación de biocarbón no aumentó la longitud de las raíces cuando el contacto raíz-suelo era limitado, en consecuencia, esto resalto que la distribución y el tamaño de los poros del suelo tienen un impacto en el rendimiento de los cultivos (Perkons et al., 2014). Por otro lado, la presencia de antibióticos, como el Ciprofloxacino, en el suelo puede alterar la microbiota asociada a las raíces, lo que disminuye la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, afectando negativamente su desarrollo radicular (Mayorga et al., 2024). Además, revelan que plantas pueden absorber grandes cantidades de contaminantes orgánicos, incluidos los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), a través del sistema radicular (Babula et al., 2013). Por consiguiente, los HAPs al ser compuestos contaminantes, al ingresar por las raíces pueden inducir estrés oxidativo en la planta, lo que genera un desequilibrio entre los

compuestos reactivos de oxígeno (ROS) y las defensas antioxidantes de la planta, causando daño a las células, proteínas y ADN (Farhangi-abriz & Torabian, 2017). Todo lo anterior podría haber contribuido a la disminución observada en la longitud de las raíces. Sin embargo, más allá de apreciar cambios en los tratamientos, no se puede concluir estadísticamente dichos casos.

### 4.3.3. Número de nódulos

**a). Formulación de Hipótesis**

- H0: El uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en el número de nódulos de alfalfa *(Medicago sativa).*
- Ha: El uso de biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el número de nódulos de alfalfa *(Medicago sativa).*

**b). Estadístico de prueba**

Para determinar si el uso de uso biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con Ciprofloxacino influye en el número de nódulos de alfalfa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Antes de su aplicación, se verificaron los siguientes supuestos:

**Prueba de normalidad:** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un p-valor de 0.1169, superior al nivel de significancia 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de homogeneidad de varianza:** Se aplicó la prueba de Levene, obteniendo un p-valor de 0.9976. Al ser mayor a 0.05, entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Dado que ambos supuestos se cumplen, se procede con el análisis de varianza **(Tabla 11),** cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 11**

*ANOVA de 1 factor para número de nódulos*

| | Número de nódulos | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | p-valor |
| **Tratamientos** | 4 | 18.27 | 4.567 | 1.851 | 0.196 |
| **Error** | 10 | 24.67 | 2.46 | | |
| **Total** | 14 | 42.94 | | | |

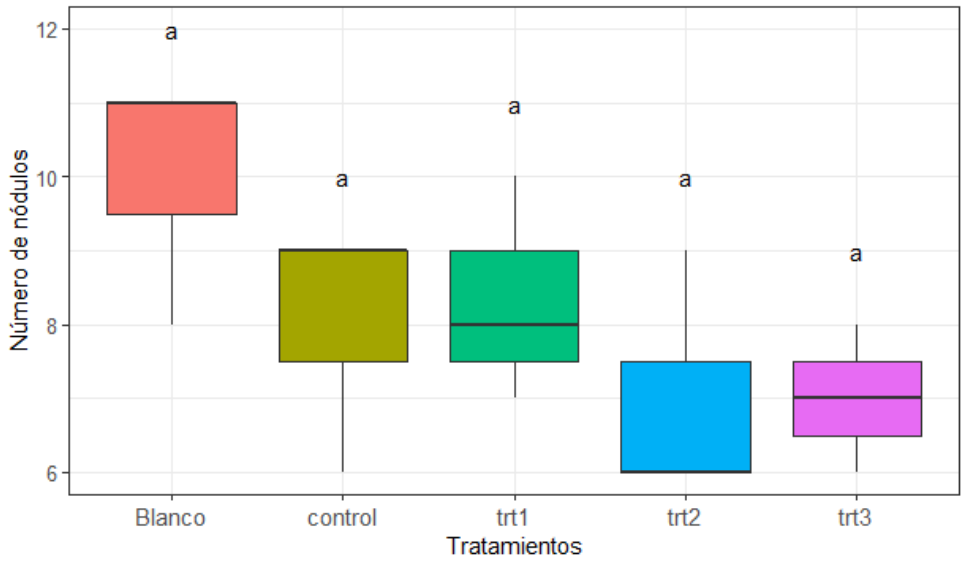
*Nota*: Si el p-valor es menor 0.05, entonces al menos uno de tratamientos es diferente

**c). Toma de decisión**

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor $p = 0.196 > 0.05$, lo cual es mayor al nivel de significancia, entonces se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula. Por tanto, se concluye el uso biocarbón de hueso de aceituna *(Olea europea)* en suelo contaminado con Ciprofloxacino no influye en el número de nódulos de alfalfa *(Medicago sativa).*

**Figura 25**

*Gráfico para  número de nódulos*




*Nota*: Letras iguales indican que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

Los resultados obtenidos muestran que no existe diferencia significativa estadísticamente en el uso de biocarbón en suelos contaminados con Ciprofloxacino (**Figura 25**). No obstante, se observaron reducciones notables en los promedios que permiten identificar ciertas tendencias. El tratamiento Blanco (sin biocarbón ni Ciprofloxacino) presentó el mayor promedio de nódulos (10 ± 1.73), evidenciando condiciones favorables para la nodulación. En comparación, el tratamiento control (con Ciprofloxacino, pero sin biocarbón) mostró un promedio de 8 ± 1.73, lo que representa una disminución del 20% respecto al blanco. Los tratamientos con biocarbón (Trt1, Trt2 y Trt3) también reflejaron reducciones: Trt1 registró 8.33 ± 1.53 (reducción del 16.7%), mientras que Trt2 y Trt3 presentaron promedios de 7 ± 1.73 y 7 ± 1.00 respectivamente, ambos con una disminución del 30% respecto al tratamiento blanco. Sugiriendo que el aumento del pH o la interacción entre biocarbón y Ciprofloxacino podrían estar causando un efecto en el número de nódulos.

La reducción observada podría atribuirse a la influencia de diversos factores que afectan tanto la nodulación como la fijación de nitrógeno por parte de los *Rhizobium*, siendo la disponibilidad de nitrógeno uno de los reguladores ambientales clave en el proceso de formación de nódulos (Zhang et al., 2023). La fijación simbiótica de nitrógeno depende del genotipo de la planta huésped, la cepa de *Rhizobium* y su interacción con factores edafoclimáticos y ambientales; asimismo, los extremos de pH también afectan la nodulación, ya que los suelos muy ácidos (pH < 4,0) suelen tener deficiencias de nutrientes esenciales y toxicidad por aluminio y manganeso, mientras que los suelos alcalinos (pH > 8,0) presentan alta salinidad y compuestos como cloruro de sodio y bicarbonato, lo que reduce la fijación de nitrógeno, afectando la nodulación (Bordeleau & Prevost, 1994). Al final de la cosecha del experimento, se midió el pH del suelo y los valores obtenidos fueron los siguientes: blanco 8.34, control 8.40, Trat1 8.56, Trat2 8.70 y Trat3 9.08, este incremento en el pH, confirmaría nuestros resultados pues en la tasa de nodulación se pudo apreciar una disminución del 30% en los tratamientos (Trt2 y Trt3) a comparación del control. Estudios de Melo & Afanasjeva (2022), corroboran que el biocarbón, al modificar la estructura del suelo puede interferir en las relaciones con bacterias simbióticas que facilitan la nodulación, por consiguiente, alterar las propiedades fisicoquímicas del suelo, como la humedad, el pH y el contenido de nutrientes, inducen condiciones desfavorables para el establecimiento de estas bacterias. En resumen, la presencia del CIP y los posibles cambios o generación de HAPs a través del biocarbón destacan la relevancia de comprender cómo estos contaminantes podrían estar directamente vinculados con la inactivación nodular y la producción de infoquímicos, como la 2-tridecanona, los cuales, a su vez, podrían dificultar la colonización microbiana (Santana et al., 2023; Patil et al., 2017).

## 5. CONCLUSIONES

- La aplicación de biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con ciprofloxacino tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de germinación de alfalfa. La adición de biocarbón al 1 % (trt1) atenuó el efecto negativo del antibiótico, mientras que concentraciones más altas (3 % y 5 %) resultaron en una reducción del 5.79 % **y** 8.31 %**,** re**s**pectivamente, en comparación con el trt1. Esto sugiere que, en presencia del antibiótico, concentraciones elevadas de biocarbón pueden generar condiciones desfavorables para la germinación.
- La aplicación de biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con ciprofloxacino presenta efecto estadísticamente significativo en el número de hojas, con una disminución de hasta 22.49 % y 26.17 % en los tratamientos con 1 % y 3 % de biocarbón, respectivamente, en comparación con el tratamiento blanco. Este efecto sugiere una posible alteración en el desarrollo foliar, relacionada con cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo inducidas por el biocarbón.
- La aplicación de biocarbón de hueso de aceituna en suelo contaminado con ciprofloxacino no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las variables de peso seco de biomasa aérea y radicular, altura de planta, longitud de raíz y número de nódulos.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda investigar el uso de biocarbón obtenido de diversas fuentes orgánicas y evaluar su efectividad en distintos cultivos y suelos contaminados.

Se sugiere realizar investigaciones adicionales para identificar la dosis óptima de biocarbón para minimizar los efectos negativos observados en el porcentaje de germinación y el desarrollo foliar de la alfalfa, esto podrían incluir una mayor variedad de concentraciones y combinaciones con otras enmiendas, considerando también los posibles efectos a largo plazo en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Se sugiere realizar estudios exhaustivos sobre el biocarbón de residuos de cultivos, su caracterización y los cambios después de la aplicación al suelo.

Se recomienda investigar los posibles contaminantes que se puedan generar durante el proceso de carbonización, como los HAPs, los cuales podrían ser analizados mediante cromatografía líquida o espectrometría de masas.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Aggelopoulos, C. A., Hatzisymeon, M., Tataraki, D., & Rassias, G. (2020). Remediation of ciprofloxacin-contaminated soil by nanosecond pulsed dielectric barrier discharge plasma: Influencing factors and degradation mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, *393*(March). https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124768

Al-Buriahi, A. K., Al-shaibani, M. M., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A. A., Sharma, A., & Ismail, N. (2022). Ciprofloxacin removal from non-clinical environment: A critical review of current methods and future trend prospects. *Journal of Water Process Engineering*, *47*(December 2021), 102725. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102725

Albarano, L., Guadalupe, E., Suarez, P., Maggio, C., La, A., Iovine, R., Lofrano, G., Guida, M., Vaiano, V., Carotenuto, M., & Libralato, G. (2024). Science of the Total Environment Assessment of ecological risks posed by veterinary antibiotics in European aquatic environments : A comprehensive review and analysis. *Science of the Total Environment*, *954*(September), 176280. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176280

Albero, B., Tadeo, J. L., Escario, M., Miguel, E., & Pérez, R. A. (2018). Persistence and availability of veterinary antibiotics in soil and soil-manure systems. *Science of the Total Environment*, *643*, 1562–1570. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.314

Allen, H. K., Donato, J., Wang, H. H., Cloud-Hansen, K. A., Davies, J., & Handelsman, J. (2010). Call of the wild: antibiotic resistance genes in natural environments. *Nature Reviews. Microbiology*, *8*(4), 251–259. https://doi.org/10.1038/NRMICRO2312

Altamar, R., & Olivar, R. (2019). *procesamiento de la aceituna negra y verde en salmuera , que tambien se dirige a mercados como mediana empresa correspondiente*.

Aridas, Z., Bibliográfica, R., Durán, P., Forestal, I., Silvicultura, D., Forestal, I., Barbe, M., & Forestal, I. (1994). *EL OLIVO (Olea europea L.) UNA ESPECIE DE INTERES PARA ZONAS ARIDAS y SEMIARIDAS.*

Atamisqui, D., & Estero, S. D. E. L. (2019). *T e s i s*.

Babula, P., Ván, L., & Kummerová, M. (2013). *Chemosphere Root response in Pisum sativum and Zea mays under fluoranthene stress : Morphological and anatomical traits*. *90*, 665–673. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.047

Bai, X., Zhang, S., Shao, J., Chen, A., Jiang, J., Chen, A., & Luo, S. (2022). Journal of Environmental Chemical Engineering Exploring the negative effects of biochars on the germination , growth , and antioxidant system of rice and corn. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *10*(3), 107398. https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107398

Barrezueta Unda, S., Dominguez Sanchez, C. A., & Añazco Loaiza, H. (2024). Impacto de la fertilización con biocarbón y SiO2 en el desarrollo del banano. *Manglar*, *21*(1), 87–93. https://doi.org/10.57188/manglar.2024.009

Basigalup D. y Rossanigo R. (2007). Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. *El Cultivo de La Alfalfa En La Argentina. Ediciones INTA*, 15.

Bazán, R. (2017). M p a s a f r. *Manual De Procedimientos De Los Análisis De Suelos Y Agua Con Fines De Riego*, 89. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf

Bisso-Andrade, A. (2018). *Fundamentos básicos de la terapia antimicrobiana* (Vol. 31, Issue 1, pp. 10–23).

Bisso, A. (2018). Resistencia a los antimicrobianos Resistance to antimicrobials. *Sociedad Peruana de Medicina Interna*, *31*(2), 50–59.

Bordeleau, L. M., & Prevost, D. (1994). *Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments*. 115–125.

Briones, W. A. (2017). El cultivo de pimiento(Capsicum annum L) y su respuesta a la aplicación de carbón vegetal (Biochar) en la zona Baba- Ecuador. *Tesis de Licenciatura*, 1–70.

Cabello-Torres, R. J., Romero-Longwell, J. R., Valdiviezo-Gonzales, L., Munive-Cerrón, R., & Castañeda-Olivera, C. A. (2021). Biochar derived from pig manure with ability to reduce the availability of Pb in contaminated agricultural soils. *Scientia Agropecuaria*, *12*(4), 461–470. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.050

Cabrera, N., Jugo, L., & Carrasco, A. (2023). *Banco Central de Reserva del Perú sucursal Arequipa Caracterización del departamento de Moquegua*. 5. https://maps.google.com/

Campoli-Richards, D. M., Monk, J. P., Price, A., Benfield, P., Todd, P. A., & Ward, A. (1988). Ciprofloxacin: A Review of its Antibacterial Activity, Pharmacokinetic Properties and Therapeutic Use. *Drugs*, *35*(4), 373–447. https://doi.org/10.2165/00003495-198835040-00003

Capio, J. (2011). *EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE CINCO FERTILIZANTES FOLIARES CON TRES DOSIS EN EL CULTIVO ESTABLECIDO DE ALFALFA (Medicago sativa L.) VARIEDAD MORADA EXTRANJERA*. 1–78. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/786/1/13T0708CARPIO JOSE.pdf

Carril, P., Ghorbani, M., & Loppi, S. (2023). *Effect of Biochar Type , Concentration and Washing Conditions on the Germination Parameters of Three Model Crops*. 1–12.

Cheong, M. S., Seo, K. H., Chohra, H., Yoon, Y. E., Choe, H., Kantharaj, V., & Lee, Y. B. (2020). Influence of sulfonamide contamination derived from veterinary antibiotics on plant growth and development. *Antibiotics*, *9*(8), 1–18. https://doi.org/10.3390/antibiotics9080456

Choi, S., Sim, W., Jang, D., Yoon, Y., Ryu, J., Oh, J., Woo, J. S., Kim, Y. M., & Lee, Y. (2020). Antibiotics in coastal aquaculture waters: Occurrence and elimination efficiency in oxidative water treatment processes. *Journal of Hazardous Materials*, *396*(January), 122585. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122585

Clavijo, E. (2011). PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRICIONAL DE LA ALFALFA (Medicago sativa) SEMBRADA EN DOS AMBIENTES DIFERENTES Y COSECHADA EN DISTINTOS ESTADIOS FENOLÓGICOS. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, *1*, 1–35.

Conz, R. F. (2015). *Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura*. https://doi.org/10.11606/D.11.2015.TDE-13052015-142608

Cotrina-Teatino, M. A., Rondo-Layza, L. O., Marquina-Araujo, J., & Martínez Díaz, R. M. (2024). Environmental bioremediation of soils contaminated by mining: bibliometric analysis. *Revista Ciencia y Tecnología*, *20*(2), 77–85. https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2024.02.05

Cristina, D., Rocha, S., Santos, D., Loise, S., Calado, D. M., & Pedrosa, M. (2021). *Science of the Total Environment Veterinary antibiotics and plant physiology : An overview*. *767*.

Cui, L., Yin, C., Chen, T., Quan, G., Ippolito, J. A., Liu, B., Yan, J., Ding, C., Hussain, Q., & Umer, M. (2019). Remediation of organic halogen- contaminated wetland soils using biochar. *Science of the Total Environment*, *696*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134087

Curaqueo, G., Martín, A. P., Cayunao, S., Morovic, D., Catalán, F., Gutierrez, B., & González, A. (2024). *agrícolas y el secuestro de carbono*. *11*, 29166.

De, E., Veatch, J., Gedan, K., & Tully, K. L. (2020). The effects of saltwater intrusion

on germination success of standard and alternative crops. *Environmental and Experimental Botany*, *180*(June), 104254. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104254

Delgado, R. E. Z., & Fabi, D. (2015). *LA ALFALFA ( Medicago sativa ): ORIGEN , MANEJO Y PRODUCCIÓN*. 27–43.

Dong, X., Chu, Y., Tong, Z., Sun, M., Meng, D., Yi, X., Gao, T., Wang, M., & Duan, J. (2024). Mechanisms of adsorption and functionalization of biochar for pesticides: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *272*(40), 116019. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116019

Duan, M., Li, H., Gu, J., Tuo, X., Sun, W., Qian, X., & Wang, X. (2017). Effects of biochar on reducing the abundance of oxytetracycline, antibiotic resistance genes, and human pathogenic bacteria in soil and lettuce. *Environmental Pollution*, *224*, 787–795. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.021

Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana*, *34*, 367–382. http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf

Estad, A., & Agropecuario, S. (2016). *Anuario estadístico del sector agropecuario 2016.* 295 páginas. http://hdl.handle.net/20.500.12324/34404

Farhangi-abriz, S., & Torabian, S. (2017). Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *137*(December 2016), 64–70. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.029

Fedeli, R., Fiaschi, T., Simone, L. De, Angiolini, C., Maccherini, S., Loppi, S., & Fanfarillo, E. (2024). *Low Concentrations of Biochar Improve Germination and Seedling Development in the Threatened Arable Weed Centaurea cyanus*.

Girardi, C., Greve, J., Lamshöft, M., Fetzer, I., Miltner, A., Schäffer, A., & Kästner, M. (2011). Biodegradation of ciprofloxacin in water and soil and its effects on the microbial communities. *Journal of Hazardous Materials*, *198*, 22–30. https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2011.10.004

Gomes, M. P., de Brito, J. C. M., Carvalho Carneiro, M. M. L., Ribeiro da Cunha, M. R., Garcia, Q. S., & Figueredo, C. C. (2018). Responses of the nitrogen-fixing aquatic fern Azolla to water contaminated with ciprofloxacin: Impacts on biofertilization. *Environmental Pollution*, *232*, 293–299. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.054

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

Gomes, M. P., Richardi, V. S., Bicalho, E. M., da Rocha, D. C., Navarro-Silva, M. A., Soffiatti, P., Garcia, Q. S., & Sant'Anna-Santos, B. F. (2019). Effects of Ciprofloxacin and Roundup on seed germination and root development of maize. *Science of the Total Environment*, *651*(October 2018), 2671–2678. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.365

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

González, C. (2017). *No TitlESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LIBERACIÓN DE CIPROFLOXACINO A PARTIR DE BIOMATERIALES MESOESTRUCTURADOS SINTETIZADOS VÍA SOL-GELe*. 103.

Gorim, L., & Asch, F. (2012). Effects of Composition and Share of Seed Coatings on the Mobilization Efficiency of Cereal Seeds During Germination. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *198*(2), 81–91. https://doi.org/10.1111/J.1439-037X.2011.00490.X

Grijalva, J., Espinosa, F., & Hidalgo, M. (1995). Produccion y utilizacion de pastizales en la regiòn Interandina del Ecuador. *Instituto Nacional Autonomo De Investigaciones Agropecuarias-Ecuador*, *30*, 1–59.

Gutiérrez, G. O., Telez, L. M., Espinosa, A. E., & Preciado, J. F. C. (2021). Bamboo biocharcoal as soil fertility enhancer in sugar cane. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *12*(65). https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.780

Haro, N. E. (2020). *Descripción del Cultivo deOlivo (Olea europea L.)*. 63. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/HARO MONTOYA NANCY EUGENIA_compressed.pdf

Hernández-Ochandía, D., Regalado, R. E., López Perdomo, L., Cabrera, I. M., & Rodríguez Hernández, M. G. (2024). Biocarbón enriquecido con abonos orgánicos sobre grupos tróficos de nematodos de suelo. *Avances En Investigación Agropecuaria*, *28*(1), 118–125. https://doi.org/10.53897/revaia.24.28.21

Hernández, F., Calısto-Ulloa, N., Gómez-Fuentes, C., Gómez, M., Ferrer, J., González-Rocha, G., Bello-Toledo, H., Botero-Coy, A. M., Boıx, C., Ibáñez, M., &

Montory, M. (2019). Occurrence of antibiotics and bacterial resistance in wastewater and sea water from the Antarctic. *Journal of Hazardous Materials*, *363*(March 2018), 447–456. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.027

Idrees, M., Haq Khan, Z. U., Sabahat, S., Sun, J., Shah, N. S., & Iqbal, J. (2025). Advancements in photocatalytic systems for ciprofloxacin degradation, efficiency, mechanisms, and environmental considerations. *Journal of Molecular Liquids*, *424*(February), 127115. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2025.127115

Inyinbor, A. A., Tsopmo, A., & Udenigwe, C. C. (2021). Antibiotics threats on vegetables and the perils of low income nations practices. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *21*(May), 100448. https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100448

Ji, X., Feng, J., Li, C., Han, S., Sun, M., Feng, J., Sun, H., Fan, J., & Guo, W. (2020). Corncob biochar as a coating for trace analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in water samples by online in-tube solid-phase microextraction coupled to high performance liquid chromatography. *Microchemical Journal*, *159*(May), 105399. https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105399

Joseph, S., Cowie, A. L., & Zwieten, L. Van. (2021). *How biochar works , and when it doesn ' t : A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar*. *June*, 1731–1764. https://doi.org/10.1111/gcbb.12885

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*, 146333. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146333

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

Kumar, M., Jaiswal, S., Sodhi, K. K., Shree, P., Singh, D. K., Agrawal, P. K., & Shukla, P. (2019). Antibiotics bioremediation: Perspectives on its ecotoxicity and resistance. *Environment International*, *124*(December 2018), 448–461. https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.065

Lessonia, P., Abalon, E. L., El, E. N., Acuícola, C., Sama, M., & Yaras, L. A. S. (2018). *Universidad nacional de moquegua escuela profesional de ingeniería pesquera*.

Li, Y., Shen, F., Guo, H., & Wang, Z. (2015). *Phytotoxicity assessment on corn stover biochar , derived from fast pyrolysis , based on seed germination , early growth , and potential plant cell damage*. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4115-5

Lillenberg, M., Litvin, S. V, Nei, L., Roasto, M., & Sepp, K. (2010). Enrofloxacin and Ciprofloxacin Uptake by Plants from Soil. *Agronomy Research*, *8*(1), 807–814.

Liu, K., Yu, B., Luo, K., Liu, X., & Bai, L. (2016). Reduced sulfentrazone phytotoxicity through increased adsorption and anionic species in biochar-amended soils. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 23, Issue 10, pp. 9956–9963). https://doi.org/10.1007/s11356-016-6212-5

Lopardo, H. A. (coordinador ). (2020). Antibioticos Clasificacion, Estructura, Mecanismos De Accion Y Resitencia . *Libros de Cátedra*, 191. www/Desktop/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf

Luo, C., Zhang, L., Ali, M. M., Xu, Y., & Liu, Z. (2024). *Environmental risk substances in soil on seed germination : Chemical species , inhibition performance , and mechanisms*. *472*(May).

Malhotra, M., Aboudi, K., Pisharody, L., Singh, A., Banu, J. R., Kumar, S., Singh, R., & Kumar, V. (2022). *Biorefinery of anaerobic digestate in a circular bioeconomy : Opportunities , challenges and perspectives*. *166*(May).

Mangala, S., Norashikin, S., Shaifuddin, M., Sukiman, S., Adzima, F., Nasir, M., Hana, Z., Kamarudin, N., Hanidza, T., Ismail, T., & Zaharin, A. (2018). *Science of the Total Environment Pharmaceuticals residues in selected tropical surface water bodies from Selangor ( Malaysia ): Occurrence and potential risk assessments*. *642*, 230–240. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.058

Manikandan, S., Vickram, S., & Subbaiya, R. (2023). Bioresource Technology Comprehensive review on recent production trends and applications of biochar for greener environment. *Bioresource Technology*, *388*(August), 129725. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129725

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*, 112193. https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2021.112193

Martínez, I., Soto, J., & Lahora, A. (2020). Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, *29*(3), 2070. https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2070

Mayorga-romero, S. A., Gabriel, O., Cunalata, T., & Haro-flores, Y. E. (2024). *Santiago Alberto Mayorga-Romero*. *9*(7), 492–515.

Melo Lozano, H. A., & Afanasjeva, N. (2022). Efecto de la aplicación de biochar en la

actividad microbiana en suelos: Revisión. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *21*(2), 193–209. https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2197

Mielke, K. C., Laube, A. F. S., Guimarães, T., Brochado, M. G. da S., Medeiros, B. A. de P., & Mendes, K. F. (2022). Pyrolysis Temperature and Application Rate of Sugarcane Straw Biochar Influence Sorption and Desorption of Metribuzin and Soil Chemical Properties. *Processes*, *10*(10), 1924. https://doi.org/10.3390/pr10101924

MINAGRI. (2022). *GUÍA TÉCNICA DEL CULTIVO DE OLIVO EN LA REGIÓN TACNA*.

Montes de Campo, N. (2016). Eliminación de contaminantes (antibióticos) en sistemas de tratamiento de a...: AlcorZe. *Https://Dialnet.Unirioja.Es/Serv*. http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=11&sid=20e3df98-1afa-479a-b330-0a8cabe74eee%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3D%3D#AN=edsbas.ftunivrioja.oai.dialnet.unirioja.es.TES0000017620&db=edsbas%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/se

Ñaupas, H., & Paitán, Marcelino Raúl Valdivia Dueñas, Jesús Josefa Palacios Vilela, H. E. R. D. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Nie, X. P., Liu, B. Y., Yu, H. J., Liu, W. Q., & Yang, Y. F. (2013). Toxic effects of erythromycin, ciprofloxacin and sulfamethoxazole exposure to the antioxidant system in Pseudokirchneriella subcapitata. *Environmental Pollution*, *172*, 23–32. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2012.08.013

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

Noé, B. M. (2005). *Guía para el Manejo de Praderas de Alfalfa*. http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/unarrow/0028D.pdf

Ortega, A., & Olaya, M. (2023). Aplicación de biocarbón como estrategia de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos Adding biochar as a strategy for clean-up of hydrocarbon-contaminated soils. *Gestión y Ambiente*, *26*(1), 1–16.

Ourghanlian, C., Lapidus, N., Antignac, M., Fernandez, C., Dumartin, C., & Hindlet, P. (2020). Pharmacists' role in antimicrobial stewardship and relationship with

antibiotic consumption in hospitals: An observational multicentre study. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, *20*, 131–134. https://doi.org/10.1016/j.jgar.2019.07.009

Palansooriya, K. N., Ok, Y. S., Awad, Y. M., Lee, S. S., Sung, J., Koutsospyros, A., & Hyun, D. (2019). Impacts of biochar application on upland agriculture : A review. *Journal of Environmental Management*, *234*(January), 52–64. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.085

Pandey, S., & Gupta, S. (2020). Diversity analysis of ACC deaminase producing bacteria associated with rhizosphere of coconut tree (Cocos nucifera L.) grown in Lakshadweep islands of India and their ability to promote plant growth under saline conditions. *Journal of Biotechnology*, *324*, 183–197. https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2020.10.024

Pap, S., Bezanovic, V., Radonic, J., Babic, A., Saric, S., Adamovic, D., & Turk Sekulic, M. (2018). Synthesis of highly-efficient functionalized biochars from fruit industry waste biomass for the removal of chromium and lead. *Journal of Molecular Liquids*, *268*, 315–325. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.07.072

Pari Hilasaca Porfirio Rogelio. (2023). *Moquegua: ANUARIO ESTADÍSTICO AGROPECUARIO 2023*.

Pérez-cabrera, C. A. (2021). *Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas Resumen*. 713–725.

Pérez-Cabrera, C. A., Juarez-Lopez, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejacal, I., Salcedo-Pérez, E., & Balois-Morales, R. (2021). Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(4), 713–725. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2542

Perkons, U., Kautz, T., Uteau, D., Peth, S., Geier, V., Athmann, M., Pude, R., Ko, U., Thomas, K., & Lu, K. (2014). *Soil & Tillage Research Root-length densities of various annual crops following crops with contrasting root systems*. *137*, 50–57. https://doi.org/10.1016/j.still.2013.11.005

Petronijevi, M., & Milanovi, M. (2021). *Colloids and Surfaces B : Biointerfaces Characterization and application of biochar-immobilized crude horseradish peroxidase for removal of phenol from water*. *208*(March). https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.112038

Pichai, E., & Lakshmanan, M. (2022). Drug Elimination. *Introduction to Basics of Pharmacology and Toxicology: Volume 1: General and Molecular Pharmacology: Principles of Drug Action*, 117–129. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9779-1_8

Pommier, Y., Leo, E., Zhang, H., & Marchand, C. (2010). DNA topoisomerases and their poisoning by anticancer and antibacterial drugs. *Chemistry and Biology*, *17*(5), 421–433. https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2010.04.012

Pourbabaee, A. A., Khazaei, M., Alikhani, H. A., & Emami, S. (2021). Root nodulation of alfalfa by Ensifer meliloti in petroleum contaminated soil. *Rhizosphere*, *17*(November 2020), 100305. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100305

Prieto, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal. *Tesis*, 21. http://www.uco.es/investiga/grupos/ecologiavegetal/images/stories/pdf/biochar.pdf

Qi, X., Zhao, R., Zhang, X., Ru, S., & Xiong, J. (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*. *485*(September 2024).

Qin, Y., Li, G., Gao, Y., Zhang, L., Sik, Y., & An, T. (2018). Persistent free radicals in carbon-based materials on transformation of refractory organic contaminants ( ROCs ) in water : A critical review. *Water Research*, *137*, 130–143. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.012

Quaik, S., Embrandiri, A., Ravindran, B., Hossain, K., Al-Dhabi, N. A., Arasu, M. V., Ignacimuthu, S., & Ismail, N. (2020). Veterinary antibiotics in animal manure and manure laden soil: Scenario and challenges in Asian countries. *Journal of King Saud University - Science*, *32*(2), 1300–1305. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.11.015

Quiroga, H. M. (2013). Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *4*, 503–516.

Raj, S., Kumar, G., Vickram, A. S., Rani, R., Di, C., Rohini, K., Anbarasu, K., & Thanigaivel, S. (2022). *Bioresource Technology Efficiency of various biofilm carriers and microbial interactions with substrate in moving bed-biofilm reactor for environmental wastewater treatment*. *359*(May).

Raj, S., Vickram, A. S., Manikandan, S., Subbaiya, R., Karmegam, N., Ravindran, B., Woong, S., & Kumar, M. (2022). *Bioresource Technology Enhanced biogas production from food waste and activated sludge using advanced techniques – A review*. *355*(April).

Ramesh, M., Sujitha, M., Anila, P. A., Ren, Z., & Poopal, R. K. (2021). Responses of Cirrhinus mrigala to second-generation fluoroquinolone (ciprofloxacin) toxicity: Assessment of antioxidants, tissue morphology, and inorganic ions. *Environmental Toxicology*, *36*(5), 887–902. https://doi.org/10.1002/tox.23091

Rathi, B. S., Kumar, P. S., & Show, P. L. (2021). A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research. *Journal of Hazardous Materials*, *409*(October 2020), 124413. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124413

Rellán-álvarez, R., Lobet, G., & Dinneny, J. R. (2016). *Environmental Control of Root System Biology*. 1–26. https://doi.org/10.1146/))

Reyes-pallazhco, J., Leon-cabrera, P., & Barrezueta-unda, S. (2023). *Respuesta del cultivo de banano a diferentes proporciones de microorganismos y biochar en dos texturas de suelo Banana crop response to different proportions of microorganisms and biochar in two soil textures*. *20*(2), 109–115.

Riaz, L., Mahmood, T., Coyne, M. S., Khalid, A., Rashid, A., Hayat, M. T., Gulzar, A., & Amjad, M. (2017). Physiological and antioxidant response of wheat (Triticum aestivum) seedlings to fluoroquinolone antibiotics. *Chemosphere*, *177*, 250–257. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.033

Rodriguez-Mozaz, S., Vaz-Moreira, I., Varela Della Giustina, S., Llorca, M., Barceló, D., Schubert, S., Berendonk, T. U., Michael-Kordatou, I., Fatta-Kassinos, D., Martinez, J. L., Elpers, C., Henriques, I., Jaeger, T., Schwartz, T., Paulshus, E., O'Sullivan, K., Pärnänen, K. M. M., Virta, M., Do, T. T., … Manaia, C. M. (2020). Antibiotic residues in final effluents of European wastewater treatment plants and their impact on the aquatic environment. *Environment International*, *140*(December 2019), 105733. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105733

Rodríguez-mozaz, S., Verlicchi, P., & Buttiglieri, G. (2024). *Selection of pharmaceuticals of concern in reclaimed water for crop irrigation in the Mediterranean area*. *466*(January). https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133538

Rojas, A. F., & Burgos, J. M. B. (2008). Caracterización morfológica del carbonizado de carbones pulverizados: Determinación experimental. *Revista Facultad de Ingenieria*, *43*, 42–58.

Rosado Suárez, A. E. (2011). Utilización de diferentes produndidades produndidades de labranza mínima en el establecimiento de alfalfa (Medicago sativa) y su efecto en los rendimientos productivos. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 4–6. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1025/1/17T01039.pdf

Sabri, N. A., Schmitt, H., Zaan, B. Van Der, Gerritsen, H. W., Zuidema, T., Rijnaarts, H. H. M., & Langenhoff, A. A. M. (2020). Journal of Environmental Chemical Engineering Prevalence of antibiotics and antibiotic resistance genes in a wastewater effluent-receiving river in the Netherlands. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(1), 102245. https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.004

Shi, R., Ni, N., Nkoh, J., Li, J., Xu, R., & Qian, W. (2019). *Chemosphere Bene fi cial dual role of biochars in inhibiting soil acidi fi cation resulting from nitri fi cation*. *234*, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.030

Silva Guerrero, C. M., Oré Cierto, L. E., & Loarte Aliaga, W. C. (2022). Biocarbón de biomasa residual agrícola y su influencia en la inmovilización de cadmio en el suelo. *Qantu Yachay*, *2*(2), 81–99. https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i2.32

Singh, S., Khan, N. A., Shehata, N., Singh, J., & Ramamurthy, P. C. (2024). Insight into biochar as sustainable biomass: production methods, characteristics, and environmental remediation. *Journal of Cleaner Production*, *475*(December 2023), 143645. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624030944

Sun, Y., Guo, Y., Shi, M., Qiu, T., Gao, M., Tian, S., & Wang, X. (2021). Effect of antibiotic type and vegetable species on antibiotic accumulation in soil-vegetable system, soil microbiota, and resistance genes. *Chemosphere*, *263*, 128099. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128099

Szymańska, U., Wiergowski, M., Sołtyszewski, I., Kuzemko, J., Wiergowska, G., & Woźniak, M. K. (2019). Presence of antibiotics in the aquatic environment in Europe and their analytical monitoring: Recent trends and perspectives. *Microchemical Journal*, *147*(April), 729–740. https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.04.003

Tao, Y., Han, S., Zhang, Q., Yang, Y., Shi, H., Akindolie, M. S., Jiao, Y., Qu, J., Jiang, Z., Han, W., & Zhang, Y. (2020). Application of biochar with functional microorganisms for enhanced atrazine removal and phosphorus utilization. *Journal of Cleaner Production*, *257*, 120535. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120535

Tasho, R. P., & Cho, J. Y. (2016). Veterinary antibiotics in animal waste, its distribution in soil and uptake by plants: A review. *Science of the Total Environment*, *563–564*(3), 366–376. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.140

Thies, J. E., Singleton, P. W., & Ben Bohlool, B. (1991). Influence of the Size of Indigenous Rhizobial Populations on Establishment and Symbiotic Performance of Introduced Rhizobia on Field-Grown Legumest. In *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY* (Vol. 57, Issue 1). https://journals.asm.org/journal/aem

Vilca, F. Z., Loayza, O. D. V., Ponce, T. E. L., Junqueira, L. V., Galarza, N. C., Torres, N. H., Ferreira, L. F. R., Pinheiro, J. H. P. A., & Tornisielo, V. L. (2022). Presence of enrofloxacin residues in soil and its effect on carbon fixation, number of nodules, and root length of alfalfa (Medicago sativa). *Journal of Hazardous*

*Materials Advances*, *7*(April), 100100. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100100

Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, *227*, 1002–1022. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282

Xiong, P., Zhang, Z., Guo, Z., & Peng, X. (2022). Soil & Tillage Research Macropores in a compacted soil impact maize growth at the seedling stage : Effects of pore diameter and density. *Soil & Tillage Research*, *220*(71), 105370. https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105370

Yang, Xin, Zhang, P., Wei, Z., Liu, J., Hu, X., & Liu, F. (2022). Effects of elevated CO2 and nitrogen supply on leaf gas exchange, plant water relations and nutrient uptake of tomato plants exposed to progressive soil drying. *Scientia Horticulturae*, *292*(October 2021), 110643. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110643

Yang, Xiuru, Chen, Z., Zhao, W., Liu, C., Qian, X., Zhang, M., Wei, G., Khan, E., Hau Ng, Y., & Sik Ok, Y. (2021). Recent advances in photodegradation of antibiotic residues in water. *Chemical Engineering Journal*, *405*(June 2020), 126806. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126806

Zahed, M. A., Salehi, S., Madadi, R., & Hejabi, F. (2021). Biochar as a sustainable product for remediation of petroleum contaminated soil. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *4*(December 2020), 100055. https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100055

Zhang, J., Zhang, X., Li, X., Song, Z., Shao, J., Zhang, S., Yang, H., & Chen, H. (2024). Prediction of CO2 adsorption of biochar under KOH activation via machine learning. *Carbon Capture Science and Technology*, *13*(August), 100309. https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100309

Zhang, L., Meng, Y., Xie, B., Ni, Z., & Xia, S. (2023). *Br doping promotes the transform of Cu 2 O ( 100 ) to Cu 2 O ( 111 ) and facilitates efficient photocatalytic degradation of tetracycline*. *548*(June). https://doi.org/10.1016/j.mcat.2023.113431

Zhang, W., Li, J., Li, H., & Zhang, D. (2023). *Transcriptomic analysis of humic acid in relieving the inhibitory effect of high nitrogen on soybean nodulation*. *July*, 1–13. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1196939

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. (2018a). Intraspecific variability of ciprofloxacin accumulation, tolerance, and metabolism in Chinese flowering cabbage (Brassica parachinensis). *Journal of Hazardous Materials*,

*349*(January), 252–261. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.015

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. (2018b). Intraspecific variability of ciprofloxacin accumulation, tolerance, and metabolism in Chinese flowering cabbage (Brassica parachinensis). *Journal of Hazardous Materials*, *349*(June 2017), 252–261. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.015

Zirena, F. V., Loayza, O. D., Tatiana Edith Laura Ponce, Junqueira, L. V., Galarza, N. C., Torres, N. H., Ferreira, L. F. R., Pinheiro, J. H. P. A., & Tornisielo, V. L. (2022). Presence of enrofloxacin residues in soil and its effect on carbon fixation, number of nodules, and root length of alfalfa (Medicago sativa). *Journal of Hazardous Materials Advances*, *7*(May), 100100. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100100

Zirena, F. V., Tornisielo, V. L., Aguilar, J. L. C., Ponce, T. E. L., & Loayza, O. D. V. (2022). *Presencia de fluoroquinolonas, sulfonamidas y tetraciclinas en el suelo y su efecto en la simbiosis de leguminosa y Rhizobium sp.*

# 8. ANEXOS

## ANEXO 1: Panel fotográfico del experimento

**Fotografía 1**

*Huesos de aceituna previamente lavados y listos para su uso en el proceso de carbonización.*



**Fotografía 2**

*Preparación de huesos de aceituna en crisoles para carbonización en mufla*






**Fotografía 3**

*Trituración del biocarbón de hueso de aceituna utilizando una licuadora Oster.*




**Fotografía 4**

*Tamizado del biocarbón triturado con la finalidad de obtener partículas finas.*



**Fotografía 5**
*Conducción del experimento*


















**Fotografía 6**

*Preparación de tratamientos en placas petri y preparación de semillas*



**Fotografía 7**

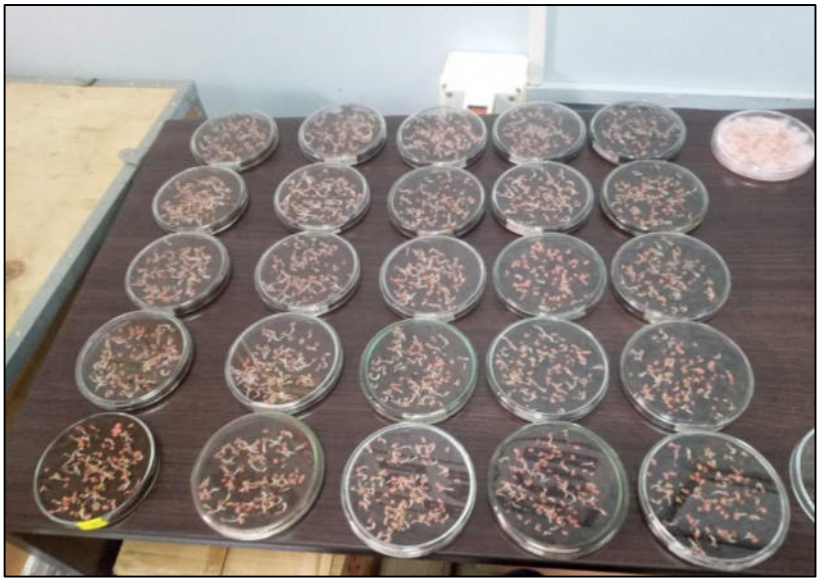
*Contaminación del suelo con Ciprofloxacino para evaluar el porcentaje de germinación*



**Fotografía 8**
*Colocación de semillas en las placas petri previamente preparadas*



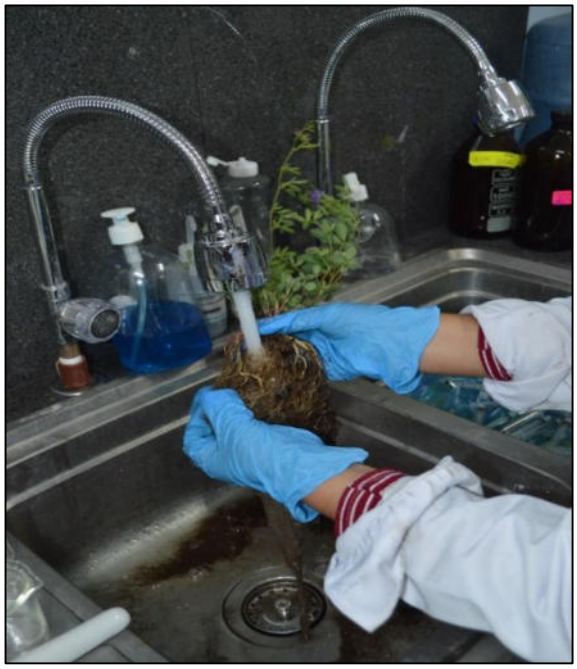
**Fotografía 9**
*Germinación de semillas de alfalfa*



**Fotografía 10**
*Cosecha de alfalfa y remoción del suelo adherido a las raíces*



**Fotografía 11**
*Limpieza de las raíces de alfalfa con agua para eliminar completamente los residuos de suelo, permitiendo una observación detallada del sistema radicular.*



**Fotografía 12**

*Crecimiento de alfalfa bajo diferentes concentraciones de biocarbón*




**Fotografía 13**

*Formación de nódulos en alfalfa*



**Fotografía 14**

*Conteo de nódulos en las raíces de alfalfa como parte de la evaluación experimental.*



**Fotografía 15**

*Medición de altura de alfalfa*



**Fotografía 16**
*Medición de la longitud de la raíz de alfalfa para analizar el desarrollo radicular en condiciones experimentales.*



**Fotografía 17**
*Conteo de numero de hojas en alfalfa*



**Fotografía 18**

*Secado de biomasa radicular y biomasa aérea de alfalfa en la estufa para determinar peso seco.*



**Fotografía 19**

*Registro de datos del pesado de la biomasa seca radicular y aérea de alfalfa*



**ANEXO 2:** Análisis estadístico de datos

## A. Porcentaje de germinación

**Tabla 12**

*Prueba de Normalidad para porcentaje de germinación*

| **Shapiro-Wilk** | |
|---|---|
| Estadístico | p - valor |
| 0.96525 | 0.5286 |

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

**Tabla 13**

*Prueba de homocedasticidad de varianzas para porcentaje de germinación*

| Homogeneidad (Test de Levene) | | | |
|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **Grados de Libertad** | **Valor F** | **p-Valor** |
| Tratamientos | 4 | 0.599 | 0.667 |
| Error | 20 | - | - |
| Total | 24 | | |

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

**Tabla 14**

*ANOVA de 1 factor para el porcentaje de germinación de alfalfa*

| **Porcentaje de germinación** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **Suma de cuadrados** | **Media cuadrática** | **F** | **p-valor** |
| Tratamientos | 4 | 156.2 | 39.06 | 3.603 | 0.0228 |
| Error | 20 | 216.8 | 10.84 | | |
| Total | 24 | 373 | | | |

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

**Tabla 15**

*Prueba de contraste (Tukey) para el porcentaje de germinación*

| Comparación | Diferencia | p-Valor |
|---|---|---|
| control-Blanco | 0.2 | 0.9999789 |
| trt1-Blanco | 1.2 | 0.97708 |
| trt2-Blanco | -3.4 | 0.4949183 |
| trt3-Blanco | -5.4 | 0.1096613 |
| trt1-control | 1.0 | 0.9883262 |
| trt2-control | -3.6 | 0.439828 |
| trt3-control | -5.6 | 0.0913445 |
| trt2-trt1 | -4.6 | 0.2167179 |
| trt3-trt1 | -6.6 | 0.0346218* |
| trt3-trt2 | -2.0 | 0.8693978 |

*Nota:* *indica una diferencia significativa

**B. Peso seco de biomasa aérea**

**Tabla 16**

*Prueba de Normalidad para el peso seco de biomasa aérea*

| Shapiro-Wilk | |
|---|---|
| Estadístico | p - valor |
| 0.95222 | 0.5601 |

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

**Tabla 17**

*Prueba de homocedasticidad de varianzas para el peso seco de biomasa aérea*

| Homogeneidad (Test de Levene) | | | |
|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **Grados de Libertad** | **Valor F** | **p-Valor** |
| Tratamientos | 4 | 0.4505 | 0.7701 |
| Error | 10 | - | - |
| Total | 14 | | |

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

**Tabla 18**

*ANOVA de 1 factor para el peso seco de biomasa aérea*

| Peso seco de biomasa aérea | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **Suma de cuadrados** | **Media cuadrática** | **F** | **p-valor** |
| Tratamientos | 4 | 5.17 | 1.2925 | 2.516 | 0.108 |
| Error | 10 | 5.138 | 0.5138 | | |
| Total | 14 | 10.308 | | | |

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

**Tabla 19**

*Prueba de contraste (Tukey) para el peso seco de biomasa aérea*

| **Comparación** | **Diferencia** | **p-Valor** |
|---|---|---|
| control-Blanco | -1.443 | 0.175 |
| trt1-Blanco | -1.312 | 0.241 |
| trt2-Blanco | -0.466 | 0.926 |
| trt3-Blanco | -1.415 | 0.188 |
| control trt1 | 0.131 | 0.999 |
| control trt2 | 0.976 | 0.492 |
| control trt3 | 0.028 | 1.000 |
| trt2-trt1 | 0.845 | 0.616 |
| trt3-trt1 | -0.103 | 1.000 |
| trt3-trt | -0.948 | 0.518 |

## C. Número de hojas

**Tabla 20**

*Prueba de Normalidad para el número de hojas*

| Shapiro-Wilk | |
|---|---|
| Estadístico | p - valor |
| 0.97841 | 0.912 |

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

**Tabla 21**

*Prueba de homocedasticidad de varianzas para el número de hojas*

| Homogeneidad (Test de Levene) | | | |
|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **Grados de Libertad** | **Valor F** | **p-valor** |
| Tratamientos | 4 | 0.7197 | 0.5916 |
| Error | 15 | - | - |
| Total | 19 | | |

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

**Tabla 22**

*ANOVA de 1 factor para el número de hojas*

| Número de hojas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **Suma de cuadrados** | **Media cuadrática** | **F** | **p-valor** |
| Tratamientos | 4 | 8568 | 2142.1 | 6.599 | 0.00286 |
| Error | 15 | 4869 | 324.6 | | |
| Total | 19 | 13437 | | | |

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

**Tabla 23**

*Prueba de contraste (Tukey) para el número de hojas*

| Comparación | Diferencia | p-Valor |
|---|---|---|
| control-Blanco | -30.25 | 0.1759379 |
| trt1-Blanco | -50.5 | 0.0093366* |
| trt2-Blanco | -58.75 | 0.002668* |
| trt3-Blanco | -24.25 | 0.3568962 |
| trt1-control | -20.25 | 0.5254197 |
| trt2-control | -28.5 | 0.2191075 |
| trt3-control | 6 | 0.9888943 |
| trt2-trt1 | -8.25 | 0.9644688 |
| trt3-trt1 | 26.25 | 0.2861605 |
| trt3-trt2 | 34.5 | 0.0997299 |

*Nota:* *indica una diferencia significativa

## D. Altura de alfalfa

**Tabla 24**

*Prueba de Normalidad para la altura de alfalfa*

| Shapiro-Wilk | |
|---|---|
| Estadístico | p - valor |
| 0.94363 | 0.2805 |

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

**Tabla 25**

*Prueba de homocedasticidad de varianzas para la altura de alfalfa*

| Homogeneidad (Test de Levene) | | | |
|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **Grados de Libertad** | **Valor F** | **p-Valor** |
| Tratamientos | 4 | 0,8785 | 0.4999 |
| Error | 15 | - | - |
| Total | 19 | | |

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

**Tabla 26**

*ANOVA de 1 factor para la altura de alfalfa*

| Altura de alfalfa | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **Suma de cuadrados** | **Media cuadrática** | **F** | **p-valor** |
| Tratamientos | 4 | 163.9 | 40.97 | 1.439 | 0.269 |
| Error | 15 | 426.9 | 28.46 | | |
| Total | 19 | 590.8 | | | |

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

**Tabla 27**

*Prueba de contraste (Tukey) para la altura de alfalfa*

| **Comparación** | **Diferencia** | **p-valor** |
|---|---|---|
| control - Blanco | -1.800 | 0.9883367 |
| trt1 - Blanco | -5.875 | 0.5440738 |
| trt2 - Blanco | 0.15 | 0.9999994 |
| trt3 - Blanco | 2.775 | 0.9446464 |
| trt1 - control | -4.075 | 0.813739 |
| trt2 - control | 1.95 | 0.9842919 |
| trt3 - control | 4.575 | 0.7444254 |
| trt2-trt1 | 6.025 | 0.5209788 |
| trt3-trt1 | 8.65 | 0.2005977 |
| trt3-trt2 | 2.625 | 0.9542838 |

## E. Peso seco de biomasa radicular

**Tabla 28**

*Prueba de Normalidad para peso seco de biomasa radicular*

| **Shapiro-Wilk** | |
|---|---|
| Estadístico | p - valor |
| 0.98191 | 0.9809 |

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

**Tabla 29**

*Prueba de homocedasticidad de varianzas peso seco de biomasa radicular*

| Homogeneidad (Test de Levene) | | | |
|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **Grados de Libertad** | **Valor F** | **p-Valor** |
| Tratamientos | 4 | 0,4236 | 0.7884 |
| Error | 10 | | |
| Total | 14 | | |

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

**Tabla 30**

*ANOVA de 1 factor para peso seco de biomasa radicular*

| **Peso seco de biomasa radicular** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **Suma de cuadrados** | **Media cuadrática** | **F** | **p-valor** |
| Tratamientos | 4 | 3.929 | 0.9823 | 1.849 | 0.196 |
| Error | 10 | 5.314 | 0.5314 | | |
| Total | 14 | 9.243 | | | |

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

**Tabla 31**

*Prueba de contraste (Tukey) para peso seco de biomasa radicular*

| Comparación | Diferencia | p-valor |
|---|---|---|
| control - Blanco | -1.80 | 0.988 |
| trt1 - Blanco | -5.88 | 0.544 |
| trt2 - Blanco | 0.15 | 1.000 |
| trt3 - Blanco | 2.78 | 0.945 |
| trt1 - control | -4.08 | 0.814 |
| trt2 - control | 1.95 | 0.984 |
| trt3 - control | 4.58 | 0.744 |
| trt2 - trt1 | 6.03 | 0.521 |
| trt3 - trt1 | 8.65 | 0.201 |
| trt3 - trt2 | 2.63 | 0.954 |

## F. Longitud de la raíz

**Tabla 32**

*Prueba de Normalidad para la longitud de raíz*

| Shapiro-Wilk | |
|---|---|
| Estadístico | p - valor |
| 0.95463 | 0.4429 |

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

**Tabla 33**

*Prueba de homocedasticidad de varianzas para longitud de raíz*

| Homogeneidad (Test de Levene) | | | |
|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **Grados de Libertad** | **Valor F** | **p-Valor** |
| Tratamientos | 4 | 1.5082 | 0.2497 |
| Error | 15 | - | - |
| Total | 19 | | |

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

**Tabla 34**

*ANOVA de 1 factor para longitud de raíz*

| Longitud de raíz | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **Suma de cuadrados** | **Media cuadrática** | **F** | **p-Valor** |
| Tratamientos | 4 | 10.34 | 2.585 | 0.456 | 0.767 |
| Error | 15 | 84.98 | 5.665 | | |
| Total | 19 | 95.32 | | | |

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

**Tabla 35**

*Prueba de contraste (Tukey) para longitud de raíz*

| **Tratamiento** | **Diferencia** | **p-Valor** |
|---|---|---|
| control-Blanco | -0.75 | 0.99 |
| trt1-Blanco | -1.65 | 0.86 |
| trt2-Blanco | -1.45 | 0.91 |
| trt3-Blanco | -2.03 | 0.75 |
| trt1-control | -0.90 | 0.98 |
| trt2-control | -0.70 | 0.99 |
| trt3-control | -1.28 | 0.94 |
| trt2-trt1 | 0.20 | 1.00 |
| trt3-trt1 | -0.38 | 1.00 |
| trt3-trt2 | -0.58 | 1.00 |

## G. Número de nódulos de alfalfa

**Tabla 36**

*Prueba de Normalidad para el número de nódulos*

| **Shapiro-Wilk** | |
|---|---|
| Estadístico | p - valor |
| 0.90583 | 0.1169 |

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

**Tabla 37**

*Prueba de homocedasticidad de varianzas para el número de nódulos*

| Homogeneidad (Test de Levene) | | | |
|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **Grados de Libertad** | **Valor F** | **p-Valor** |
| Tratamientos | 4 | 0,0323 | 0,9976 |
| Error | 10 | - | - |
| Total | 14 | | |

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

**Tabla 38**

*ANOVA de 1 factor para el número de nódulos*

| **Número de nódulos** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fuente de variación** | **gl** | **suma de cuadrados** | **media cuadrática** | **F** | **p-valor** |
| Tratamientos | 4 | 18.27 | 4.567 | 1.851 | 0.196 |
| Error | 10 | 24.67 | 2.46 | | |
| Total | 14 | 42.94 | | | |

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

**Tabla 39**

*Prueba de contraste (Tukey) para número de nódulos*

| Comparación | Diferencia | p -valor |
|---|---|---|
| control-Blanco | -2.00 | 0.55 |
| trt1-Blanco | -1.00 | 0.70 |
| trt2-Blanco | -3.00 | 0.21 |
| trt3-Blanco | -3.00 | 0.21 |
| trt1-control | 0.33 | 1.00 |
| trt2-control | -1.00 | 0.93 |
| trt3-control | -1.00 | 0.93 |
| trt2-trt1 | -1.00 | 0.83 |
| trt3-trt1 | -1.33 | 0.83 |
| trt3-trt2 | 0.00 | 1.00 |

**Tabla 40**

*Rendimiento del biocarbón*

| Peso de crisol de porcelana (gr) | Peso de la biomasa (gr) | Peso del biocarbón (gr) | Rendimiento % |
|---|---|---|---|
| 67.89 | 30 | 8.9 | 29.67 |
| 69.40 | 30 | 9.4 | 31.33 |
| 68.67 | 31 | 9.8 | 31.61 |
| 69.78 | 31 | 9.1 | 29.35 |
| | **Promedio** | | 30.49 |

*Nota:* El rendimiento del biocarbón de hueso de aceituna es del 30% aproximadamente.

**Tabla 41**

*pH para porcentaje de germinación en los diferentes tratamientos*

| Tratamiento | pH | PROMEDIO |
|---|---|---|
| Blanco | 7.69 | 7.65 |
| Blanco | 7.66 | |
| Blanco | 7.66 | |
| Blanco | 7.69 | |
| Blanco | 7.55 | |
| Control | 7.61 | 7.646 |
| Control | 7.57 | |
| Control | 7.67 | |
| Control | 7.71 | |
| Control | 7.67 | |
| Trat 1 (1%) | 7.64 | 7.842 |
| Trat 1 (1%) | 7.92 | |
| Trat 1 (1%) | 7.94 | |
| Trat 1 (1%) | 7.9 | |
| Trat 1 (1%) | 7.81 | |
| Trat 2 (3%) | 8.12 | 8.188 |
| Trat 2 (3%) | 8.15 | |
| Trat 2 (3%) | 8.23 | |
| Trat 2 (3%) | 8.21 | |
| Trat 2 (3%) | 8.23 | |
| Trat 3(5%) | 8.43 | 8.374 |
| Trat 3(5%) | 8.36 | |
| Trat 3(5%) | 8.41 | |
| Trat 3(5%) | 8.41 | |
| Trat 3(5%) | 8.26 | |

*Nota:* El pH de los diferentes tratamientos usados para evaluar el porcentaje de germinación tiende a aumentar a medida que se incrementa la dosis de biocarbón.

**Tabla 42**

*Determinación de pH de los tratamientos después de la cosecha*

| Mediación de pH en los tratamientos | | PROMEDIO |
|---|---|---|
| **Blanco** | 8.35 | 8.345 |
| | 8.34 | |
| **control** | 8.4 | 8.4 |
| | 8.4 | |
| **Trat1** | 8.56 | 8.565 |
| | 8.57 | |
| **Trat2** | 8.7 | 8.7 |
| | 8.7 | |
| **Trat3** | 9.08 | 9.08 |
| | 9.08 | |

*Nota:* El pH de los diferentes tratamientos después de la cosecha tiende a aumentar a medida que se incrementa la dosis de biocarbón

**ANEXO 3: Análisis de suelo**



Labisag

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

Código: CCFG - 036 | Versión: 01

INFORME DE ENSAYO Nº 634 | Página .../...

**1. DATOS :**
**Solicitante** : NORA MAGALY QUISPE CAMATICONA

**Departamento** : MOQUEGUA
**Provincia** : ILO
**Distrito** : ILO

**Caserio** : SN
**N. Parcela** : N-01
**Cod. Muestra** : 634
**Fecha** : 28/09/23

**2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO CARACTERIZACIÓN**

| Número de Muestra | | | C.E. | P | K | C | M.O | N | Análisis Mecánico | | | Clase textural | CIC | Cationes Cambiables | | | | | Suma de Cationes | Suma de Bases | % Sat. De Bases |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lab | Muestra | pH (1:1) | (1:1) dS/m | ppm | | % | % | % | Arena % | Limo % | Arcilla % | | meq/100g | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $Al^{+3} + H^{+}$ | | | |
| 634 | N-01 | 7,60 | 1,80 | 41,78 | 508,01 | 1,48 | 2,55 | 0,13 | 83,0 | 6,0 | 11,0 | A.Fr. | 12,61 | 7,20 | 3,35 | 1,18 | 0,88 | 0,00 | 12,61 | 12,61 | 100 |

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

***Nota:*** *Cabe resaltar que la muestra tomada en campo, no fue recolectada por el personal del laboratorio.*

*Los resultados presentados son válidos unicamente para la muestra ensayada, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LABISAG.*

*Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS LABISAG

M. Sc. JESUS RASCON BARRIOS
RESPONSABLE

RESPONSABLE DE LABISAG

Tec. Eder Chichape Vela
RESPONSABLE DEL ÁREA DE SUELOS

RESPONSABLE DEL ÁREA DE SUELOS LABISAG

Recibí Conforme:
Nombre:
DNI:
Fecha y Hora:

Firma de Conformidad

Calle Higos Urco N° 342-350-356 - Calle Universitaria N° 304 - Chachapoyas - Amazonas - Perú
labisag@untrm.edu.pe / labisag@indes-ces.edu.pe

## MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELO

1. Textura de suelo: % de arena , limo y arcilla; metodo del hidrometro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
3. pH: medida en el potenciómetro de la suspensión en el suelo: agua relación 1:1.
4. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. % M.O.=%CX1.724.
5. Fósforo disponible: método de Olsen modificado, extracción con NaHCO3=0.5M, pH 8.5.
6. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio ($CH_3$-$COONH_4$)N, pH 7.0
7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio ($CH_3$-$COONH_4$)N; pH 7.0)
8. $Ca^{+2}$, $Mg^{+2}$, $Na^{+}$, $k^{+}$ cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio($CH_3$-$COONH_4$) N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de emisión atómica.
9. $Al^{+3}$+$H^{+}$: método de Yuan: extracción con KCl, N.

**Equivalencias:**

1 ppm = 1 mg/kilogramo
1millimho (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro
1 miliequivalente / 100g = 1 cmol (+)/kg
Sales solubles totales (TDS) en ppm o mg/kg = 640xCEes
CE (1:1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

## TABLA DE INTERPRETACIÓN

### Salinidad

| clasificación del suelo | CE(es) |
|---|---|
| *muy ligeramente salino | <2 |
| *ligeramente salino | 2 - 4 |
| *moderadamente salino | 4-8 |
| *fuertemente salino | >8 |

| Clasificación | Materia Orgánica % | Fósforo disponible ppm P | Potasio disponible ppm K |
|---|---|---|---|
| *bajo | <2.0 | <7.0 | <100 |
| *medio | 2-4 | 7.0-14.0 | 100-240 |
| *alto | >4.0 | >14.0 | >240 |

### Relaciones Catiónicas

| Clasificación | k/Mg | Ca/Mg |
|---|---|---|
| *Normal | 0.2-0.3 | 5-9 |
| *defc. Mg | >0.5 | |
| *defc. K | >0.2 | |
| *defc. Mg | | >10 |

### Reacción o pH

| clasificación del suelo | pH |
|---|---|
| *fuertemente ácido | <5.5 |
| *moderadamente ácido | 5.6-6.0 |
| *ligeramente ácido | 6.1-6.5 |
| *neutro | 7.0 |
| *ligeramente alcalino | 7.1-7.8 |
| *moderadamente alcalino | 7.9-8.4 |
| *fuertemente alcalino | >8.5 |

### CLASES TEXTURALES

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | = arena | Fr.Ar.A | = franco arcillo arenoso |
| A.Fr | = arena franca | Fr.Ar | = franco arcilloso |
| Fr.A | = franco arenoso | Fr.Ar.L | = franco arcillo limoso |
| Fr. | = franco | Ar.A | = arcillo arenoso |
| Fr.L. | = franco limoso | Ar.L | = arcillo limoso |
| L | = limoso | Ar. | = arcilloso |

### Distribución de cationes %

| | | |
|---|---|---|
| $Ca^{+2}$ | = | 60-75 |
| $Mg^{+2}$ | = | 15-20 |
| $K^{+}$ | = | 3-7 |
| $Na^{+}$ | = | <15 |

**ANEXO 4: Registro de datos de las características físicas de la alfalfa**

**"EVALUACIÓN DEL USO DE BIOCARBÓN DE HUESO DE ACEITUNA (*Olea europea*) EN SUELO CONTAMINADO CON CIPROFLOXACINO Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DE ALFALFA (*Medicago sativa*), ILO, 2023"**

Cosechado por: Nora M. Quispe Camaticona — Fecha: 23-10-2023

| N° | Código de tratamiento | Altura de alfalfa (cm) | Longitud de raíz (cm) | Número de nódulos | Número de hojas | Peso seco | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Biomasa radicular (gr) | Biomasa aérea (gr) |
| 1 | Blanco $R_1$ | 56.2 | 24 | 11 | 217 | 3.9151 | 5.9646 |
| 2 | Blanco $R_2$ | 46.4 | 26.2 | 11 | 212 | 4.9628 | 4.1965 |
| 3 | Blanco $R_3$ | 44.1 | 27.5 | 8 | 224 | 4.1744 | 6.4505 |
| 4 | Blanco $R_4$ | 54 | 25 | 10 | 245 | 4.4025 | 5.5155 |
| 5 | $T_1$-0%-$R_1$ | 51 | 27 | 6 | 203 | 3.6752 | 4.2382 |
| 6 | $T_1$-0% $R_2$ | 48.5 | 25.5 | 9 | 210 | 4.3146 | 3.3557 |
| 7 | $T_1$-0% $R_3$ | 48.6 | 19 | 9 | 198 | 2.1480 | 4.6893 |
| 8 | $T_1$-0% $R_4$ | 45.5 | 28.2 | 8 | 166 | 2.7917 | 4.3146 |
| 9 | $T_2$-1% $R_1$ | 40.1 | 23 | 10 | 187 | 3.7958 | 4.6151 |
| 10 | $T_2$-1% $R_2$ | 56.8 | 24.5 | 7 | 177 | 3.1862 | 4.0614 |
| 11 | $T_2$-1% $R_3$ | 42.3 | 24 | 8 | 142 | 3.1539 | 4.0005 |
| 12 | $T_2$-1% $R_4$ | 38 | 24.6 | 8 | 190 | 3.3908 | 3.7958 |
| 13 | $T_3$-3% $R_1$ | 52 | 24.5 | 9 | 165 | 4.1293 | 4.6485 |
| 14 | $T_3$-3% $R_2$ | 43.2 | 24.8 | 6 | 157 | 3.6067 | 5.0653 |
| 15 | $T_3$-3% $R_3$ | 53.9 | 24.3 | 6 | 170 | 5.1828 | 5.4985 |
| 16 | $T_3$-3% $R_4$ | 52.2 | 23.3 | 7 | 171 | 3.638 | 5.1828 |
| 17 | $T_4$-5% $R_1$ | 53.5 | 21 | 8 | 222 | 3.7993 | 3.6654 |
| 18 | $T_4$-5% $R_2$ | 49.1 | 27.5 | 6 | 173 | 2.6651 | 3.8514 |
| 19 | $T_4$-5% $R_3$ | 53.7 | 22 | 7 | 191 | 2.9558 | 4.8504 |
| 20 | $T_4$-5% $R_4$ | 55.5 | 24.1 | 6 | 215 | 3.4279 | 3.7993 |

# FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

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

## 1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : NORA MAGALY QUISPE CAMATICONA
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 76619136
Correo electrónico : quispenora651@gmail.com
Teléfono/Celular : 910868501

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

| Bachiller | Título Profesional | Magister | Doctor | Segunda Especialidad |
|---|---|---|---|---|
| | X | | | |

## 3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

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

05

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

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

## 5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : EVALUACIÓN DEL USO DE BIOCARBÓN DE HUESO DE ACEITUNA (Olea europea) EN SUELO CONTAMINADO CON CIPROFLOXACINO Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DE ALFALFA(Medicago sativa), ILO, 2023
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
c) Fecha de publicación : 2025

## 6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : JOSE LUIS RAMOS TEJEDA
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 30430841
c) ORCID : 0000-0002-2472-0489

**FIRMA** : .....

**DOCUMENTO DE IDENTIDAD** : 76619136
**NOMBRES Y APELLIDOS** : NORA MAGALY QUISPE CAMATICONA

## LICENCIAS

Licencia Estándar

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

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

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

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

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

Autorizo el depósito (marque con una X).

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

**FIRMA** : .....

**DOCUMENTO DE IDENTIDAD** : 76619136

**NOMBRES Y APELLIDOS** : NORA MAGALY QUISPE CAMATICONA

**FECHA** : 30/06/2025

02

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

Yo, NORA MAGALY QUISPE CAMATICONA,
bachiller de la Escuela Profesional de: INGENIERIA AMBIENTAL
,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº. 76619136, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
EVALUACIÓN DEL USO DE BIOCARBÓN DE HUESO DE ACEITUNA (Olea europea) EN SUELO CONTAMINADO CON CIPROFLOXACINO Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DE ALFALFA (Medicago sativa), ILO, 2023

Declaro bajo juramento que:

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

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

Moquegua, 30/06/2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: NORA MAGALY QUISPE CAMATICONA
DNI: 76619136

D3

# Nora Magaly Quispe Camaticona

## EVALUACIÓN DEL USO DE BIOCARBÓN DE HUESO DE ACEITUNA (Olea europea) EN SUELO CONTAMINADO CON CI...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Moquegua

### Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3317806540

Fecha de entrega
21 ago 2025, 10:31 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
21 ago 2025, 10:40 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS_CORREGID-2025_actualizado.pdf

Tamaño del archivo
4.3 MB

132 páginas

27.475 palabras

151.962 caracteres

Firmado digitalmente por RAMOS TEJEDA Jose Luis FAU 20449347448 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.08.2025 10:47:05 -05:00

# 24% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía

## Exclusiones

- N.º de fuente excluida
- N.º de coincidencias excluidas

## Fuentes principales

22% Fuentes de Internet
9% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

**N.º de alerta de integridad para revisión**

**Caracteres reemplazados**
51 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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

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

# RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
## N° 573-2025-CU-UNAM

Moquegua, 29 de agosto de 2025

## VISTOS:

El Proveído N° 3352-2025-R de fecha 28 de agosto de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° 340-2025-UNAM-R/SG de fecha 27 de agosto de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° 096-2025-UNAM/SEGE/GYT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 032-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 29 de agosto de 2025, y;

## CONSIDERANDO:

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

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 14° del Estatuto de la UNAM, aprobado bajo Resolución N° 578-2021-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 9, del artículo 16 del Estatuto de la UNAM;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley Nº 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 18 y numeral 2 del artículo 20° del Estatuto de la UNAM;

Que, mediante Informe Técnico N° 096-2025-UNAM/SEGE/GYT, de fecha 26 de agosto de 2025, e Informe N° 340-2025-UNAM-R/SG de fecha 27 de agosto, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero Ambiental de la Bachiller: QUISPE CAMATICONA NORA MAGALY de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Ambiental, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental; razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 29 de agosto de 2025;

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

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 032-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 29 de agosto de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo; POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Ambiental por la modalidad de sustentación de tesis a la Bachiller: QUISPE CAMATICONA NORA MAGALY, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

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



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

# RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
## N° 573-2025-CU-UNAM

Moquegua, 29 de agosto de 2025

**SE RESUELVE:**

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

- **QUISPE CAMATICONA NORA MAGALY**

  TESIS : "EVALUACIÓN DEL USO DE BIOCARBÓN DE HUESO DE ACEITUNA (Olea europea) EN SUELO CONTAMINADO CON CIPROFLOXACINO Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DE ALFALFA (Medicago sativa), ILO, 2023", cuyo asesor principal fue el M.Sc. Jose Luis Ramos Tejeda, y el co-asesor fue el Dr. Franz Zirena Vilca.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

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

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

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

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

**REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE, Y CÚMPLASE;**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – UNAM – SECRETARÍA GENERAL

**ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA**
**SECRETARIO GENERAL**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – UNAM – CONSEJO UNIVERSITARIO

**DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA**
**RECTOR**
**PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO**

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FACIA
EPIAM
DASA
OII
Interesado
c.c. Arch.