UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN DE PENCA DE TUNA EN EL SUELO, PARA REDUCIR EFECTOS NEGATIVOS DE LA TETRACICLINA EN LA ALFALFA E INCREMENTO DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS, ILO, 2023-2024

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

ILO – PERU

2024

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Folio Nº 059

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

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

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 232 - 2024 - FACIA - UNAM

Fecha: 27 - NOV. 2024

III. El jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:
"EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN DE PENCA DE TUNA EN EL SUELO, PARA REDUCIR EFECTOS NEGATIVOS DE LA TETRACICLINA EN LA ALFALFA E INCREMENTO DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS, ILO, 2023-2024"

Bachiller: KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE

Asesor Principal: M.Sc. JOSÉ LUIS RAMOS TEJEDA

Co-Asesor: ———

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

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

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 15:10 horas, del 27 de NOVIEMBRE del año 2024 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Dr. EDUARDO LUIS FLORES QUISPE
Presidente

Dr. Jochil Ccamapaza Aguilar
Primer Miembro

MSc Paulino Flavio Rios Zapana
Segundo Miembro

Katerin Eliana Ccalla Quispe
Bachiller

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza y la oportunidad de alcanzar este gran logro.

A mis padres, Alejandrina Quispe Pancca y Alejandro Ccalla Canahuire, por ser mi mayor inspiración y por su apoyo incondicional, sembrando en mí los valores que guían cada paso de mi vida.

A mi hermana, Sofía, por ser una parte especial de mi vida y una fuente constante de motivación.

A mi amigo, Elvis Jack Colque Ayma, por ser un ejemplo de perseverancia; su determinación y acciones me inspiran a superarme cada día más.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarme una sólida formación académica y por las valiosas experiencias adquiridas a lo largo de mi trayectoria en esta institución.

Al Dr. Franz Zirena Vilca, por su confianza, orientación constante y paciencia durante el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. José Luis Ramos Tejeda, por su apoyo, asesoría y enseñanzas que enriquecieron cada etapa de este proceso.

Al laboratorio de Contaminantes Orgánicos y Ambiente del INDEP de la Universidad Nacional de Moquegua, por facilitarme los recursos y el espacio necesario para realizar mi investigación.Al proyecto titulado “Evaluación de la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo, para reducir efectos negativos de la tetraciclina en la alfalfa e incremento de la biodisponibilidad de hidrocarburos aromáticos policíclicos, Ilo, 2023-2024” aprobado con RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 0310- 2020-UNAM, que permitió la adquisición de equipos para el laboratorio utilizados en esta investigación.

RESUMEN

El presente estudio evaluó si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo, reduce los efectos negativos de la TC en la alfalfa e incrementa la biodisponibilidad de HAPs; para ello, las semillas de alfalfa se cultivaron en condiciones ambientales, utilizando de sustrato el suelo proveniente de Torata, Moquegua, mezclado con compost en una proporción 1:3 (p/p). Todo el experimento se instaló y realizó en la sede de la Universidad Nacional de Moquegua – Filial Ilo. Se aplicó cinco tratamientos los cuales correspondían a: B-0 (Blanco sin Tetraciclina), BT-0 (Blanco con Tetraciclina), BT-1 (Suelo con biocarbón al 1% y Tetraciclina), BT-2 (Suelo con biocarbón al 2% y Tetraciclina) y BT-4 (Suelo con biocarbón al 4% y Tetraciclina), donde el riego para el B-0 fue con agua destilada y para los demás tratamientos el riego fue con Tetraciclina a una concentración de 10 μg/L. los resultados evidencian que la aplicación de biocarbón presentaron disminución de altura de alfalfa de hasta un 42% para BT-2, no presentaron nódulos en los 2 meses de cultivo, registraron disminución en peso de biomasa aérea de hasta 66 y 89% en tratamientos BT-1 y BT-2 respectivamente y una disminución en peso radicular de hasta 51 y 96% en los tratamientos BT-1 y BT-2 respectivamente. En cuanto a HAPs, presentaron un incremento promedio de 39,23 y 22,18 ng/g de HAPs total para los tratamientos BT-1 Y BT-2 respectivamente. Finalmente, en cuanto a la longitud radicular de la alfalfa, presentaron reducción en longitud de hasta 17% para el tratamiento BT-2, pero no se puede respaldar estadísticamente.

Palabras clave: Tetraciclina, HAPs, biomasa, biocarbón, Alfalfa

ABSTRACT

The present study evaluated whether the application of biochar from prickly pear stalk in the soil reduces the negative effects of CT on alfalfa and increases the bioavailability of PAHs; for this purpose, alfalfa seeds were grown under ambient conditions, using Torata soil as substrate, mixed with compost in a 1:3 (w/w) ratio. The entire experiment was installed and carried out at the headquarters of the National University of Moquegua - Ilo Branch. Five treatments were applied, corresponding to: B-0 (White without Tetracycline), BT-0 (White with Tetracycline), BT-1 (Soil with biochar at 1% and Tetracycline), BT-2 (Soil with biochar at 2% and Tetracycline) and BT-4 (Soil with biochar at 4% and Tetracycline), where irrigation for B-0 was with distilled water and for the other treatments irrigation was with Tetracycline at a concentration of 10 µg/L. The results show that the application of biochar showed a decrease in alfalfa height of up to 42% for BT-2, no nodules during the 2 months of cultivation, a decrease in aerial biomass weight of up to 66 and 89% in treatments BT-1 and BT-2, respectively, and a decrease in root weight of up to 51 and 96% in treatments BT-1 and BT-2, respectively. As for PAHs, they presented an average increase of 39,23 and 22,18 ng/g of total PAHs for treatments BT-1 and BT-2, respectively. Finally, as for alfalfa root length, they presented reduction in length up to 17% for treatment BT-2, but it cannot be statistically supported.

Key words: Tetracycline, PAHs, biomass, biochar, Alfalfa.

INDICE GENERAL

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
1.1. Descripción y formulación del problema 14
1.2. Objetivo 18
1.2.1. Objetivo general 18
1.2.2. Objetivos específicos 18
1.3. Justificación e importancia 18
1.4. Hipótesis 20
1.4.1. Hipótesis general 20
1.4.2. Hipótesis específicas 20
1.5. Variables 21
II. MARCO TEÓRICO 22
2.1. Antecedentes del problema 22
2.2. Bases teóricas 25
2.2.1. Penca de Tuna (*Opuntia ficus indica*) 25
2.2.1.1. Penca o cladodios 25
2.2.1.2. Producción de (*Opuntia ficus indica*) en nuestro país 25
2.2.1.3. Estructura físico - química 26
2.2.2. Bio-eficiencia de producción de biocarbón 27
2.2.2.1. Biocarbón 27
2.2.2.2. Propiedades de adsorción 27
2.2.2.3. Pirolisis 28
2.2.2.4. Temperatura adecuada de producción de biocarbón 29
2.2.2.5. Tipos de pirolisis 29
2.2.3. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) 30
2.2.3.1. Origen de producción de HAPs 30
2.2.3.2. Estructura y propiedad físico química de los HAPs 30
2.2.3.3. Movilidad de los HAPs 32
2.2.4. Antibióticos 32
2.2.4.1. Consumo de antibióticos 32
2.2.4.2. Tetraciclina (TC) 32
2.2.4.3. TC en el medio ambiente 35
2.2.4.4. La TC y sus factores fisicoquímicos 35
2.2.5. Alfalfa, bioindicador de contaminantes emergentes 36
2.2.5.1. Organografía de la alfalfa 36

2.2.5.2. Propiedades de la Alfalfa 38
2.3. Definición de términos 38
III. METODOLOGÍA 40
3.1. Tipo y nivel de investigación 40
3.2. Ámbito temporal y espacial 40
3.3. Población y muestra 42
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 42
3.5. Procedimiento 43
3.6. Análisis de datos 51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52
V. CONCLUSIONES 69
VI. RECOMENDACIONES 71
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72
VIII. ANEXOS 86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principales mecanismos que rigen la remediación ambiental de contaminantes orgánicos e inorgánicos..... 28
Figura 2 Efecto de la temperatura de pirolisis en biocarbón..... 29
Figura 3 Imagen referencial de la tetraciclina..... 34
Figura 4 Imagen referencial de los factores químicos de la TC..... 36
Figura 5 Ubicación de la ejecución del proyecto y los recursos..... 41
Figura 6 Proceso de elaboración y preparación de biocarbón..... 45
Figura 7 Porcentajes de biocarbón en cada tratamiento..... 46
Figura 8 Método de elaboración del experimento con biocarbón..... 47
Figura 9 Referencia del pesado de la biomasa aérea y radicular..... 49
Figura 10 Procedimiento de extracción de HAPS..... 51
Figura 11 Gráfico de la longitud de la raíz de la alfalfa..... 54
Figura 12 Gráfico de la altura de la planta..... 59
Figura 13 Gráfico del peso seco de la biomasa aérea y radicular de la alfalfa..... 64
Figura 14 Gráfico de presencia de HAPs de la alfalfa..... 67
Figura 15: Proceso de elaboración de biocarbón de penca de tuna..... 86
Figura 16: Proceso de instalación de macetas para el crecimiento de la alfalfa..... 87
Figura 17: Proceso de análisis de HAPs..... 88
Figura 18: Visualización de los diferentes tratamientos..... 89
Figura 19: Presencia de nódulos inactivos (tamaño de1mm)..... 90
Figura 20: Análisis fisicoquímico de suelo de Moquegua..... 107
Figura 21: Registro de datos en la cosecha..... 108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables 21
Tabla 2: Comparación de la composición química de la penca de tuna 26
Tabla 3: 16 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos principales..... 31
Tabla 4: Generaciones de la tetraciclina 33
Tabla 5: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la longitud de la raíz de la planta 53
Tabla 6: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la altura de la planta 57
Tabla 7: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa aérea de la planta 62
Tabla 8: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa radicular de la planta..... 62
Tabla 9: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la presencia de HAPs de la planta..... 66
Tabla 10: Datos preliminares para calcular la estadística de la longitud de raíz 91
Tabla 11: Prueba de normalidad paramétrica para la longitud de raíz de la planta 91
Tabla 12 Prueba de homogeneidad de la longitud de la raíz de la planta 91
Tabla 13: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la longitud de la raíz de la planta 92
Tabla 14: Prueba de contraste de Tukey de la longitud de la raíz de la planta 92
Tabla 15: Prueba de agrupación de Tukey de la longitud de la raíz de la planta..... 92
Tabla 16: Prueba de agrupación de Duncan de la longitud de la raíz de la planta..... 92
Tabla 17: Datos preliminares para calcular la estadística de la altura de la planta 93
Tabla 18: Prueba de normalidad paramétrica para la altura de la planta 93
Tabla 19: Prueba de homogeneidad de la altura de la planta..... 93
Tabla 20: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la altura de la planta 93
Tabla 21: Prueba de contraste de Tukey de la altura de la planta 94
Tabla 22: Prueba de agrupación de tukey de la altura de la planta 94
Tabla 23: Prueba de agrupación de Duncan de la altura de la planta..... 94
Tabla 24: Datos preliminares para calcular la estadística de la biomasa aérea de la planta 95
Tabla 25: Prueba de normalidad paramétrica para la biomasa aérea de la planta..... 95
Tabla 26: Prueba de homogeneidad de la biomasa aérea de la planta 95

Tabla 27: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa aérea de la planta 95
Tabla 28: Prueba de contraste de Tukey de la longitud de la biomasa aérea de la planta 96
Tabla 29: Prueba de agrupación de Tukey de la biomasa aérea de la planta 96
Tabla 30: Prueba de agrupación de Duncan de la biomasa aérea de la planta 96
Tabla 31: Datos preliminares para calcular la estadística de la biomasa radicular de la planta 97
Tabla 32: Prueba de normalidad paramétrica para la biomasa radicular de la planta 97
Tabla 33: Prueba de homogeneidad de la biomasa radicular de la planta 97
Tabla 34: Prueba de contraste de Tukey de la longitud de la biomasa radicular de la planta 97
Tabla 35: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa radicular de la planta 98
Tabla 36: Prueba de agrupación de Tukey de la biomasa radicular de la planta 98
Tabla 37: Prueba de agrupación de Duncan de la biomasa radicular de la planta 98
Tabla 38: Datos preliminares para calcular la estadística de la presencia de los HAPs en la planta 99
Tabla 39: Prueba de normalidad paramétrica para la presencia de los HAPs la planta ... 99
Tabla 40: Prueba de homogeneidad de la presencia de los HAPs en la planta 99
Tabla 41: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la presencia de HAPs de la planta 99
Tabla 42: Prueba de contraste de Tukey de la presencia de los HAPs en la planta 100
Tabla 43: Prueba de agrupación de Tukey de la presencia de los HAPs en la planta... 100
Tabla 44: Prueba de agrupación de Duncan de la presencia de los HAPs en la planta. 100
Tabla 45: Datos preliminares para calcular la estadística de conductividad en el suelo 101
Tabla 46: Prueba de normalidad paramétrica para la conductividad en el suelo 101
Tabla 47: Prueba de homogeneidad de la conductividad en el suelo 101
Tabla 48: Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina de conductividad en el suelo 101
Tabla 49: Datos preliminares para calcular la estadística de pH en el suelo 102
Tabla 50: Prueba de normalidad paramétrica para el pH del suelo 102
Tabla 51: Prueba de homogeneidad de pH del suelo 102
Tabla 52: Estadística KRUSKAL-WALLIS unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en pH de la planta 102
Tabla 53: Prueba de comparación por grupos del parámetro de pH 103

Tabla 54: Tabla de resultados de análisis de suelo de los tratamientos en laboratorio .. 103
Tabla 55: Condiciones del método para HAPs 104
Tabla 56: Validación cromatográfica del método de HAPs 105
Tabla 57: Tabla de resultados de presencia de HAPs en biomasa de alfalfa 106
Tabla 58: Tabla de resultados de promedio de diferentes tratamientos 106

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

TC: Tetraciclina.

HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

ARG: Genes de Resistencia a Antibióticos.

ARB: Bacterias Resistentes a Antibióticos.

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

MWCNT: Nanotubos de carbono multipared.

TCA: ácido tricarboxílico.

ENR: Enrofloxacina.

RSM: metodología de superficie de respuesta.

Chlor: Cloranfenicol.

USEPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

COP: Contaminantes orgánicos persistentes.

PTAR: Planta de Tratamientos de Aguas Residuales.

MS: Materia seca.

ANVA: Análisis de varianza.

INACAL: Instituto Nacional de Calidad.

LABISAG: Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas.

BC: Biocarbón.

QuEChERS: Rápido, fácil, barato, eficaz, resistente y seguro.

UHPLC: Cromatografía Líquida de Ultra Alto Rendimiento.

DCA: Diseño Completamente al azar.

B-0: Tratamiento con suelo + compost, sin biocarbón; y no está irrigado con tetraciclina.

BT-0: Tratamiento con suelo + compost, sin biocarbón; y está irrigado con tetraciclina.

BT-1: Tratamiento con suelo + compost + 1% biocarbón; y está irrigado con tetraciclina

BT-2: Tratamiento con suelo + compost + 2% biocarbón; y está irrigado con tetraciclina

BT-4: Tratamiento con suelo + compost + 4% biocarbón; y está irrigado con tetraciclina

INTRODUCCIÓN

La existencia de residuos de antibióticos en las aguas residuales es un problema comúnmente observado en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) a nivel global, así como en los cuerpos de agua superficiales que reciben estas descargas de aguas tratadas (Nieto-Juárez et al. 2021). El sector agrícola, siendo el mayor consumidor de agua a nivel mundial, enfrenta una creciente escasez hídrica, lo que ha fomentado el uso de aguas residuales tratadas para el riego de cultivos. Por otro lado, estudios han revelado que estas aguas contienen una serie de contaminantes, donde se incluyen diferentes tipos de fármacos (Maldonado et al. 2022; Nieto-Juárez et al. 2021), lo que suscita inquietudes sobre la posible contaminación al sector agrícola y el riesgo de que estos compuestos entren en la cadena alimentaria. Actualmente, se están explorando diversas alternativas prometedoras, como los procesos pirolíticos que emplean una variedad de residuos para producir biocarbón (Alharbi et al. 2023). Este subproducto posee propiedades que no solo mejoran la fertilidad del suelo, sino que también optimizan la producción agrícola. Además, el biocarbón muestra un gran potencial para capturar y degradar contaminantes emergentes, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la remediación de suelos contaminados.

En este contexto, los contaminantes orgánicos que se descargan a los cultivos a través de riego y el uso de biocarbón con contenidos de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPS), se vuelven accesibles para las plantas, siendo a su vez absorbidos por sus raíces y bioacumulados en su biomasa (Hale 2015; Yao et al. 2024). De modo que, una vez llegando a toda su estructura y especialmente sus hojas en donde se da una disminución importante de fotosíntesis; que se da debido a la sobreacumulación de radicales libres que los contaminantes generan (Barrón-Bravo et al. 2020). Y como consecuencia al estrés producido, tienda a generar daños a la señalética celular y en el peor de los casos a la muerte celular de la planta (Barrón-Bravo et al. 2020; Minina et al. 2021).

Es por este motivo, que el presente estudio evaluó la bioeficacia del uso del biocarbón producido a partir de penca de tuna, en la reducción de los efectos negativos de la TC en la alfalfa, así como el incremento de la biodisponibilidad de

HAPs en el suelo. Y donde se determinó la altura y peso seco de la alfalfa, longitud y peso de la raíz, conteo de nódulos y concentración de HAPs en biomasa de alfalfa.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

La necesidad de uso de antibióticos, debido al surgimiento de enfermedades en la población, emerge el uso desenfrenado de estos fármacos, más aún con el Covid 19 desde el año 2020 (Borde et al. 2022). No obstante, desde hace años el uso de fármacos es empleado con la finalidad de tratamiento de enfermedades, impulsar el crecimiento y la eficiencia alimenticia; los cuales han llegado a plantas de tratamiento de aguas residuales y en otros casos a las aguas superficiales. De modo que, estudios detallan la posible resistencia antibacteriana (F. Zhao et al. 2022) no obstante, otros estudios detallan que la asimilación es ineficiente, dado que entre el 30 y el 90% de los fármacos antimicrobianos se excretaron de los animales al ambiente debido a la baja adsorción de antibióticos en su intestino (Chan et al. 2022) y donde dichos residuos de molécula de antibióticos tienen su disposición en los suelos agrícolas, considerándolos así una preocupación mundial. Por otro lado, los agricultores por muchos años han empleado los restos de la agricultura como pastizales y materia orgánica vegetal, con fines de expansión y limpieza. Pero no se han generado posibles enmiendas eficientes, que hoy en día se conocen, como la quema de materia orgánica, los cuales son incinerados (pirolisis) para preparar subproductos (biocarbón) manteniendo así, la ideología de mejora de la fertilidad del suelo (Mahmoud et al. 2021).

Enfatizando el contexto anterior, la irrigación de los suelos agrícolas con aguas residuales semi tratadas, se demuestra la abundancia de firmicutes, en consecuencia, aumentando el contenido de carbono (valor nutritivo) proliferando las bacterias grampositivas como especies *Clostridium, Streptococcus y Staphylococcus* (nichos microbianos), demostrando gran carga de resistencia bacteriana ARG por la presencia de antibióticos como la Tetraciclina (TC) (Mhete et al. 2020a; Wu et al. 2021). De tal modo que, la concentración de antibióticos es mayor en las aguas residuales que en el suelo por la biofluides hídrica a diferencia

de la retención en el suelo (Qi et al. 2022a; Vilca et al. 2021), además, es preciso mencionar que los riegos realizados en verano poseen menor contenido de antibióticos que en la estación de invierno por la participación de fotocatálisis (Sui et al. 2016). Sin embargo, otra fuente de estos contaminantes son las excretas de los animales con residuos de antibióticos no metabolizados completamente, estos siendo utilizados como abono en la superficie del suelo agrícola, en este caso la TC 75% se excreta de forma activa (Lundström et al. 2016), Por esta razón, detectaron presencia de TC en diferentes profundidades de 10 cm con un máximo de 69,41 μg/kg y 50 cm con un máximo aproximado de 125,00 μg/kg demostrando una mayor bioacumulación a profundidad por el lixiviado y filtración en una granja de vacunos (Qi et al. 2022b). Además, de la presencia de TC de 10 μg/L en cuerpos acuáticos Nieto-Juárez et al. (2021). Por otro lado, se evidencia contaminación de aguas servidas hacia el Rio Osmore (ANA 2017), esta contaminación con posible presencia de estos antibióticos; y lo mismo sucede con la presencia de fármacos en la crianza de peces en agua dulce (Vilca et al. 2021) y con un actuar similar de granjas en la región Moquegua en aguas arriba, específicamente en la represa de Jucumari (MINAM 2021), además, se reporta ya la presencia de TC en Perú por estudios realizados por Nieto-Juárez et al. (2021). Y en base a esta premisa, renace que la cuenca de Moquegua y el rio Osmore, se encuentre recibiendo concentraciones de fármacos por el vertimiento de la PTAR Omo.

La presencia de residuos de antibióticos en la relación suelo planta, ocasiona la bioacumulación de estos compuestos en las raíces, mucho más que en los tejidos vegetales aéreos (Chen et al. 2020); en tal sentido, es debido a la absorción radicular, mediante la transpiración de las plantas, es que estos compuestos logran transportarse a las partes aéreas de la planta (Shen et al. 2021). Por otro lado, a mayor concentración de antibióticos en las plantas, las concentraciones de carbono en ellas disminuyen (Santás-Miguel et al. 2021; Vilca et al. 2022); en ese sentido, también disminuye los exudados de las raíces por la baja cantidad de carbono, produciendo un estrés a los microbios del suelo, siendo pieza clave para la formación de comunidades microbianas (Chai and Schachtman 2022). En el mismo contexto, se evidenció que la presencia de fluoroquinolonas afecta la reducción de tejidos vasculares y fotosíntesis alterando el proceso fotoquímico de las plantas (Gomes et al. 2020); así mismo, se muestra una disminución del número de hojas

de hasta 35,5% y la longitud de la raíz de las plantas se reducen hasta 40,7% con presencia de fármaco (Vilca et al. 2022).

Frente a la presencia de contaminantes en suelo, diversas estrategias se vienen investigando, es así que una de ella es el uso de enmienda de biochar (biocarbón), el cual tiene la propiedad de adsorber e inhibir los (analitos) antibióticos, pesticidas u otro agroquímico utilizado para mejorar de forma eficaz como enmienda, mas no eficientemente sustentable el suelo (P. Zhang et al. 2022); no obstante, en el proceso de pirolisis y según la temperatura ingresada afecta las propiedades del biocarbón (Ogura et al. 2021), y debido a ello se producen HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) estos en función de características lipofílicas podrían asimilarse en las plantas y de esta forma ingresando en las cadenas alimentarias (Valizadeh et al. 2022), de tal modo, los exudados de las raíces de las plantas cambian por el aumento de numero de anillos en las estructuras de los HAPs (Sun et al. 2010), la presencia de HAPs en los tejidos vegetales; están relacionados con cambios en el crecimiento de la planta y en la longitud de las raíces (Khan et al. 2022).

Por otro lado, alternativas de solución para la inhibición de antibióticos como la TC en el suelo, optaron por el uso de biocarbón, gracias a sus propiedades de degradación en las concentraciones de antibióticos, además de reducir los ARG (He et al. 2022). De modo que, se ha adoptado esta práctica sostenible de uso de biocarbón obtenido de diferentes materias orgánicas como: en mazorca de maíz, orujo de uva y residuo de molino de aceituna (del Pozo et al. 2022; Y. Zhang et al. 2022) con resultados similares. Por otro lado, el departamento de Moquegua produce 2,6 a 2,8 Tn de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) (GORE MOQUEGUA 2020), y donde la materia orgánica más producida es el residuo de la penca de tuna, los cuales no están siendo valorizadas. Siendo esta una oportunidad de convertirlas en biocarbón. Por otro lado, investigaciones detallan que durante el proceso de pirolisis y debido a la combustión incompleta se ha provocado producción de HAPs (Greco et al. 2021). Sin embargo, algunas plantas como la alfalfa (*Medicago sativa*) y su medio de forraje de leguminosas son potencialmente cultivados en los campos agrícolas han demostrado adaptabilidad a diferentes condiciones (Wu et al. 2022). Cuyos resultados vienen siendo viables para analizar los efectos de la absorción de los HAPs y tetraciclina ya sean en las áreas radiculares (nódulos), tallo, hoja y

peciolo de la planta (Cao et al. 2022). Es por este motivo que, se evaluó la bioeficacia del uso del biocarbón producido a partir de penca de tuna, en la reducción de los efectos negativos de la TC en la alfalfa, así como el incremento de la biodisponibilidad de HAPs en el suelo.

Formulación del problema de investigación

Interrogante general

- ¿El uso de biocarbón de penca de tuna en el suelo, reduce los efectos negativos de la tetraciclina en la alfalfa e incrementa la biodisponibilidad de HAPs?

Interrogantes especificas

- ¿La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción de la longitud de raíz de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC?
- ¿La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción de la altura de la planta de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC?
- ¿La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la disminución de los nódulos en las raíces de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC?
- ¿La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción del peso seco de la biomasa aérea y radicular de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC?
- ¿La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo incrementa concentraciones de HAPs en la biomasa de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC?

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo, reduce los efectos negativos de la TC en la alfalfa e incrementa la biodisponibilidad de HAPs.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evidenciar si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción de la longitud de raíz de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- Demostrar si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción de la altura de la planta de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- Evaluar si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la disminución de los nódulos en las raíces de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- Determinar si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción del peso seco de la biomasa aérea y radicular de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- Probar si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo incrementa concentraciones de HAPs en la biomasa de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

1.3. Justificación e importancia

La salud de las personas se verá afectada en un futuro, por las concentraciones de antibióticos y HAPs en el suelo; puesto que, los suelos agrícolas son donde producen los alimentos del hogar siendo estas fuente de alimento de la población, pero lamentablemente contaminados en concentraciones mínimas que se bioacumulan en los cultivos que son producidos en estas áreas; por otro lado, esta

investigación es un aporte para el cumplimiento en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la vida de ecosistemas terrestres del ODS 15 y la salud y bienestar del ODS 3 (Guterres Antonio 2023). De tal forma, es importante el estudio de los efectos que pueden generar en el ambiente para poder mitigar y prevenir las futuras consecuencias mediante investigaciones y sean apoyadas por el estado. Y así, proteger la seguridad alimentaria.

Se está normalizando el uso intensivo de antibióticos sin receta médica, la demanda de enfermedades se ha incrementado, uso de antibióticos en los animales de granja y las malas prácticas de realizar biocarbón, en consecuencia, las concentraciones de antibióticos y HAPs se están magnificando en la matriz suelo, estas desequilibran los parámetros requeridos para una buena agricultura en el futuro, puesto que el cambio de un parámetro como el pH con el tiempo va a desequilibrar cada componente microbiano, químico y físico del suelo; puesto que, cada parámetro está relacionado entre sí, funcionan sinérgicamente uno del otro; de modo que, tratar esta problemática es crucial para la humanidad, tanto como el interés de la matriz del suelo y subsiguiente los alimentos que se producen de ella, la bioacumulación de contaminantes es un problema que enfrentaremos en un futuro.

Se requiere aportar nuevos conocimientos sobre la matriz del suelo agrícola de la región Moquegua, debido a ello, en el presente proyecto de investigación se revelarán los efectos positivos y negativos del uso de biocarbón, siendo un tema de gran impacto con relación a los contaminantes de HAPs y antibióticos. Aun mejor, desarrollar una economía circular, puesto que el biocarbón de penca de tuna es una oportunidad para la región Moquegua, debido a que brinda un valor agregado como una biotecnología de remediación de suelos; por otro lado, la investigación aborda la importancia de evaluar este tipo de contaminantes que enfrenta la región Moquegua, debido a que a un futuro puede haber probabilidades de mayor índice de cáncer o resistencia bacteriana en Moquegua, provocando el incremento de enfermedades por la contaminación de estas moléculas que falta profundizar mejor sus efectos y poder prever con más investigaciones sobre el origen de este problema y futuros gestores puedan dar planes científicos de intervención o soluciones al problema, más aun abordando problemáticas de interés mundial; problemática, no muy tratada en la región. Desarrollar este proyecto brindará también aporte

científico para futuras investigaciones al respecto, y de esta forma elaborar biocarbón sosteniblemente enfrentando los problemas de salud a futuro.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo reduce los efectos negativos de la TC presente en el agua de riego en el cultivo de alfalfa e incrementa la biodisponibilidad de HAPs.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción de la longitud de raíz de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción de la altura de la planta de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la disminución de los nódulos en las raíces de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción del peso seco de la biomasa aérea y radicular de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
- La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo incrementa concentraciones de HAPs en la biomasa de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

1.5. Variables

Tabla 1:
Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Valor
Variable independiente: Aplicación de biocarbón y tetraciclina	Porcentaje	% de biocarbón de penca de tuna de 400 °C	gr
	Porcentaje	% de tetraciclina	µg/L
Variable dependiente: Disminución de efectos tóxicos y adsorción de HAPs	Características físicas de la Alfalfa	Longitud de raíz	cm
		Altura de alfalfa	cm
		N° de nódulos	Numérico
		Peso seco de biomasa aérea	gr
		Peso seco de biomasa radicular	gr
		Concentración de HAPS	µg/g

Fuente: Elaboración propia.

Operacionalización de variables

Variable independiente

- Biocarbón a temperatura 400 °C de penca de tuna (Opuntia ficus-indica) en concentraciones de 0, 1, 2 y 4% (m/m, biocarbón/suelo) y tetraciclina en concentración de 0.01 mg/L.

Variables dependientes

- Longitud de la raíz de la Alfalfa (*Medicago sativa*)
- Altura de la Alfalfa (*Medicago sativa*)
- Número de Nódulos de la Alfalfa (*Medicago sativa*)
- Peso seco de la biomasa aérea de la Alfalfa (*Medicago sativa*)
- Peso seco de la biomasa radicular de la Alfalfa (*Medicago sativa*)
- Concentraciones de HAPs en la biomasa de la alfalfa (*Medicago sativa*)

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

A nivel internacional, en china se registró un estudio sobre la relación del crecimiento de la alfalfa con la presencia de HAPs en este caso Pireno, la investigación titulada "Análisis metabolómico no dirigido para desentrañar los mecanismos de alivio de los nanotubos de carbono en la inhibición del crecimiento de la alfalfa bajo estrés de pireno" en el año 2022, a raíz del problema de la contaminación de HAPs en el suelo, tuvo el objetivo de investigar el efecto de los nanotubos de carbono sobre el crecimiento de la alfalfa bajo estrés de pireno, la metodología utilizada fue realizar una metabolómica no dirigida basada en GC-TOF-MS para evaluar los cambios fisiológicos de los exudados de la raíz de alfalfa inducidos por pireno y nanotubos de carbono. Los resultados permitieron revelar que el Pireno a 10 mg/kg redujo el peso fresco de los brotes de alfalfa en un 18,3%, asimismo, el HAP se bioacumuló principalmente en las raíces con un incremento de 35 veces más que en los brotes. En efecto, lo datos de metabolómica revelaron cambios metabólicos de gran impacto en los exudados de raíz de alfalfa, regulando a la baja 27 metabolitos, en consecuencia, teniendo un gran estrés en la planta. Por estos resultados de efectos negativos en la planta con presencia de Pireno, el estudio aplico un regulador llamado Nanotubos de carbono multipared (MWCNT), donde demostró la reducción del estrés por efecto del Pireno, como la minimización de Pireno en los brotes de la alfalfa, además, se logró la restauración de ácidos orgánicos y aminoácidos; asimismo, enriquecieron significativamente algunas vías metabólicas que tuvo fuerte correlación positiva con el crecimiento de brotes, así como también el ciclo TCA, el metabolismo de glioxilato y dicarboxilato; cisteína y metionina; alanina, aspartato y glutamato (R. Zhao et al. 2022).

A nivel internacional, en Taiwán investigaron la relación de HAPs y Tetraciclina titulada "Influencia de la temperatura de pirólisis en la producción de hidrocarburos aromáticos policíclicos y el comportamiento de adsorción de tetraciclina del biocarbón derivado de posos de café", en el año 2019, debido a que la TC es uno de los antibióticos más utilizados y con mayor cantidad, y para contrarrestar esta problemática utilizan biocarbón, sin embargo, se debe conocer su capacidad adsorción. Dicha investigación, tuvo el objetivo evaluar el efecto de

diferentes temperaturas de pirólisis sobre la formación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en residuos de café originados por biocarbón y el comportamiento de adsorción de tetraciclina (TC) del biocarbón en agua. Los resultados mostraron que el biocarbón sintetizado a 500 °C (residuos de café 500) contenía niveles bajos de HAP (600 µg/kg) y la mayor eficiencia de adsorción de TC (Nguyen et al. 2019).

A nivel internacional, se registra la investigación desarrollada en el Grupo de Laboratorio de Contaminantes Orgánicos y Ambiente de la provincia de Ilo, titulada "Presencia de residuos de Enrofloxacino en el suelo y su efecto sobre la fijación de carbono, número de nódulos y longitud de las raíces de alfalfa (*Medicago sativa*)" en el año 2022 el estudio consiste en la evaluación del efecto por presencia de Enrofloxacina (ENR) en el suelo debido a la irrigación con concentraciones de este antibiótico en la biomasa de la alfalfa. Las condiciones del estudio se dieron en una Cámara de crecimiento vegetal controlado en 40 días, de modo que la distribución fue de 12 macetas, donde se dio en tres tratamientos con 3 repeticiones y 3 testigos. Asimismo, la irrigación fue con 100 mL de agua tipo 2 durante los primeros 16 días y con una frecuencia de 48 horas, seguido de 200 mL de agua contaminada con ENR con una concentración de 2, 20 y 200 µg/L con cuatro días de frecuencia hasta la cosecha el día 40. Mediante este estudio permitió dar resultados de impacto ambiental en la alfalfa, sobre los efectos negativos que tiene este antibiótico; en ese sentido el estudio demuestra que, en el suelo se redujo la fijación de carbono atmosférico en tallos y hojas de alfalfa en 6.14% con un riego de ENR de 200 µg/L , en comparación con el grupo control; asimismo, el número de nódulos se redujo en un 91% con un riego de ENR de 200 µg/L , y la longitud de la raíz se redujo en un 32% con respecto al promedio del tratamiento. En consecuencia, la presencia de contaminantes emergentes, como el ENR, se podría afirmar que provoca daños en el desarrollo de los organismos en un nivel de la cadena trófica. Los estudios generan una alerta para el desarrollo de futuras investigaciones que involucren a otros organismos para su evaluación y comportamiento de este fármaco en diferentes niveles tróficos de la cadena alimentaria (Vilca et al. 2022).

A nivel nacional, también trabajaron una investigación en el laboratorio de Contaminantes Orgánicos y Ambiente de la provincia de Ilo, titulada "Optimización

de la eliminación de antibióticos por *Lemna gibba y Azolla filiculoides* mediante metodología de superficie de respuesta (RSM)" en el año 2022, las muestras fueron extraídas de Puno, debido a la preocupación de haber encontrado residuos de antibióticos en muestras ambientales, como agua, suelo e incluso alimentos, y generalmente provienen de aguas residuales, lo que presenta riesgos ambientales y para la salud humana. El estudio tuvo como objetivo mejorar la eliminación de los antibióticos Tetraciclina (TC) y Cloranfenicol (Clor) modificando tres factores tiempo de contacto (3-7 días), biomasa vegetal (10-14 g) y concentración de antibiótico de 5–15 mg/L para TC y 10–20 mg/L para Clor respectivamente. Se utilizó un enfoque que optimiza el tiempo y los recursos, la metodología de superficie de respuesta, con un diseño experimental para cada especie de planta utilizada. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para la eliminación de TC y Clor variaron dependiendo de la especie de planta utilizada, y se alcanzaron tasas de eliminación de hasta el 100% y 84% de TC con *Azolla y Lemna,* respectivamente. Los factores de bioconcentración también variaron dependiendo de la especie de planta, y en general, se obtuvieron mejores resultados con *Azolla*. En conclusión, este estudio demuestra que la utilización de plantas seleccionadas puede ser una alternativa sostenible y efectiva para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con residuos de antibióticos (Maldonado, Vega Quispe, et al. 2022).

A nivel nacional, se evidencia el estudio de antibióticos en Perú, el estudio titulado "Identificación y Cuantificación de Residuos de Antibióticos y Evaluación de Resistencia Microbiana a Antibióticos en Aguas del Río Huatanay en Perú", en el año 2023, debido a que, en el curso del río Huatanay en Cusco, Perú, se registran descargas de aguas residuales que tienen un impacto significativo. Para evaluar esta influencia, llevaron a cabo un estudio para analizar los efectos de los residuos de antibióticos en el aumento de la resistencia bacteriana en la planta de tratamiento de aguas de la ciudad de Cusco. Para ello, emplearon métodos cromatográficos para analizar muestras de agua recolectadas tanto antes como después del proceso de tratamiento en la planta. Además, realizaron pruebas de sensibilidad en tres cepas bacterianas (*Escherichia coli, Salmonella sp. y Klebsiella sp.*), aisladas de la misma fuente. Identificaron seis tipos de residuos de antibióticos (Ceftriaxona, Amoxicilina, Trimetoprima, Sulfametoxazol, Dicloxacilina y Lincomicina). Se observó que en el efluente había una mayor resistencia bacteriana en comparación

con el afluente, especialmente en el caso de *E. coli*, que mostró resistencia en el efluente a la Cefalexina (30 µg) y Azitromicina (15 µg); *Salmonella sp*. presentó resistencia a la Amoxicilina (15 µg), Dicloxacilina (1 µg), Lincomicina (2 µg), Ceftriaxona (30 µg), Cefalexina (30 µg) y Ciprofloxacina (5 µg). Por último, *Klebsiella sp*. resultó ser sensible a la Ceftriaxona (30 µg), Amoxicilina (15 µg) y cefalexina (30 µg), estos hallazgos confirman que los residuos de antibióticos presentes en las aguas residuales de Cusco están generando resistencia en las bacterias aisladas en el estudio (Castillo De Loayza et al. 2023).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Penca de Tuna (*Opuntia ficus indica*)

2.2.1.1. Penca o cladodios

Las pencas denominadas cladodios de 30 a 60 cm de largo, por 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas más o menos numerosas de color amarillas. Estas estructuras transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, los mismos que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso. Las pencas y tallos tienen espinas. El sistema radicular es profundo; no obstante, dependiendo de la humedad ambiental, pueden desarrollar raíces laterales superficiales (Amaya Robles 2009a).

2.2.1.2. Producción de (*Opuntia ficus indica*) en nuestro país

En la Actualidad el consumo y cultivo del fruto de la tuna viene creciendo continuamente en varias partes del mundo y nuestro país no ajeno a ello, es uno de los exportadores de gran cantidad de este fruto (MIDAGRI 2021), debido a que este fruto posee valores nutricionales muy importantes, como también por sus

características sensoriales, proporcionados por el aroma y sabor características de la especie, siendo importante hacer extensivo el consumo de frutos y hojas de tuna, esto debido a sus propiedades antioxidantes donde su potencial ha sido reconocido por la FAO para el desarrollo de las regiones áridas y semi áridas, en los países en desarrollo (Amaya Robles 2009b).

Tabla 2:
Comparación de la composición química de la penca de tuna

COMPONENTE	COMPOSICIÓN QUIMICA DE LA PENCA DE TUNA		
	Penca de tuna (Base húmeda) 2017	**Penca de tuna (Base seca) 2014**	**Penca de tuna (Base húmeda) 2007**
Humedad %	95.06%	1.05%	94.33%
Cenizas totales %	0.52%	4.2%	1.60%
Proteína	0.96%	0.51% (x 6,25)	0.48% (x 6.25)
Grasa	0.30%	0.18%	0.11%
Fibra	2.01%	1.07%	1.06%
Carbohidratos	3.46%	32.75%	2.43%
pH	5.40		

Fuente:(Chura Quispe 2015; Guzmán, D. Chávez 2007)

2.2.1.3. Estructura físico - química

Dicho mucílago contiene principalmente dos polímeros naturales orgánicos: amilasa y amilo pectina. La amilasa se encuentra formando una cadena helicoidal que, en solución, tiene la capacidad de formar películas delgadas que, al secar, presentan alta rigidez (Elizabeth 2017).

2.2.2. Bio-eficiencia de producción de biocarbón

2.2.2.1. Biocarbón

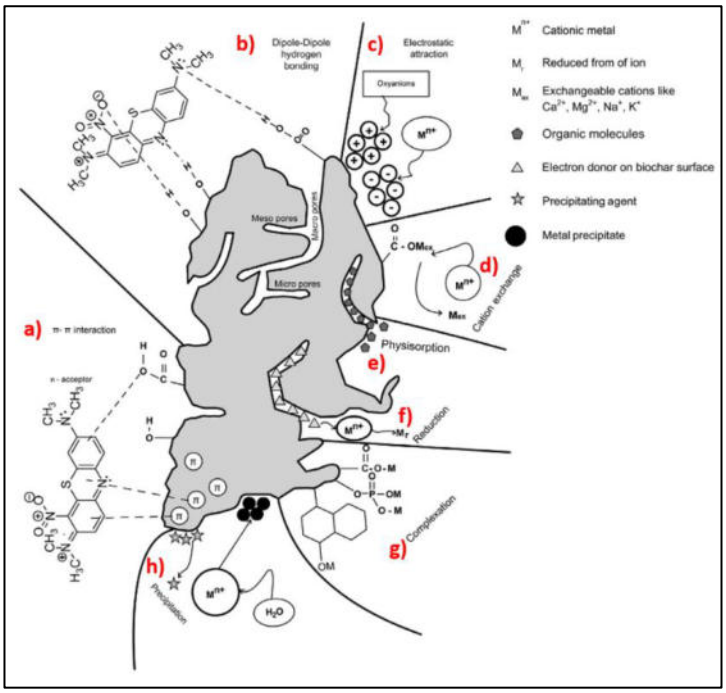
Biocarbón o en sus siglas en ingles biochar; son de origen vegetal con biomasa de celulosa, hemicelulosa y lignina representan la arquitectura estructural de la planta; y rico en carbono. Esta enmienda de remediación se produce por la pirolisis en un ambiente sin oxígeno a más de 300 °C, de modo que 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. Algunos de los parámetros que afectan las características fisicoquímicas del biocarbón incluyen las materias primas, las condiciones de reacción como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia y la temperatura de reacción. (Riti Thapar Kapoor, Helen Treichel 2022a)

2.2.2.2. Propiedades de adsorción

La adsorción es la retención átomos, iones o moléculas en la superficie del adsorbente (biocarbón), de tal modo creando una película de adsorbato. Ahora, abordando en el biocarbón con los contaminantes orgánicos, los principales responsables de la adsorción son la interacción π-π (interrelación no covalente para la estabilización de una molécula o conjunto de átomos), la sorción hidrofóbica, los enlaces de hidrógeno, la interacción electrostática, la difusión de poros, complejación de la superficie (nivel de sinergia entre los grupos funcionales que poseen oxígeno), la partición a través de grupos funcionales (Tareq, Akter, and Azam 2019a).

Figura 1

Principales mecanismos que rigen la remediación 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. Adaptado de (Tareq, Akter, and Azam 2019b)

2.2.2.3. Pirolisis

Es la descomposición térmica o comúnmente conocida como pirolisis es un proceso que no se requiere oxígeno. Entonces, la pirolisis consiste en el calentamiento de compuestos orgánicos a temperaturas superiores de 300 °C en las diferentes atmósferas inertes, proporcionando la estructura micro porosa de las redes del biocarbón, puesto que, libera los materiales que obstruyen los poros de esta forma, creando los micro poros. Algunos de los parámetros que afectan las características fisicoquímicas del biocarbón incluyen las materias primas, las condiciones de reacción como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia y la temperatura de reacción (Rafiq et al. 2016).

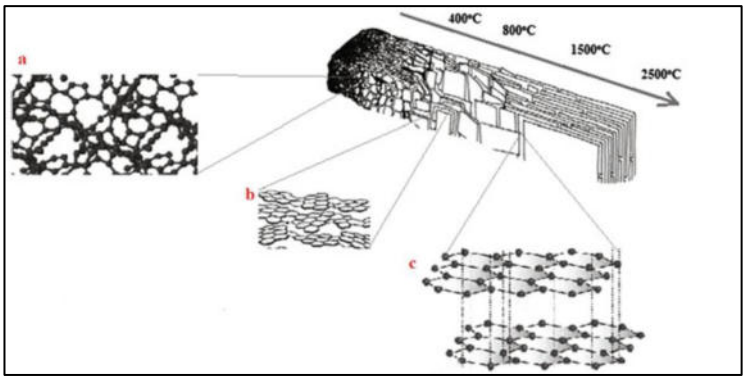
El biocarbón producido en condiciones libres de oxígeno mostró polaridad debido a la presencia de alquilo, carbono carboxilo, metoxilo y O-alquilo, mientras

que el biocarbón producido en condiciones oxigenadas mostró características de aromaticidad (Michelon et al. 2021).

2.2.2.4. Temperatura adecuada de producción de biocarbón

La temperatura es punto clave para la optimización del biocarbón, a mayores temperaturas proporciona mayor propiedad hidrofóbica con la riqueza del carbono bien formadas, esto es debido a la perdida de agua y grupos oxigenados (Riti Thapar Kapoor, Helen Treichel 2022b). El pH aumenta con el aumento de la temperatura, de modo que, los grupos funcionales se des-protonan debido al el número de cadenas laterales ácidas como –OH y – COOH se reducen (Lahiri et al. 2022a).

Figura 2
Efecto de la temperatura de pirolisis en biocarbón



Nota: La figura representa los cambios estructurales del biocarbón con el aumento de la temperatura. (a) carbón amorfo, (b) carbón turboestrático, (c) grafito de carbono. Adaptado de (Tomczyk, Sokołowska, and Boguta 2020).

2.2.2.5. Tipos de pirolisis

- **Pirolisis lenta**

Es la aplicación de temperatura en un proceso lento dependiendo de minutos a horas. La pirolisis lenta es más eficiente que la pirolisis rápida porque el proceso lento tiene una combustión completa con una velocidad de calentamiento < 10 °C/min con una temperatura de 350 a 800 °C favorable para un mayor rendimiento

de 30 a 60% (Brewer et al. 2012; Joe Cyril Harrish and Pawar 2021; Lahiri et al. 2022b).

- **Pirolisis rápida**

Es la aplicación de temperatura de forma brusca en un golpe de pequeñas partículas en los diferentes compuestos orgánicos dándose en un proceso de transferencia de calor en milisegundos a segundos con una velocidad de calentamiento (1,000 °C/s), con un rendimiento de 10 y 20% del biocarbón, mayormente utilizado para realizar bioaceites (Brewer et al. 2012; Joe Cyril Harrish and Pawar 2021; Lahiri et al. 2022b).

2.2.3. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

2.2.3.1. Origen de producción de HAPs

Debido a la combustión incompleta, pirólisis de materiales orgánicos por parte de la industria, el riego prolongado con aguas residuales, los lodos de depuradora reutilizados y el uso de fertilizantes en la producción agrícola dan como resultado altas concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en suelo agrícola. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) indican la presencia de 16 HAPs más prioritarios y en conjunto con la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer clasifican siete HAPs (benzo pireno, benzo antraceno, criseno, benzo fluoranteno, benzo fluoranteno, dibenz antraceno e indeno pireno) como probables carcinógenos humanos (Zhang et al. 2015).

2.2.3.2. Estructura y propiedad físico química de los HAPs

Los HAPs son contaminantes orgánicos ubicuos y la mayoría de ellas pertenecen al grupo de los contaminantes orgánicos persistentes (COP), los HAPs son contaminantes hidrofóbicos y persistentes, que pueden representar una amenaza para los organismos vivos debido a sus propiedades mutagénicas y cancerígenas; su estructura química está compuesta por anillos bencenoides condensados; así

mismo, el aumento del número de anillos en la molécula (aumenta la masa molar), aumenta la característica liófila de los HAPs, mientras que disminuye su volatilidad y solubilidad en agua; por lo tanto, no se degradan lo suficiente en el medio ambiente (Chaber and Gworek 2020).

Tabla 3:
16 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos principales

N°	COMPUESTO	FORMULA MOLECULAR	N° DE ANILLOS	BIO - DEGRADACIÓN (VIDA MEDIA)	OCTANOL-AGUA (LOG P)
1	Naftaleno	C10H8	2	**3.02**	3.3
2	Acenaftileno	C12H8	3	**38.9**	3.94
3	Pireno	C16H10	4	**237**	4.88
4	Acenafteno	C12H10	3	-	3.92
5	Fluoreno	C13H10	3	**43.9**	4.18
6	Antraceno	C14H10	3	**123**	4.45
7	Fenantreno	C14H10	3	**42.3**	4.46
8	Fluoranteno	C16H10	4	-	5.16
9	Criseno	C18H12	4	**377**	5.81
10	Benzo [a] ant raceno	C18H12	4	**286**	5.76
11	Benzo[b] fluranteno	C20H12	5	-	5.78
12	Benzo[k] fluonteno	C20H12	5	-	6.11
13	Benzo[a] pireno	C22H12	5	**224**	6.13
14	Indeno [1,2, 3-cd] pireno	C22H12	6	-	6.7
15	Benzo [g,h,i] perileno	C22H12	6	-	6.63
16	Dibenzo [a,h] antraceno	C22H14	5	-	6.75

Fuente: (Mukhtar et al. 2020)

2.2.3.3. Movilidad de los HAPs

El sistema del suelo es uno de los principales sumideros de HAP en el medio ambiente. Y su capacidad para acelerar la evolución adaptativa de las bacterias, Además de la abundancia de entorno microbiano que facilita la transferencia horizontal de ARG, existe una alta probabilidad de contaminación del suelo modificado antropogénicamente y las aguas superficiales, subterráneas y suelos adyacentes con ARB y ARG. Los HAP son contaminantes del suelo con propiedades mutagénicas y cancerígenas con una alta capacidad de acumulación. Afectan a todos los organismos vivos y pueden acumularse en las cadenas alimentarias (Chen et al. 2018).

2.2.4. Antibióticos

2.2.4.1. Consumo de antibióticos

Demanda de antibióticos demuestran que, entre los años 2000 y 2015 el consumo mundial de antibióticos por los seres humanos aumentó en un 65%, lo que equivale a un aumento de 21.100 a 34.800 millones de dosis diarias. También se indica que, de mantenerse esta tendencia, se estima que el consumo aumentará hasta el 200% para 2030, lo que sugiere un aumento significativo en el consumo de antibióticos en los próximos años (Klein et al. 2015). Por otro lado, un informe reciente se predijo que el consumo anual de antimicrobianos aumentaría a aproximadamente 105 596 ± 3605 toneladas para el año 2030. Este dato muestra que se espera un aumento significativo en el consumo de antimicrobianos en el futuro cercano (Van Boeckel et al. 2015).

2.2.4.2. Tetraciclina (TC)

Se descubrió en 1948 la TC, entrando al mundo de la comercialización (Nelson and Levy 2011). Asimismo, durante el tiempo, la TC se convirtió en uno de los fármacos potencialmente más consumidos, utilizados y comunes para tratar

infecciones por bacterias en animales y seres humanos, además, por su alta actividad antibiótica y bajo costo. De hecho, estadísticamente el consumo mundial en los continentes es Europa (41,2%), América (40,8%), África (31,7%) y Asia (31,2%) (Fang et al. 2020; Scaria, Anupama, and Nidheesh 2021a).

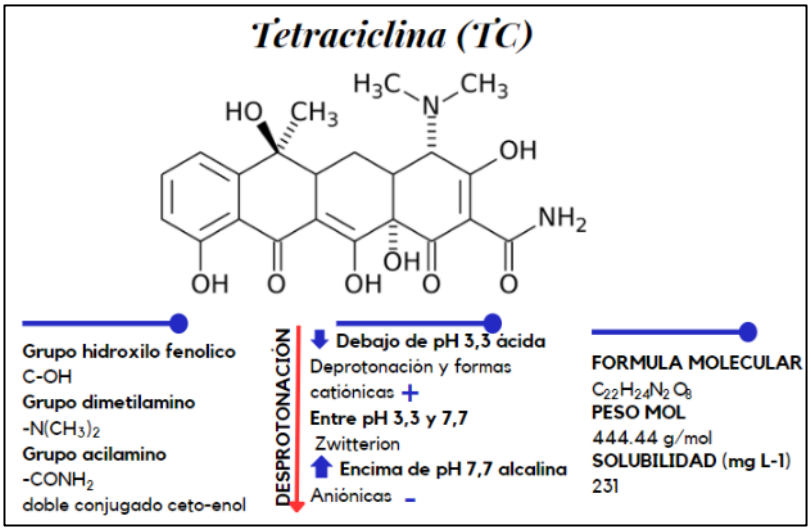
Es considerado un antibiótico de amplio espectro, perteneciente a la familia de tetraciclinas (Fuoco 2012a; Rusu and Buta 2021a), además se mencionan que se divide en 3 generaciones:

Tabla 4:
Generaciones de la tetraciclina

Generación	Método de obtención	Antibiótico
Primero	Biosíntesis	Clortetraciclina, oxitetraciclina, tetraciclina, demeclociclina
Segundo	Semisintesis	Doxiciclina, minociclina, limeciclina, meclociclina, metaciclina, rolitetraciclina
Tercero	Semisintesis	Tigeciclina, omadaciclina, sareciclina

Fuente: (Fuoco 2012b; Rusu and Buta 2021b)

Figura 3
Imagen referencial de la tetraciclina



Fuente: (Dai et al. 2020)

Son compuestos cristalinos de color amarillo, su esqueleto constituye cuatro anillos fusionados donde incluye el hidronaftaleno; tienen una ligera solubilidad en agua, menor solubilidad en alcohol e insolubles en disolventes orgánicos (Dai et al. 2019; Scaria, Anupama, and Nidheesh 2021b). Por otro lado, las propiedades que le confiere a la TC son proporcionada por grupos funcionales como el grupo hidroxilo fenólico (C-OH), el grupo dimetilamino (-N(CH3)2), el grupo acilamino (-CONH2) y el sistema de doble enlace conjugado ceto–enol (Dai et al. 2020).

La molécula de TC comprende una deficiente fracción de electrones (grupos amino y enona) y otra fracción rica en electrones (anillo de fenol), de modo que le confiere las propiedades distintas de tres pKa, proporcionando valores 3,30, 7,7 y 9,7 (Liu et al. 2012; Yi et al. 2020). En efecto, el pH es uno de los parámetros muy importantes e imprescindibles a tomar en cuenta, debido a que cuando el pH aumenta de una condición altamente ácida a una alcalina, los TC se desprotonan y se comportan como formas catiónicas (por debajo de pH 3,3), zwitterion (entre pH 3,3 y 7,7) y aniónicas (pH por encima de 7,7). En ese sentido, las TC son aceptores de electrones, donante de electrones, como resultado de la distribución variada de la densidad de electrones. Las TC poseen una fuerte tendencia a formar complejos con iones metálicos divalentes (Seifrtová et al. 2009).

2.2.4.3. TC en el medio ambiente

La presencia de TC en el ambiente se debe a la deficiente sintetización, el grupo de las tetraciclinas se excretan el 70% en orina y heces fecales de los humanos y animales, siendo liberados en forma activa al medio ambiente (Andreu et al. 2009), asi mismo, las TC no son metabolizados correctamente y se absorbe en el organismo de los animales entre un 10 y 40% (Barrios et al. 2020). De hecho, la TC es biodegradable, pero solo una fracción limitada, puede descomponerse en compuestos sin reaccionar mediante reacciones como la glucuronidación, la basificación y la disociación (Siddhardhan, Surender, and Arumanayagam 2023).

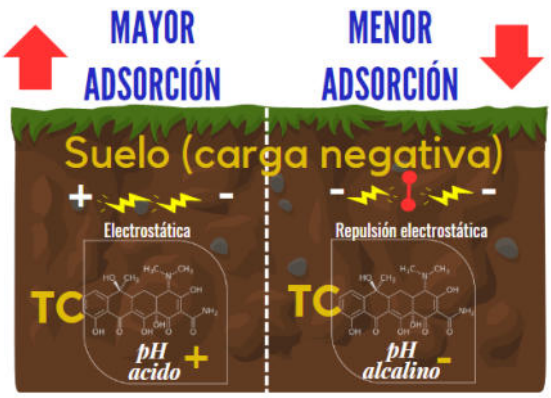
Mediante estas excretas, llegan a las aguas residual siendo reservorio de antibióticos entre ellas la TC, como resultado detectadas en PTAR urbanas y en aguas superficiales oscilando entre µg/L y mg/L (Ben et al. 2018; Liu et al. 2020). La presencia de TC en aguas superficiales se debe a la inadecuada remoción de los sistemas de tratamientos convencionales (PTAR), asimismo, se encuentra TC en suelos, sedimentos, lodos y estiércol debido a que tiene la capacidad de adsorción en estas matrices; por otro lado, también existe presencia de TC en aguas subterráneas e incluso tiende a llegar a compartimientos de agua potable (Scaria et al. 2021b).

2.2.4.4. La TC y sus factores fisicoquímicos

La capacidad de adsorción de las TC disminuye por un cambio brusco de un pH de 4 a 8, esto se explica, cuando el pH es alcalino está en forma aniónica y en acción con el suelo aniónico, da por efecto una repulsión electrostática, en ese sentido disminuye la sorción de TC en el suelo. De forma inversa ocurre, en condiciones acidas una reacción electrostática de modo que perdura la presencia de TC o antibióticos en el suelo, causando efectos negativos al microbiota del suelo (Ali et al. 2013; Chen, Zhu, and Zhang 2023; Sassman and Lee 2005). Asimismo, otros estudios afirman que la presencia de Cd2+ promovió la sorción de TC en suelos ácidos, asimismo que, disminuyó la sorción de TC en suelos alcalinos (Scaria et al. 2021b). Por otro lado, inducir nitrógeno al suelo hace efecto de degradación

de la TC, de modo que la disipación de TC aumenta en relación de la adición de nitrógeno (Bansal 2012a).

Figura 4
Imagen referencial de los factores químicos de la TC



Fuente: (Bansal 2012b)

2.2.5. Alfalfa, bioindicador de contaminantes emergentes

2.2.5.1. Organografía de la alfalfa

Semilla

Las semillas maduras de alfalfa tienen un tamaño de 1-2 mm de longitud por 1-2 mm de ancho y 1 mm de espesor, y están compuestas por el funículo, el tegumento, el embrión y el albumen. Para germinar, necesitan humedad suficiente pero un exceso de humedad puede paralizar su crecimiento debido a la reducción de poros libres en el suelo. La alfalfa puede producir semillas "duras" que no pueden absorber agua debido a un engrosamiento de las paredes exteriores de las células en empalizada de la testa, lo que responde a un mecanismo de supervivencia de la especie. El porcentaje de semillas duras disminuye con el tiempo (Basigalup 2007).

Raíz

El sistema radicular de la alfalfa es robusto y profundo, y se encarga principalmente de la absorción de agua. En sólo 2 a 4 años de vida, si no hay impedimentos en el perfil del suelo, la raíz principal puede alcanzar de 2 a 5 metros

de profundidad, lo que le permite extraer agua de capas profundas y la hace tolerante a la sequía. Hay cuatro tipos de sistemas radiculares en la alfalfa: raíz pivotante, ramificada, rizomatosa y rastrera. La presencia de raíces secundarias varía según la variedad de alfalfa y su grado de latencia, siendo mayor en alfalfas de reposo invernal intermedio o moderado (Basigalup 2007).

Tallo y corona de la alfalfa

La alfalfa presenta un tallo primario cuadrado con estomas y pelos, que tiene tanto crecimiento primario como secundario. El crecimiento secundario origina un eje leñoso o porción perenne que forma parte de la corona de la planta, que es una estructura que incluye la parte basal de tallos nuevos y viejos. La corona es importante como almacenadora de sustancias de reserva y sede de yemas para nuevos rebrotes. El ciclo de acumulación y utilización de estas sustancias es fundamental para la vida de la planta y afecta las prácticas de manejo del cultivo (Basigalup 2007).

Hoja

La plántula de alfalfa presenta una primera hoja orbicular unifoliolada, seguida por hojas pinnaticompuestas o imparipinnadas. Las hojas adultas son trifolioladas y se componen de tres folíolos peciolulados, que pueden ser oblongos, obovados, redondeados o lineales. Las hojas se unen al tallo por el pecíolo y pueden originarse del ápice del tallo o de yemas laterales en los nudos de los tallos (Basigalup 2007).

Flor

Cuando el ápice del tallo cambia de crecimiento vegetativo a reproductivo, se produce el desarrollo de la flor. Este cambio, conocido como transición, empieza con la aparición de una protuberancia en la axila del primordio foliar que está cerca del ápice del tallo. A partir de cada primordio foliar, se origina una inflorescencia en forma de racimo simple (Basigalup 2007).

2.2.5.2. Propiedades de la Alfalfa

Uno de los cultivos antiguos es *Medicago* sativa *L.* comúnmente conocida como alfalfa, de una variedad conocida como Alfalfa variada *(Medicago sativa subsp. varia (Martyn) Arcang*), es una leguminosa forrajera ampliamente cultivada para la cría de animales. Sin embargo, los últimos años se ha dado como consumo humano en los países occidentales. Así mismo, considerando un alimento nutricional que permite su consumo seguro por parte de los humanos en forma de semillas comestibles, brotes y concentrados de proteína (Bresson et al. 2009). Las semillas de alfalfa contienen una mayor cantidad de proteínas, lípidos, cenizas y fibra dietética total en comparación con el trigo y el arroz (Giuberti et al. 2018). Son responsables de la expresión de las actividades antioxidantes , anticancerígenas, antiateroscleróticas, antidiabéticas y anti obesidad de las semillas de alfalfa (Cornara, Xiao, and Burlando 2016).

La alfalfa es una planta de fácil cosecha y en cualquier tiempo del año, de modo que rinde una alta productividad como forraje. Asimismo, estudios recientes han demostrado que la alfalfa responde a factores ambientales y agronómicos de manera diferente en diferentes condiciones (Dos Santos et al. 2020; Tlahig et al. 2021). Además, las altas precipitaciones mitigan la restricción de agua para la alfalfa y, por lo tanto, aumentan la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno (Liu et al. 2018a), inhibiendo la fotorrespiración (Molero et al. 2019) y disminuyendo la concentración de fibra (Liu et al. 2018b). Las hojas de alfalfa tienen un contenido de proteína cruda de alrededor del 30% de materia seca (MS) (Dale 2002), que es un buen alimento para animales y también un buen recurso potencial para producir concentrados de proteína. Los tallos de alfalfa tienen un alto contenido de polisacáridos de alrededor del 50% en materia seca (Dien et al. 2011; Zhou and Runge 2014).

2.3. Definición de términos

- **Antibiótico**: Empleado en el tratamiento y la prevención de infecciones causadas por bacterias. Su modo de acción implica la eliminación directa de

las bacterias o la detención de su crecimiento, lo que favorece que el sistema inmunológico combata la infección de forma más eficaz (Zabiszak et al. 2023).

- **Hidrocarburos Aromáticos policíclicos:** En sus siglas HAPs, se trata de sustancias orgánicas que contienen dos o más anillos aromáticos unidos, y se hallan ampliamente dispersas en la naturaleza. Debido a su capacidad carcinogénica y toxicidad, constituyen una seria preocupación para la preservación de la vida humana (Cai et al. 2023).
- **Pirolisis:** Se describe como el proceso termoquímico de descomposición de la materia prima de biomasa a temperaturas que oscilan desde moderadas (300-800 °C) hasta elevadas (800-1300 °C) en una atmósfera (Gurtner et al. 2023).
- **Biocarbón:** Se obtiene del tratamiento térmico de residuos de biomasa en condiciones de escasez y ausencia de oxígeno, utilizado como enmienda del suelo, tratamiento de aguas residuales y almacén de energía (Gao et al. 2023).
- **Contaminantes emergentes:** Son productos farmacéuticos y de cuidado personal donde la tiende a tener una definición en dos características principales de "nuevo" puede haber sido descubierto o preocupado recientemente y "la amenaza a la salud humana o al medio ambiente es sustancial" (Fan et al. 2023).
- **Resistencia Bacteriana:** Las bacterias resistentes a los antibióticos (BRA) son capaces de sobrevivir y, en algunos casos, prosperar cuando se encuentran en presencia de uno o varios agentes antibacterianos. Esto afecta negativamente su capacidad para ser controladas, y el aumento de enfermedades y muertes atribuibles a la resistencia a los antibióticos es directamente causado por la presencia de genes de resistencia a los antibióticos (Li et al. 2023).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación reúne las condiciones metodológicas de una investigación básica, pura o fundamental, este es un tipo de investigación científica que tiene como objetivo mejorar las teorías de la ciencia, para una mejor comprensión y predicción de fenómenos naturales. Es así que, el presente estudio presenta un enfoque cuantitativo.

El nivel de investigación es de tipo explicativo, debido a que el objetivo principal es la verificación de hipótesis causales. Por otro lado, el diseño de la investigación es experimental, debido a que el experimento se realizó en laboratorio; asimismo, los componentes principales del experimento son: la manipulación, control y observación.

Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación presentó un diseño experimental 1x5, de modo que, solo corresponde de un solo factor, siendo unifactorial, el factor corresponde a 400 °C de biocarbón y sus niveles de tratamiento con las concentraciones de biocarbón a agregar el cual consiste en (0, 1, 2 y 4%), así mismo, para el riego se agregó concentraciones de tetraciclina de 0.01 mg/L en cada tratamiento, además un tratamiento blanco (B-0) que no se le agregó biocarbón ni TC. Finalmente, se realizaron el análisis de varianza (ANVA) y las pruebas de significancia para comparar los resultados obtenidos entre los distintos tratamientos.

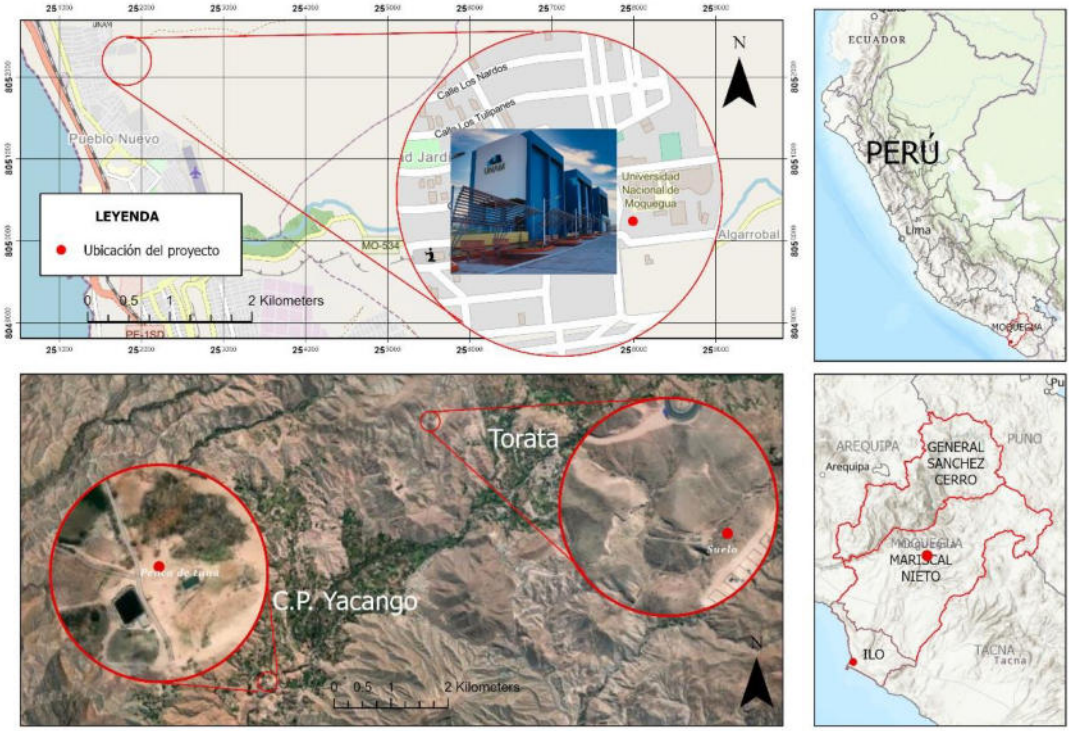
3.2. Ámbito temporal y espacial

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la UNAM, filial Ilo. El experimento se realizó bajo condiciones ambientales controladas, utilizando

maceteros de polietileno con una capacidad aproximada de 4 kg de suelo y sustrato, a los que se añadió biocarbón o no, según el tratamiento. Cada maceta de plástico tenía dimensiones de 15 cm de diámetro y 20 cm de altura.

Se analizaron la longitud y el peso seco de la biomasa radicular, así como la altura de la planta, el peso seco de la biomasa aérea y el número de nódulos. Además, se midieron las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en biomasa de alfalfa. La preparación del suelo e instalación del experimento se llevó a cabo en el mes de abril de 2024, mientras que la cosecha y el análisis de los datos se efectuaron en junio de 2024.

Figura 5
Ubicación de la ejecución del proyecto y los recursos



Nota: Los puntos correspondientes a Torata y C.P Yacango, fueron los lugares donde se extrajeron el suelo y la penca de tuna respectivamente. El punto de la UNAM, fue el lugar donde se realizó todo el experimento.

3.3. Población y muestra

- **Población:**

  Cultivos agrícolas de alfalfa irrigados con Tetraciclina.

- **Muestra:**

  Maceteros con suelos irrigados con concentración de Tetraciclina de 0.01 mg en litro de agua, con una repetición de 3 veces en cada tratamiento, obteniendo 15 macetas, incluyendo blancos.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Materiales, reactivos y equipos

Materiales

- Probetas de 50, 250, 500 y 1000 mL
- Fiolas de 10, 25, 50, 100, 200, 250 y 500 mL
- Pipetas de 1, 2, 5, 10 mL
- Vaso de precipitación de 100 y 250 mL
- Membrana de nylon de 0.45 µm
- Columnas C18 y C8
- Envases color ámbar
- Micro pipeteadores 1000, 100, 10 y 5 µL
- Maceteros
- Tamizadores
- Flexómetro o reglas
- Crisoles de porcelana
- Semillas de alfalfa

Reactivos

- Agua ultra pura
- Acetonitrilo HPLC (Tedia)
- Metanol grado HPLC
- Agua Milli-Q (Synergy Ultrapure Water System, Millipore, Francia)

Equipo

- HPLC con detector DAD Infinity II 1290
- Balanza analítica con sensibilidad de 0.0001g y con una capacidad de 200g
- Sistema de filtración al vacío
- Agitadores magnéticos
- Centrifuga refrigerada
- Purificador de agua tipo I
- Vortex

3.5. Procedimiento

Preparación del suelo

Para el experimento, se utilizó una colecta de suelo de la capa superficial de 0 a 30 cm de profundidad (Vilca et al. 2022), proveniente de una zona alejada de cualquier granja, planta de tratamiento de aguas residuales u otras fuentes de emisiones domésticas que pudieran afectar dicho suelo. Es decir, se seleccionó un suelo en el que no hubiese presencia o intervención de antibióticos. Para ello, se escogió un suelo de Torata. Posteriormente, este suelo fue tamizado con una malla de 2 mm para separar los materiales no deseados, obteniendo una consistencia uniforme que permitió su manipulación (Mendes et al. 2019). Seguidamente, antes de unir con las concentraciones de biocarbón, se mezcló con compost orgánico (----) en una proporción 1:3 p/p es decir (1 kilo de compost y 3 kilos de suelo) para todos los tratamientos por igual.

Por otro lado, con el objetivo de evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo en estudio, se optó por enviar las muestras a un laboratorio acreditado por INACAL. Las muestras fueron enviadas a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, ubicada en el departamento de Amazonas, y específicamente analizadas en el laboratorio LABISAG.

Preparación para la elaboración del biocarbón de penca de tuna

Para la biomasa de penca de tuna, se colocó en una estufa a 70 °C durante 24 horas. Seguidamente, se pesaron los crisoles vacíos y se colocaron las muestras de pencas de tuna cortadas en cuadrados, respectivamente. Después, los crisoles llenos también fueron pesados y se cubrieron con tapas del mismo material de los crisoles (Ji et al. 2020). Una vez pasado el tiempo de secado, las muestras fueron llevadas a una mufla y se carbonizaron a una temperatura de 400 °C, calentándose a una velocidad de 10 °C/min durante 60 minutos, lo que fue considerado como rampa (Pap et al. 2018).

Posteriormente, al elaborarse el biocarbón (BC) a temperaturas relativamente altas, comenzó a presentar una porosidad y un área de superficie elevada, lo que tuvo una relación directa en la sorción de contaminantes orgánicos presentes en sus poros (Lima et al. 2022). Una vez frías las muestras de biocarbón, fueron molidas en morteros de ágata hasta obtener partículas relativamente pequeñas, para luego ser tamizadas a través de una malla tamiz de 200 μm. Más adelante, el biocarbón se colocó en bolsas impermeables hasta su proceso de mezclado con el suelo, considerando la relación del peso de los materiales antes y después de la carbonización (Ji et al. 2020).

Figura 6
Proceso de elaboración y preparación de biocarbón



Fuente: Elaboración propia.

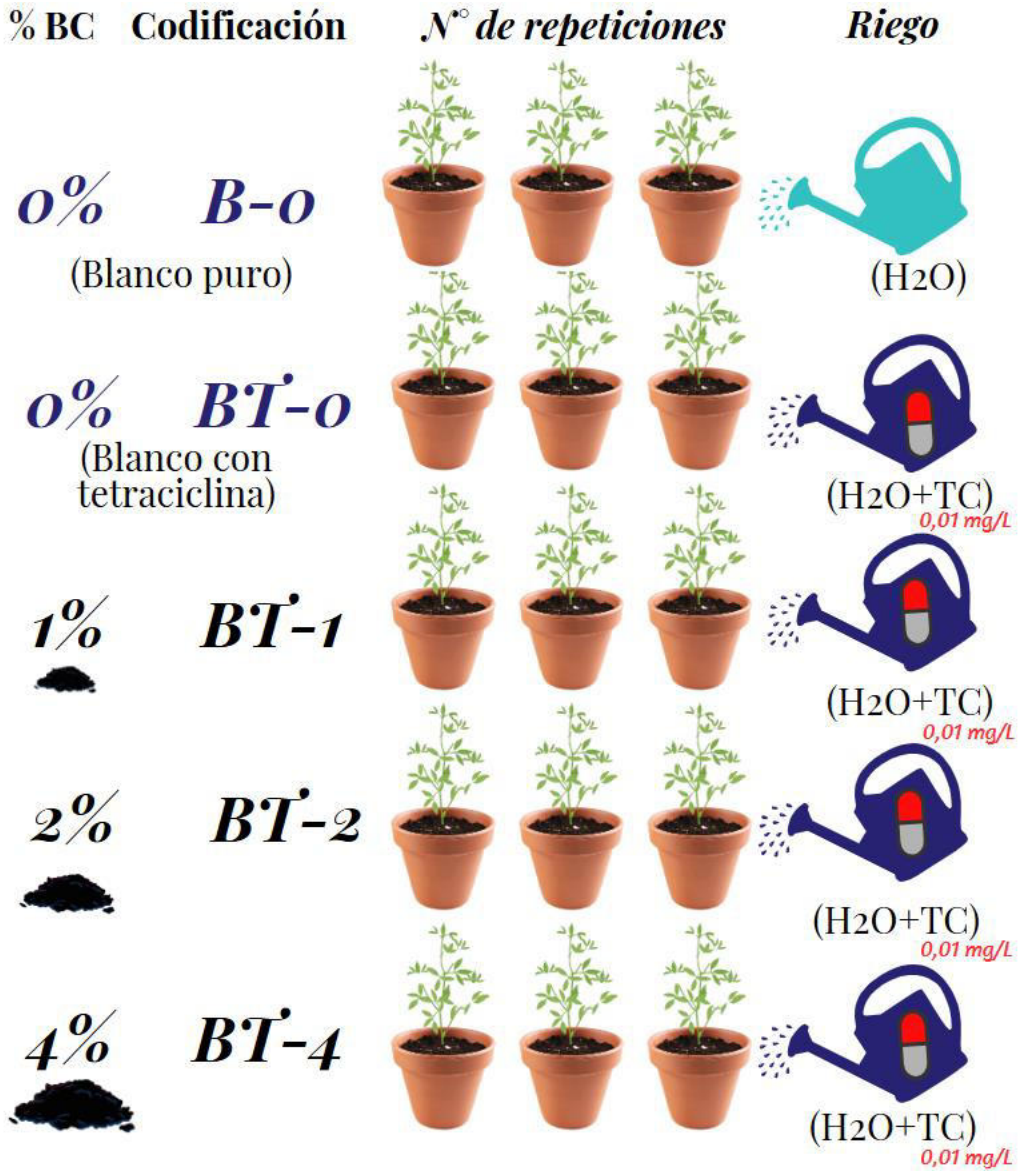
Diseño del experimento

Este experimento se llevó a cabo en macetas que fueron instaladas en un invernadero abierto durante 60 días. El invernadero estuvo expuesto a condiciones ambientales naturales del lugar, con la precaución de cercar el área de las macetas utilizando un cerco de madera y plástico forrado para protegerlas de condiciones climáticas anómalas o factores antropogénicos, como vientos fuertes, animales u otros que pudieran inducir una alteración al proyecto. Seguido a ello, se consideraron los porcentajes con los que se agregó y mezcló el biocarbón de penca de tuna, los cuales fueron de 0, 1, 2 y 4% de biocarbón (m/m, biocarbón/suelo), colocados en el suelo y completamente homogenizados. Se añadieron aproximadamente 4 kg de suelo con sustrato, con o sin biocarbón, a cada maceta de plástico con dimensiones de 15 cm de diámetro por 20 cm de altura. Además, se retuvo en el suelo un 60% (p/p) de la capacidad de retención de agua, mediante el riego con agua destilada tipo II. Más adelante, se realizó la plantación de semillas de alfalfa en cada maceta, las cuales fueron regadas manualmente cada 2 días con 300 mL de agua ultrapura enriquecida con una concentración de 0.01 mg/L de tetraciclina.

Este proyecto contó con cuatro tratamientos que consistieron en: 1) suelo con 0, 1, 2 y 4% de biocarbón a 400 °C, todas ellas regadas con TC y un blanco (B-

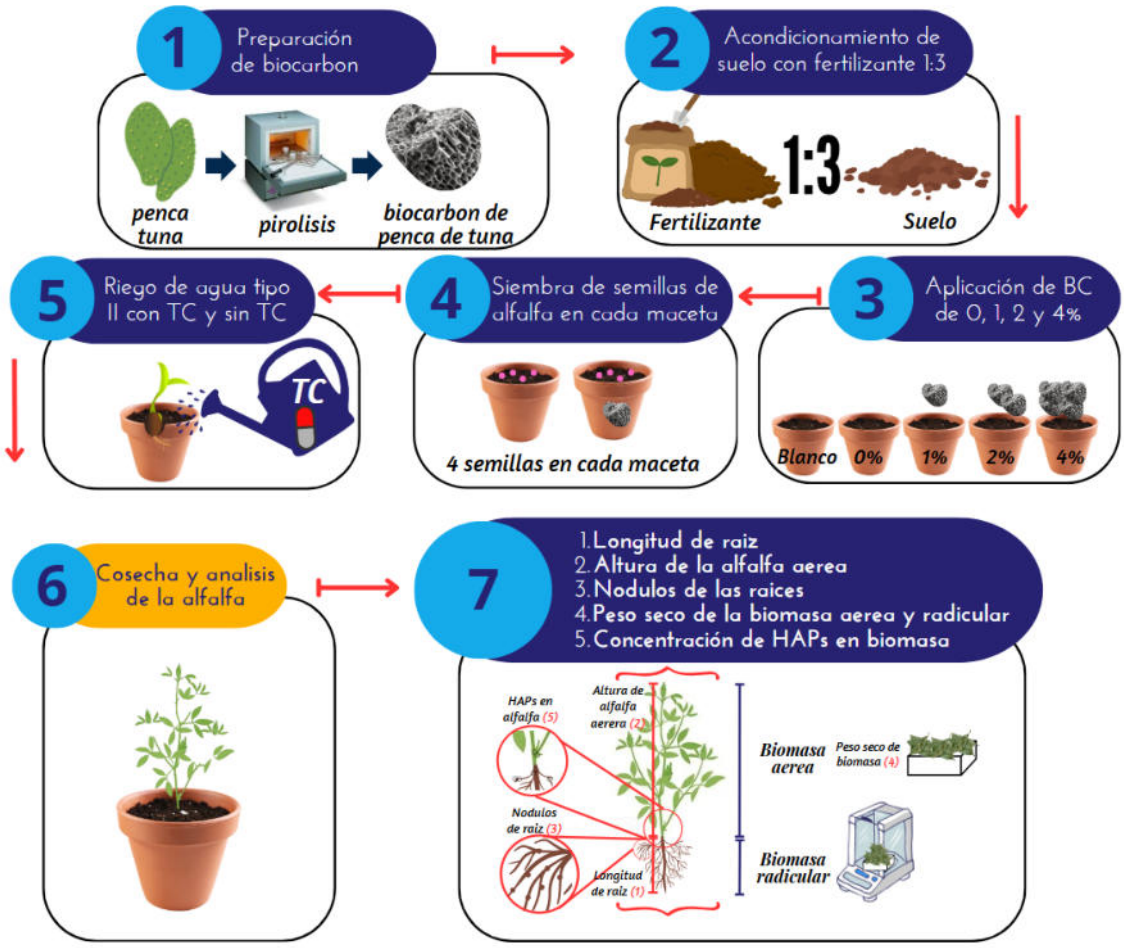
0) que solo se rego con agua destilada. Cada uno de los tratamientos se realizó por triplicado, para lo cual se prepararon 15 macetas en total, incluyendo las muestras control (blanco). Luego de 60 días, se recolectaron las muestras de suelo y alfalfa para su respectivo análisis (Vilca et al. 2022).

Figura 7
Porcentajes de biocarbón en cada tratamiento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8
Método de elaboración del experimento con biocarbón



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la altura y peso seco de la biomasa aérea, el número de nódulos, longitud y peso seco de la biomasa radicular.

Longitud de la raíz de alfalfa

Las plantas de alfalfa fueron retiradas de las macetas mediante una remoción cuidadosa, evitando afectar las raíces y las demás partes de la planta. Posteriormente, se procedió a medir su longitud utilizando una cinta métrica (flexómetro), desde el inicio de la raíz hasta el final del tallo, incluyendo la parte final de las raíces de la planta (Pandey and Gupta 2020).

Altura de la alfalfa

Para ello, se midió la altura de la alfalfa en centímetros y milímetros con ayuda de un flexómetro para cada uno de los tratamientos. Del mismo modo, las medidas se tomaron desde la base de la planta hasta la parte superior, utilizando el mismo criterio en todos los casos.

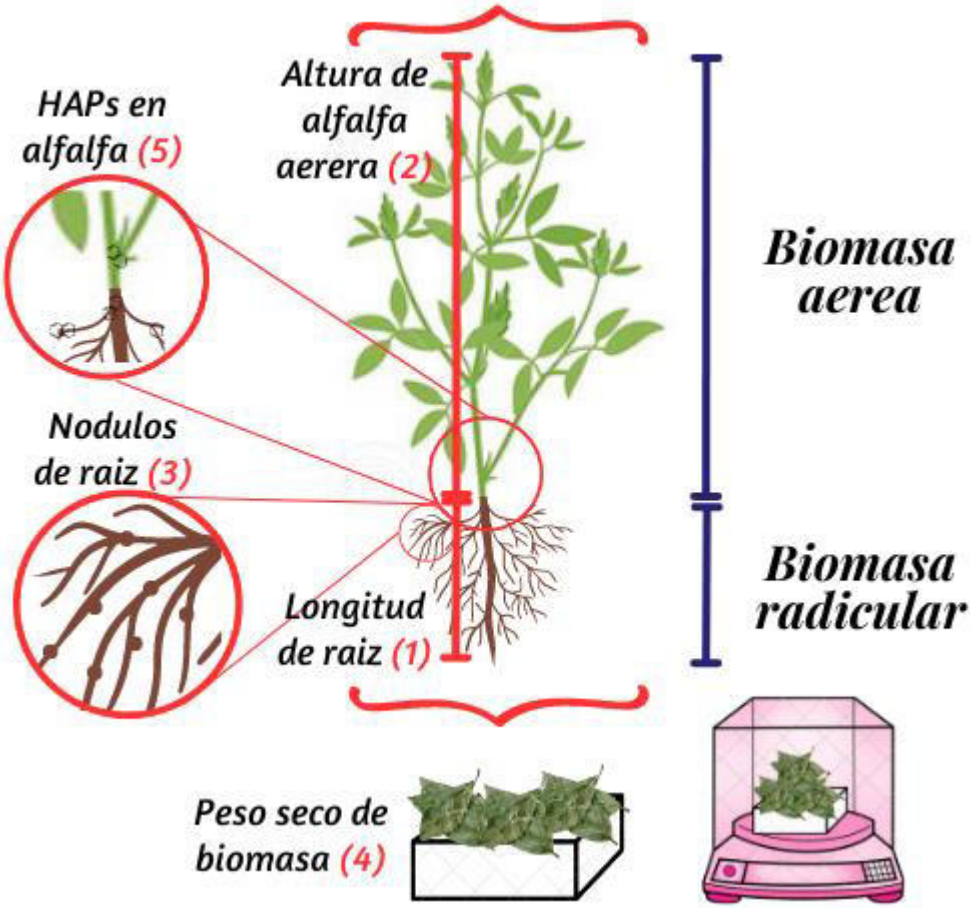
Número de nódulos

Respecto al número de nódulos, se realizó el conteo correspondiente, seguido de una suave agitación de la planta para desalojar el suelo rizosférico sin dañarlo. Para la separación de las raíces del suelo, se utilizaron bandejas de plástico, junto con pinzas y tijeras que fueron previamente esterilizadas. Posteriormente, se procedió a limpiar cuidadosamente las raíces y se lavaron con agua destilada (o agua tipo I) para eliminar todos los residuos de suelo (Pourbabaee et al. 2021; Vilca et al. 2022). Finalmente, con la ayuda de microscopio (Ladybird Micro Zoom 1240) y lente de aumento, se llevó a cabo el conteo de todos los nódulos presentes en cada raíz de cada muestra, cabe recalcar que estos equipos ayudaron con la detección de nódulos inactivos, debido a que su tamaño es aproximadamente de 1mm (Vilca et al. 2022).

Peso seco de la biomasa aérea y radicular

Para el proceso de determinación del peso seco de la biomasa aérea, que comprendía las hojas y el tallo de la planta de alfalfa, y biomasa radicular se secó a 70 °C en una estufa durante un tiempo de 72 horas, hasta obtener un peso constante. Posteriormente, fue pesado en una balanza analítica de alta sensibilidad, y los pesos originales fueron registrados en un cuaderno de apuntes (Yang et al. 2022).

Figura 9
Referencia del pesado de la biomasa aérea y radicular



Fuente: Elaboración propia.

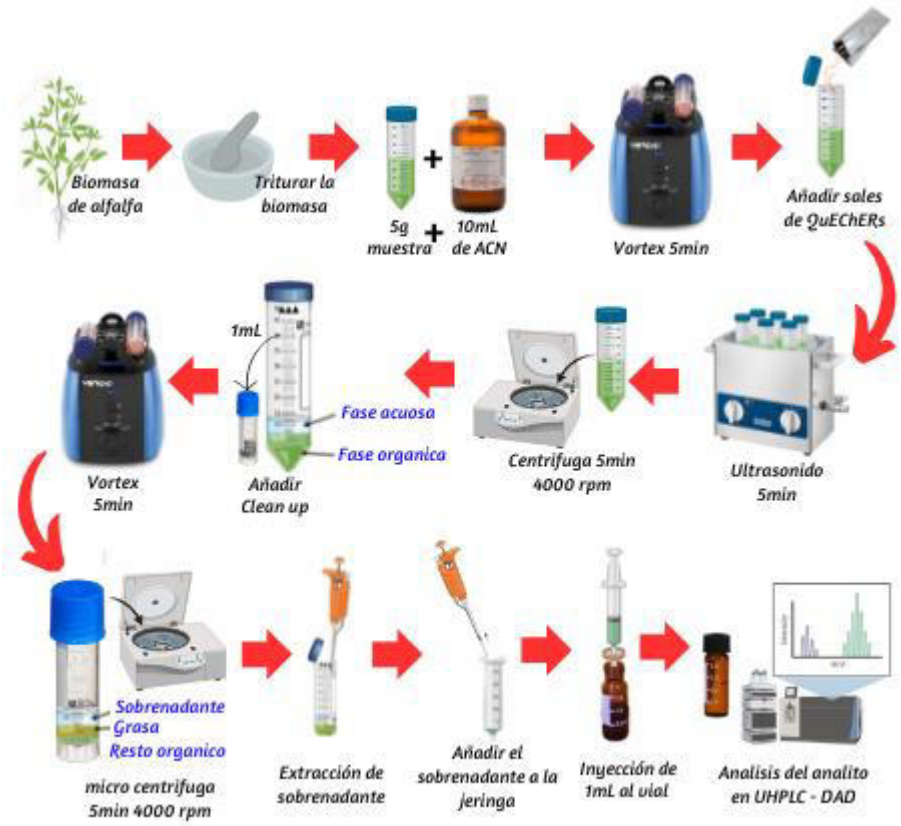
Concentración de HAPs en alfalfa

Para este procedimiento de extracción de HAPs, se aplicó el método QuEChERS. Las condiciones de extracción se basaron en un estudio previo. Se pesaron 5 g de muestra de alfalfa, luego fueron colocados en un tubo de polipropileno con una capacidad aproximada de 50 mL. A continuación, se añadieron 10 mL de acetonitrilo para realizar la extracción. Seguidamente, se pasó a mezclar y se agitó en un Vortex durante 5 minutos. Posteriormente, se incorporaron 4 g de sulfato de magnesio anhidro (MgSO4) y 1 g de NaCl a la mezcla, que fue nuevamente agitada en el Vortex durante 5 minutos. Luego, se sometió al equipo de ultrasonido durante 5 minutos. Finalmente, el tubo fue centrifugado a 4000 rpm durante 5 minutos en una centrífuga EPPENDORF 5910 Ri.

Después de ello, se extrajo 1 mL del sobrenadante y se transfirió a otro tubo de polipropileno con una capacidad de 2 mL, que contenía 150 mg de MgSO4, 25 mg de PSA y 25 mg de carbón grafito. A continuación, la mezcla se agitó nuevamente en un Vortex durante 5 minutos y se centrifugó a 4000 rpm durante 5 minutos. Tras este proceso, se filtró utilizando un filtro de membrana de 0.22 µm x 13 mm y se colocó en un vial color ámbar. Finalmente, se inyectó una alícuota del sobrenadante en el UHPLC, siguiendo las condiciones establecidas en la validación de HAPs (Ma et al. 2021; Maldonado, Moreno Terrazas, and Vilca 2022).

Es importante mencionar que el método se realizó utilizando un equipo de cromatografía líquida de ultra alta resolución (UHPLC) acoplado a un detector de fluorescencia (FLD), el cual fue aplicado a las muestras de alfalfa. Este procedimiento fue validado conforme a la normativa del Instituto Nacional de Metrología, DOQ-CGCRE-008-Inmetro.

Figura 10
Procedimiento de extracción de HAPS



Fuente: Elaboración propia.

3.6. Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó empleando el software R Studio versión 4.2.1 en un sistema operativo Windows. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, tras confirmar el cumplimiento de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. En caso de ser necesario, se aplicó una prueba de comparación múltiple (Test de Tukey), con un nivel de significancia (alfa) de 0.05, para identificar la existencia de diferencias significativas en los resultados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se estructuraron de acuerdo con los objetivos planteados, detallando cómo la administración de Tetraciclina impacta en las propiedades físicas de la alfalfa, además de evaluar la presencia de HAPs presentes.

4.1.1. Tamaño de la longitud de la raíz de la alfalfa

Los datos recopilados respecto a la altura de la planta de alfalfa en este estudio, tiene los siguientes resultados:

a) Estructuración de hipótesis

H0: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo **no evita** la reducción de la longitud de raíz de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.
Ha: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo **evita** la reducción de la longitud de raíz de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

b) Estadístico de prueba

El análisis realizado se basa en el Estadístico de Prueba correspondiente al Análisis de Varianza de un factor, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 5:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la longitud de la raíz de la planta

LONGITUD DE LA RAÍZ DE LA ALFALFA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamientos	3	23,16	7,721	1,167	**0,381**
Error	8	52,93	6,616		
Total	11	76.09			

Nota: Si el p-valor es > 0,05, entonces al menos uno de tratamientos no es diferente

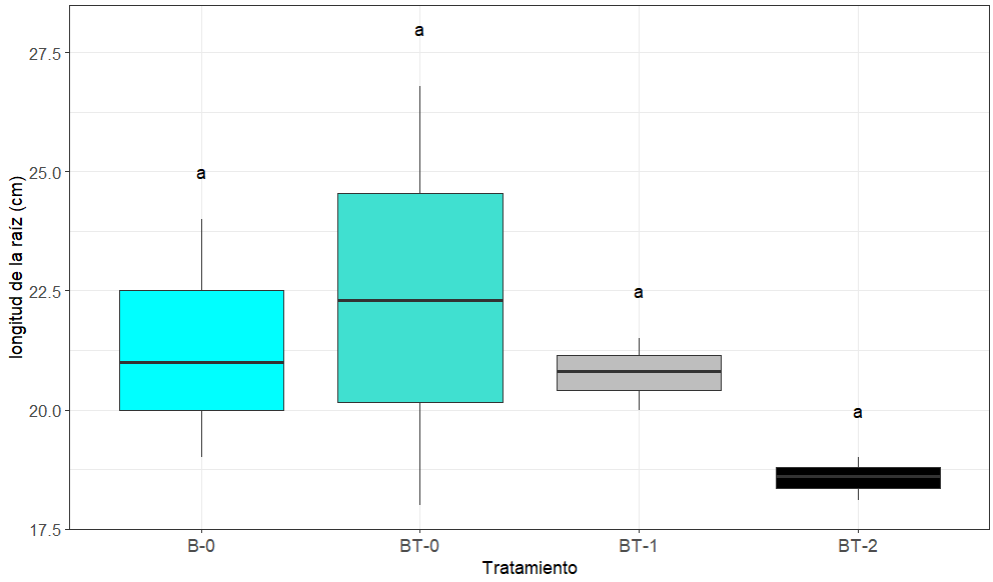
c) Selección de hipótesis

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) indican que el valor del p-valor es de 0,381, el cual supera el nivel de significancia. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alternativa y **se acepta la hipótesis nula**. Este resultados es debido a que se cumplió los supuestos de homogeneidad y normalidad, siendo > 0,05. En consecuencia, se concluye que la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo y presencia de residuos de Tetraciclina en el agua de riego no tiene un impacto en la longitud de la raíz de la alfalfa.

En ese sentido, en la estadística, la alfalfa no experimentó una afectación significativa en la longitud de raíz en los diferentes tratamientos de B-0, BT-0, BT1 y BT2. Por otro lado, se observó un leve crecimiento del 4,88% en la longitud de raíz del control con Tetraciclina (BT-0) en comparación con el control blanco (B-0). Así mismo, los tratamientos con biocarbón al 1% (BT-1) y con biocarbón al 2% (BT-2) en comparación con el control con Tetraciclina se observa una disminución de 7,14 y 16,96%, respectivamente. En consecuencia, estos hallazgos sugieren que la alfalfa presenta un cambio representativo de manera positiva en el tratamiento BT-0, dado que la Tetraciclina promueve el crecimiento de la raíz. Sin embargo, al agregar biocarbón en los tratamientos BT-1 y BT-2, se observó una disminución progresiva en el crecimiento. Esto sugiere que, aunque la TC puede estimular el crecimiento, la combinación con biocarbón, especialmente en concentraciones más altas, reduce este efecto positivo, afectando negativamente el desarrollo de las raíces. No obstante, es importante destacar que en el tratamiento BT-4, con

biocarbón al 4%, no se observó crecimiento de raíz, lo que evidencia que la aplicación de biocarbón en concentraciones más elevadas impacta de manera significativa y negativa en el desarrollo de la planta.

Figura 11
Gráfico de la longitud de la raíz de la alfalfa



d) Discusión

La aplicación del biocarbón de penca de tuna no influyo estadísticamente en la reducción de la longitud de la raíz ($P > 0,05$), sin embargo, la presencia de contaminante de tetraciclina durante el riego tiende a influir con el crecimiento de la raíz respecto a dosis controladas, en este caso la presencia de TC en BT-0 y el blanco de muestra 1 (sin TC), muestra cómo influye en el crecimiento de hasta un 5,16%, evidenciando así que la presencia del antibiótico influyó en el crecimiento de raíz cuando este estuvo expuesta. Este caso puede evidenciar con estudios realizados por Huang et al. (2021), y por Xue et al. (2023), quienes evidencian que una concentración de 1 mg/L podría promover el desarrollo (crecimiento radicular) de la planta, mientras a concentraciones por encima de 10 mg/L podría afectarlo notablemente. En otras palabras, una concentración específica y controlada puede causar la fragmentación del ADN, liberando nucleótidos que promueven el crecimiento de la planta; estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos en este estudio, en el cual se utilizó una concentración de 0,01 mg/L para el riego.

Además, estos resultados podrían indicar que la respuesta de la planta sigue un comportamiento hormético, en contraste con el tratamiento de control (suelo sin tratamiento) (Ramos et al. 2023).

Por otro lado, la presencia del biocarbón (1 y 2%) evidenciaría a su vez una disminución del crecimiento de la alfalfa de hasta un 7,14% (suelo con biocarbón 1%) y hasta un 16,96% (suelo con biocarbón 2%), todos ellos comparándolos con el blanco regado con TC quien presenta un crecimiento de hasta 22,4 cm. Dicho ello, la baja tasa de crecimiento de la alfalfa en un suelo con concentraciones de hasta 2% de biocarbón podría estar generando variaciones respecto al incremento de la alcalinidad del suelo e incremento progresivo de la conductividad eléctrica. Lo que llevaría que concentraciones mayores a 0,009% puedan generar compuestos fitotóxicos para las mismas (HAPs) y generaciones de radicales libres (Carril et al. 2023), los que se encarguen de obstaculizar el completo desarrollo de la alfalfa. Además, la aplicación de dosis entre el 1 y 2% provocaría un desequilibrio significativo en la relación C/N, lo que llevaría a que los microorganismos sufran una deficiencia en la absorción de nitrógeno disponible; esto, sumado a la saturación de carbono por parte del biocarbón, causando alteraciones en la composición microbiana y generando inestabilidad en el suelo (Ali et al. 2020; Yang et al. 2024). Así, aplicaciones de hasta un 4% resultarían letales y bloquearían el crecimiento, como se observó en este estudio, donde al 4% no se registró ni germinación ni desarrollo de las plantas, tal lo demostrado con estudios realizados por Buss et al. (2016), quien señala que aplicaciones con concentraciones superiores al 5% pueden crear un ambiente desfavorable debido al incremento de sales solubles en el suelo, lo que aumenta la disponibilidad de potasio y que este exceso provoque estrés osmótico en las plantas.

Además, la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) contribuye a empeorar el entorno para el crecimiento vegetal, afectando tanto el equilibrio osmótico como la salud del suelo. Si bien es cierto, se registra investigaciones de generación de HAPs a base de residuo de tuna durante proceso de pirolisis a 500 °C (Guillén et al. 2007), ello explicaría la presencia al colocar biocarbón de este derivado de tuna, evidenciando así, concentraciones totales de HAPs de hasta 39 ng/g promedio, registrados en las muestras con 2% de biocarbón. De modo que la oxigenación de biocarbón al suelo, estaría provocando la sorción

de contaminantes como es el caso de TC y generación de HAPs, los mismos que generan incremento de radicales (WANG et al. 2014); por ende la presencia de compuestos como el Fluoranteno y el Benzo[a]pireno generados como subproducto en muestras de biocarbón, incrementaría la necesidad de ácido ascórbico para neutralizar los radicales libres generados, lo que puede sobrecargar los mecanismos antioxidantes de la planta y como consecuencia, la afectación de las actividades de enzimas clave como el superóxido dismutasa, la peroxidasa y la catalasa (Zaid et al. 2024). De este modo, el estrés oxidativo excesivo dañaría los cloroplastos, causando irregularidades en los niveles de clorofila y una reducción en la producción de nutrientes (Yue et al. 2013) y en última instancia llevar a la muerte celular y a la falta de desarrollo de la planta; especialmente en concentraciones elevadas de biocarbón, como los resultados observados de los tratamientos con niveles del 4% de biocarbón.

Por otro lado, las tasas aplicadas de biocarbón (1, 2 y 4%) ejercieron un déficit en el crecimiento de la alfalfa, este accionar puede verse involucrada a otros estudios (Oguntimehin, Eissa, and Sakugawa 2010), quienes evidencian que la solubilidad de los HAPs de bajo peso molecular en el agua de riego puede causar efectos perjudiciales en las membranas celulares de las plantas. De modo que, estos contaminantes actuarían afectando mecánicamente las membranas, dificultando que las raíces absorban adecuadamente agua y nutrientes; y como consecuencia, la capacidad de adaptación de las raíces disminuye, lo que perjudica los procesos de absorción, generación de disrupción celular e interferencia con el metabolismo de los orgánulos, llevando a una alteración de funciones hormonales como las auxinas, quienes son las encargadas esenciales para la expansión y el crecimiento celular de la planta (Xia et al. 2021). Es así que, este daño celular provocado por HAPs como el Fluoranteno y otros generan afectación a los pigmentos fotosintéticos (PSI y PSII), especialmente en la absorción de luz, resultando así un déficit en la viabilidad del desarrollo de la planta (Oguntimehin et al. 2010) a elevadas concentraciones de biocarbón.

4.1.2. Altura de planta

Los datos recopilados respecto a la altura de la planta de alfalfa en este estudio, tiene los siguientes resultados:

a) Estructuración de hipótesis

H0: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción de la altura de la planta de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

Ha: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo no evita la reducción de la altura de la planta de alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

b) Estadístico de prueba

El análisis realizado se basa en el Estadístico de Prueba correspondiente al Análisis de Varianza de un factor, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 6:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la altura de la planta

ALTURA DE PLANTA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamiento	3	119,43	39,81	9,075	**0,00592**
Error	8	35,09	4,39		
Total	11	154,52			

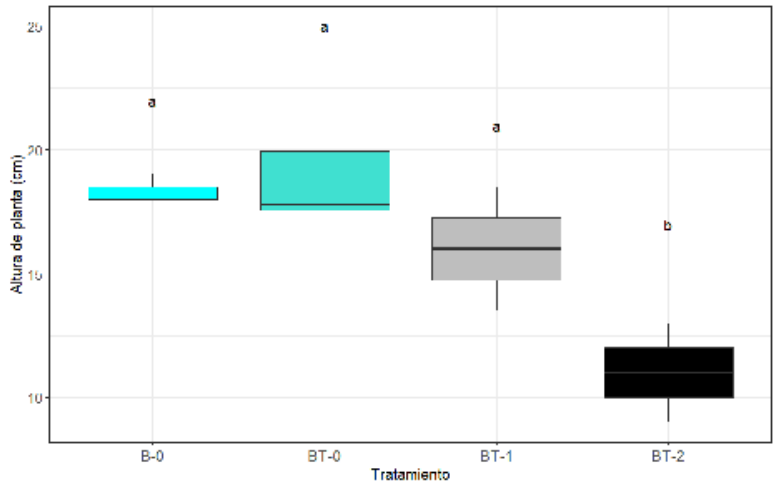
Nota: Si el p-valor es < 0.05, entonces al menos uno de tratamientos es diferente

c) Selección de hipótesis

Los resultados obtenidos se cumplieron los supuestos de homogeneidad y normalidad siendo > 0,05 donde se pudo realizar el análisis de varianza (ANOVA), indican que el valor del p-valor es de **0,00592**, el cual no supera el nivel de significancia. Realizando la comparación múltiple donde agrupa como grupo "b" al tratamiento de BT-2. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se **rechaza la hipótesis nula**. En consecuencia, se concluye que la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo y presencia de residuos de Tetraciclina en el agua de riego si tiene un impacto en la longitud de la raíz de la alfalfa.

En ese sentido, en la estadística, la planta **si experimentó** una afectación significativa en la altura de la planta en los diferentes tratamientos de B-0, BT-0, BT-1 y BT-2. Por otro lado, se observó un leve crecimiento del 5,56% en la altura de la planta del control con Tetraciclina (BT-0) en comparación con el control blanco (B-0). Así mismo, el control con tetraciclina en comparación con el tratamiento con biocarbón al 1% (BT-1) y con biocarbón al 2% (BT-2) se observa una disminución de 15,79 y 42,11%, respectivamente. En consecuencia, estos hallazgos sugieren que la alfalfa presenta un cambio representativo nuevamente de manera positiva en el tratamiento BT-0, dado que la tetraciclina promueve el crecimiento de la altura de la planta. Sin embargo, al agregar biocarbón en los tratamientos BT-1 y BT-2, se observó una disminución progresiva en el crecimiento, siendo más marcada en BT-2 con biocarbón al 2%. Esto sugiere que, aunque la tetraciclina puede estimular el crecimiento, la combinación con biocarbón, especialmente en concentraciones más altas, reduce este efecto positivo, afectando negativamente el desarrollo del crecimiento de la planta. Asimismo, es importante destacar que en el tratamiento BT-4, con biocarbón al 4%, no se observó crecimiento de la altura de la planta, lo que evidencia que la aplicación de biocarbón en concentraciones más elevadas impacta de manera significativa y negativa en el desarrollo de la planta.

Figura 12
Gráfico de la altura de la planta



d) Discusión

En este apartado se evidencio una disminución en la altura de la planta para el tratamiento BT-1 de hasta un 15% y para el tratamiento de BT-2 de hasta un 42% de reducción respectivamente en relación al blanco con TC, evidenciando que un incremento de la tasa de porcentaje de biocarbón, podría estar influenciando los cambios drásticos de las propiedades del suelo, lo que corrobora con los estudios realizados por Peng et al. (2016), quienes evidencian que una tasa de proporción mayor al 5% de biocarbón, mostraría inestabilidad en la erosión del suelo, esto a su vez se vería reflejado en los resultados obtenidos; donde el incremento progresivo del pH y la conductividad eléctrica jugaba un papel proporcional con incremento del porcentaje de biocarbón de 4%, evidentemente el cambio brusco, estaría originando sobreacumulación de agua disponible y con ello la generación del desequilibrio de nutrientes (Zahra, Raza, and Mahmood 2020). Por otro lado, este desajuste de pH (incremento) para un entorno de la alfalfa, seria desfavorable debido a la posible afectación del suministro de fosforo disponible a causa de las tasas altas de biocarbón, además, la alteración estaría directamente vinculada con la oxidación del carboxilato, claves en la generación de energía y metabolismo, dando pie a la militancia en la capacidad de generar antioxidantes para el contrarresto de radicales libres (Zhang et al. 2024), resultando en el impedimento del desarrollo o una posible homeostasis redox alterada. Frente a ello, nuestros resultados de porcentajes de biocarbón de 4% añadidos a las muestras, no evidencia

crecimiento alguno; de ello se menciona que dicha alteración con tasas de biocarbón excesiva generaría la acumulación de fracciones de líquidos derivados del biocarbón y se encarguen de solubilizar compuestos tóxicos, en este caso el atrapamiento y acumulación de TC, que gracias a las características electrostáticas del biocarbón e incremento del pH, se acumularon en el suelo; lo que llevaría a ejercer limitación en comunidades microbianas, evitando de tal forma la descomposición de materia orgánica y la cíclica de nutrientes, claves para el desarrollo de la semilla (Pan 2020; Solaiman, Murphy, and Abbott 2012). Asimismo, la competencia de nutrientes por los sitios de absorción radicular, provocaría deficiencias nutricionales, anteponiendo un mayor contenido de sodio a comparación de otros nutrientes específicos esenciales; además de la posibilidad de filtración de electrolitos fuera de la célula, generalmente producido por acumulación de MDA (Malondialdehido) llevando a ocasionar daños en señaléticas celulares (Murtaza et al. 2024), dicho ello, nuestros resultados no avalan que concentraciones con mayor porcentaje puedan impulsar el desarrollo y crecimiento de la alfalfa, demostrados en otros estudios con similares características en suelos, más aún estas tasas de biocarbón probadas en el presente estudio muestran resultados estadísticamente negativos respecto al crecimiento cuando se agregan concentraciones en porcentajes de biocarbón (1, 2 y 4%).

4.1.3. Disminución de nódulos

Se realizó cultivo de alfalfa utilizando diferentes porcentajes de biocarbón con el objetivo de mejorar las propiedades del suelo y proporcionar un entorno favorable para el desarrollo de la planta y la formación de nódulos. Sin embargo, al finalizar el periodo de cultivo (60 días), no se encontraron nódulos en las raíces de la alfalfa, ni siquiera en los controles, los cuales mostraron un mejor crecimiento en comparación con los tratamientos con biocarbón, pero tampoco presentaron nódulos. Esto resalta la importancia de contar con un suelo adecuado que favorezca el desarrollo de la alfalfa. Además, los estudios de conductividad del suelo revelaron niveles elevados (ver tabla N° 54), lo que podría haber dificultado la formación de los nódulos, generando retrasos en su desarrollo y dando lugar a nódulos inactivos (ver figura N° 18).

a) Discusión

El objetivo de evaluar si la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo podría evitar la disminución de los nódulos en las raíces de alfalfa debido al riego con agua contaminada con tetraciclina (TC) parece no haberse cumplido, ya que no se observó la formación de nódulos en ninguno de los tratamientos. Esto sugiere que, independientemente de la aplicación de biocarbón, el ambiente generado por el riego con agua contaminada fue desfavorable para la formación de nódulos, de ello se explicaría que especies como *Sinorhizobium meliloti y* otros organismos presenten un establecimiento de simbiosis no eficientes a causa del estrés salino que comprende el tipo de suelo, y que a su vez se dé la generación de compuestos infoquímicos como la 2-tridecanona (Brito-Santana et al. 2023) y obstaculicen colonización microbiana debido a la presencia de daño oxidativo presentado, que si bien es cierto es generado por el incremento de radicales libres, los mismos que estarían directamente vinculado con la conductividad (>4 mS/cm) que presentan todas las unidades experimentales, corroborando con normativas como la FAO quien clasifica como no ideal para la formación de cultivos (FAO 2021), añadido a ello estudios previos muestran la deficiencia de formación de nódulos por sales (Wang et al. 2022), hidrocarburos policíclicos aromáticos (Kawasaki, Watson, and Kertesz 2012) y antibióticos (Zirena Vilca et al. 2024); son algunas de las causantes en la activación y no presencia de nódulos (inactivación nodular), los que estén directamente influenciado con la ausencia de bacterias simbióticas como las *Rhizobium*, donde evidentemente lleve a la no colonización de las raíces por las bacterias (Patil et al. 2017).

4.1.4. Peso seco de la biomasa aérea y radicular

Los datos recopilados respecto al peso seco de la biomasa aérea y radicular de la planta de alfalfa en este estudio, tiene los siguientes resultados:

a) Estructuración de hipótesis:

H0: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo evita la reducción del peso seco de la biomasa aérea y radicular de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

Ha: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo no evita la reducción del peso seco de la biomasa aérea de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

b) Estadístico de prueba

El análisis realizado se basa en el Estadístico de Prueba correspondiente al Análisis de Varianza de un factor, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 7:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa aérea de la planta

PESO SECO DE LA BIOMASA AÉREA DE LA PLANTA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamiento	3	5025263	1675088	46,94	**2,01E-05**
Error	8	285500	35688		
Total	11	5310763			

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

Tabla 8:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa radicular de la planta

PESO SECO DE LA BIOMASA RADICULAR DE LA PLANTA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamiento	3	4345154	1448385	75,69	**3,26E-06**
Error	8	153075	19134		
Total	11	4498229			

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

c) Selección de hipótesis

Los resultados obtenidos se cumplieron los supuestos de homogeneidad y normalidad siendo > 0,05 donde se pudo realizar el análisis de varianza (ANOVA), indican que el p-valor es de peso seco de la biomasa aérea es de **2,01E-05** y peso seco de la biomasa radicular es de **3,26E-06**, el cual no supera el nivel de significancia. Realizando la comparación múltiple, donde agrupa cada tratamiento se observa en la Figura 13. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo y presencia de residuos de Tetraciclina en el agua de riego **si tiene un impacto en la biomasa de la raíz de la alfalfa.**

En ese sentido, en la estadística, la alfalfa **si experimentó** una afectación significativa en el peso seco de la **biomasa de aérea** de la planta en los diferentes tratamientos de B-0, BT-0, BT-1 y BT-2. Por otro lado, se observó un incremento del 68.2% del control con TC (BT-0) a comparación del control sin TC (B-0). Así mismo, los tratamientos con biocarbón al 1% (BT-1) y con biocarbón al 2% (BT-2) se observa una disminución en peso de biomasa aérea de 65,8 y 88,9%, respectivamente, en comparación con el control con Tetraciclina.

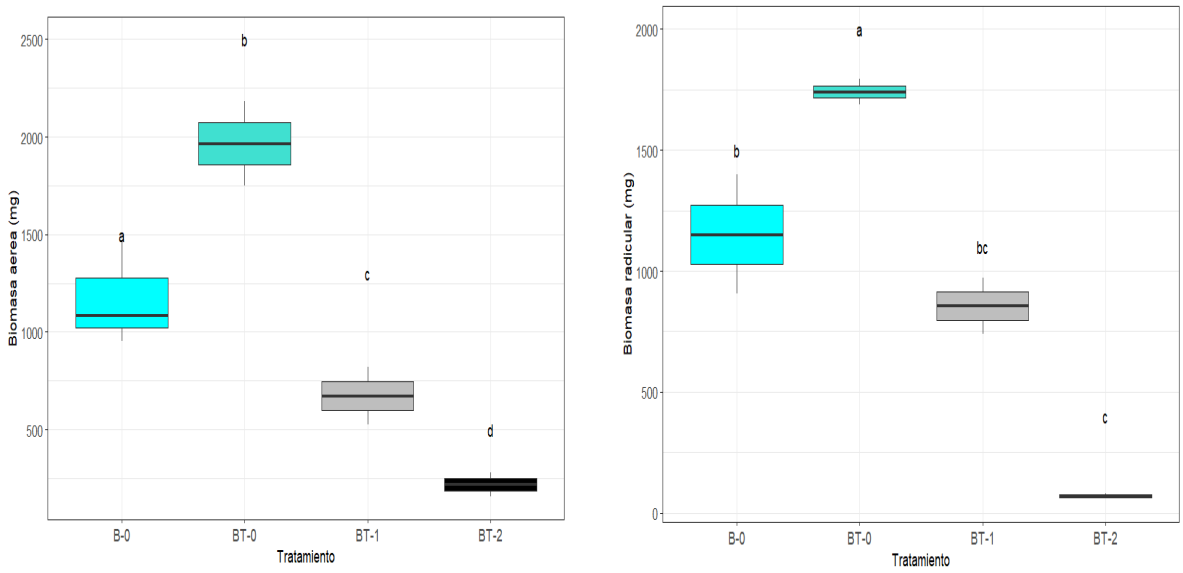
En ese sentido, en la estadística, la alfalfa **si experimentó** una afectación significativa en el peso seco de la **biomasa de radicular** de la planta en los diferentes tratamientos de B-0, BT-0, BT-1 y BT-2. Por otro lado, se observó un incremento del 51,2% del control con TC (BT-0) a comparación del control sin TC (B-0). Así mismo, los tratamientos con biocarbón al 1% (BT-1) y con biocarbón al 2% (BT-2) se observa una disminución en peso de biomasa aérea de 50,9 y 95,9%, respectivamente, en comparación con el control con Tetraciclina.

En consecuencia, estos hallazgos sugieren que la alfalfa presenta un cambio representativo de manera positiva en el tratamiento BT-0, dado que la Tetraciclina promueve el crecimiento de la raíz. Sin embargo, al agregar biocarbón en los tratamientos BT-1 y BT-2, se observó una disminución progresiva en el peso y respectivamente en el crecimiento. Esto sugiere que, aunque la tetraciclina puede estimular el crecimiento, la combinación con biocarbón, especialmente en concentraciones más altas, reduce este efecto positivo, afectando negativamente el

desarrollo de las raíces. Asimismo, es importante destacar que en el tratamiento BT-4, con biocarbón al 4%, no se observó crecimiento de raíz ni desarrollo, lo que evidencia que la aplicación de biocarbón en concentraciones más elevadas impacta de manera significativa y negativa en el desarrollo de la planta.

Figura 13

Gráfico del peso seco de la biomasa aérea y radicular de la alfalfa



d) Discusión

Los tratamientos con biocarbón de penca de tuna, presentan efecto significativo en el peso seco de biomasa aérea, así como también presenta efecto significativo en el peso radicular de la alfalfa. Lo que explica que, cuando se aplica dosis mayores (1 y 2% de biocarbón), muestra evidencia de una disminución en el peso tanto de raíz como biomasa aérea, y en dosis de hasta 4% de biocarbón según nuestros resultados no se haya presentado el desarrollo idóneo de la planta. De ello se explica que concentraciones de HAPs producidos por el biocarbón (Alharbi et al. 2023) y la presencia de tetraciclina como medio de riego, sean causantes de surgimiento de especies reactivas de oxígeno (en forma de malondialdehído) que tienden a dañar a enzimas y proteínas, generando la fragmentación de la estructura del ADN y terminando en daño celular o comúnmente llamado “fitotoxicidad inducido por HAP y TC” (Cai et al. 2024; Patel et al. 2022). Asimismo, la disminución en el peso de la raíz y la biomasa aérea de la alfalfa cuando se expone a concentraciones de biocarbón se puede explicar por el impacto directo de este

compuesto en la salud de los tejidos de la planta. A niveles elevados, el biocarbón genera lesiones necróticas en las células, lo que interfiere con el funcionamiento adecuado de las giberelinas, hormonas cruciales para el crecimiento y desarrollo vegetal (Niharika et al. 2021). De modo que, tienden a afectar el meristemo apical, lo que disminuye la capacidad de las giberelinas para regular procesos fisiológicos claves, como el crecimiento en altura y el desarrollo de la biomasa; es decir que, a medida que las giberelinas pierden eficacia, se observa una menor regulación del crecimiento, lo que se traduce en una reducción significativa en el peso y tamaño de la alfalfa (Shtin, Dello Ioio, and Del Bianco 2022). Esto resalta el papel de la tasa de biocarbón aplicable al suelo, pues ello explicaría que la regulación idónea del porcentaje al suelo sean menores al 1% y que los resultados puedan ser prometedores (Patel et al. 2022) y que tasas por encima de ello reflejen inseguridades en el crecimiento (Carril et al. 2023), al mismo tiempo, una serie de estudios detallan los beneficios del biocarbón en la planta (Sen et al. 2023), sin embargo, nuestros resultados evidencian lo contrario, pues tasas de biocarbón de penca de tuna a partir de 1% presenta alteraciones para el crecimiento de la alfalfa. Por lo tanto, al momento de la aplicación de mezcla con biocarbón es necesario tener en cuenta la materia prima, la tasa de aplicación y otros aspectos si se desea buscar una mayor producción (Jabborova et al. 2023). Por otro lado, el incremento de peso tanto en raíz como aéreo con la aplicación de TC, evidenciaría un caso de dosis hormética en el tratamiento BT-0, pues este presentaría mayores pesos a comparación del tratamiento control (sin TC) y los de biocarbón. Frente a ello se explica que concentraciones de 0,01 mg/L sería una concentración que más allá de dañar, juega un papel promovedor, el cual es a raíz de la fragmentación producida por la inducción del antibiótico y como este ejercería un incremento de antioxidantes y proteínas a través de fragmentos generados que más adelante son aprovechados por la misma (Mamani Ramos et al. 2024; Ramos et al. 2023).

4.1.5. Concentración de HAPs

Los datos recopilados respecto a la altura de la planta de alfalfa en este estudio, tiene los siguientes resultados:

a) Estructuración de hipótesis:

H0: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo no incrementa concentraciones de HAPs en la biomasa de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

Ha: La aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo incrementa concentraciones de HAPs en la biomasa de la alfalfa por efecto del riego con agua contaminada con TC.

b) Estadístico de prueba

El análisis realizado se basa en el Estadístico de Prueba correspondiente al Análisis de Varianza de un factor, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 9:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la presencia de HAPs de la planta

PRESENCIA DE HAPs DE LA ALFALFA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamientos	2	2322	1161	75,48	**5,59E-05**
Error	6	92,3	15,4		
Total	8	2414,3			

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces al menos uno de tratamientos no es diferente

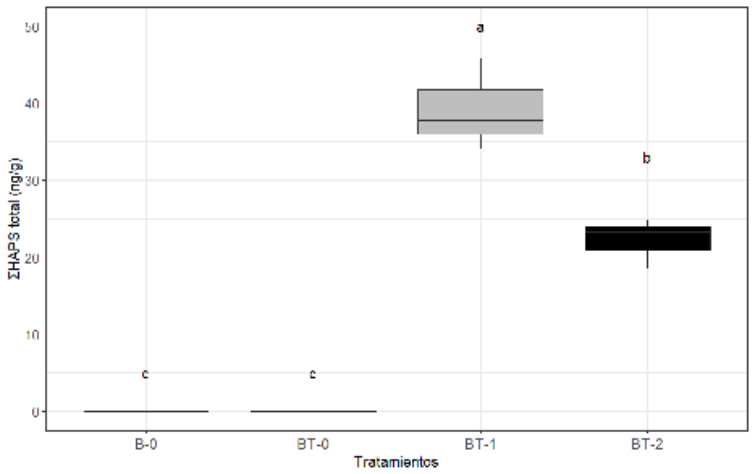
c) Selección de hipótesis

Los resultados obtenidos se cumplieron los supuestos de homogeneidad y normalidad siendo > 0,05 donde se pudo realizar el análisis de varianza (ANOVA),

indican que el valor del p-valor es de **5,59E-05**, el cual no supera el nivel de significancia. Realizando una comparación múltiple donde se refleja en cada tratamiento de BT-1 como grupo "a" y BT-2 como grupo "b". Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo y presencia de residuos de Tetraciclina en el agua de riego **tiene un impacto con la presencia de HAPs de la alfalfa.**

En ese sentido, en la estadística, la planta experimentó una afectación significativa con la presencia de HAPs en la alfalfa en los diferentes tratamientos de BT-1 y BT-2. Estos resultados evidencian que la presencia de HAPs se reduce a un 43.37% con el aumento de la aplicación de biocarbón de 2%. Lo cual evidenciaría que el desarrollo de la planta y acumulación de HAPs, están directamente relacionados, es decir que, durante su desarrollo y crecimiento la planta aún se mantiene bioacumulando dicho contaminante en su interior.

Figura 14
Gráfico de presencia de HAPs de la alfalfa



d) Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de biocarbón de penca de tuna en suelo incrementa concentraciones de HAPs en la biomasa de alfalfa cuando se aplica concentraciones de biocarbón de 1 y 2% respectivamente, este resultado evidencia diferencia estadísticamente significativa, lo cual puede verse reflejado en la presencia de HAPs en los tratamientos con biocarbón de 1 y 2%, los

que a su vez registraron concentraciones de 39,2 y 22,2 ng/g respectivamente. De ello se hace mención de la formación de HAPs producidos por variedades de residuos, como consecuencia de la pirolisis y combustión incompleta (Cheng et al. 2024) (Maaoui et al. 2023), corroborando con los resultados demostrados en el presente estudio. De hecho, ya las características de un modelo de ingreso de HAPs se daría a través de biopolímeros situadas en paredes celulares de raíces (suberina), mediante tipos de transportes de ingreso (difusión pasiva y activa) (Woolfson, Esfandiari, and Bernards 2022), es decir, que dada su permeabilidad y capacidad hidrofóbica se adapten a un proceso de ingreso pasivo, o en gradiente de concentración, considerando la cualidades lipofílicas del HAPs (Barrón-Bravo et al. 2020); por otro lado, surge la posibilidad de una difusión activa, es decir con uso de energía en forma de ATP, el cual consta de utilizar portadores como las gliceroporinas y su transporte por canales de aceites producidos por raíces (Shen et al. 2016), lo cual indicaría evidencia de diferentes estudios sobre la presencia dentro de la biomasa como los reportados en especies de alfalfa (Chen et al. 2019; Zhang et al. 2023); Corroborando así con los 12 de los 16 tipos de HAPs encontrados dentro de biomasa de alfalfa, en los tratamientos con biocarbón de 1 y 2%, evidenciando de tal forma la capacidad hiperacumuladora de la alfalfa para dichos compuestos. De hecho, todo ello indicaría que la enzima CYP 450 jugaría un papel importante en el metabolismo de la alfalfa, mediante la oxidación de compuestos aromáticos como el Fenantreno, Pireno y otros (Hernández-Vega et al. 2017; Oguntimehin et al. 2010), pero que la acumulación conjugada del contaminante pasaría a ser direccionado a las vacuolas y por medio de generación dependiente de ATP al apoplasto (Sánchez-Fernández et al. 2001), y son en estos compartimientos donde se da la disipación de oxidantes y otros metabolitos dañinos que generan daño oxidativo celular (lesiones necróticas) y en otras instancias dañar la estructura del ADN celular (Lamb and Dixon 1997), y es esta modificación en diferentes enzimas clave, para la regulación de la respiración, antioxidación, fotorrespiración y finalmente con relación del ADN la transcripción (Htet Hlaing and Clément 2014), todo ello, seria evidencia oportuna, que resaltan nuestros resultados de HAPs encontrados en alfalfa y como estos compuestos estarían actuando como pieza fundamental para el entendimiento de una dosis ideal que promueva su desarrollo.

Por otro lado, en concentraciones moderadas de HAPs las plantas suelen activar mecanismos de detoxificación, como la acumulación de estos compuestos

en vacuolas y paredes celulares. Esto explicaría por qué en el presente estudio se observa una mayor concentración de HAPs totales en el tratamiento con 1% de biocarbón. Frente a ello, estudios previos como los de Tomczyk, Sokołowska, and Boguta (2020), mencionan que la saturación de HAPs en la planta ocurre rápidamente, lo que disminuye la eficiencia de los sitios de adsorción dentro de la estructura vegetal; lo que explica que en el tratamiento BT-1, la menor concentración de biocarbón (1%) proporcionó una mayor superficie disponible y microporos, facilitando la absorción y metabolización de los HAPs en comparación con el BT-2 (Conte et al. 2021). Y es con el tratamiento BT-2, que a pesar de iniciar con una mayor concentración de biocarbón, esta resultó ser más perjudicial para el desarrollo de la planta, lo que provocó un estancamiento en su crecimiento y una menor acumulación de HAPs. Es importante señalar que la fitotoxicidad causada por los HAPs se ve considerablemente agravada cuando hay presencia de Tetraciclina y es precisamente la adición de la TC lo que intensifica los efectos tóxicos de ambos compuestos, exacerbando el daño causado a la planta (Alharbi et al. 2023) y puede verse reflejado en el tratamiento BT-2 quienes presentaron menos concentraciones de HAPs, pero de ello se explicaría el déficit de crecimiento y desarrollo que presentaban dichos tratamientos.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de biocarbón de penca de tuna no muestra un efecto estadísticamente significativo en la reducción de la longitud de la raíz de la alfalfa regada con TC. Sin embargo, se evidencia una disminución en la longitud de la planta de hasta un 17%, aunque esta diferencia no puede ser respaldada estadísticamente en este estudio.

La aplicación de biocarbón de penca de tuna, presenta efecto estadísticamente significativo en la reducción de la altura de la alfalfa, pues este refleja una reducción de hasta 42% en la altura de la planta para el tratamiento BT-2. Destacando así, que la concentración del 4% de biocarbón (BT-4), no sería una mezcla ideal para el cultivo de alfalfa.

La aplicación de biocarbón y el tipo de suelo, no ejercieron un ambiente ideal para el desarrollo de nódulos en la alfalfa durante el periodo (2 meses) de

crecimiento de tratamientos, por ende, no se consiguieron datos de nódulos cuantificables.

La aplicación de biocarbón de penca de tuna, presenta efecto estadísticamente significativo en el peso seco de la biomasa aérea, con una disminución en el peso de hasta un 66 y 89% en los tratamientos de biocarbón de BT-1 y BT-2 respectivamente. Además, se presenta efecto estadísticamente significativo en el peso radicular, donde se evidencia una disminución de peso de hasta 51 y 96% en los tratamientos de biocarbón de BT-1 y BT-2 respectivamente.

La aplicación de biocarbón de penca de tuna, presenta efecto estadísticamente significativo en el incremento de la concentración de HAPs en la biomasa de alfalfa de hasta un promedio de 39,23 y 22,18 ng/g para los tratamientos de biocarbón.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda reducir la concentración de biocarbón utilizado en los tratamientos para minimizar los efectos negativos observados en el crecimiento de la alfalfa. Concentraciones del 2% mostraron una reducción significativa en la altura y biomasa, por lo que concentraciones inferiores al 1% podrían ofrecer mejores resultados, permitiendo que las plantas crezcan sin afectar tanto su desarrollo y al mismo tiempo manteniendo la capacidad de adsorción de contaminantes.

Es importante monitorear de manera continua la acumulación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en la biomasa de la alfalfa, ya que se observó un incremento significativo en las concentraciones de estos contaminantes con la aplicación de biocarbón. La acumulación de HAPs podría representar un riesgo para la salud ambiental, por lo que es necesario establecer controles y evaluaciones periódicas de sus niveles.

Para mejorar la efectividad del biocarbón en la retención de contaminantes como la tetraciclina y reducir la acumulación de HAPs, se recomienda optimizar los procesos de activación del biocarbón. Métodos de activación química podrían aumentar su porosidad y área superficial, mejorando así su capacidad adsorbente y reduciendo el impacto ambiental negativo.

Es aconsejable evaluar la aplicación de biocarbón en otros cultivos para identificar especies que puedan tener mayor tolerancia a la contaminación por tetraciclina y HAPs. Esto permitiría obtener una mayor productividad agrícola en suelos contaminados, maximizando los beneficios del biocarbón en diferentes tipos de cultivos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, Izhar, Saif Ullah, Liang He, Quan Zhao, Anas Iqbal, Shangqing Wei, Tariq Shah, Niyaz Ali, Yan Bo, Muhammad Adnan, Amanullah, and Ligeng Jiang. 2020. "Combined Application of Biochar and Nitrogen Fertilizer Improves Rice Yield, Microbial Activity and N-Metabolism in a Pot Experiment." *PeerJ* 8:1–29. doi: 10.7717/peerj.10311.

Ali, Muhammad, Jim J. Wang, Ronald D. DeLaune, Dong Cheol Seo, Syam K. Dodla, and Amy B. Hernandez. 2013. "Effect of Redox Potential and PH Status on Degradation and Adsorption Behavior of Tylosin in Dairy Lagoon Sediment Suspension." *Chemosphere* 91(11):1583–89. doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2012.12.050.

Amaya Robles, Julio E. 2009a. "Cultivo de Tuna (Opuntia Ficus Indica)." *Gerencia Regional Agraria La Libertad* 8.

Amaya Robles, Julio E. 2009b. "Cultivo de Tuna (Opuntia Ficus Indica)." *Gerencia Regional Agraria La Libertad* 8.

ANA. 2017. "Resultados Del Decimo Monitoreo Participativo de La Calidad Del Agua Superficial En El Ambito de La Cuenca Moquegua - Ilo." *Autoridad Nacional Del Agua* (Periodo):3.

Andreu, Vicente, Pablo Vazquez-Roig, Cristina Blasco, and Yolanda Picó. 2009. "Determination of Tetracycline Residues in Soil by Pressurized Liquid Extraction and Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry." *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 394(5):1329–39. doi: 10.1007/S00216-009-2635-X/METRICS.

Bansal, O. P. 2012a. "A Laboratory Study on Degradation Studies of Tetracycline and Chlortetracycline in Soils of Aligarh District as Influenced by Temperature, Water Content, Concentration of Farm Yield Manure, Nitrogen and Tetracyclines." *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences* 82(4):503–9. doi: 10.1007/S40011-012-0062-9/METRICS.

Bansal, O. P. 2012b. "A Laboratory Study on Degradation Studies of Tetracycline and Chlortetracycline in Soils of Aligarh District as Influenced by Temperature, Water Content, Concentration of Farm Yield Manure, Nitrogen and Tetracyclines." *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences* 82(4):503–9. doi: 10.1007/S40011-012-0062-9/METRICS.

Barrios, Renys E., Himanshu K. Khuntia, Shannon L. Bartelt-Hunt, John E. Gilley, Amy M. Schmidt, Daniel D. Snow, and Xu Li. 2020. "Fate and Transport of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Runoff and Soil as Affected by the Timing of Swine Manure Slurry Application." *Science of*

The Total Environment 712:136505. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.136505.

Basigalup, Daniel. 2007. "El Cultivo de Alfalfa En La Argentina." *El Cultivo de La Alfalfa En La Argentina. Ediciones INTA* 15.

Ben, Weiwei, Bing Zhu, Xiangjuan Yuan, Yu Zhang, Min Yang, and Zhimin Qiang. 2018. "Occurrence, Removal and Risk of Organic Micropollutants in Wastewater Treatment Plants across China: Comparison of Wastewater Treatment Processes." *Water Research* 130:38–46. doi: 10.1016/J.WATRES.2017.11.057.

Van Boeckel, Thomas P., Charles Brower, Marius Gilbert, Bryan T. Grenfell, Simon A. Levin, Timothy P. Robinson, Aude Teillant, and Ramanan Laxminarayan. 2015. "Global Trends in Antimicrobial Use in Food Animals." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(18):5649–54. doi: 10.1073/pnas.1503141112.

Borde, Kalyani, Mahender Kumar Medisetty, Baby Shalini Muppala, Aishwarya B. Reddy, Sireesha Nosina, Manick S. Dass, A. Prashanthi, Pushpanjali Billuri, and Dilip Mathai. 2022. "Impact of an Antimicrobial Stewardship Intervention on Usage of Antibiotics in Coronavirus Disease-2019 at a Tertiary Care Teaching Hospital in India." *IJID Regions* 3:15–20. doi: 10.1016/J.IJREGI.2022.02.003.

Bresson, Jean-Louis, Albert Flynn, Marina Heinonen, Karin Hulshof, Hannu Korhonen, Pagona Lagiou, Martinus Løvik, Rosangela Marchelli, Ambroise Martin, Bevan Moseley, Hildegard Przyrembel, Seppo Salminen, Sean Strain, Stephan Strobel, Inge Tetens, Henk van den Berg, Hendrik van Loveren, and Hans Verhagen. 2009. "Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies." *The EFSA Journal* 999:1–9.

Brewer, Catherine Elizabeth, Thomas E. Loynachan, Klaus Schmidt-Rohr, Brent H. Shanks, and Dennis R. Vigil. 2012. "Biochar Characterization and Engineering By."

Buss, Wolfram, Margaret C. Graham, Jessica G. Shepherd, and Ondřej Mašek. 2016. "Risks and Benefits of Marginal Biomass-Derived Biochars for Plant Growth." *Science of the Total Environment* 569–570:496–506. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.129.

Cai, Yang, Zecheng Wang, Lijuan Cui, Jinzhi Wang, Xueyan Zuo, Yinru Lei, Xinsheng Zhao, Xiajie Zhai, Jing Li, and Wei Li. 2023. "Distribution, Source Diagnostics, and Factors Influencing Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Yellow River Delta Wetland." *Regional Studies in Marine Science* 67:103181. doi: 10.1016/J.RSMA.2023.103181.

Cao, Xiufeng, Xiaowei Cui, Meng Xie, Rui Zhao, Lei Xu, Shouqing Ni, and Zhaojie Cui. 2022. "Amendments and Bioaugmentation Enhanced Phytoremediation and Micro-Ecology for PAHs and Heavy Metals Co-

Contaminated Soils." *Journal of Hazardous Materials* 426:128096. doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2021.128096.

Carril, Pablo, Majid Ghorbani, Stefano Loppi, and Silvia Celletti. 2023. "Effect of Biochar Type, Concentration and Washing Conditions on the Germination Parameters of Three Model Crops." *Plants* 12(12):1–12. doi: 10.3390/plants12122235.

Castillo De Loayza, Tatiana Del, Ingrid Maldonado, | Franz, and Zirena Vilca. 2023. "Identification and Quantification of Antibiotic Residues and Evaluation of Microbial Resistance to Antibiotics in Huatanay River Waters in Peru." *Pollution* 9(3):1236–50. doi: 10.22059/POLL.2023.352228.1718.

Chaber, Paulina, and Barbara Gworek. 2020. "Surface Horizons of Forest Soils for the Diagnosis of Soil Environment Contamination and Toxicity Caused by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)." *PLOS ONE* 15(4):e0231359. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0231359.

Chai, Yen Ning, and Daniel P. Schachtman. 2022. "Root Exudates Impact Plant Performance under Abiotic Stress." *Trends in Plant Science* 27(1):80–91. doi: 10.1016/J.TPLANTS.2021.08.003.

Chan, Rathborey, Chart Chiemchaisri, Wilai Chiemchaisri, Alongkot Boonsoongnern, and Phitsanu Tulayakul. 2022. "Occurrence of Antibiotics in Typical Pig Farming and Its Wastewater Treatment in Thailand." *Emerging Contaminants* 8:21–29. doi: 10.1016/J.EMCON.2021.12.003.

Chen, Jun, Lu-xi He, Yu-xiao Cheng, Pu Ye, Dai-ling Wu, Zhan-qiang Fang, and Jie Li. 2020. "Trace Analysis of 28 Antibiotics in Plant Tissues (Root , Stem , Leaf and Seed) by Optimized QuEChERS Pretreatment with UHPLC-MS / MS Detection." 1161(September):21–23. doi: 10.1016/j.jchromb.2020.122450.

Chen, Jungang, Biao Zhu, and Yunhai Zhang. 2023. "A Meta-Analysis on the Responses of Soil Microbial Biomass and Community Structure to Antibiotics." *Applied Soil Ecology* 184:104786. doi: 10.1016/J.APSOIL.2022.104786.

Chen, Shuang, Jian Wang, Michael Gatheru Waigi, and Yanzheng Gao. 2018. "Glomalin-Related Soil Protein Influences the Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Plant Roots." *Science of the Total Environment* 644:465–73. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.370.

Chura Quispe, Hernesto. 2015. "Universidad Nacional Del Altiplano Universidad Nacional Del Altiplano." *Tesis* 1–95.

Cornara, Laura, Jianbo Xiao, and Bruno Burlando. 2016. "Therapeutic Potential of Temperate Forage Legumes: A Review." *Https://Doi.Org/10.1080/10408398.2015.1038378* 56:S149–61. doi: 10.1080/10408398.2015.1038378.

Dai, Yanhui, Hao Zheng, Zhixiang Jiang, and Baoshan Xing. 2020. “Combined Effects of Biochar Properties and Soil Conditions on Plant Growth: A Meta-Analysis.” *Science of the Total Environment* 713:136635. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136635.

Dai, Yingjie, Mei Liu, Jingjing Li, Shengshu Yang, Yue Sun, Qiya Sun, Wensi Wang, Lu Lu, Kexin Zhang, Jiayi Xu, Wenlei Zheng, Zhaoyue Hu, Yahan Yang, Yuewen Gao, and Zhihua Liu. 2019. “A Review on Pollution Situation and Treatment Methods of Tetracycline in Groundwater.” *Https://Doi.Org/10.1080/01496395.2019.1577445* 55(5):1005–21. doi: 10.1080/01496395.2019.1577445.

Dale, Bruce E. 2002. “Biomass Refining: Protein and Ethanol from Alfalfa.” *Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development* 22(3):466–72. doi: 10.1021/I300011A016.

Dien, Bruce S., David J. Miller, Ronald E. Hector, Richard A. Dixon, Fang Chen, Mark McCaslin, Peter Reisen, Gautam Sarath, and Michael A. Cotta. 2011. “Enhancing Alfalfa Conversion Efficiencies for Sugar Recovery and Ethanol Production by Altering Lignin Composition.” *Bioresource Technology* 102(11):6479–86. doi: 10.1016/J.BIORTECH.2011.03.022.

Elizabeth, Orozco-Silvas. 2017. “Elaboración y Caracterización de Películas de Mucílago de Nopal.” 75.

Fan, Yeli, Donghui Pan, Min Yang, and Xinyu Wang. 2023. “Radiolabelling and in Vivo Radionuclide Imaging Tracking of Emerging Pollutants in Environmental Toxicology: A Review.” *Science of The Total Environment* 866:161412. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2023.161412.

Fang, Liang Xing, Chong Chen, Chao Yue Cui, Xing Ping Li, Yan Zhang, Xiao Ping Liao, Jian Sun, and Ya Hong Liu. 2020. “Emerging High-Level Tigecycline Resistance: Novel Tetracycline Destructases Spread via the Mobile Tet(X).” *BioEssays* 42(8):1–10. doi: 10.1002/bies.202000014.

Fuoco, Domenico. 2012a. “Classification Framework and Chemical Biology of Tetracycline-Structure-Based Drugs.” *Antibiotics* 1(1):1. doi: 10.3390/ANTIBIOTICS1010001.

Fuoco, Domenico. 2012b. “Classification Framework and Chemical Biology of Tetracycline-Structure-Based Drugs.” *Antibiotics* 1(1):1. doi: 10.3390/ANTIBIOTICS1010001.

Gao, Yuan, Yueru Sun, Wenshuo Song, Yongfeng Jia, Aimin Li, and Shaofeng Wang. 2023. “Intrinsic Properties of Biochar for Electron Transfer.” *Chemical Engineering Journal* 475:146356. doi: 10.1016/J.CEJ.2023.146356.

Giuberti, Gianluca, Gabriele Rocchetti, Samantha Sigolo, Paola Fortunati, Luigi Lucini, and Antonio Gallo. 2018. “Exploitation of Alfalfa Seed (Medicago Sativa L.) Flour into Gluten-Free Rice Cookies: Nutritional, Antioxidant and

Quality Characteristics." *Food Chemistry* 239:679–87. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.004.

Gomes, Marcelo Pedrosa, Daiane Cristina Rocha, Júlio César Moreira de Brito, Davi Santos Tavares, Raizza Zorman Marques, Patrícia Soffiatti, and Bruno Francisco Sant'Anna-Santos. 2020. "Emerging Contaminants in Water Used for Maize Irrigation: Economic and Food Safety Losses Associated with Ciprofloxacin and Glyphosate." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 196(March):110549. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110549.

GORE MOQUEGUA. 2020. "Plan de Desarrollo Agropecuario Moquegua 2020-2030." *Ministerio de Agricultura y Riego* 80.

Greco, Gianluca, María Videgain, Christian Di Stasi, Elisabet Pires, and Joan J. Manyà. 2021. "Importance of Pyrolysis Temperature and Pressure in the Concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Wood Waste-Derived Biochars." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 159:105337. doi: 10.1016/J.JAAP.2021.105337.

Guillén, M. D., G. Palencia, P. Sopelana, and M. L. Ibargoitia. 2007. "Occurrence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Artisanal Palmero Cheese Smoked with Two Types of Vegetable Matter." *Journal of Dairy Science* 90(6):2717–25. doi: 10.3168/jds.2006-452.

Gurtner, D., M. Kresta, B. Hupfauf, P. Götz, R. Nussbaumer, A. Hofmann, and C. Pfeifer. 2023. "Mechanical Strength Characterisation of Pyrolysis Biochar from Woody Biomass." *Energy* 129366. doi: 10.1016/J.ENERGY.2023.129366.

Guterres Antonio. 2023. "Informe de Los Objetivos de Desarrollo Sostenible." *Naciones Unidas*.

Guzmán, D. Chávez, J. 2007. "CHEMICAL COMPOSITIONAL STUDY OF NOPAL (Opuntia Ficusindica) CLADOPHYLL FOR HUMAN CONSUMPTION." *Rev Soc Quim Perú* 73(1):41–45.

He, Xueqin, Jinpeng Xiong, Zengling Yang, Lujia Han, and Guangqun Huang. 2022. "Exploring the Impact of Biochar on Antibiotics and Antibiotics Resistance Genes in Pig Manure Aerobic Composting through Untargeted Metabolomics and Metagenomics." *Bioresource Technology* 352:127118. doi: 10.1016/J.BIORTECH.2022.127118.

Huang, Rongcai, Zitai Guo, Shengtao Gao, Lu Ma, Jianchu Xu, Zhongtang Yu, and Dengpan Bu. 2021. "Assessment of Veterinary Antibiotics from Animal Manure-Amended Soil to Growing Alfalfa, Alfalfa Silage, and Milk." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 224. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112699.

Ji, Xiangping, Juanjuan Feng, Chunying Li, Sen Han, Min Sun, Jiaqing Feng, Haili Sun, Jing Fan, and Wenjuan Guo. 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* 159:105399. doi: 10.1016/J.MICROC.2020.105399.

Joe Cyril Harrish, A. M., and Hitesh S. Pawar. 2021. "Role of Biochar in the Removal of Organic and Inorganic Contaminants from Wastewater." *Biochar and Its Application in Bioremediation* 107–34. doi: 10.1007/978-981-16-4059-9_6.

Khan, Kiran Yasmin, Barkat Ali, Shuang Zhang, Peter Joseph Stoffella, Shiyu Shi, Qian Xia, Xiaoqiang Cui, Zeshan Ali, and Ya Guo. 2022. "Phytotoxic Effects on Chloroplast and UHPLC-HRMS Based Untargeted Metabolomic Responses in Allium Tuberosum Rottler Ex Sprengel (Chinese Leek) Exposed to Antibiotics." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 234:113418. doi: 10.1016/J.ECOENV.2022.113418.

Klein, Eili Y., Thomas P. Van Boeckel, Elena M. Martinez, Suraj Pant, Sumanth Gandra, Simon A. Levin, Herman Goossens, and Ramanan Laxminarayan. 2015. "Supporting Information Appendix for Global Increase and Geographic Convergence in Antibiotic Consumption between 2000 and 2015."

Lahiri, Dibyajit, Moupriya Nag, Sougata Ghosh, and Rina Rani Ray. 2022a. "Conversion of Agricultural Wastes into Biochar and Its Characteristics." *Springer Link* 6–11. doi: 10.1007/978-981-16-4059-9.

Lahiri, Dibyajit, Moupriya Nag, Sougata Ghosh, and Rina Rani Ray. 2022b. "Conversion of Agricultural Wastes into Biochar and Its Characteristics." *Springer Link* 6–11. doi: 10.1007/978-981-16-4059-9.

Li, Ting, Zhenlong Wang, Jianhua Guo, Cesar de la Fuente-Nunez, Jinquan Wang, Bing Han, Hui Tao, Jie Liu, and Xiumin Wang. 2023. "Bacterial Resistance to Antibacterial Agents: Mechanisms, Control Strategies, and Implications for Global Health." *Science of The Total Environment* 860:160461. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.160461.

Lima, Jacqueline Zanin, Allan Pretti Ogura, Laís Conceição Menezes Da Silva, Isabela Monici Raimondi Nauerth, Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues, Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, and Jéssica Pelinsom Marques. 2022. "Biochar-Pesticides Interactions: An Overview and Applications of Wood Feedstock for Atrazine Contamination." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10(5). doi: 10.1016/j.jece.2022.108192.

Liu, Chun Xiao, Qiu Man Xu, Si Cen Yu, Jing Sheng Cheng, and Ying Jin Yuan. 2020. "Bio-Removal of Tetracycline Antibiotics under the Consortium with Probiotics Bacillus Clausii T and Bacillus Amyloliquefaciens Producing Biosurfactants." *Science of The Total Environment* 710:136329. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2019.136329.

Liu, Pei, Wu Jun Liu, Hong Jiang, Jie Jie Chen, Wen Wei Li, and Han Qing Yu. 2012. "Modification of Bio-Char Derived from Fast Pyrolysis of Biomass

and Its Application in Removal of Tetracycline from Aqueous Solution." *Bioresource Technology* 121:235–40. doi: 10.1016/J.BIORTECH.2012.06.085.

Liu, Yinghao, Qian Wu, Gentu Ge, Guodong Han, and Yushan Jia. 2018a. "Influence of Drought Stress on Afalfa Yields and Nutritional Composition." *BMC Plant Biology* 18(1):1–9. doi: 10.1186/S12870-017-1226-9/TABLES/6.

Liu, Yinghao, Qian Wu, Gentu Ge, Guodong Han, and Yushan Jia. 2018b. "Influence of Drought Stress on Afalfa Yields and Nutritional Composition." *BMC Plant Biology* 18(1):1–9. doi: 10.1186/S12870-017-1226-9/TABLES/6.

Lundström, Sara V., Marcus Östman, Johan Bengtsson-Palme, Carolin Rutgersson, Malin Thoudal, Triranta Sircar, Hans Blanck, K. Martin Eriksson, Mats Tysklind, Carl Fredrik Flach, and D. G. Joakim Larsson. 2016. "Minimal Selective Concentrations of Tetracycline in Complex Aquatic Bacterial Biofilms." *Science of the Total Environment* 553:587–95. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.103.

Ma, Li, Yuhong Li, Lei Yao, and Hongmei Du. 2021. "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil-Turfgrass Systems in Urban Shanghai: Contamination Profiles, in Situ Bioconcentration and Potential Health Risks." *Journal of Cleaner Production* 289. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.125833.

Mahmoud, Yahia, Mary Njenga, Cecilia Sundberg, and Kristina Roing de Nowina. 2021. "Soils, Sinks, and Smallholder Farmers: Examining the Benefits of Biochar Energy Transitions in Kenya." *Energy Research & Social Science* 75:102033. doi: 10.1016/J.ERSS.2021.102033.

Maldonado, Ingrid, Edmundo G. Moreno Terrazas, and Franz Zirena Vilca. 2022. "Application of Duckweed (Lemna Sp.) and Water Fern (Azolla Sp.) in the Removal of Pharmaceutical Residues in Water: State of Art Focus on Antibiotics." *Science of the Total Environment* 838(June):156565. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156565.

Maldonado, Ingrid, Anyela Pierina Vega Quispe, Donald Merma Chacca, and Franz Zirena Vilca. 2022. "Optimization of the Elimination of Antibiotics by Lemna Gibba and Azolla Filiculoides Using Response Surface Methodology (RSM)." *Frontiers in Environmental Science* 10:1228. doi: 10.3389/FENVS.2022.940971/BIBTEX.

Mendes, Kassio Ferreira, Glaucia Peregrina Olivatto, Rodrigo Nogueira de Sousa, Leonardo Vilela Junqueira, and Valdemar Luiz Tornisielo. 2019. "Natural Biochar Effect on Sorption–Desorption and Mobility of Diclosulam and Pendimethalin in Soil." *Geoderma* 347(December 2018):118–25. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.03.038.

Mhete, Modise, Peter N. Eze, Teddie O. Rahube, and Felicia O. Akinyemi. 2020a. "Soil Properties Influence Bacterial Abundance and Diversity under Different Land-Use Regimes in Semi-Arid Environments." *Scientific African* 7. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00246.

Mhete, Modise, Peter N. Eze, Teddie O. Rahube, and Felicia O. Akinyemi. 2020b. "Soil Properties Influence Bacterial Abundance and Diversity under Different Land-Use Regimes in Semi-Arid Environments." *Scientific African* 7. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00246.

Michelon, William, Daniel C. F. Bocchese, Tauani G. Fonseca, Paulo A. Esteves, and Aline Viancelli. 2021. "Application of Biochar for Removal of Heavy Metals, Pathogens, and Emerging Contaminants from Wastewater." *Biochar and Its Application in Bioremediation* 329–44. doi: 10.1007/978-981-16-4059-9_15.

MIDAGRI. 2021. "Análisis de Mercado." *Unidad de Inteligencia Comercial Perú* 48.

MINAM. 2021. "Línea de Base de La Trucha Arcoíris Con Fines de Bioseguridad En El Perú." Retrieved May 24, 2023 (https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2021/07/libro_ldb_trucha.pdf).

Molero, Gemma, Guillaume Tcherkez, Regina Roca, Caroline Mauve, Llorenç Cabrera-Bosquet, José Luis Araus, Salvador Nogués, and Iker Aranjuelo. 2019. "Do Metabolic Changes Underpin Physiological Responses to Water Limitation in Alfalfa (Medicago Sativa) Plants during a Regrowth Period?" *Agricultural Water Management* 212:1–11. doi: 10.1016/J.AGWAT.2018.08.021.

Mukhtar, Ayesha, Maria Manzoor, Iram Gul, Rabeea Zafar, Hira Imam Jamil, Adnan Khan Niazi, Muhammad Arif Ali, Tae Jung Park, and Muhammad Arshad. 2020. "Phytotoxicity of Different Antibiotics to Rice and Stress Alleviation upon Application of Organic Amendments." *Chemosphere* 258:127353. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127353.

Nelson, Mark L., and Stuart B. Levy. 2011. "The History of the Tetracyclines." *Annals of the New York Academy of Sciences* 1241(1):17–32. doi: 10.1111/J.1749-6632.2011.06354.X.

Nguyen, Van Truc, Thanh Binh Nguyen, Chiu Wen Chen, Chang Mao Hung, Thi Dieu Hien Vo, Jih Hsing Chang, and Cheng Di Dong. 2019. "Influence of Pyrolysis Temperature on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Production and Tetracycline Adsorption Behavior of Biochar Derived from Spent Coffee Ground." *Bioresource Technology* 284:197–203. doi: 10.1016/j.biortech.2019.03.096.

Oguntimehin, Ilemobayo, Fawzy Eissa, and Hiroshi Sakugawa. 2010. "Negative Effects of Fluoranthene on the Ecophysiology of Tomato Plants (Lycopersicon Esculentum Mill). Fluoranthene Mists Negatively Affected Tomato Plants." *Chemosphere* 78(7):877–84. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.11.030.

Ogura, Allan Pretti, Jacqueline Zanin Lima, Jéssica Pelinsom Marques, Lucas Massaro Sousa, Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues, and Evaldo Luiz

Gaeta Espíndola. 2021. “A Review of Pesticides Sorption in Biochar from Maize, Rice, and Wheat Residues: Current Status and Challenges for Soil Application.” *Journal of Environmental Management* 300:113753. doi: 10.1016/J.JENVMAN.2021.113753.

Pandey, Sangeeta, and Shikha Gupta. 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(October):183–97. doi: 10.1016/j.jbiotec.2020.10.024.

Pap, Sabolc, Veselin Bezanovic, Jelena Radonic, Anica Babic, Sanja Saric, Dragan Adamovic, and Maja Turk Sekulic. 2018. “Synthesis of Highly-Efficient Functionalized Biochars from Fruit Industry Waste Biomass for the Removal of Chromium and Lead.” *Journal of Molecular Liquids* 268:315–25. doi: 10.1016/j.molliq.2018.07.072.

Pourbabaee, Ahmad Ali, Maryam Khazaei, Hossein Ali Alikhani, and Somayeh Emami. 2021. “Root Nodulation of Alfalfa by Ensifer Meliloti in Petroleum Contaminated Soil.” *Rhizosphere* 17(January):100305. doi: 10.1016/j.rhisph.2021.100305.

del Pozo, Cristina, Filipe Rego, Neus Puy, Jordi Bartrolí, Esteve Fàbregas, Yang Yang, and Anthony V. Bridgwater. 2022. “The Effect of Reactor Scale on Biochars and Pyrolysis Liquids from Slow Pyrolysis of Coffee Silverskin, Grape Pomace and Olive Mill Waste, in Auger Reactors.” *Waste Management* 148:106–16. doi: 10.1016/J.WASMAN.2022.05.023.

Qi, Zheng, Zhiwei Le, Furui Han, Yue Qi, and Rijia Liu. 2022a. “B-Lactamase Genes Transmission Influenced By Tetracycline, Sulfonamide and B-Lactams Antibiotics Contamination in the on-Site Farm Soil.” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 241(February):113753. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113753.

Qi, Zheng, Zhiwei Le, Furui Han, Yue Qi, and Rijia Liu. 2022b. “B-Lactamase Genes Transmission Influenced By Tetracycline, Sulfonamide and B-Lactams Antibiotics Contamination in the on-Site Farm Soil.” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 241(February):113753. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113753.

Rafiq, Muhammad Khalid, Robert Thomas Bachmann, Muhammad Tariq Rafiq, Zhanhuan Shang, Stephen Joseph, and Ruijun Long. 2016. “Influence of Pyrolysis Temperature on Physico-Chemical Properties of Corn Stover (Zea Mays L .) Biochar and Feasibility for Carbon Capture and Energy Balance.” 1–17. doi: 10.1371/journal.pone.0156894.

Ramos, Adan Quisocala, Yoselin Mamani Ramos, Nora Magaly Quispe Camaticona, José Luis Ramos Tejeda, Clara Nely Campos Quiróz, Ingrid Maldonado, Nils Leander Huamán-Castilla, and Franz Zirena Vilca. 2023. “Deciphering Ciprofloxacin’s Impact on Growth Attributes and Antioxidant

Compounds in Pasankalla Quinoa." *Agronomy* 13(7):1738. doi: 10.3390/agronomy13071738.

Riti Thapar Kapoor, Helen Treichel, Maulin P. Shah. 2022a. *Biocarbón y Sus Aplicación En Biorremediación*. Springer. Singapur.

Riti Thapar Kapoor, Helen Treichel, Maulin P. Shah. 2022b. *Biocarbón y Sus Aplicación En Biorremediación*. Springer. Singapur.

Rusu, Aura, and Emanuela Lorena Buta. 2021a. "The Development of Third-Generation Tetracycline Antibiotics and New Perspectives." *Pharmaceutics* 13(12):2085. doi: 10.3390/PHARMACEUTICS13122085/S1.

Rusu, Aura, and Emanuela Lorena Buta. 2021b. "The Development of Third-Generation Tetracycline Antibiotics and New Perspectives." *Pharmaceutics* 13(12):2085. doi: 10.3390/PHARMACEUTICS13122085/S1.

Santás-Miguel, Vanesa, Laura Rodríguez-González, Avelino Núñez-Delgado, Esperanza Álvarez-Rodríguez, Montserrat Díaz-Raviña, Manuel Arias-Estévez, and David Fernández-Calviño. 2021. "Time-Course Evolution of Bacterial Community Tolerance to Tetracycline Antibiotics in Agricultural Soils: A Laboratory Experiment." *Chemosphere* 132758. doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132758.

Dos Santos, Iara Gonçalves, Paulo Eduardo Teodoro, Cosme Damião Cruz, and Reinaldo de Paula Ferreira. 2020. "Impact of Water Deficit in the Relationship among Alfafa Traits." *Bioscience Journal* 36(3):905–13. doi: 10.14393/BJ-V36N3A2020-41869.

Sassman, Stephen A., and Linda S. Lee. 2005. "Sorption of Three Tetracyclines by Several Soils: Assessing the Role of PH and Cation Exchange." *Environmental Science and Technology* 39(19):7452–59. doi: 10.1021/ES0480217.

Scaria, Jaimy, K. V. Anupama, and P. V. Nidheesh. 2021a. "Tetracyclines in the Environment: An Overview on the Occurrence, Fate, Toxicity, Detection, Removal Methods, and Sludge Management." *Science of The Total Environment* 771:145291. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.145291.

Scaria, Jaimy, K. V. Anupama, and P. V. Nidheesh. 2021b. "Tetracyclines in the Environment: An Overview on the Occurrence, Fate, Toxicity, Detection, Removal Methods, and Sludge Management." *Science of The Total Environment* 771:145291. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.145291.

Seifrtová, Marcela, Lucie Nováková, Celeste Lino, Angelina Pena, and Petr Solich. 2009. "An Overview of Analytical Methodologies for the Determination of Antibiotics in Environmental Waters." *Analytica Chimica Acta* 649(2):158–79. doi: 10.1016/J.ACA.2009.07.031.

Shen, Yike, Hui Li, Elliot T. Ryser, and Wei Zhang. 2021. "Comparing Root Concentration Factors of Antibiotics for Lettuce (Lactuca Sativa) Measured

in Rhizosphere and Bulk Soils." *Chemosphere* 262:127677. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127677.

Siddhardhan, E. V., S. Surender, and T. Arumanayagam. 2023. "Degradation of Tetracycline Drug in Aquatic Environment by Visible Light Active CuS/CdS Photocatalyst." *Inorganic Chemistry Communications* 147:110244. doi: 10.1016/J.INOCHE.2022.110244.

Sui, Qianwen, Junya Zhang, Meixue Chen, Juan Tong, Rui Wang, and Yuansong Wei. 2016. "Distribution of Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in Anaerobic Digestion and Land Application of Swine Wastewater." *Environmental Pollution* 213:751–59. doi: 10.1016/j.envpol.2016.03.038.

Sun, Tian Ran, Long Cang, Quan Ying Wang, Dong Mei Zhou, Jie Min Cheng, and Hui Xu. 2010. "Roles of Abiotic Losses, Microbes, Plant Roots, and Root Exudates on Phytoremediation of PAHs in a Barren Soil." *Journal of Hazardous Materials* 176(1–3):919–25. doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2009.11.124.

Tareq, Rizwan, Nahida Akter, and Md Shafiul Azam. 2019a. "Biochars and Biochar Composites: Low-Cost Adsorbents for Environmental Remediation." *Biochar from Biomass and Waste: Fundamentals and Applications* 169–209. doi: 10.1016/B978-0-12-811729-3.00010-8.

Tareq, Rizwan, Nahida Akter, and Md Shafiul Azam. 2019b. "Biochars and Biochar Composites: Low-Cost Adsorbents for Environmental Remediation." *Biochar from Biomass and Waste: Fundamentals and Applications* 169–209. doi: 10.1016/B978-0-12-811729-3.00010-8.

Tlahig, Samir, Inès Karmous, Mustapha Gorai, Takwa Jaouadi, and Mohamed Loumerem. 2021. "Effect of Cutting Time on the Performance of Alfalfa (Medicago Sativa L.) Genotypes Cropped in Arid Environment." *Polish Journal of Environmental Studies* 30(2):1817–29. doi: 10.15244/pjoes/124757.

Tomczyk, Agnieszka, Zofia Sokołowska, and Patrycja Boguta. 2020. "Biochar Physicochemical Properties: Pyrolysis Temperature and Feedstock Kind Effects." *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 19(1):191–215. doi: 10.1007/S11157-020-09523-3/TABLES/3.

Valizadeh, Soheil, Sang Soo Lee, Yong Jun Choi, Kitae Baek, Byong-Hun Jeon, Kun-Yi Andrew Lin, and Young-Kwon Park. 2022. "Biochar Application Strategies for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Removal from Soils." *Environmental Research* 213:113599. doi: 10.1016/J.ENVRES.2022.113599.

Vilca, Franz Zirena, Nestor Cahui Galarza, Juan R. Tejedo, Walter Alejandro Zamalloa Cuba, Clara Nely Campos Quiróz, and Valdemar Luiz Tornisielo. 2021. "Occurrence of Residues of Veterinary Antibiotics in Water, Sediment and Trout Tissue (Oncorhynchus Mykiss) in the Southern Area of Lake Titicaca, Peru." *Journal of Great Lakes Research* 47(4):1219–27. doi: 10.1016/j.jglr.2021.04.012.

Vilca, Franz Zirena, Oscar Duberly Vera Loayza, Tatiana Edith Laura Ponce, Leonardo Vilela Junqueira, Nestor Cahui Galarza, Nádia Hortense Torres, Luis Fernando Romanholo Ferreira, Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro, and Valdemar Luiz Tornisielo. 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. doi: 10.1016/j.hazadv.2022.100100.

WANG, Hai-Cui, Lin-Lin HU, Min LI, Wei-Feng CHEN, Ying WANG, and Jia-Jia ZHOU. 2014. "Growth Effects and Accumulations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Rape." *Chinese Journal of Plant Ecology* 37(12):1123–31. doi: 10.3724/sp.j.1258.2013.00115.

Wu, Pin Hsueh, Yan Li, Pei Hsun Wu, and Chang Ping Yu. 2021. "Microbial Fuel Cell-Driven Alkaline Thermal Hydrolysis for Pretreatment of Wastewater Containing High Concentrations of Tetracycline in the Cathode Chamber." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(1):104659. doi: 10.1016/j.jece.2020.104659.

Wu, Yong, Yuzhi Li, Qizhang Deng, Xiang Zhao, Chengshu Qiu, Shan Xia, Yuanyuan Feng, Xia Zhang, and Hongling Liu. 2022. "Promotion Effect of AM Fungi and Rhizobia Co-Inoculations on Alfalfa (Medicago Sativa L.) Growth." *Rhizosphere* 22:100537. doi: 10.1016/J.RHISPH.2022.100537.

Xia, Li, Ma Xiaodong, Cheng Yunhe, Liu Junxiang, Zou Junzhu, Zhai Feifei, Sun Zhenyuan, and Han Lei. 2021. "Transcriptomic and Metabolomic Insights into the Adaptive Response of Salix Viminalis to Phenanthrene." *Chemosphere* 262:127573. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127573.

Xue, Wenxiu, Wenhan Liu, Ruwen Ma, Shuhao Zhang, Xingxu Yu, Tao Li, Xiaoyu Luan, Xiaowei Cui, Jia Liu, Chengwei Zhang, Shaolei Shan, Shouqing Ni, Xinbo Wang, Xiufeng Cao, and Zhaojie Cui. 2023. "The Toxic Mechanism of Tetracycline on Root Tips in Hulless Barley (Hordeum Vulgare L. Var. Nudum)." *Journal of Hazardous Materials* 460(April):132453. doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.132453.

Yang, Xin, Peng Zhang, Zhenhua Wei, Jie Liu, Xiaotao Hu, and Fulai Liu. 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. doi: 10.1016/j.scienta.2021.110643.

Yang, Yingfen, Waqar Ahmed, Chenghu Ye, Linyuan Yang, Lianzhang Wu, Zhenlin Dai, Khalid Ali Khan, Xiaodong Hu, Xiaohong Zhu, and Zhengxiong Zhao. 2024. "Exploring the Effect of Different Application Rates of Biochar on the Accumulation of Nutrients and Growth of Flue-Cured Tobacco (Nicotiana Tabacum)." *Frontiers in Plant Science* 15(February):1–18. doi: 10.3389/fpls.2024.1225031.

Yi, Langsha, Linzi Zuo, Chenhui Wei, Heyun Fu, Xiaolei Qu, Shourong Zheng, Zhaoyi Xu, Yong Guo, Hui Li, and Dongqiang Zhu. 2020. “Enhanced Adsorption of Bisphenol A, Tylosin, and Tetracycline from Aqueous Solution to Nitrogen-Doped Multiwall Carbon Nanotubes via Cation-π and π-π Electron-Donor-Acceptor (EDA) Interactions.” *Science of The Total Environment* 719:137389. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.137389.

Yue, L. I., X. I. E. Shi, Chen Zhong, X. U. Su, Zhang Li, and Chinese Journal. 2013. “Pyrene, and Their Combination on the Growth and Antioxidant Enzymes Activities of Wheat (Triticum Aestivum L.) Seedlings.” 32(2):358–62.

Zabiszak, Michał, Justyna Frymark, Kazuma Ogawa, Monika Skrobańska, Martyna Nowak, Renata Jastrzab, and Małgorzata T. Kaczmarek. 2023. “Complexes of β-Lactam Antibiotics and Their Schiff-Base Derivatives as a Weapon in the Fight against Bacterial Resistance.” *Coordination Chemistry Reviews* 493:215326. doi: 10.1016/J.CCR.2023.215326.

Zaid, Faraj, Nasruddeen Al-Awwal, John Yang, Stephen H. Anderson, and Bouzeriba T. B. Alsunuse. 2024. “Effects of Biochar-Amended Composts on Selected Enzyme Activities in Soils.” *Processes* 12(8). doi: 10.3390/pr12081678.

Zavala Pope, Mauricio. 2011. *COMPETITIVIDAD AGROPECUARIA Comparando Los Sistemas de La Inocuidad de Los Alimentos Del Perú y de Los EEUU*.

Zhang, Juan, Shukai Fan, Xiaoming Du, Juncheng Yang, Wenyan Wang, and Hong Hou. 2015. “Accumulation, Allocation, and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soil-Brassica Chinensis System.” *PLOS ONE* 10(2):e0115863. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0115863.

Zhang, Peng, Peng Huang, Mingming Ma, Xingying Meng, Yueli Hao, and Hongwen Sun. 2022. “Effects of Biochar on the Environmental Behavior of Pesticides.” *Biochar in Agriculture for Achieving Sustainable Development Goals* 129–38. doi: 10.1016/B978-0-323-85343-9.00021-5.

Zhang, Yanzhuo, Shengxu Liang, Rui He, Jing Zhao, Jinghua Lv, Wei Kang, and Jian Zhang. 2022. “Enhanced Adsorption and Degradation of Antibiotics by Doping Corncob Biochar/PMS with Heteroatoms at Different Preparation Temperatures: Mechanism, Pathway, and Relative Contribution of Reactive Oxygen Species.” *Journal of Water Process Engineering* 46:102626. doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102626.

Zhao, Fangkai, Lei Yang, Gang Li, Li Fang, Xinwei Yu, Yu Ting Tang, Min Li, and Liding Chen. 2022. “Veterinary Antibiotics Can Reduce Crop Yields by Modifying Soil Bacterial Community and Earthworm Population in Agro-Ecosystems.” *Science of The Total Environment* 808:152056. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.152056.

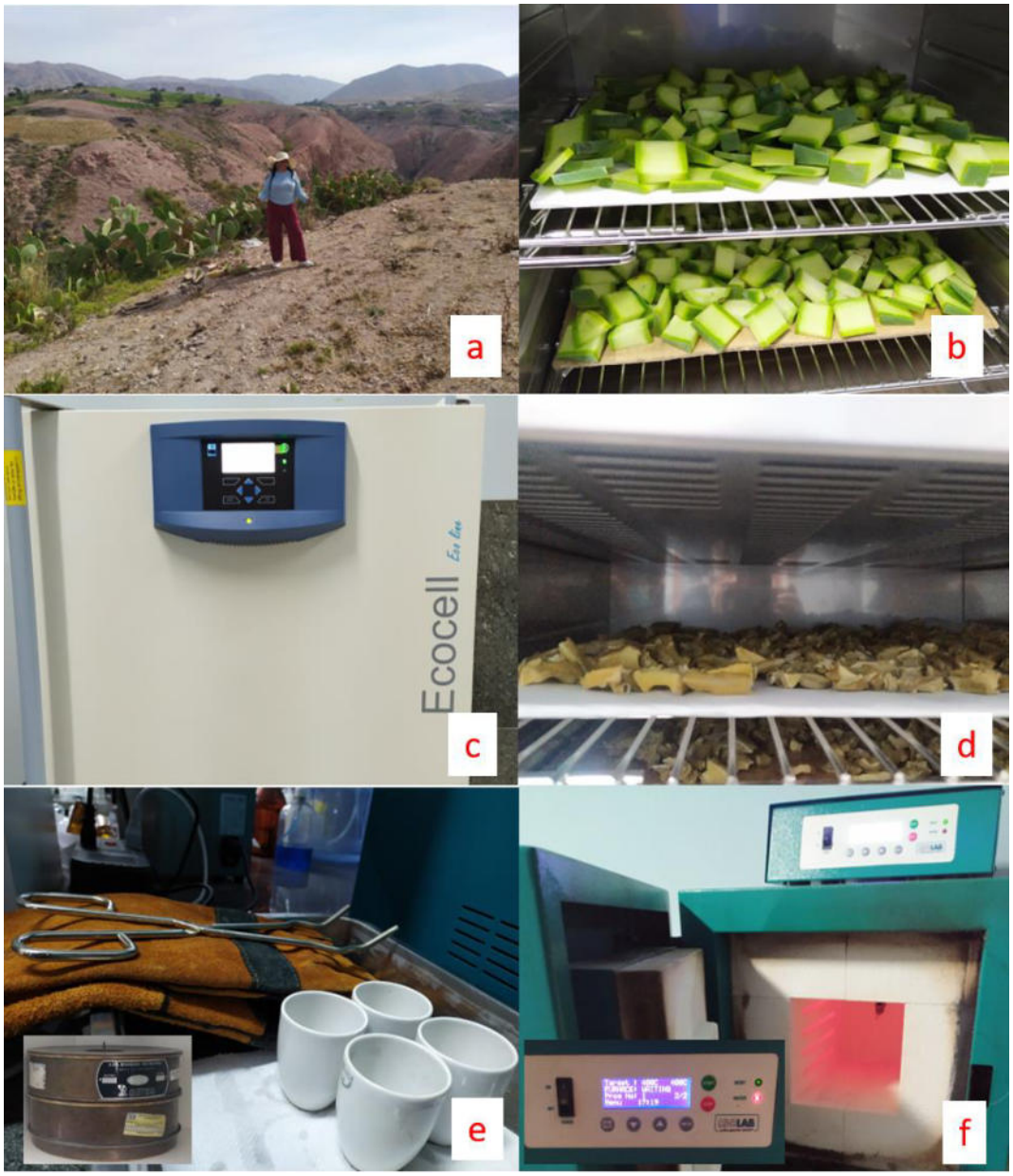
Zhao, Rui, Wenjie Ren, Huimin Wang, Zhenxuan Li, Ying Teng, and Yongming Luo. 2022. “Nontargeted Metabolomic Analysis to Unravel Alleviation Mechanisms of Carbon Nanotubes on Inhibition of Alfalfa Growth under Pyrene Stress.” *Science of The Total Environment* 852:158405. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.158405.

Zhou, Shengfei, and Troy M. Runge. 2014. “Validation of Lignocellulosic Biomass Carbohydrates Determination via Acid Hydrolysis.” *Carbohydrate Polymers* 112:179–85. doi: 10.1016/J.CARBPOL.2014.05.088.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Registro fotográfico

Figura 15:
Proceso de elaboración de biocarbón de penca de tuna



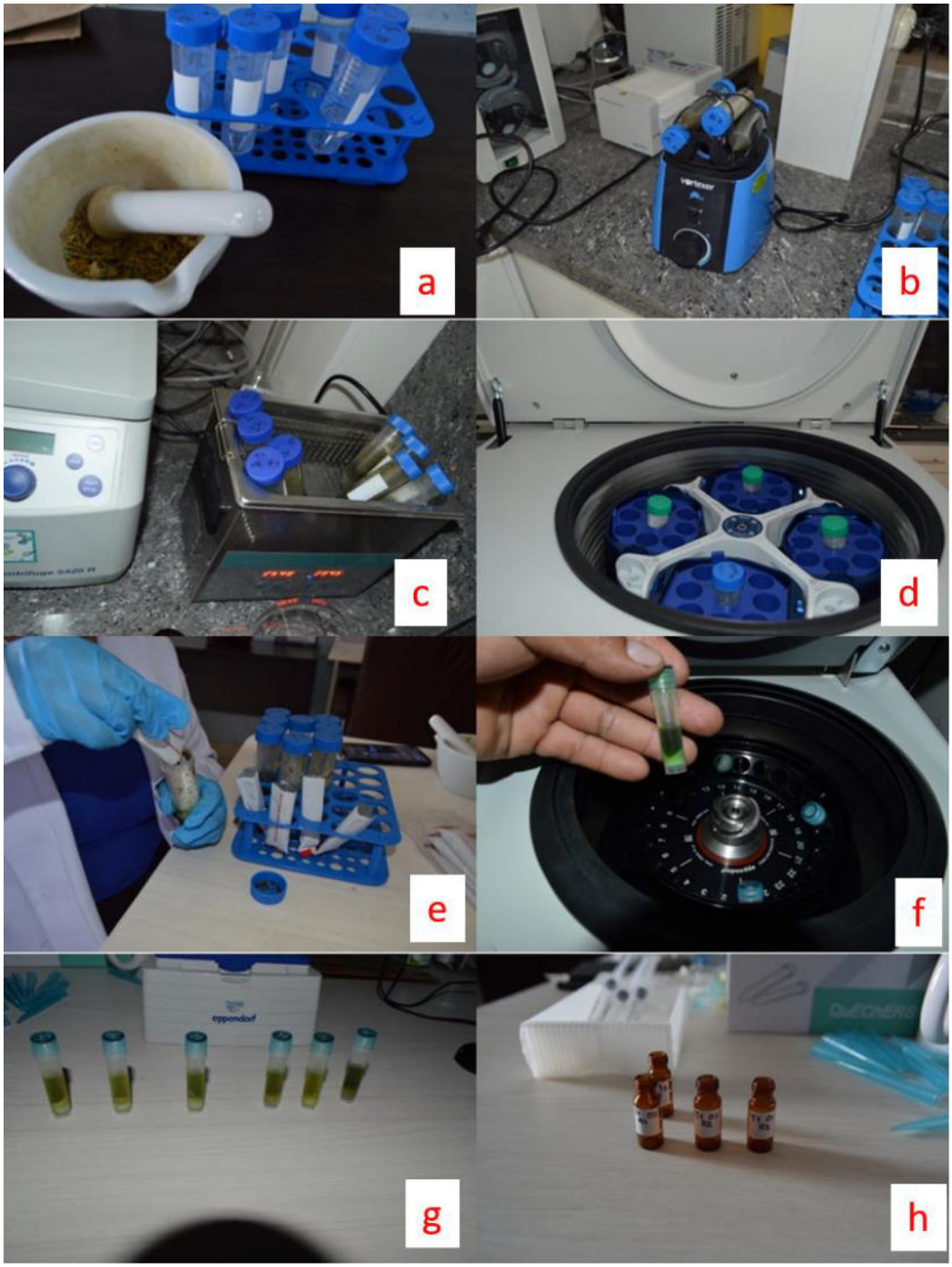
Nota: (a) Recolección de pencas de tuna; (b) Deshidratación de penca de tuna cortadas; (c) Deshidratación en la estufa; (d) Reducción de tamaño y pencas deshidratadas; (e) pirolisis en crisoles con tapa; (f) en la mufla se hace el efecto de pirolisis a 400°C.

Figura 16:
Proceso de instalación de macetas para el crecimiento de la alfalfa



Nota: En referencia a la secuencia del proceso se denomina cada figura: (a) Mezcla y homogenización de suelo, compost y biocarbón; (b) Cuarteo de la mezcla; (c) Extracción de muestra de las 4 partes para su posterior análisis; (d) Colocar la mezcla en las macetas y sembrar semillas en 4 agujeros de cada maceta; (e) Preparación de contaminante (tetraciclina) con el agua tipo II; y finalmente (f) Irrigación de cada maceta con el agua contaminada.

Figura 17:
Proceso de análisis de HAPs



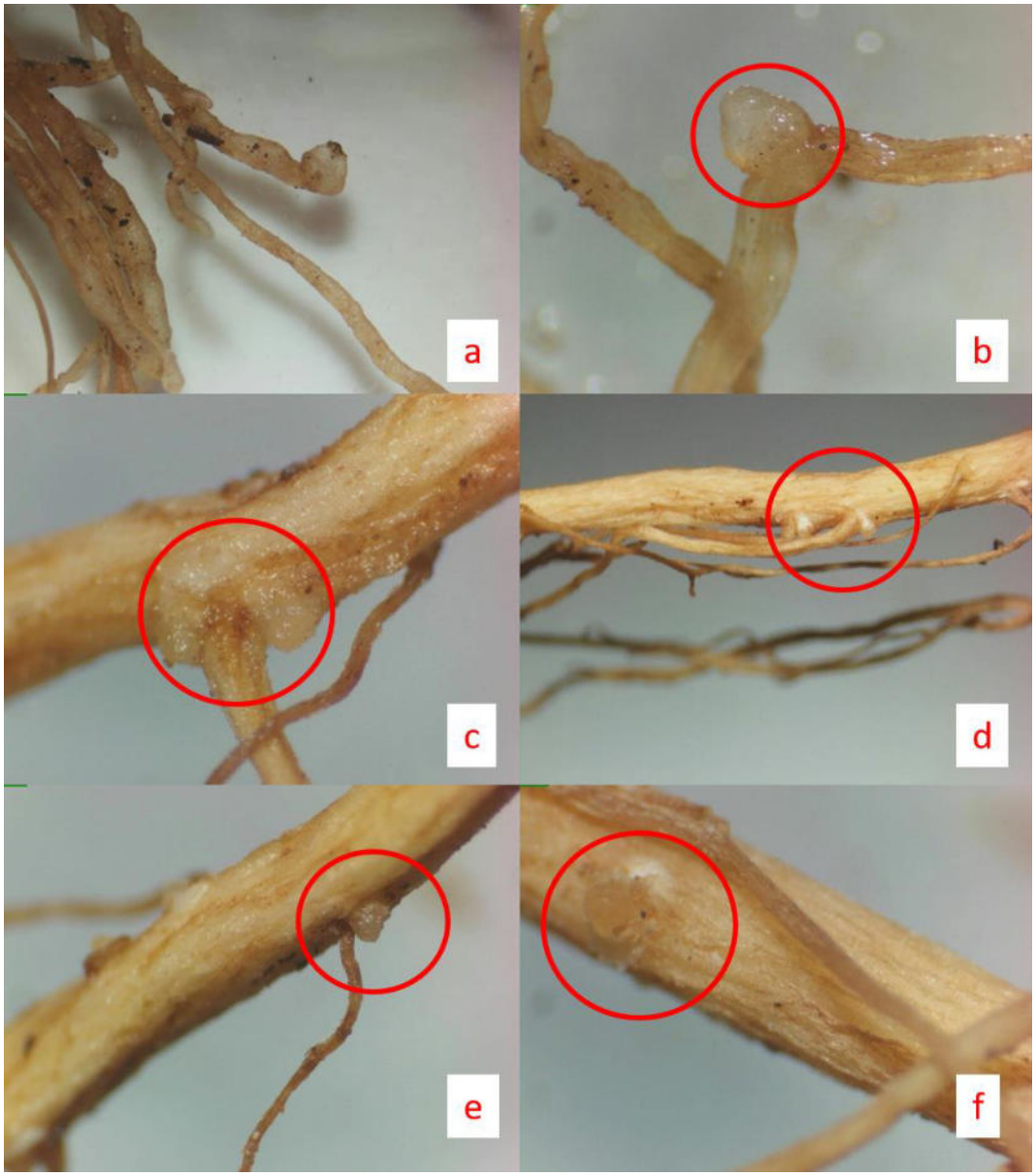
Nota: (a) Moler toda la biomasa de la alfalfa; (b) Muestras en vortex; (c) Muestras en ultrasonido; (d) Muestras en el equipo de centrifugadora; (e) Adición de sales de QuEChERs; (f) Muestra en centrifugadora; (g) Muestra lista para analizar; y finalmente (h) Se extrae las muestras en los viales para ser analizados en el cromatógrafo.

Figura 18:
Visualización de los diferentes tratamientos



Nota: Etapa de cosecha, se tiene un mejor panorama

Figura 19:
Presencia de nódulos inactivos (tamaño de1mm)



Nota: (a) en el tratamiento B-0 no se encontró nódulos, solo esta representación; (b), (c) y (d) en el tratamiento BT-0 si se encontró 22 nódulos inactivos; (e) y (f) en el tratamiento BT-1 se encontró 7 nódulo inactivos.

ANEXO 2: Análisis estadístico de datos

A. Longitud de la raíz de la planta

Tabla 10:
Datos preliminares para calcular la estadística de la longitud de raíz

Datos preliminares para calcular la estadística de la longitud de raíz					
Tratamiento		**Longitud de raíz**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**CV (%)**
B-0:3	Min	18	18.57	0.4509	2.429
BT-0:3	1st Qu.	18.9	20.22	0.6756	3.318
BT-1 :3	Median	20.4	21.05	1.6336	7.705
BT-2 :3	Mean	20.76	20.76	2.0296	9.378
	3rd Qu	21.7	21.59	2.9876	13.766
	Max	26.8	22.37	4.4004	19.674
	NA's		8	8	8

Tabla 11:
Prueba de normalidad paramétrica para la longitud de raíz de la planta

Shapiro-Wilk Test de normalidad Datos: Longitud de raíz	
W	**p-valor**
0.89531	0.138

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es NORMAL (PARAMETRICA)

Tabla 12
Prueba de homogeneidad de la longitud de la raíz de la planta

Datos: Longitud de raíz			
Fuente de Variación	gl	F-Valor	Pr (>F)
Grupo	3	1.9576	0.199

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es HOMOGENEA (PARAMETRICA)

Tabla 13:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la longitud de la raíz de la planta

LONGITUD DE LA RAÍZ DE LA ALFALFA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamientos	3	23.16	7.721	1.167	**0.381**
Error	8	52.93	6.616		
Total	11	76.09			

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces al menos uno de tratamientos no es diferente

Tabla 14:
Prueba de contraste de Tukey de la longitud de la raíz de la planta

Prueba de contraste TUKEY de la longitud de la raíz				
Tratamiento	**diff**	**lwr**	**upr**	**p adj**
BT-0-B-0	1.033333	-5.692029	7.758696	0.9586841
BT-1-B-0	-0.56667	-7.292029	6.158696	0.992587
BT-2-B-0	-2.76667	-9.492029	3.958696	0.5780985
BT-1-BT-0	-1.6	-8.325363	5.125363	0.8692527
BT-2-BT-0	-3.8	-10.525363	2.925363	0.3357965
BT-2-BT-1	-2.2	-8.925363	4.525363	0.7282407

Nota: Si el p-valor es <0.05, entonces estos datos de los tratamientos son diferentes

Tabla 15:
Prueba de agrupación de Tukey de la longitud de la raíz de la planta

Agrupación Tukey de la longitud de la raíz		
Tratamientos	**Longitud de la raíz**	**Grupo**
BT-0	22.36667	a
B-0	21.33333	a
BT-1	20.76667	a
BT-2	18.56667	a

Nota: No hay grupos diferentes.

Tabla 16:
Prueba de agrupación de Duncan de la longitud de la raíz de la planta

Agrupación Duncan de altura de planta		
Tratamientos	**Biomasa aérea**	**Grupo**
BT-0	22.36667	a
B-0	21.33333	a
BT-1	20.76667	a
BT-2	18.56667	a

Nota: No hay grupos diferentes.

B. Altura de la planta

Tabla 17:
Datos preliminares para calcular la estadística de la altura de la planta

Datos preliminares para calcular la estadística de la longitud de raíz					
Tratamiento		**Longitud de raíz**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**CV (%)**
B-0:3	Min	9	11	0.5774	3.149
BT-0:3	1st Qu.	13.38	14.75	1.6443	11.167
BT-1 :3	Median	17.55	17.17	2.25	14.732
BT-2 :3	Mean	16.55	16.1	1.929	12.699
	3rd Qu	18.12	18.52	2.5347	16.264
	Max	22.1	19.07	2.6388	18.182
	NA's		8	8	8

Tabla 18:
Prueba de normalidad paramétrica para la altura de la planta

Shapiro-Wilk Test de normalidad Datos: Altura de la planta	
W	**p-valor**
0.93765	0.4683

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es NORMAL (PARAMETRICA)

Tabla 19:
Prueba de homogeneidad de la altura de la planta

Datos: Altura de la planta			
Fuente de Variación	gl	F-Valor	Pr (>F)
Grupo	3	1.9576	0.199

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es HOMOGENEA (PARAMETRICA)

Tabla 20:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la altura de la planta

ALTURA DE PLANTA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamiento	3	119.43	39.81	9.075	**0.00592**
Error	8	35.09	4.39		
Total	11	154.52			

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

Tabla 21:
Prueba de contraste de Tukey de la altura de la planta

Prueba de contraste TUKEY de la altura de la planta				
Tratamiento	**diff**	**lwr**	**upr**	**p adj**
BT-0-B-0	0.733333	-4.743011	6.2096778	0.9718544
BT-1-B-0	-2.33333	-7.809678	3.1430111	0.5522075
BT-2-B-0	-7.33333	-12.809678	-1.8569889	**0.0113684**
BT-1-BT-0	-3.06667	-8.543011	2.4096778	0.3424915
BT-2-BT-0	-8.06667	-13.543011	-2.5903222	**0.0065622**
BT-2-BT-1	-5	-10.476344	0.4763444	0.0740747

Nota: Si el p-valor es <0.05, entonces estos datos de los tratamientos son diferentes

Tabla 22:
Prueba de agrupación de tukey de la altura de la planta

Agrupación Tukey de altura de planta		
Tratamientos	**Altura de la planta**	**Grupo**
BT-0	19.06667	a
B-0	18.33333	a
BT-1	16	**ab**
BT-2	11	**b**

Nota: El grupo b es diferente.

Tabla 23:
Prueba de agrupación de Duncan de la altura de la planta

Agrupación Duncan de altura de planta		
Tratamientos	**Altura de la planta**	**Grupo**
BT-0	19.06667	a
B-0	18.33333	a
BT-1	16	a
BT-2	11	**b**

Nota: El grupo b es diferente.

C. Peso seco de la biomasa aérea de la planta

Tabla 24:
Datos preliminares para calcular la estadística de la biomasa aérea de la planta

Datos preliminares para calcular la estadística de la b. aérea					
Tratamiento		**B. aérea**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**CV (%)**
B-0:3	Min	157.5	218.9	61.4	11.03
BT-0:3	1st Qu.	462.6	559	127.2	19.39
BT-1 :3	Median	886.9	920	182.8	22.4
BT-2 :3	Mean	1005.8	1005.8	172.8	20.97
	3rd Qu	1533.8	1366.8	228.5	23.99
	Max	2180.8	1964.2	264.3	28.05
	NA's		8	8	8

Tabla 25:
Prueba de normalidad paramétrica para la biomasa aérea de la planta

Shapiro-Wilk Test de normalidad	
W	**p-valor**
0.93119	0.3929

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es NORMAL (PARAMETRICA)

Tabla 26:
Prueba de homogeneidad de la biomasa aérea de la planta

Datos: biomasa aérea			
Fuente de Variación	gl	F-Valor	Pr (>F)
Grupo	3	0.6394	0.6107

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es HOMOGENEA (PARAMETRICA)

Tabla 27:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa aérea de la planta

PESO SECO DE LA BIOMASA AÉREA DE LA PLANTA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamiento	3	5025263	1675088	46.94	**2.01E-05**
Error	8	285500	35688		
Total	11	5310763			

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

Tabla 28:
Prueba de contraste de Tukey de la longitud de la biomasa aérea de la planta

Prueba de contraste TUKEY de la biomasa aérea				
Tratamiento	**diff**	**lwr**	**upr**	**p adj**
BT-0-B-0	796.5667	302.6182	1290.515135	**0.0037917**
BT-1-B-0	-495.233	-989.1818	-1.284865	0.0494175
BT-2-B-0	-948.733	-1442.6818	-454.784865	**0.0012343**
BT-1-BT-0	-1291.8	-1785.7485	-797.851531	**0.0001449**
BT-2-BT-0	-1745.3	-2239.2485	-1251.351531	**0.0000157**
BT-2-BT-1	-453.5	-947.4485	40.448469	**0.0723867**

Nota: Si el p-valor es <0.05, entonces estos datos de los tratamientos son diferentes

Tabla 29:
Prueba de agrupación de Tukey de la biomasa aérea de la planta

Agrupación Tukey de biomasa aérea		
Tratamientos	**Biomasa Aérea**	**Grupo**
BT-0	1964.2	a
B-0	1167.633	**b**
BT-1	672.4	**c**
BT-2	218.9	**c**

Nota: El grupo b y c es diferente.

Tabla 30:
Prueba de agrupación de Duncan de la biomasa aérea de la planta

Agrupación Duncan de la biomasa aérea		
Tratamientos	**Biomasa Aérea**	**Grupo**
BT-0	1964.2	a
B-0	1167.633	**b**
BT-1	672.4	**c**
BT-2	218.9	**d**

Nota: El grupo b, c y d es diferente.

D. Peso seco de la biomasa radicular de la planta

Tabla 31:
Datos preliminares para calcular la estadística de la biomasa radicular de la planta

Datos preliminares para calcular la estadística de la b. radicular					
Tratamiento		**B. radicular**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**CV (%)**
B-0:3	Min	60.5	70.8	10.3	2.966
BT-0:3	1st Qu.	575.4	659.5	41.31	10.867
BT-1 :3	Median	938.5	1003.6	83.59	14.025
BT-2 :3	Mean	954.8	954.8	105.82	13.09
	3rd Qu	1470.5	1299	148.09	16.247
	Max	1792.9	1741.2	245.8	21.344
	NA's		8	8	8

Tabla 32:
Prueba de normalidad paramétrica para la biomasa radicular de la planta

Shapiro-Wilk Test de normalidad	
W	**p-valor**
0.90249	0.1708

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es NORMAL (PARAMETRICA)

Tabla 33:
Prueba de homogeneidad de la biomasa radicular de la planta

Datos: Biomasa radicular			
Fuente de Variación	gl	F-Valor	Pr (>F)
Grupo	3	2.2122	0.1643

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es HOMOGENEA (PARAMETRICA)

Tabla 34:
Prueba de contraste de Tukey de la longitud de la biomasa radicular de la planta

Prueba de contraste TUKEY de la biomasa radicular				
Tratamiento	**diff**	**lwr**	**upr**	**p adj**
BT-0-B-0	589.5667	227.8816	951.25173	**0.0035474**
BT-1-B-0	-295.925	-657.6101	65.76007	0.1136482
BT-2-B-0	-1080.8	-1442.4851	-719.11493	**0.0000548**
BT-1-BT-0	-885.492	-1247.1767	-523.8066	**0.0002323**
BT-2-BT-0	-1670.37	-2032.0517	-1308.6816	**0.0000021**
BT-2-BT-1	-784.875	-1146.5601	-423.18993	**0.0005404**

Nota: Si el p-valor es <0.05, entonces estos datos de los tratamientos son diferentes

Tabla 35:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en el peso seco de la biomasa radicular de la planta

PESO SECO DE LA BIOMASA RADICULAR DE LA PLANTA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamiento	3	4345154	1448385	75.69	**3.26E-06**
Error	8	153075	19134		
Total	11	4498229			

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

Tabla 36:
Prueba de agrupación de Tukey de la biomasa radicular de la planta

Agrupación Tukey de la biomasa radicular		
Tratamientos	**Biomasa radicular**	**Grupo**
BT-0	1741.167	a
B-0	1151.6	**b**
BT-1	855.675	**b**
BT-2	70.8	**c**

Nota: El grupo b y c es diferente.

Tabla 37:
Prueba de agrupación de Duncan de la biomasa radicular de la planta

Agrupación Duncan de la biomasa radicular		
Tratamientos	**Biomasa radicular**	**Grupo**
BT-0	1741.167	a
B-0	1151.6	**b**
BT-1	855.675	**c**
BT-2	70.8	**d**

E. **Presencia de HAPs de la planta**.

Tabla 38:
Datos preliminares para calcular la estadística de la presencia de los HAPs en la planta

Datos preliminares para calcular la estadística de la presencia de HAPs					
Tratamiento		**HAPs**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**CV (%)**
B-0:3	Min	0	0	0	14.39
BT-0:3	1st Qu.	0	11.09	1.595	14.61
BT-1 :3	Median	23.24	22.18	3.19	14.84
BT-2 :3	Mean	20.47	20.47	3.063	14.84
	3rd Qu	34.12	30.7	4.594	15.06
	Max	45.84	39.23	5.998	15.29
	NA's		6	6	7

Tabla 39:
Prueba de normalidad paramétrica para la presencia de los HAPs la planta

Shapiro-Wilk Test de normalidad Datos: Longitud de raíz	
W	**p-valor**
0.89807	0.241

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es NORMAL (PARAMETRICA)

Tabla 40:
Prueba de homogeneidad de la presencia de los HAPs en la planta

Datos: HAPs			
Fuente de Variación	gl	F-Valor	Pr (>F)
Grupo	2	1.5553	0.2856

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es HOMOGENEA (PARAMETRICA)

Tabla 41:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en la presencia de HAPs de la planta

PRESENCIA DE HAPs DE LA ALFALFA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamientos	2	2322	1161	75.48	**5.59E-05**
Error	6	92.3	15,4		
Total	8	2414.3			

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces al menos uno de tratamientos no es diferente

Tabla 42:
Prueba de contraste de Tukey de la presencia de los HAPs en la planta

Prueba de contraste TUKEY de HAPs				
Tratamiento	**diff**	**lwr**	**upr**	**p adj**
BT-1-B-0 y BT-0	39.2337	29.40804	49.059368	0.0000444
BT-2-B-0 y BT-0	22.17507	12.3494	32.000733	0.0010951
BT-2-BT-1	-17.0586	-26.8843	-7.232969	0.0042919

Nota: Si el p-valor es <0.05, entonces estos datos de los tratamientos son diferentes

Tabla 43:
Prueba de agrupación de Tukey de la presencia de los HAPs en la planta

Agrupación Tukey de HAPs		
Tratamientos	**HAPs**	**Grupo**
BT-1	39.2337	a
BT-2	22.17507	b
B-0 y BT-0	0	**c**

Nota: El grupo b y c es diferente.

Tabla 44:
Prueba de agrupación de Duncan de la presencia de los HAPs en la planta

Agrupación Duncan de HAPs		
Tratamientos	**HAPs**	**Grupo**
BT-1	39.2337	a
BT-2	22.17507	b
B-0 y BT-0	0	**c**

Nota: El grupo b y c es diferente

F. Datos estadísticos de conductividad del suelo

Tabla 45:
Datos preliminares para calcular la estadística de conductividad en el suelo

Datos preliminares para calcular la estadística de la conductividad					
Tratamiento		**HAPs**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**CV (%)**
B-0:3	Min	3.26	3.433	0.09866	2.452
BT-0:3	1st Qu.	3.8	4.023	0.13796	3.061
BT-1 :3	Median	4.24	4.077	0.22679	6.606
BT-2 :3	Mean	4.272	4.272	0.28325	6.402
	3rd Qu	4.585	4.507	0.3453	8.47
	Max	6.02	5.32	0.60754	11.42
	NA's		10	10	10

Tabla 46:
Prueba de normalidad paramétrica para la conductividad en el suelo

Shapiro-Wilk Test de normalidad Datos: conductividad	
W	**p-valor**
0.94773	0.4894

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es NORMAL (PARAMETRICA)

Tabla 47:
Prueba de homogeneidad de la conductividad en el suelo

Datos: conductividad			
Fuente de Variación	gl	F-Valor	Pr (>F)
Grupo	4	0.4796	0.7505

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es HOMOGENEA (PARAMETRICA)

Tabla 48:
Estadística ANOVA unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina de conductividad en el suelo

CONDUCTIVIDAD DE LA ALFALFA					
Fuente de variación	**gl**	**Suma de cuadrados**	**Media cuadrática**	**F-Valor**	**P-valor**
Tratamientos	4	5.87	1.4675	12.91	**5.84E-04**
Error	10	1.137	0.1137		
Total	14	7.007			

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces al menos uno de tratamientos no es diferente

G. Datos estadísticos del pH del suelo

Tabla 49:
Datos preliminares para calcular la estadística de pH en el suelo

Datos preliminares para calcular la estadística de la conductividad					
Tratamiento		**HAPs**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**CV (%)**
B-0:3	Min	7.09	7.137	0.01	0.1393
BT-0:3	1st Qu.	7.175	7.18	0.02	0.2478
BT-1 :3	Median	8.07	8.07	0.03786	0.4421
BT-2 :3	Mean	7.921	7.921	0.03176	0.3965
	3rd Qu	8.585	8.563	0.04163	0.5698
	Max	8.69	8.657	0.04933	0.5834
	NA's		10	10	10

Tabla 50:
Prueba de normalidad paramétrica para el pH del suelo

Shapiro-Wilk Test de normalidad Datos: conductividad	
W	**p-valor**
0.79521	**0.003193**

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es NORMAL (PARAMETRICA)

Tabla 51:
Prueba de homogeneidad de pH del suelo

Datos: conductividad			
Fuente de Variación	gl	F-Valor	Pr (>F)
Grupo	4	0.3512	0.8374

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces es HOMOGENEA (PARAMETRICA)

Tabla 52:
Estadística KRUSKAL-WALLIS unifactorial para el efecto de biocarbón y tetraciclina en pH de la planta

KRUSKAL-WALLIS: CONDUCTIVIDAD DE LA ALFALFA			
Fuente de variación	**chi-squared**	**df**	**p-value**
Tratamientos	13.382	4	0.009552

Nota: Si el p-valor es > 0.05, entonces al menos uno de tratamientos no es diferente

Tabla 53:
Prueba de comparación por grupos del parámetro de pH

	Bonferroni			
Col Mean	**BT-1**	**BT-2**	**BT-4**	**B-0**
BT2	-0.822318			
	1			
BT4	-1.644636	0.822318		
	0.5002	1		
B-0	0.868002	1.690321	2.512639	
	1	0.4548	**0.0599**	
BT-0	1.598952	2.42127	3.243589	0.730949
	0.5492	0.0773	**0.0059**	1

Nota: Si el p-valor es <0.05, entonces estos datos de los tratamientos son diferentes

Tabla 54:
Tabla de resultados de análisis de suelo de los tratamientos en laboratorio

Tratamientos	**pH**	**Conductividad (mS/cm)**	**Resistencia (Ω)**	**TDS (mg/L)**
B-0 R1	7.19	4.24	0.236	2.12
B-0 R2	7.18	4.31	0.232	2.16
B-0 R3	7.17	3.68	0.272	1.84
BT-0 R1	7.17	3.35	0.299	1.68
BT-0 R2	7.15	3.26	0.306	1.63
BT-0 R3	7.09	3.69	0.271	1.84
BT-1 R1	8.07	4.61	0.23	2.3
BT-1 R2	8.09	4.56	0.217	2.28
BT-1 R3	8.05	4.35	0.219	2.18
BT-2 R1	8.59	4.09	0.245	2.04
BT-2 R2	8.58	4.07	0.246	2.04
BT-2 R3	8.52	3.91	0.256	1.95
BT-4 R1	8.6	6.02	0.166	3.01
BT-4 R2	8.68	4.93	0.203	2.46
BT-4 R3	8.69	5.01	0.199	2.51

Nota: B-0: blanco sin TC, BT-0: blanco con TC, BT-1: tratamiento con biocarbón al 1%, BT-2: tratamiento con biocarbón al 2% y BT: con biocarbón al 4%.

Tabla 55:
Condiciones del método para HAPs

Condición UHPLC - FLD			
Columna	Agilent ZORBAX Eclipse PAH 4.6 i.d. x 100 mm, 1.8 µm		
Temperatura de columna	25°C		
Volumen de inyección	10 µL		
Tempo de corrida	10 min + 1 min post time		
Flujo	1,8 mL/min		
Fase móvil	Tiempo (min)	Agua (%)	Acetonitrilo (%)
	0	55	45
	6	0	100
	9.5	0	100
	10	55	45
Condiciones FLD	Tiempo (min)	Emisión (nm)	Excitación (nm)
	2.97	314	210
	3.4	314	210
	3.8	368	250
	4.4	402	252
	4.57	402	252
	4.79	440	237
	5.2	420	255
	5.6	420	255
	6.9	453	234
	8	453	234
	8.9	453	234

Nota: FLD: detector de fluorescencia

Tabla 56:
Validación cromatográfica del método de HAPs

Compuesto	Tiempo de retención	Ecuación de la Recta	Coeficiente determinación (R^2)	% de la recuperación	D.S	CV %	LD	LQ
Naftaleno	2.623	y = 112.647392x - 0.0845366	R^2 = 0.99995	105.55	0.96	0.91	0.54	1.77
Acenafteno	3.448	y = 112.647392x - 0.0845367	R^2 = 0.99978	114.23	2.34	2.05	2.54	8.39
Fluoreno	3.557	y = 112.647392x - 0.0845368	R^2 = 0.99993	106.50	1.21	1.14	0.20	0.65
Fenantreno	3.883	y = 112.647392x - 0.0845369	R^2 = 0.99999	106.40	1.84	1.73	0.03	0.11
Antraceno	4.274	y = 112.647392x - 0.0845370	R^2 = 0.99991	105.03	0.97	0.93	0.03	0.09
Fluoranteno	4.603	y = 112.647392x - 0.0845371	R^2 = 0.99986	110.24	1.66	1.50	1.55	5.10
Pireno	4.876	y = 112.647392x - 0.0845372	R^2 = 0.99997	104.43	2.26	2.16	0.13	0.42
Benzo(a)anthracene	5.757	y = 112.647392x - 0.0845373	R^2 = 0.99972	104.78	1.62	1.55	0.05	0.17
Chrysene	6.031	y = 112.647392x - 0.0845374	R^2 = 0.99995	99.95	1.59	1.59	0.15	0.49
Benzo(b)fluoranthene	6.651	y = 112.647392x - 0.0845375	R^2 = 0.99964	101.73	1.81	1.77	0.07	0.22
Benzo(k)fluoranthene	7.053	y = 112.647392x - 0.0845376	R^2 = 0.99972	103.46	1.69	1.63	0.38	1.26
Benzo(a)pyrene	7.377	y = 112.647392x - 0.0845377	R^2 = 0.99978	82.21	0.59	0.72	3.66	12.07
Dibenzo(a,h)anthracene	8.096	y = 112.647392x - 0.0845378	R^2 = 0.99984	95.38	1.41	1.48	0.88	2.91
Benzo(g,h,i)perylene	8.389	y = 112.647392x - 0.0845379	R^2 = 0.99976	91.79	1.30	1.41	0.47	1.56
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	8.965	y = 112.647392x - 0.0845380	R^2 = 0.99963	103.72	1.71	1.65	5.36	17.68

Nota: D.S: desviación estándar promedio, CV: coeficiente de variabilidad promedio, LD: límite de detección, LQ: límite de cuantificación

Tabla 57:
Tabla de resultados de presencia de HAPs en biomasa de alfalfa

Puntos	Na	Fluo	Phe	Ant	Fla	Pyr	B(b)fla	B(k)fla	B(a)pyr	Db(ah)ant	B(ghi)per	I(1,2,3,c,d)p	∑12 PAHs	Promedio
B-0 R1	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	0	
B-0 R2	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	0	0.00
B-0 R3	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	0	
BT-0 R1	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	0	
BT-0 R2	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	0	0.00
BT-0 R3	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	0	
BT-1 R1	3.52	0.86	1.24	0.17	24.87	0.51	0.37	0.10	0.34	3.48	0.30	1.98	37.74	
BT-1 R2	3.97	0.86	1.96	0.22	19.49	0.64	0.21	0.12	0.48	3.62	0.62	1.93	34.12	39.23
BT-1 R3	3.64	0.92	1.28	0.15	30.25	0.40	0.37	0.09	0.81	5.84	0.40	1.68	45.84	
BT-2 R1	3.66	0.94	1.65	0.18	8.15	0.58	0.40	0.10	0.78	6.23	0.32	0.25	23.24	
BT-2 R2	3.30	0.83	0.90	0.12	5.19	0.30	0.38	0.11	0.36	6.46	0.23	0.42	18.59	22.18
BT-2 R3	3.25	0.81	1.12	0.15	11.10	0.37	0.39	0.09	0.50	6.42	0.21	0.29	24.70	

Nota: Na: naftaleno, Fluo:Fluoreno, Phe: fenantreno, Ant: antraceno, Fla: Fluoranteno, Pyr: pireno, B(b)fla: Benzo.b.fluoranthene, B(k)fla: Benzo(k)fluoranthene, B(a)pyr: Benzo(a)pyrene, Db(ah)ant: Dibenzo(a,h)anthracene, B(ghi)per: Benzo(g,h,i)perylene, I(1,2,3,c,d)p: Indeno(1,2,3-c,d)pyrene

Tabla 58:
Tabla de resultados de promedio de diferentes tratamientos

Tratamiento	Altura de planta		Longitud de raíz		Peso de biomasa aérea		Peso de biomasa radicular	
	$\bar{x}$	DST	$\bar{x}$	DST	$\bar{x}$	DST	$\bar{x}$	DST
B-0	18.3	± 0.6	21.3	± 2.5	1167.6	± 264.3	1151.6	± 245.8
BT-0	19.1	± 2.6	22.4	± 4.4	1964.2	± 216.6	51.7	± 3
BT-1	16.0	± 2.5	20.8	± 0.8	672.4	± 149.1	115.5	± 13.5
BT-2	11.0	± 2	18.6	± 0.5	218.9	± 61.4	10.3	± 14.5

Nota: $\bar{x}$: promedio, DST: desviación estándar

ANEXO 3: Resultados de análisis de suelo en laboratorio

Figura 20:
Análisis fisicoquímico de suelo de Moquegua

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y AGUAS
UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA-AMAZONAS

INFORME DE ENSAYO N°	:	LAB24-AS-1515
DATOS GENERALES		
SOLICITANTE	:	KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE
TELÉFONO	:	944515017
E-MAIL	:	katerineeq23@gmail.com
DOMICILIO LEGAL	:	Luis E. Valcárcel Mz. 48 Lt 01
RUC / DNI	:	70880605
DEPARTAMENTO	:	MOQUEGUA
PROVINCIA	:	ILO
DISTRITO	:	ILO
CASERÍO O ANEXO	:	NO ESPECIFICA
CODIGO DE MUESTRA / PARCELA	:	*T1-BLANCO*
MUESTREADO POR	:	*NO ESPECIFICA*
MATRIZ	:	SUELO MEZCLADO CON COMPOST
PRESENTACIÓN	:	BOLSA PLÁSTICA
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS	:	jueves, 20 de Junio de 2024
FECHA DE ANÁLISIS	:	miércoles, 26 de Junio de 2024
ÁREA DE DESARROLLO DE LOS ANÁLISIS	:	AF, AQ , AFQ y EEA

RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.
CARACTERIZACIÓN

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	CATEGORÍAS	RESULTADOS	RANGOS
pH	EPA Method 9045 D Rev.4	pH	-	6.91	LIGERAMENTE ÁCIDO
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	Método ISO 11265: 1994 (E) / Cor 1:1996	dS/m	-	3.52	MEDIO
NITROGENO	Cálculo	%	-	0.55	MUY ALTO
FÓSFORO	Método: Olsen Modificado	ppm	-	323.74	ALTO
POTASIO	Método: Extracción con Acetato de Amonio	ppm	-	5413.29	ALTO
CARBONO	Cálculo	%	-	7.15	MUY BUENO
MATERIA ORGÁNICA	Método: Calcinación	%	-	12.32	ALTO
CLASE TEXTURAL	Método: Boyoucos	%	Arena	50.65	Franco arcillo arenoso
		%	Limo	27.78	
		%	Arcilla	21.57	
CIC	Método: Saturación con Acetato de Amonio	meq/100g	-	24.80	MEDIO
CATIONES CAMBIABLES	Cálculo	meq/100g	Ca+2	8.19	ALTO
	Cálculo	meq/100g	Mg+2	5.10	ALTO
	Cálculo	meq/100g	K+	10.89	ALTO
	Cálculo	meq/100g	Na+	0.17	BAJO
	Cálculo	meq/100g	Al+3+H+	0.00	BAJO
Suma de cationes	Cálculo	meq/100g	-	24.35	-
Suma de bases	Cálculo	meq/100g	-	24.35	-
% Sat. de bases	Cálculo	%	-	98	ALTO

U.D. = Unidad de Medida. AF= Área de Física. AQ= Área química. AFQ= Área de Análisis Fisicoquímico. EEA= Área de Espectrofotometría de Emisión Atómica

OBSERVACIONES	LA MUESTRA FUE ANALIZADA DE ACUERDO A LO ESPECIFICADO POR EL CLIENTE/ MATRIZ SUELO MEZCLADO CON COMPOST

Este laboratorio está acreditado de acuerdo a la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

"La información resaltada en negrita y cursiva, es información proporcionada por el cliente, lo cual desliga al laboratorio de toda responsabilidad del muestreo realizado por el cliente".
Los resultados presentados son validos únicamente para las muestras ensayadas.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del 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
Mg. LILY DEL PILAR JUAREZ CONTRERAS
RESPONSABLE

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

Chachapoyas, 10 de Julio de 2024

"FIN DEL DOCUMENTO"

ANEXO 4: Registro de datos de la planta.

Figura 21:
Registro de datos en la cosecha

UNAM	PROYECTO DE TESIS: Evaluación de la aplicación de biocarbón de penca de tuna en el suelo, para reducir efectos negativos de la Tetraciclina en la alfalfa e incremento de la biodisponibilidad de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Ilo, 2023-2024					
COSECHADO POR: Katerin Eliana Ccalla Quispe					FECHA:	3 Jun 2024
N°	CODIGO DE TRATAMIENTO	LONGITUD DE RAIZ	ALTURA DE LA ALFALFA	N° DE NODULOS	PESO SECO DE LA BIOMASA	
		Cm	Cm	Inactivos	Radicular (gr)	Aérea (gr)
1	B-0 (T1-R1)	24	18	0	1,397	1,463
2	B-0 (T1-R2)	19	18	0	1,152	1,088
3	B-0 (T1-R3)	21	19	0	0,906	0,952
4	BT-0 (T2-R1)	22.3	22	8	1,741	1,964
5	BT-0 (T2-R2)	18	18	6	1,690	1,747
6	BT-0 (T2-R3)	26.8	17	8	1,793	2,180
7	BT-1 (T3-R1)	20.8	16	2	0,856	0,672
8	BT-1 (T3-R2)	21.5	19	2	0,971	0,822
9	BT-1 (T3-R3)	20	14	3	0,740	0,523
10	BT-2 (T4-R1)	18.1	13	0	0,061	0,158
11	BT-2 (T4-R2)	19	9	0	0,081	0,280
12	BT-2 (T4-R3)	18.6	11	0	0,071	0,219
13	BT-4 (T5-R1)	0	0	0	0	0
14	BT-4 (T5-R2)	0	0	0	0	0
15	BT-4 (T5-R3)	0	0	0	0	0

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

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 : KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 70880605
Correo electrónico : katerinccq2023@gmail.com
Teléfono/Celular : 944515017

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

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

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

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

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

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN DE PENCA DE TUNA EN EL SUELO, PARA REDUCIR EFECTOS NEGATIVOS DE LA TETRACICLINA EN LA ALFALFA E INCREMENTO DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS, ILO, 2023-2024
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.01
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 : 70880605
NOMBRES Y APELLIDOS : KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE

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 : 70880605

NOMBRES Y APELLIDOS : KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE

FECHA : 11/03/2025



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

Yo, KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE,
bachiller de la Escuela Profesional de: INGENIERÍA AMBIENTAL
,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 70880605, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado: EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN DE PENCA DE TUNA EN EL SUELO, PARA REDUCIR EFECTOS NEGATIVOS DE LA TETRACICLINA EN LA ALFALFA E INCREMENTO DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS, ILO, 2023-2024

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, 11 DE MARZO DEL 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE
DNI: 70880605

NOMBRE DEL TRABAJO

18-10-2024V4 TESIS DE PREGRADO KATERIN OCTUBRE.docx

AUTOR

katerin ccalla

RECUENTO DE PALABRAS

25865 Words

RECUENTO DE CARACTERES

138182 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

106 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

14.8 MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 18, 2024 1:59 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 18, 2024 2:01 PM GMT-5

18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 17% Base de datos de Internet
- 8% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados

Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

UNAM

Firmado digitalmente por RAMOS TEJEDA Jose Luis FAU 20449347448 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.03.2025 12:14:10 -05:00

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO N° 144-2025-CU-UNAM

Moquegua, 21 de marzo de 2025

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 19 de marzo de 2025; Proveído N° 1000-2025 de fecha 19 de marzo de 2025 emitido por el Rectorado; Informe N° 134-2025-UNAM-R/SG de fecha 19 de marzo de 2025 emitido por la Secretaría General; Carta N° 60-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR de fecha 18 de marzo de 2025 emitido por el Área de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé 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 las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad;**

Que, el artículo 44° de la Ley Nº 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 (...);

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

Que, con 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 y N° 081, 484-2024-UNAM/CO, 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, mediante Carta N°060-2025-UNAM/SEGE/GYT/SVR, de fecha 18 de marzo de 2025, el Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, el expediente de una (1) bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial por la modalidad de sustentación de Tesis, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de

[1] Artículo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Título Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:
a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.
La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:
a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional

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

Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, razón por la cual la Secretaría General incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Consejo Universitario de fecha 19 de marzo de 2025;

Que, se ha establecido como atribución del Consejo Universitario de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Ordinaria de fecha 19 de marzo de 2025, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial a una (1) bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;**

De conformidad con el artículo 59° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, concordado con el artículo 16° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y estando a lo acordado en la Sesión Ordinaria de fecha 19 de marzo de 2025 de Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL** por la modalidad de Sustentación de Tesis, a la Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1. **KATERIN ELIANA CCALLA QUISPE**

   TESIS : "EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN DE PENCA DE TUNA EN EL SUELO, PARA REDUCIR EFECTOS NEGATIVOS DE LA TETRACICLINA EN LA ALFALFA E INCREMENTO DE LA BIODISPONIBILIDAD DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS, ILO, 2023-2024", cuyo Asesor fue el M.Sc. José Luis Ramos Tejeda.

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar el Diploma correspondiente para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – UNAM – RECTORADO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
Rector
Universidad Nacional de Moquegua

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA – UNAM – SECRETARÍA GENERAL

ABG. GUILLERMO S. KUONG CORNEJO
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.