



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de Integración
Curricular previa la obtención
del Grado Académico de
Ingeniera Ambiental.

Proyecto de Investigación:

**“POTENCIAL DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES EN LA
FITOEXTRACCIÓN DE ZINC DE SUELOS CONTAMINADOS, CANTÓN
MOCACHE, ECUADOR”**

Autora:

LICETH FERNANDA CALVERA JIMÉNEZ

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. OSCAR OSWALDO PRIETO BENAVIDES PhD.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **LICETH FERNANDA CALVERA JIMÉNEZ**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

LICETH FERNANDA CALVERA JIMÉNEZ

C.I. AW208854



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Oscar Prieto Benavides PhD**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Liceth Fernanda Calvera Jiménez**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“Potencial de las micorrizas arbusculares en la fitoextracción de Zinc de suelos contaminados, cantón Mocache, Ecuador”** previo a la obtención del título de **Ingeniera ambiental**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Oscar Oswaldo Prieto Benavides PhD

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

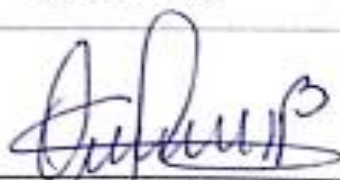


CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, **Ing. Oscar Oswaldo Prieto Benavides PhD**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación titulado “Potencial de las Micorrizas Arbusculares en la fitoextracción de Zinc de Suelos contaminados, Cantón Mocache, Ecuador” Presentado por la estudiante **Liceth Fernanda Calvera Jiménez**, egresado de la Carrera de Ingeniería Ambiental que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de sistema COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 92% y similitud 8%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.

Se adjunta imagen del sistema COMPILATIO.

	
tesis_calvera_liceth	
Resumen del Documento: tesis_calvera_liceth	Similitud: 8%
Elaborado por: Oscar Oswaldo Prieto Benavides	Revisado por: Liceth Fernanda Calvera Jiménez
Fecha de elaboración: 14/05/2024	Fecha de revisión: 14/05/2024
Observaciones de los participantes en el documento:	



Ing. Oscar Prieto Benavides PhD
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

"Potencial de las micorrizas arbusculares en la fitoextracción de Zinc de suelos contaminados, cantón Mocache, Ecuador"

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Cecilia Carolina Tay Hing Cajas MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Roberto Johan Barragán Monterroy MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque en el transcurso de este proceso de educación superior me ha permitido conocer a muchas personas que de una u otra manera me han ayudado a seguir adelante y alcanzar este logro, en mis dificultades siempre ha sido mi fortaleza.

A mi madre que siempre ha estado pendiente de cada paso que doy, ella es la que me motiva a seguir luchando para alcanzar mis objetivos. A mi hermana que ha estado desde la distancia brindándome su apoyo y aliento en momentos de dificultades.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por la formación profesional durante estos cinco años. Al director del proyecto de titulación Ing. Oscar Prieto Benavides PhD, por aportar con sus conocimientos, por la paciencia y por el apoyo para alcanzar este anhelo.

Con esta tesis, marco el final de un capítulo y el comienzo de otro. A mis compañeros por ser parte de este viaje académico. Para muchos de nosotros, este viaje implicó dejar nuestro lugar de origen, alejarnos de nuestras familias y sumergirnos en lo desconocido. Pero cada sacrificio, cada obstáculo, valió la pena.

Hoy, al mirar al futuro, nos enfrentamos a nuevas oportunidades y desafíos. Algunos de nosotros continuaremos nuestros estudios, otros comenzarán carreras profesionales, y algunos emprenderán nuevos caminos aún por descubrir. Pero sea cual sea el próximo paso, llevaremos con nosotros las lecciones aprendidas, la perseverancia demostrada y la determinación que nos llevó hasta aquí.

Recordemos que el éxito no se mide solo por los títulos obtenidos, sino por el impacto que tenemos en el mundo que nos rodea. No basta con adquirir conocimientos; es nuestro deber compartirlo y utilizarlo para el bien común. Porque de nada sirve acumular sabiduría si no la ponemos en práctica para mejorar nuestro entorno. *El conocimiento en sí mismo es una herramienta poderosa, pero su verdadero valor radica en cómo lo compartimos y lo aplicamos para hacer una diferencia en el mundo que nos rodea.* Sigamos adelante con valentía, con pasión y con la firme creencia de que podemos hacer una diferencia.

DEDICATORIA

A Dios, mi padre, mi guía constante, mi fortaleza y mi luz en medio del caos de pensar demasiado. A mi madre Reina Jiménez Osorio y hermana Stefanny Serna Jiménez por sus oraciones, apoyo, esfuerzos y palabras de aliento. A mi Director de tesis Ing. Oscar Oswaldo Prieto Benavides PhD por el apoyo profesional. Y a todas aquellas personas que durante estos cinco años me brindaron palabras de luz para no rendirme en el camino, teniendo en cuenta que la disciplina, dedicación, responsabilidad, determinación y resiliencia son los cimientos para alcanzar el éxito. Su contribución y aliento han sido fundamentales en este viaje académico. Gracias.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

La contaminación de los suelos a causa del metal pesado Zinc, está relacionada con las malas prácticas en la agricultura que afectan directamente el crecimiento de las plantas. La utilización de alternativas como la fitoextracción por sus ventajas competitivas en cuanto a costos para controlar la erosión y las micorrizas arbusculares debido a su gran importancia en la zona de las raíces donde el hongo desarrolla una red que puede explorar el suelo, capturar nutrientes y agua para la planta son estrategias para remediar el suelo. En este proyecto se buscó optimizar la fitoextracción de Zinc en suelos contaminados utilizando la inoculación de micorrizas arbusculares donde se evaluó la eficacia de diferentes cepas y se determinó su capacidad para aumentar la acumulación de zinc en las plantas y reducir su concentración en el suelo mediante el método de tamizado y decantación en húmedo, posteriormente se determinó la cuantificación de zinc de las muestras de suelo de los tratamientos en el laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas del INIAP. En las cinco muestras de suelo seleccionadas del cultivo de cacao se identificaron 16 especies con densidad baja entre las que se destacan *Acaulosporaceae bireticulata* y *Rhizófago intraradices*. En cuanto a las variables agronómicas del arroz (*O.sativa*) las semillas germinadas y diámetro de tallo no presentaron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, la altura de la planta, el número de hojas revelaron diferencia estadística. En cuanto al efecto de zinc en las muestras de suelo mediante un análisis de varianza no muestra significancia estadística. En conclusión, dado que los tratamientos sólidos e inoculados con esporas mostraron resultados superiores es necesario considerar la inoculación sistemática para mejorar las respuestas agronómicas.

Palabras claves: inoculación, cultivo, micorrizas arbusculares, variables agronómicas

ABSTRACT AND KEYWORDS

Soil contamination due to the heavy metal Zinc is related to poor agricultural practices that directly affect plant growth. The use of alternatives such as phytoextraction due to its competitive advantages in terms of costs to control erosion and arbuscular mycorrhizae due to its great importance in the root zone where the fungus develops a network that can explore the soil, capture nutrients and water. for the plant they are strategies to remediate the soil. In this project, we sought to optimize the phytoextraction of Zinc in contaminated soils using the inoculation of arbuscular mycorrhizae where the effectiveness of different strains was evaluated and their capacity to increase the accumulation of zinc in plants and reduce its concentration in the soil by means of the sieving and wet decanting method, subsequently the quantification of zinc in the soil samples from the treatments was determined in the INIAP soil, plant tissue and water laboratory.

In the five soil samples selected from the cocoa crop, 16 species with low density were identified, among which Acaulosporaceae bireticulata and Rhizophage intraradices stand out. Regarding the agronomic variables of rice (*O. sativa*), germinated seeds and stem diameter did not present significant statistical differences. However, the height of the plant, the number of leaves revealed a statistical difference. Regarding the effect of zinc in the soil samples, an analysis of variance does not show statistical significance. In conclusion, given that solid and spore-inoculated treatments showed superior results, it is necessary to consider systematic inoculation to improve agronomic responses.

Keywords: inoculation, cultivation, arbuscular mycorrhizae, agronomic variables

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.....	viii
ABSTRACT AND KEYWORDS.....	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
CÓDIGO DUBLIN	xvii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	4
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1. Problema de investigación.....	5
1.1.1. Planteamiento del problema	5
1.1.2. Formulación del problema	8
1.1.3. Sistematización del problema	8
1.2. Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos	9
1.3. Justificación.....	10
CAPITULO II	11
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2. Marco conceptual.....	12
2.1. Características generales del Zinc	12
2.1.1. Importancia del Zn en las plantas	12

2.1.2. Deficiencia del Zinc en las plantas.....	12
2.1.3. Homeostasis celular del zinc en el micelio.....	12
2.1.4. Asignación de zinc en raíces micorrízicas.....	13
2.1.5. Toxicidad del zinc en las plantas.....	13
2.2. Fitoextracción del Zinc.....	13
2.3. Micorrizas Arbusculares.....	14
2.3.1. Caracterización de esporas	14
2.3.2. Colonización de hongos micorrízicos.....	14
2.3.3. Tipos de micorrizas.....	14
2.3.4. Características generales de las micorrizas arbusculares.....	16
2.3.5. Funciones de las micorrizas arbusculares en el ecosistema.....	17
2.3.6. Factores que afectan el desarrollo, actividad y supervivencia de las micorrizas arbusculares	19
2.2. Marco referencial.....	20
2.2.1. Hongos micorrízicos arbusculares en ecosistemas neotropicales	20
2.2.2. Micorrizas arbusculares en el mundo.....	21
2.2.3. Micorrizas arbusculares y su efecto sobre el desarrollo vegetativo en <i>Citrus limon</i> L. en el área de estudio de Nicaragua	21
2.2.4. Multiplicación masiva de hongos micorrízicos arbusculares, en región de San Martín Perú.....	21
2.2.5. Hongos micorrízicos arbusculares nativos, biotecnología en Uyacali, Perú.....	21
2.2.6. Capacidad micotrófica con hongos micorrízicos nativos de suelos de la provincia de Buenos Aires	22
2.2.7. Hongos Micorrízicos Arbusculares de zonas del trópico húmedo del Ecuador	22
2.2.8. Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares en Santo Domingo de los Tsáchilas	22
CAPITULO III.....	23
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.1. Localización	24
3.1.1. Localización del experimento	25

3.1.2. Datos meteorológicos.....	25
3.2. Tipo de la investigación	25
3.2.1. Diagnóstica	25
3.2.2. Exploratoria.....	25
3.2.3. De campo	26
3.3. Métodos de la investigación	26
3.3.1. Método de observación	26
3.3.2. Método Analítico	26
3.3.3. Método Comparativo.....	26
3.4. Fuentes de recopilación de la información	26
3.4.1. Fuentes primarias	27
3.4.2. Fuentes secundarias	27
3.5. Diseño de la investigación.....	27
3.5.1. OE1. Identificar las esporas de hongos micorrizicos arbusculares en cultivo de cacao <i>Theobroma cacao L</i> por medio de una evaluación morfológica.	27
3.5.2. OE2. Evaluar el efecto del Zinc en las variables agronómicas de la planta de arroz (<i>Oryza sativa</i>).....	31
3.5.3. OE3 Cuantificar el porcentaje de extracción de Zinc que las plantas de arroz (<i>Oryza sativa</i>) lograron extraer del suelo contaminado.	36
3.6. Instrumentos de investigación	37
3.7. Tratamiento de los datos.....	37
3.7.1. Diseño completamente al Azar.....	37
3.7.2. Análisis estadístico.....	40
3.8. Recursos humanos y materiales	40
CAPITULO IV.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. OE1 Identificar las esporas de hongos micorrizicos arbusculares en cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao L</i>) por medio de una evaluación morfológica.....	43
4.2 Evaluar el efecto del Zinc (Zn) en las variables agronómicas de la planta de arroz (<i>Oryza sativa</i>).....	45

4.2.1. Variables iniciales.....	47
4.2.2. Variables después de los 32 días del experimento.....	50
4.3 OE3. Cuantificar la cantidad de extracción de Zinc que los hongos micorrícicos arbusculares lograron extraer del suelo contaminado.....	55
4.3.1. Regresión de variables vegetales y Zinc.....	56
4.4 Discusión.....	58
CAPITULO V.....	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5.1 Conclusiones.....	63
5.2 Recomendaciones.....	64
CAPITULO VI.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	65
CAPITULO VII.....	75
ANEXOS.....	75

TABLAS

Tabla 1. Coordenadas muestras de suelo.....	28
Tabla 2. Criterio densidad de esporas.....	29
Tabla 3. Análisis morfológico.....	31
Tabla 4. Productos de inoculación.....	32
Tabla 5. Concentración de Zinc.....	33
Tabla 6. Variables número de semillas, diámetro de tallo, número de hojas y altura.....	34
Tabla 7. Variables peso seco y húmedo en raíces y hojas.....	34
Tabla 8. Tratamientos.....	37
Tabla 9. Unidad 1.....	38
Tabla 10. Unidad 2.....	39
Tabla 11. Diversidad de micorrizas.....	43
Tabla 12. Densidad de las esporas en las muestras de suelo.....	45
Tabla 13. Variabilidad en la concentración de Zinc (ANOVA pruebas de efectos inter-sujetos)...	56
Tabla 14. Resultados de las variables vegetales y Zinc.....	57

FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la investigación	24
Figura 2. Muestras de suelo	28
Figura 3. Diversidad de especies	44
Figura 4. Caja de bigotes semillas germinadas	46
Figura 5. Caja de bigotes diámetro de tallo	47
Figura 6. Caja de bigotes número de hojas.....	49
Figura 7. Caja de bigotes altura de la planta.....	50
Figura 8. Caja de bigotes longitud de raíces.....	51
Figura 9. Caja de bigotes peso húmedo de las raíces	52
Figura 10. Caja de bigotes Peso húmedo de las hojas	53
Figura 11. Caja de bigotes peso seco de las raíces.....	54
Figura 12. Caja de bigotes peso seco de las hojas.....	55

ANEXOS

Anexo 1. Cronograma del proyecto.....	76
Anexo 2. Recolección de muestras de suelo para el objetivo 1	77
Anexo 3. sacarosa, tamizado, decantación, centrifugación, observación e inoculación de micorrizas para el desarrollo del objetivo 1.....	78
Anexo 4. Medición del pH.....	79
Anexo 5. Desinfección de semillas de arroz (Oryza Sativa) para la siembra.....	79
Anexo 6. Esterilización del sustrato y riego con agua destilada durante los 32 días del experimento	80
Anexo 7. Preparación del líquido comercial para la inoculación.	81
Anexo 8. Inoculación con micorrizas el 9 de noviembre del 2023	81
Anexo 9. Preparación de las concentraciones 200ppm, 150ppm y 100 ppm para la contaminación con el Zinc	82
Anexo 10. Contaminación de las plantas trampa de arroz (Oryza Sativa) con Zinc el 15 de noviembre del 2023.	83
Anexo 11. Mediciones realizadas semanalmente durante los días 9,16,23 y 30 de noviembre y el 7,18 diciembre del 2023 de las plantas trampa O. Sativa.....	84

Anexo 12. Evidencia de las unidades 1 y 2 con las diferentes repeticiones que fueron analizadas durante 32 días	85
Anexo 13. Toma de datos de las mediciones registradas en campo durante los 32 días del experimento	85
Anexo 14. Unidad 1 con las repeticiones R1,R2,R3 y R4 del experimento.....	86
Anexo 15. Unidad 2 con las repeticiones R1, R2,R3 y R4 del experimento.....	86
Anexo 16. Plantas de arroz analizadas durante los 32 días.....	87
Anexo 17. Desmontaje del experimento a los 32 días de realizar la contaminación con Zinc, el 18 de diciembre del 2023	88
Anexo 18. Desmontaje del experimento el 18 de diciembre del 2023	89
Anexo 19. Muestras colocadas en la estufa el 21 de diciembre a las 8:00 am durante 24horas para medir el peso seco de las hojas, raíces y suelo.	90
Anexo 20. Muestras sacadas de la estufa el 22 de diciembre del 2023 para medir el peso seco del suelo, raíz y hojas.....	91
Anexo 21. 48 Muestras seleccionadas del objetivo 3 para enviar a análisis de suelo el 23 de enero del 2024.....	92
Anexo 22. Resultados del objetivo 3 análisis de suelo del zinc laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas INIAP.....	93
Anexo 23. Resultado e interpretación de análisis de zinc semitotal en suelo	94
Anexo 24. Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas antes de contaminar semana 1 (16 de noviembre del 2023).....	95
Anexo 25. Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas antes de contaminar semana 1(16 de noviembre del 2023)	97
Anexo 26. Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas a los 8 días después de contaminar semana 2 (23 de noviembre del 2023)	99
Anexo 27. Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 8 días después de contaminar semana 2 (23 de noviembre del 2023)	101
Anexo 28. Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas a los 15 días después de contaminar semana 3 (30 de noviembre del 2023).	102
Anexo 29. Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 15 días después de contaminar semana 3 (30 de noviembre del 2023).	104
Anexo 30. Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas a los 22 días después de contaminar semana 4 (7 de diciembre del 2023)	106

Anexo 31. Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 22 días después de contaminar semana 4 (7 de diciembre del 2023)	107
Anexo 32. Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas a los 32 días después de contaminar semana 5 (18 de diciembre del 2023)	109
Anexo 33. Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 32 días después de contaminar semana 5 (18 de diciembre del 2023)	111
Anexo 34. variables agronómicas Unidad 1 a los 32 días de la contaminación.	112
Anexo 35. variables agronómicas Unidad 2 a los 32 días de la contaminación.	114
Anexo 36. ANOVA y prueba tukey realizadas a los tratamientos de las variables agronómicas.....	116
Anexo 37. ANOVA y prueba tukey altura de la planta.....	116
Anexo 38. ANOVA y Tukey altura de la planta.....	118
Anexo 39. Media y desviación estándar de las variables agronómicas	119

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Potencial de las Micorrizas Arbusculares en la fitoextracción de Zinc en Suelos contaminados, Cantón Mocache, Los Ríos, Ecuador”
Autor:	<u>Calvera Jiménez Liceth Fernanda</u>
Palabras clave:	inoculación, cultivo, micorrizas arbusculares, variables agronómicas
Fecha de publicación:	Mayo, 2024
Editorial:	Quevedo – UTEQ “La María”, 2024
Resumen: Abstract:	La contaminación de los suelos a causa del metal pesado Zinc, está relacionada con las malas prácticas en la agricultura que afectan directamente el crecimiento de las plantas. La utilización de alternativas como la fitoextracción por sus ventajas competitivas y las micorrizas arbusculares son alternativas. En este proyecto se buscó optimizar la fitoextracción de Zinc en suelos contaminados utilizando la inoculación de micorrizas arbusculares donde se evaluó la eficacia de diferentes cepas, posteriormente se determinó la cuantificación de zinc en el laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas del INIAP. En las cinco muestras de suelo seleccionadas del cultivo de cacao se identificaron 16 especies con densidad baja entre las que se destacan <i>Acaulosporaceae bireticulata</i> y <i>Rhizófago intraradices</i>. En cuanto a las variables agronómicas la altura de la planta, el número de hojas revelaron diferencia estadística. En conclusión, dado que los tratamientos sólidos e inoculados con esporas mostraron resultados superiores es necesario considerar la inoculación sistemática para mejorar las respuestas agronómicas. Abstract.- Soil contamination due to the heavy metal Zinc is related to poor agricultural practices that directly affect plant growth. The use of alternatives such as phytoextraction due to its competitive advantages in terms of costs to control erosion and arbuscular mycorrhizae due to its great importance in the root zone where the fungus develops a network that can explore the soil. In this project, we sought to optimize the phytoextraction of Zinc in contaminated soils using the inoculation of arbuscular mycorrhizae where the effectiveness of different strains was evaluated, subsequently the quantification of zinc was determined in the soil, plant tissues and water laboratory of the INIAP. In the five soil samples selected from the cocoa crop, 16 species with low density were identified, among which <i>Acaulosporaceae bireticulata</i>. In conclusion, given that solid and spore-inoculated treatments showed superior results, it is necessary to consider systematic inoculation to improve agronomic responses.
Descripción:	137 hojas: dimensiones, 29 x 21cm + CD-ROM 6162
URI:	

1. INTRODUCCIÓN

El Zinc es un metal pesado esencial para el cuerpo humano cuya cantidad en el individuo adulto oscila entre 1 y 2,5 g. Se considera que la ingesta recomendada se encuentra entre 8 mg/día para las mujeres y 11 mg/día para los hombres, pero cuando se ingiere en cantidades superiores a estas puede ser perjudicial para la salud humana (Rubio *et al.*, 2007).

De acuerdo a la tabla 1 del libro VI Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua de la ley de gestión ambiental TULSMA (2017) se plantea el límite máximo permisible de Zinc para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requiere un tratamiento convencional de 5,0 mg/l y cuando supera esta cantidad es considerado como contaminante (Ministerio del Ambiente, 2015). En el anexo 2 de la Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados en la tabla 2 criterios calidad del suelo se establece para el Zinc 60mg/kg unidades de concentración en peso seco (TULSMA, 2017).

En las plantas el zinc es captado por las raíces como ión bivalente que puede ser fácilmente absorbido por la epidermis foliar y ramas, donde está implicado en la síntesis del triptófano, precursor clave de las auxinas que estimula las diversas actividades enzimáticas en los vegetales, el metabolismo del nitrógeno y la pigmentación del ácido ascórbico (Mamani Sánchez, 2011). Se encuentra bajo formas químicas solubles en el agua, con posiciones no cambiables, precipitado, en organismos y restos orgánicos (Vilcapoma, 2019). Incluyendo el crecimiento de estas, donde su cantidad para desarrollarse oscila entre 15 y 20 miligramos por kilogramo de tejido seco que en el proceso de la fotosíntesis se lleva a cabo el metabolismo de los carbohidratos en las plantas, debido a que este elemento estabiliza o activa las proteínas involucradas en dichos procesos (Amezcu y Lara, 2017).

La contaminación de los suelos a causa de Zinc, está relacionada con las malas prácticas en la agricultura que afectan directamente el crecimiento de las plantas. Se debe considerar el tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza puesto que pueden existir diversas tecnologías de fitorremediación que pueden variar dependiendo del método a utilizarse entre las que se destacan la rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización, fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización (Delgadillo *et al.*, 2011).

La fitoextracción presenta ventajas competitivas en cuanto a costos para controlar la erosión y evapotranspirar en grandes cantidades de agua (Beltrán, 2001). Las micorrizas arbusculares presentan gran importancia en la zona de las raíces donde el hongo desarrolla una red que puede explorar el suelo, capturar nutrientes y agua para la planta. De esta manera mejora la sanidad de las plantas que aumenta la tolerancia al ataque de patógenos mediante la conservación de la funcionalidad de la raíz durante la infección (Calle *et al.*, 2019).

En Ecuador, la superficie sembrada con arroz en el año 2013 fue de 414.096 hectáreas, con una producción de 1515,836 t, aportando la provincia de los Ríos el 93.79% (Viteri Viteri & Zambrano, 2017). En este proyecto se buscó optimizar la fitoextracción de Zinc en suelos contaminados de cultivos de arroz, cantón Mocache utilizando la inoculación de micorrizas arbusculares puesto que en esta zona de estudio existe la poca presencia de estudios que evalúen la eficacia de las micorrizas, lo que contribuye al área de investigación agricultura y sub área agricultura, silvicultura y pesca en la sub línea evaluación de la calidad del agua, aire y suelo, incluyendo las alternativas de mitigación a los impactos ambientales (Garzón, 2015).

Se contribuye al plan de creación de oportunidades 2021 a 2025 de Ecuador en el eje social del objetivo 8 generar nuevas oportunidades y bienestar para las zonas rurales, con énfasis en pueblos y nacionalidades; eje de transición ecológica de recursos naturales, conservación de los ecosistemas, deforestación y patrimonio natural cambio climático, conservación de los ecosistemas, prácticas ambientales; objetivo 11 “conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales”; objetivo 12 “fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2021).

Además, se evaluó la eficacia de diferentes cepas de micorrizas arbusculares y se determinó su capacidad para aumentar la acumulación de zinc en las plantas y reducir su concentración en el suelo. Los resultados de este estudio están relacionados con los objetivos de desarrollo sostenible 11 “ciudades y comunidades sostenibles”; 12 “producción y consumo responsables”; 13 “acción por el clima” y 15 “vida de ecosistemas terrestres” puesto que fueron útiles para desarrollar estrategias de remediación de suelos contaminados con metales pesados, minimizando la acumulación de estos contaminantes en el medio ambiente (CEPAL, 2018).

CAPITULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Según Garzón (2015) en la actualidad la toxicidad y exposición prolongada por metales pesados resulta alarmante, ya que son catalogados como uno de los más importantes problemas que afectan los recursos hídricos, suelos y aire, que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública.

El zinc está asociado con la anemia y lesiones tisulares, que puede ocasionar daño hepático y renal en lactantes. Por ejemplo en la década de los cincuenta en Japón, una población ubicada en las riberas del río Jintsu, aguas abajo de una zona minera de zinc, se vio afectada por el consumo de arroz proveniente de cultivos contaminados y esta ingesta produjo una enfermedad conocida como osteoartritis que afecta el tejido óseo (Rodríguez *et al.*, 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y autoridades ambientales, han establecido niveles de riesgo en función de la concentración de metales en aguas de consumo humano y alimentos. Esta concentración es mayor en la rizosfera, sin embargo el uso de fertilizantes influye significativamente en la bioacumulación de metales en las hojas de las plantas de los cultivos de alimentos de suelos contaminados (Bose y Chakraborty, 1957). Por tal motivo se generan impactos negativos que van generando degradación en el suelo, desertificación y alteración a en la productividad (Pamela *et al.*, 2014).

En Latinoamérica los metales pesados afectan la explotación de recursos no renovables y en Ecuador el desarrollo industrial, y los altos niveles en suelos, agua y aire generan un aumento prolongado de contaminación (Espinoza, 1989). En la provincia de los Ríos existe la degradación del suelo, acidificación, erosión, malas prácticas agrícolas como abuso de agroquímicos, quemas, arado mayor a 30cm de suelo. En el cantón Mocache se da la existencia de poca vegetación primaria y secundaria, con problemas como el incremento de la frontera agrícola y tala de bosque para vender la madera (Prefectura de los Rios, 2020).

Diagnóstico

Es evidente que el cantón Mocache tiene una rica biodiversidad y recursos naturales valiosos que pueden ser aprovechados de manera sostenible a través de la exploración de hongos formadores de micorrizas arbusculares. La agricultura sostenible, basada en el uso de estos microorganismos y otras prácticas amigables con el medio ambiente, puede ser una solución para promover el desarrollo agrícola en la región. Sin embargo, existen pocos estudios que impulsen hacia una agricultura sostenible que limitan el conocimiento y el desarrollo de prácticas agrícolas más responsables.

La contaminación por zinc ocurre cuando hay una liberación excesiva en el medio ambiente, ya sea por actividades humanas o fenómenos naturales. Cuando se aplica en exceso, puede lixiviar hacia los cuerpos de agua o ser absorbido por las plantas en cantidades perjudiciales. Algunas industrias emiten gases y partículas contaminadas que pueden depositarse en el suelo y el agua a través de la lluvia o deposición seca.

En Mocache, algunas fuentes comunes de contaminación por zinc incluyen: las actividades industriales, como la minería y el procesamiento de minerales, la producción de acero, galvanizado, fabricación de baterías, productos químicos y pinturas, pueden liberar zinc en forma de polvo, gases o aguas residuales contaminadas. Las aguas residuales industriales y domésticas pueden contener concentraciones significativas. Si no se tratan adecuadamente, estas aguas residuales pueden liberar zinc en cuerpos de agua cercanos, lo que afecta la calidad del agua y los organismos acuáticos.

Pronóstico

La falta de ejecución de investigaciones relacionadas al área de agricultura, silvicultura y pesca que se enfoquen en la investigación sobre la evaluación de la calidad del agua, aire y suelo, incluyendo las alternativas de mitigación a los impactos ambientales puede generar consecuencias negativas en la zona de Mocache como la escasez de cultivos de arroz, puesto si no se lleva a cabo la investigación, es probable que los agricultores no tengan acceso a métodos sostenibles adecuados en el diagnóstico de la calidad del suelo para el cultivo de arroz. Esto podría resultar en una disminución en la productividad de los cultivos y, en última instancia, en la pérdida de cosechas. Por tal motivo aumentaría el desconocimiento en la mala administración de la implementación de prácticas de gestión adecuadas en las industrias que mejoren los sistemas de tratamiento de aguas residuales, la regulación del uso de fertilizantes, concientización de prácticas agrícolas sostenibles.

En Mocache se generaría un deterioro de la calidad del suelo por la contaminación de metales y aumento en el desconocimiento de la aplicación de las micorrizas para reducir los niveles de contaminación en industrias e investigaciones futuras (Camarena, 2012). Teniendo en cuenta que el arroz es uno de los principales productos de la canasta familiar, esta situación afectaría directamente la seguridad alimentaria de la población local y enfermedades causadas por altos niveles de zinc.

1.1.2. Formulación del problema

¿Es eficaz la utilización de inoculación de micorrizas arbusculares por medio de la fitoextracción de suelos contaminados con Zinc?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Cómo ayuda la identificación y densidad de esporas de hongos micorrizicos arbusculares en cultivos de cacao (*Theobroma cacao L*) para la inoculación de plantas de arroz *oryza sativa*?

¿Cuál es el efecto del Zinc en las variables agronómicas de las plantas de arroz (*oryza Sativa*)?

¿Cuál es la cantidad de extracción Zinc que los hongos micorrícicos arbusculares lograrón extraer del suelo contaminado?

1.2. Objetivos

Objetivo General

Analizar el potencial de las micorrizas arbusculares en la fitoextracción de Zinc en suelos contaminados, cantón Mocache, Ecuador.

Objetivos

- Identificar las esporas de hongos micorrizicos arbusculares en cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*) por medio de una evaluación morfológica.
- Evaluar el efecto del Zinc en las variables agronómicas de la planta de arroz (*oryza sativa*)
- Cuantificar la cantidad de extracción de Zinc que las plantas de arroz (*Oryza sativa*) lograron extraer del suelo contaminado.

1.3. Justificación

Las micorrizas arbusculares son asociaciones ecológicamente mutualistas entre hongos del Phylum *Glomeromycota* de referencia para la agricultura sustentable. Gracias a este estudio las comunidades del cantón Mocache pueden informarse de los efectos beneficiosos entre las que se encuentran: mayor absorción de elementos poco móviles como el Zn; protección contra patógenos; mayor resistencia a la sequía; y contribución a las formaciones de estructuras del suelo. El manejo agrícola conlleva varios problemas ambientales como los fertilizantes químicos que terminan contaminando los cuerpos de agua y ocasionan la eutrofización, por lo que hace indispensable la ejecución de investigaciones encaminadas en el fortalecimiento de una agricultura sostenible (Cuenca *et al.*, 2007).

Según Cuenca *et al.* (2007), el principal interés de la realización de este estudio radica en el área de la agricultura puesto que gracias al uso más eficiente de las plantas micorrizadas en los nutrientes del suelo permiten ahorrar fertilizantes químicos y reducir los problemas de contaminación que el uso excesivo de fertilizantes conlleva. De igual manera en el comercio se utilizan constantemente productos de la canasta familiar como frutas y verduras que necesitan un tratamiento durante su cosecha para su distribución.

Los habitantes del cantón Mocache se beneficiarán con el aporte al plan de creación de oportunidades 2021 a 2025 de Ecuador en los lineamientos territoriales literal B) fortalecimiento de la gestión y uso sostenible y usos sostenibles para la mejora del hábitat y las condiciones de vida; E) actividad económica sostenible para incentivar los procesos de economía circular para el mejor aprovechamiento de los recursos y generación de fuentes alternativas de empleo; y aporta a los objetivos de desarrollo sostenible 11 “ciudades y comunidades sostenibles”, 12 “producción y consumo responsables”, 13 “acción por el clima” y 15 “vida de ecosistemas terrestres” puesto que podrían ser útiles para desarrollar estrategias de remediación de suelos contaminados con metales pesados, minimizando la acumulación de estos contaminantes en el medio ambiente.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2. Marco conceptual

2.1. Características generales del Zinc

2.1.1. Importancia del Zn en las plantas

Las plantas requieren variedad de micronutrientes para su correcto funcionamiento que permitan completar el ciclo de vida. Entre los micronutrientes, el Zn se considera el nutriente más requerido (Saboor, Ali, Hussain, *et al.*, 2021).

2.1.2. Deficiencia del Zinc en las plantas

El zinc influye en la activación y regulación de varias enzimas en el sistema metabólico donde la deficiencia de hojas reduce la fotosintética neta, el contenido de clorofila y la actividad de superóxido dismutasa (Saboor, Ali, Hussain, *et al.*, 2021).

2.1.3. Homeostasis celular del zinc en el micelio

Para asegurar el crecimiento y superar la toxicidad, los hongos micorrízicos necesitan controlar el Zn citoplasmático concentraciones fuertemente por transporte y compartimentación en orgánulos. Diferentes familias de transportadores de metales, mediante la absorción se han encontrado en todos los organismos y están particularmente bien descritas (Ruytinx *et al.*, 2021).

2.1.4. Asignación de zinc en raíces micorrízicas

Según Ruytinx *et al.*, (2021) las hifas extrarradicales de los hongos micorrízicos extienden la rizosfera, lo que permite que la planta huésped explore un mayor volumen de suelo. Los hongos adquieren lo adquieren a través de transportadores ZIP.

2.1.5. Toxicidad del zinc en las plantas

Según Saboor, Ali, Hussain, *et al.*, (2021) la contaminación por este metal también ocurre mediante el proceso de fundición porque los equipos metalúrgicos obsoletos y las fundiciones emiten humo y polvo enriquecidos con Zn. Las actividades antropogénicas como la entrada de fertilizantes, efluentes industriales y el polvo del aire y las aguas residuales también están causando la contaminación de este metal. La acumulación excesiva en el citosol de las plantas es dañina, por lo que se transloca inmediatamente en las vacuolas celulares liberadas a demanda de las plantas.

2.2. Fitoextracción del Zinc

De acuerdo con Plaza (2021) cuando se utilizan los microorganismos del suelo pueden establecer diferentes ciclos de los elementos que son responsables de la movilización de metales y de su acumulación. Los microorganismos son sensibles cuando existe la deficiencia o exceso de concentraciones de elementos metálicos que reducen el crecimiento y actividad enzimática que permiten la adaptación.

La fitoextracción es un método común utilizado para la eliminación de metales tóxicos de la tierra y el agua contaminadas. Es comercialmente factible en comparación con otras técnicas de fitorremediación, los metales en raíces y brotes por medio de la acumulación en plantas que depende de la biomasa vegetal con una especie adecuada (Plaza, 2021). Mediante la fitoextracción del zinc, se puede emplear a las micorrizas arbusculares para proporcionar el crecimiento vegetal, y efecto benéfico sobre la nutrición mineral de las plantas que permiten el incremento de la concentración del contenido de fósforo en los tejidos vegetales (Suarez, 2015).

2.3. Micorrizas Arbusculares

Mediante el inóculo que comprende un suelo arenoso donde se presentan esporas y fragmentos de raíces de la planta (Chen *et al.*, 2003) que permite el equilibrio de la concentración de micronutrientes en los diferentes tejidos, las plantas desarrollan varias estrategias como la modificación de la arquitectura de la raíz, cambio en la química de la interacción con el suelo (Ruytinx *et al.*, 2021).

2.3.1. Caracterización de esporas

Este procedimiento es empleado para realizar la caracterización de las esporas en cada tipo de inóculo de suelo por medio de la observación de la forma y color. Además se utiliza la determinación microscópica de estructuras subcelulares como paredes de esporas, paredes germinales y la forma de micorrizas (Andrango *et al.*, 2016)

2.3.2. Colonización de hongos micorrízicos

La colonización de micorrizas se miden en las raíces de las plantas inoculadas y no inoculadas (Saboor, Ali, Hussain, *et al.*, 2021). La mayor parte de micorrizas vesiculares arbusculares se encuentran en los primeros 20 centímetros del perfil del suelo, y a mayor profundidad (70 a 100 cm). En comparación con el total de hongos y bacterias, las poblaciones de micorrizas vesiculares arbusculares en el suelo son minúsculas, situándose entre una espora por gramo de suelo en zonas sin cultivar y 50 esporas por gramo de suelo, después del crecimiento de la planta colonizada por las micorrizas vesiculares arbusculares. La fumigación del suelo elimina casi por completo a las micorrizas vesiculares arbusculares de este ambiente (Paillacho, 2010).

2.3.3. Tipos de micorrizas

De acuerdo con Camarena (2012) las micorrizas más abundantes y con una distribución amplia en el planeta son las ectomicorrizas y las arbusculares:

2.3.3.1. Ectendomicorrizas

Asociaciones formadas entre un número limitado de ascomicetos y los géneros de coníferas *Pinus* y *Larix*; tienen un manto y una estructura compleja altamente ramificada llamada red de Hartig (Camarena, 2012)

2.3.3.2. Ericoide

Representa un tipo único de micorrizas confinadas a varias familias del orden Ericales donde las plantas que desarrollan este tipo de micorriza forman raíces laterales muy finas que carecen de crecimiento secundario (Camarena, 2012).

2.3.3.3. Arbutoide

Dos géneros de la familia Ericaceae (*Arbutus* y *Arctostaphylos*) y varios géneros en Pyrolaceae forman micorrizas arbutoides típicas. Estas micorrizas tienen un manto, una red de Hartig y forman complejos hifales intracelulares confinados a la epidermis (Camarena, 2012).

2.3.3.4. Monotropoide

Las especies de plantas que tienen esta micorriza son no fotosintéticas, y la evidencia sugiere que los hongos que forman este tipo de micorriza se asocian también a árboles vecinos fotosintéticamente activos, y que han desarrollado un mecanismo para obtener sus fotosintatos (Camarena, 2012).

2.3.3.5. Ectomicorriza

Presenta la formación de un manto o vaina de hifas que cubren porciones considerables de raíces laterales, el desarrollo de hifas entre las células de la raíz para formar la red de Hartig, y la hifa que emana del manto y crece en el suelo (Camarena, 2012).

2.3.3.6. Arbuscular

Es una asociación entre las raíces de la mayoría de plantas vasculares y un grupo pequeño de hongos del nuevo phylum Glomeromycota (Camarena, 2012).

2.3.4. Características generales de las micorrizas arbusculares

De acuerdo con Plaza (2021) las micorrizas arbusculares son una forma común y esencial de simbiosis entre las raíces de las plantas y ciertos hongos, que mejora la absorción de nutrientes, aumenta la tolerancia al estrés y desempeña un papel fundamental en la salud de las plantas y los ecosistemas terrestres, algunas de las características más comunes son las siguientes:

2.3.4.1. Simbiosis mutualista

Las micorrizas arbusculares son una asociación mutualista, lo que significa que tanto las plantas como los hongos se benefician de la interacción. Las plantas proporcionan a los hongos compuestos orgánicos, como azúcares, mientras que los hongos mejoran la absorción de nutrientes para las plantas.

2.3.4.2. Estructura arbúscular

Las micorrizas arbusculares deben su nombre a las estructuras especializadas llamadas arbúsculos, que son ramificaciones finas y altamente ramificadas que se forman dentro de las células de las raíces de las plantas. Estos arbúsculos aumentan enormemente la superficie de absorción de nutrientes disponibles para la planta.

2.3.4.3. Nutrición de las plantas

Las micorrizas arbusculares mejoran la absorción de nutrientes esenciales, especialmente fósforo y nitrógeno, para las plantas. Los hongos micorrízicos arbusculares tienen la capacidad de extraer nutrientes del suelo y transferirlos a las raíces de las plantas. A cambio, las plantas proporcionan a los hongos carbohidratos producidos durante la fotosíntesis.

2.3.4.4. Tolerancia al estrés

Las micorrizas arbusculares ayudan a las plantas a aumentar su resistencia y tolerancia a diversos tipos de estrés abiótico, como la sequía, la salinidad, los metales pesados y los cambios en el pH del suelo. Los hongos micorrízicos arbusculares pueden mejorar la capacidad de las plantas para acceder a recursos y nutrientes en condiciones desfavorables.

2.3.4.5. Distribución amplia

Las micorrizas arbusculares se encuentran en una amplia variedad de ecosistemas terrestres, desde bosques hasta pastizales y desde zonas polares hasta tropicales. Se estima que la mayoría de las especies de plantas forman simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares.

2.3.4.6. Interacciones ecológicas

Las micorrizas arbusculares interactúan con otros organismos del suelo, como bacterias, nematodos y otros hongos. Estas interacciones pueden tener efectos significativos en la estructura y la función de los ecosistemas, así como en la dinámica de los nutrientes.

2.3.5. Funciones de las micorrizas arbusculares en el ecosistema

De acuerdo con Benavides *et al.*, (2011) las micorrizas arbusculares desempeñan un papel crucial en la salud y el funcionamiento de los ecosistemas al mejorar la absorción de nutrientes y agua por parte de las plantas, aumentar la resistencia a enfermedades y contribuir a la estructura y fertilidad del suelo. Estas interacciones simbióticas son fundamentales para el desarrollo y la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres. Las asociaciones simbióticas desempeñan funciones clave en los ecosistemas, algunas de las cuales incluyen:

2.3.5.1 Aumento de la absorción de nutrientes

Las micorrizas arbusculares mejoran la capacidad de las plantas para absorber nutrientes del suelo, especialmente fósforo, que a menudo es limitante para el crecimiento vegetal. Los hongos micorrízicos arbusculares forman estructuras llamadas arbúsculos en las células de las raíces, que aumentan la superficie de absorción de nutrientes y facilitan la captación y transferencia de fósforo y otros nutrientes a las plantas.

2.3.5.2. Mejora del suministro de agua

Las micorrizas arbusculares también desempeñan un papel en la captación de agua. Los hongos micorrízicos colonizan las raíces de las plantas, formando una extensa red de hifas en el suelo. Estas hifas pueden extenderse más allá del alcance de las raíces de las plantas, lo que les permite acceder a fuentes de agua que de otra manera serían inaccesibles para las plantas. Esta capacidad de explorar una mayor área de suelo aumenta la resistencia de las plantas a la sequía.

2.3.5.3. Mejora de la resistencia a enfermedades

Las micorrizas arbusculares pueden ayudar a proteger a las plantas contra patógenos del suelo. La simbiosis micorrízica induce respuestas de defensa en las plantas, lo que las hace más resistentes a enfermedades causadas por hongos patógenos. Además, los hongos micorrízicos pueden competir directamente con los patógenos por los nutrientes y el espacio en las raíces, reduciendo así las infecciones.

2.3.5.4. Influencia en la estructura del suelo

Las micorrizas arbusculares pueden modificar la estructura y la composición del suelo. Las hifas fúngicas forman agregados de suelo conocidos como glomérulos, que estabilizan la estructura del suelo y mejoran su capacidad de retención de agua y nutrientes. Además, los hongos micorrízicos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo a través de la descomposición de las raíces y otros materiales vegetales.

2.3.6. Factores que afectan el desarrollo, actividad y supervivencia de las micorrizas arbusculares

De acuerdo con Andrango *et al.*, (2016) comprender estos factores es importante para promover la función de las micorrizas y maximizar sus beneficios en los ecosistemas y la agricultura, a continuación se presentan los factores que afectan el desarrollo, la actividad y la supervivencia de las micorrizas arbusculares:

2.3.6.1. Disponibilidad de nutrientes

Las micorrizas arbusculares están involucradas en la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, para las plantas. Si el suelo tiene una baja disponibilidad de fósforo u otros nutrientes esenciales, puede afectar negativamente el desarrollo y la actividad de las micorrizas.

2.3.6.2. Tipo de suelo

La composición y las propiedades físicas y químicas del suelo pueden influir en la formación y el funcionamiento de las micorrizas arbusculares. Por ejemplo, la textura del suelo, el contenido de arcilla y la acidez pueden afectar la colonización y la eficiencia de las micorrizas.

2.3.6.3. Estrés ambientales

Factores ambientales como la sequía, la salinidad, la contaminación del suelo y las altas temperaturas pueden tener un impacto negativo en el desarrollo y la supervivencia de las micorrizas arbusculares. Estos factores estresantes pueden afectar tanto a los hongos micorrízicos como a las plantas asociadas.

2.3.6.4. *Diversidad de especies*

La diversidad de especies de hongos micorrízicos y de plantas puede influir en las interacciones y la efectividad de las micorrizas arbusculares, una mayor diversidad de hongos micorrízicos puede promover una mayor colonización de las raíces y una mayor captación de nutrientes.

2.3.6.5. *Interacciones bióticas*

Otros organismos del suelo, como bacterias, otros hongos, nematodos y microorganismos antagonistas, pueden interactuar con las micorrizas arbusculares y afectar su desarrollo y actividad. Algunos organismos pueden competir con los hongos micorrízicos o inhibir su colonización de las raíces.

2.3.6.6. *Prácticas de manejo agrícola*

Las prácticas agrícolas, como el uso de fertilizantes químicos, pesticidas, labranza intensiva y monocultivo, pueden tener efectos negativos en las micorrizas arbusculares. Estas prácticas pueden reducir la colonización de las raíces por los hongos y afectar la simbiosis planta-hongo.

2.2. Marco referencial

2.2.1. *Hongos micorrízicos arbusculares en ecosistemas neotropicales*

El objetivo de este estudio permitió el análisis de las investigaciones realizadas en las micorrizas, donde se efectúa en el mundo una estimación entre 1,5 y 5 millones especies de hongos con 100.000 plantas hospedantes potenciales. En América puede superar la estimación mundial de hongos y en América del Sur existe una poca investigación (Darquea, 2020).

2.2.2. Micorrizas arbusculares en el mundo

En la Amazonia se ha ido adoptando la creación de pastizales y la multiplicación de los cultivos en diversas condiciones agroecológicas, donde existe la producción sostenible y eficiente y a través de prácticas sustentables como la agricultura orgánica en donde los hongos formadores de micorrizas están siendo considerados como una herramienta que presenta una gran potencialidad (Garzón, 2015).

2.2.3. Micorrizas arbusculares y su efecto sobre el desarrollo vegetativo en *Citrus limon* L. en el área de estudio de Nicaragua

En este estudio se recolectaron cinco muestras en puntos diferentes de cada finca, cerca de la zona de goteo a una profundidad de 20 cm. El suelo colectado se depositó en fundas plásticas con capacidad de 2.2 kg y se trasladó al laboratorio de microbiología vegetal de la Universidad Nacional Agraria para su análisis. Posteriormente se identificaron cinco géneros de hongos micorrícicos donde el más representativo fue el de *Glomus sp* (Rosales et al., 2022).

2.2.4. Multiplicación masiva de hongos micorrícicos arbusculares, en región de San Martín Perú

El objetivo de esta investigación fue recolectar esporas de micorrizas arbusculares mediante el método de tamizado en húmedo, decantación y centrifugación. El consorcio de hongos micorrícicos arbusculares de la provincia Mariscal Cáceres mostró el mayor número de esporas después de 220 días de propagación en plantas de arroz, lo que permitió la producción masiva de esporas en condiciones ex situ (Vallejos-Torres et al., 2022).

2.2.5. Hongos micorrícicos arbusculares nativos, biotecnología en Uyacali, Perú

Esta investigación tiene la finalidad del aprovechamiento de microorganismos benéficos para la reducción del uso de fertilizantes químicos hasta un 50%. Esta disminución se comprobó mediante una variedad de técnicas en laboratorio para determinar la existencia de 36 inoculantes puros de hongos micorrícicos arbusculares pertenecientes al género *Glomus sp* y *Acaulospora sp*, y la concentración en T1 Monospórico *Glomus sp*, T2 Monospórico *Acaulospora sp* y *Acaulospora sp* (Sandoval y Orquidea, 2019).

2.2.6. Capacidad micotrófica con hongos micorrízicos nativos de suelos de la provincia de Buenos Aires

Mediante la toma de muestras de suelo de diferentes zonas con potencial agrícola de la provincia de Buenos Aires utilizando el método de tamizado con la observación durante 10 semanas y análisis de plantas trampa, se aplicó el potencial micorrícico al número más probable de propágulos micorrícicos en 100 g de suelo. Los resultados obtenidos se representan mediante análisis estadístico de varianza (ANOVA), donde las diferencias entre tratamientos fueron significativas y análisis de correlación lineal de componentes principales (PCA) (Thougnon Islas *et al.*, 2014).

2.2.7. Hongos Micorrízicos Arbusculares de zonas del trópico húmedo del Ecuador

El objetivo de este estudio es la creación de propágulos de hongos micorrízicos arbusculares en el suelo contaminado con el metal pesado de Zinc y el crecimiento micelial que permitan analizar el comportamiento de una plata trampa, teniendo en cuenta las condiciones ambientales en los bosques del trópico húmedo (Moina-Quimi *et al.*, 2018).

2.2.8. Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares en Santo Domingo de los Tsáchilas

Según Paillacho (2010) el objetivo de este estudio es determinar cómo las asociaciones simbióticas entre las plantas y los hongos micorrízicos pueden influir en el crecimiento y salud. En la rizósfera ocurren diversas interacciones benéficas con otros microorganismos. Algunas de estas pueden incluir en la colaboración con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, las cuales convierten el nitrógeno gaseoso en una forma utilizable por las plantas, lo que puede aumentar la disponibilidad de este nutriente (Paillacho, 2010).

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

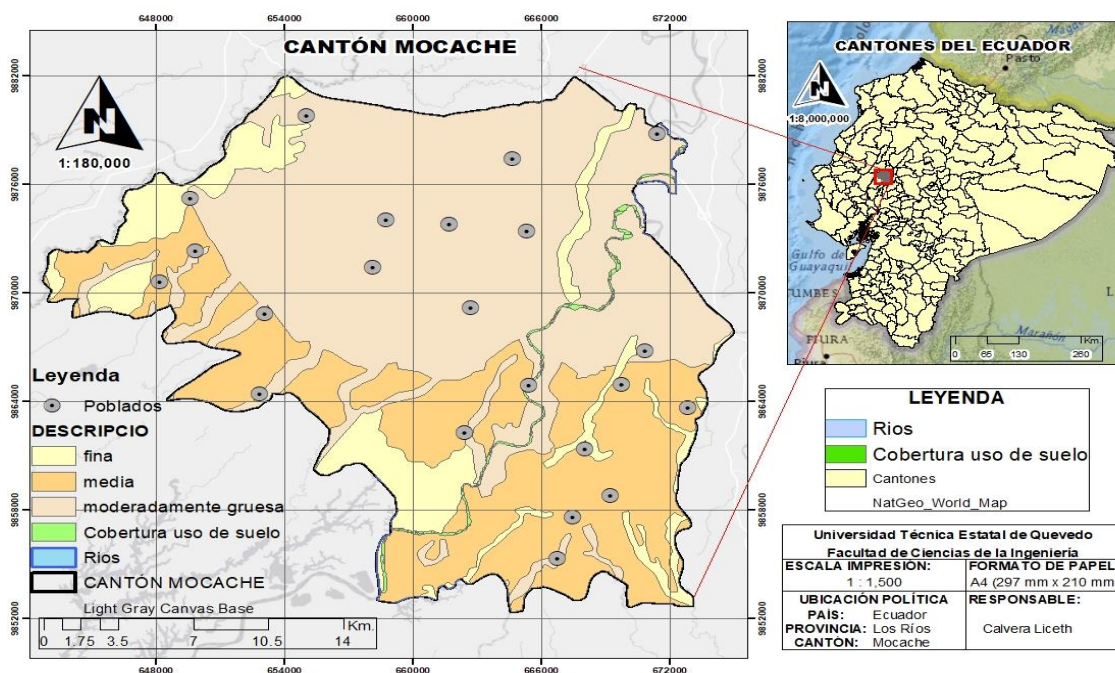
3.1. Localización

De acuerdo con la cámara oficial española de comercio del Ecuador (2021) se encuentra ubicado en la costa noroeste de América del Sur, limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú, y al oeste con el Océano Pacífico, que baña el perfil ecuatoriano. El Ecuador cuenta gracias a su posición geográfica y la Cordillera de los Andes con cuatro regiones naturales que presentan características propias y se distinguen en su clima, fauna y flora.

Este estudio fue realizado en el cantón Mocache de la provincia de Los Ríos cuya ubicación geográfica es de 1°11'26" de latitud sur y de 79°30'22"O de latitud oeste (Moreno Vera & Núñez Cruz, 2015). Además, perteneciente a la región Costa que es una tierra rica para la agricultura. La región de la Costa se halla entre el ramal occidental de la Cordillera de los Andes y las aguas del Océano Pacífico. La cuenca fluvial del río Guayas con sus 34.500 km es la más grande de toda la costa del Pacífico en América del Sur. Aquí se cultiva banano, café, cacao, arroz, soya, caña de azúcar y frutas tropicales (Cámara oficial Española de comercio del Ecuador, 2021).

Figura 1.

Ubicación de la investigación



Nota. Esta figura representa al cantón Mocache y fue realizada mediante ArcGis.10.8

3.1.1. Localización del experimento

Este experimento fue realizado en Invernadero y Laboratorios de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Campus La María) cuyas coordenadas son Latitud. -1.08405° o $1^{\circ} 5' 3''$ sur y longitud. -79.50033° o $79^{\circ} 30' 1''$ oeste en el kilómetro 7.5 de la Vía Quevedo - El Empalme, Cantón Mocache, provincia de Los Ríos, a una altura de 72 metros sobre el nivel del mar.

3.1.2. Datos meteorológicos

De acuerdo con la Estación Experimental Tropical Pichilingue (2017) las condiciones meteorológicas de la finca experimental “La María” UTEQ, son las siguientes: temperatura promedio 26°C ; humedad relativa 87.71%; heliofanía 915.56 horas luz/año; precipitación anual mm 2274.29 mm, evaporación, promedio anual 89.46mm y zona ecológica bosque húmedo tropical (INAMHI, 2017).

3.2. Tipo de la investigación

3.2.1. Diagnóstica

Se realizó en esta investigación el análisis de las experimentaciones y repeticiones con tratamientos para cada muestra de suelo, aplicando las concentraciones de Zinc y la inoculación de micorrizas. Se utilizó los métodos de investigación inductivo y experimental, para la evaluación del estado de colonización en las especies que permiten la cuantificación del porcentaje de *o.sativa* (Contreras, 2015).

3.2.2. Exploratoria

Se realizó revisiones preliminares y exploraciones durante 15, 22 y 32 días con los resultados obtenidos en cuanto a la altura, diámetro de tallo, peso seco y húmedo de la planta *o.sativa* que permiten tener un enfoque metodológico del potencial de micorrizas estudiadas de acuerdo al tratamiento y la realización de comparaciones mediante la extracción y conteo de esporas.

3.2.3. De campo

La investigación se realizó en el campo y fue de carácter agronómico, con la finalidad de obtener resultados de adaptabilidad y desempeño productivo de las micorrizas en *O. sativa* y en las condiciones de la zona.

3.3. Métodos de la investigación

3.3.1. Método de observación

Cada uno de los procesos realizados fueron ejecutados mediante la observación de las características, procesos y circunstancias descritas durante el procedimiento.

3.3.2. Método Analítico

Se analizó la nutrición mejorada de Zn en plantas micorrizicas, teniendo en cuenta la absorción y deficiencia de este metal. Además se realizó la recolección de hongos para el conteo de esporas y tamizado que permitieron dar un análisis de los resultados obtenidos en el estudio (Saboor, Ali, Hussain, *et al.*, 2021).

3.3.3. Método Comparativo

Los resultados obtenidos fueron analizados, descritos, comparados con investigaciones ya realizadas, tomando como referencia fuentes bibliográficas de artículos científicos que permitieron identificar si los niveles de concentraciones de Zinc contribuyen a un mejoramiento en el crecimiento de las micorrizas arbusculares con plantas de *O. sativa*.

3.4. Fuentes de recopilación de la información

La recopilación de los datos necesarios para la investigación se obtuvo del cantón Mocache y fue complementada con artículos, tesis, presentes en distintas etapas del proyecto (García, 2021).

3.4.1. Fuentes primarias

La información fue recolectada mediante la búsqueda bibliográfica de páginas web como la colección internacional de hongos micorrícicos arbusculares (vesiculares) INVAM que permite la descripción de las especies, clasificación, nomenclatura, y diversidad de especies. Posteriormente se realizó la tabulación de los resultados de laboratorio mediante el enteroscopia en el software IBM SPSS Statistics 25.

3.4.2. Fuentes secundarias

Artículos, tesis, publicaciones, datos de campo, literatura científica en portales como Scopus, Taylor & Francis, Redalyc, ScienceDirect y Scielo. Los cuales permitieron la interpretación del análisis de la interacción de los hongos micorrícicos arbusculares en plantas de *O. sativa* y su comportamiento en la aplicación de diferentes estudios a nivel mundial, nacional y provincial.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. OE1. Identificar las esporas de hongos micorrícicos arbusculares en cultivo de cacao *Theobroma cacao* L por medio de una evaluación morfológica.

3.5.1.1. Muestreo de suelo

La extracción del suelo se la realizó entre 0cm a 20 cm en la zona radicular del cultivo de cacao y fueron almacenadas en fundas hermética que posteriormente fueron refrigeradas. El muestreo se realizó en la época seca el 25 de octubre del 2023, con la ayuda de una pala, considerando cinco muestras de suelo donde cada una obtuvo un peso de 1189g equivalente 1.2kg de suelo nativo en cultivo de cacao, tomando como referencia las siguientes coordenadas:

Tabla 1.

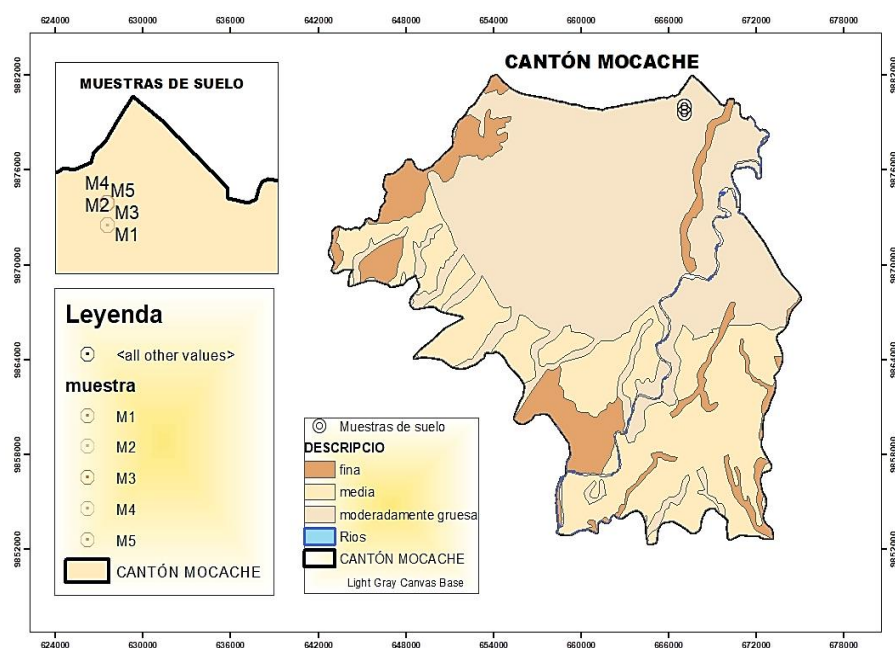
Coordenadas muestras de suelo

Muestra	x	y
M1	667073.90	9879646.80
M2	667073.20	9879647.00
M3	667073.30	9880040.50
M4	667074.30	9880041.10
M5	667069.70	9880046.10

ELABORADO: AUTORA

Figura 2.

Muestras de suelo



Nota. Esta figura representa las cinco muestras de estudio mediante ArcGis.10.8

3.5.1.2. *Conteo y densidad de esporas*

La densidad de las micorrizas fue medida por el número de esporas sobre un gramo de suelo. Se catalogó a la densidad de esporas por este criterio; el valor se expresó como esporas/50 g de suelo seco, utilizando la ecuación propuesta por Sieverding (1983):

$$No. \text{ esporas} = \frac{\text{esporas contadas}}{\text{peso de la muestra}} \times \frac{pi}{pf} \times 50 \quad 1$$

pi= peso inicial de la muestra usada para determinar la humedad

pf= peso final de la muestra para determinar la humedad

Tabla 2.

Criterio densidad de esporas

Característica	Categoría
Densidad baja	< 1 espora gramo de suelo
Densidad media	1 a 10 esporas gramo de suelo
Densidad alta	> 10 esporas gramo de suelo

FUENTE: Sieverding (1983)

ELABORADO: AUTORA

3.5.1.3. Laboratorio

Se utilizó para el aislamiento y conteo de esporas del suelo el tamizado y decantación en húmedo (Aguilar-Ulloa *et al.*, 2016) que consiste en pesar 50 g de suelo y colocar un vaso de precipitación, al que se le agregó 500 mL⁻¹ de agua y se agitó durante un periodo de 3 a 5 minutos, según el tipo de suelo. Posteriormente se dejó reposar durante 2 minutos y se llevó en tamices con una apertura de mallas de 500, 425, 90 y 75 µm para separar las esporas dependiendo del tamaño. Fue necesario que la agitación y decantación se repitiera durante tres veces para que el material que estaba atrapado en los diferentes tamices se pudiera recoger con cuidado para posteriormente ser vertida en los vasos de precipitación de 100 mL⁻¹ con 40 a 50 mL⁻¹ de agua destilada (García, 2021).

Después, se procedió al método de centrifugación en tubos de centrifuga 3 mL⁻¹ de solución de sacarosa al 20%, donde se agregó 120 mL⁻¹ de solución de sacarosa al 60%, pero esta última solución se vertió en el fondo de la anterior para formar una gradiente de sacarosa. Finalmente, se agregó 4 mL⁻¹ de la solución del suelo recogido de los tamices, para que quedará por debajo del suelo suspendido en agua. Se equilibraron y sellaron los tubos para que pudieran ser colocados en la centrífuga durante 3 minutos a 3000 r.p.m. Cumplido el tiempo de centrifugación, los tubos fueron sacados cuidadosamente de la centrifuga, teniendo la precaución de no romper la interfase agua-sacarosa. El contenido de los tubos se vertió en un tamiz de 75 µm y fue lavado con agua destilada para eliminar la sacarosa. El contenido del tamiz se recogió en envases de vidrio que fueron agregados en cajas de Petri cuadrículadas de aproximadamente 1,25 cm entre líneas que permitieron el conteo de esporas (García, 2021).

3.5.1.4. Evaluación morfológica de la diversidad de hongos micorrizicos arbusculares

Se aplicó una evaluación morfológica de la diversidad de las esporas de HMA, que fueron agrupadas según las características morfológicas observadas como el tamaño, color y densidad. Las esporas se identificaron a nivel de género y especie basándose en el análisis de la estructura de la pared de la espora, y referencias en línea de especies descritas en el sitio web de INVAM en la Universidad de West Virginia, EE.UU.

Tabla 3.

Análisis morfológico

Familias/Especies de micorrizas	Diversidad especies	Forma	Color
--	--------------------------------	--------------	--------------

ELABORADO: AUTORA

3.5.2. OE2. Evaluar el efecto del Zinc en las variables agronómicas de la planta de arroz (*Oryza sativa*)

Para el desarrollo del segundo objetivo fue indispensable el trabajo de campo con la utilización de equipos y materiales procedentes del laboratorio. A continuación, se detalla el procedimiento realizado:

3.5.2.1. Siembra planta trampa *O. Sativa*

Mediante el método de siembra directa, cultivo húmedo y uso de sustratos de acuerdo al manual de prácticas y viveros forestales (Terrafex, 2001) se realizó la preparación del sustrato compuesto por 6kg de turba y perlita respectivamente con 12 kg de suelo nativo donde se realizó una mezcla uniforme que posteriormente fue colocada en doble funda que fue esterilizada en autoclave durante 1 hora. En total se esterilizaron 24 fundas que permitieron la mezcla de 96 tratamientos. Después se realizó la desinfección de semillas de *o.sativa* que consistió en la selección de las mejores semillas por apariencia y tacto que fueron colocadas en 95ml de agua destilada y 5 ml de hipoclorito de sodio al 3 % con una agitación de 3 minutos que fueron selladas y llevadas al invernadero. El sustrato se distribuyó en vasos y recibió 10 semillas de *O.sativa*. Las semillas se desinfectaron y se realizó el riego con agua esterilizada durante 8 días. La siembra fue culminada el 31 de octubre del 2023.

3.5.2.2. Medición de pH del suelo

A los suelos procedentes de cada arroz-C se les midió el pH empleando la metodología propuesta por Steubing (“Guthery, Fred S., et al.,” 2001). El procedimiento fue el siguiente: Se añadió en un vaso de precipitación 20 g de suelo seco de 40° por 3 horas en la estufa y tamizado en 50 mL⁻¹ de agua destilada y al mismo tiempo, se agitó las suspensiones durante 10 minutos, este mismo proceso se repitió 2 veces más. Analizando la lectura del pH se registró con un pH-metro marca OHRUS.

3.5.2.3. Inoculación (micorrización)

El 9 de noviembre del 2023 a los 8 días de la siembra se realizó la inoculación de micorrizas, además de la utilización de productos de sólido y líquido comercial.

Tabla 4.

Productos de inoculación

Productos inoculación	Cantidad
Sólido comercial	9 g
Líquido comercial	4ml
Suelo micorrizas	10 micorrizas por cada tubo eppendorf

ELABORADO: AUTORA

3.5.2.4. Contaminación con Zinc (Zn)

La contaminación con Zn de las plantas de *O. sativa* se realizó el jueves 15 de noviembre del 2023 a los 15 días de haber sembrado el experimento. Donde se empleó una regla de tres para determinar las concentraciones mayores, medianas, y bajas en partes por millón (ppm). Se consideró que el valor máximo permisible de Zn es 200 mg/kg donde se estima 29,79% con 100% de pureza.

Tabla 5.

Concentración de Zinc

Nivel	Concentración (Zn)
Alto	200 mg/kg
Medio	150 mg/kg
Bajo	100 mg/kg

ELABORADO: AUTORA

3.5.2.5. Evaluación de las plantas *o.sativa* con Zinc

Se tomaron datos a las 96 unidades que se utilizarán para la conducción del experimento con la finalidad de evaluar las variables agronómicas mediante la planta trampa *o.sativa* puesto que el arroz actúa como un huésped adecuado para aumentar la densidad de los inóculos de hongos micorrizicos arbusculares, debido a su ciclo corto y en su raíz, colonizan fácilmente (Chaiyasen et al., 2017).

Las mediciones se registrarán durante 5 semanas, donde se tomarán los datos en la semana 1 el 16 de noviembre del 2023, semana 2 (el 23 de noviembre a los 8 días), semana 3 (el 30 de noviembre a los 15 días), semana 4 (el 7 de diciembre a los 22 días) y semana 5 (el 18 de diciembre a los 32 días) de haber contaminado el sustrato con Zn mediante las dosis de 200ppm, 150ppm y 100ppm.

La evaluación a las plantas trampas se realizó a los 32 días de la contaminación con Zn del sustrato, se separó la parte aérea de la parte radicular de las plantas, cortando el cuello de la planta con tijeras, cerca de la superficie del suelo, esta parte aérea se colocaron en fundas de papel rotuladas con el nombre de la unidad y repetición. El peso seco de la parte aérea de la planta de *o. sativa* se determinó tras el secado en una estufa con circulación forzada de aire a una temperatura de 60°C.

3.5.2.6. Análisis de las variables agronómicas

Las variables agronómicas del cultivo de *O. sativa* fueron indispensables para determinar el crecimiento que proporciona las micorrizas arbusculares en comparación al Zn como se muestra a continuación:

Tabla 6.

Variables número de semillas, diámetro de tallo, número de hojas y altura

Repetición	Dosis	Semillas germinadas	D. de tallo	N. de hojas	Altura
------------	-------	------------------------	-------------	-------------	--------

ELABORADO: AUTORA

- **Número de esporas por cada tratamiento:** para contabilizar las esporas se utilizó el método de tamizado y decantación en húmedo (Gerdemann & Nicolson, 1963) que consiste el pesaje de 50g de suelo en 500ml de agua destilada y la utilización de tamices de 500, 420, 90, 75µm y que posteriormente se realizó la centrifugación que permitió la separación de esporas de micorrizas en muestras de suelo.
- **Diámetro:** mediante un calibrador se registra la medida de las hojas por cada repetición de los tratamientos analizados.
- **Altura de las plantas:** Se midió desde la base de la planta (cuello), hasta el extremo superior de la hoja, usando cinta métrica. La altura se expresó en centímetros.

Tabla 7.

Variables peso seco y húmedo en raíces y hojas

Repetición	dosis	Largo de las raíces (cm)	Peso húmedo de las raíces (g)	peso húmedo de las hojas (g)	peso seco de las raíces (g)	peso seco de las hojas (g)
------------	-------	-----------------------------	--	---------------------------------------	---	-------------------------------

ELABORADO: AUTORA

- **Longitud total de raíces por planta (RL):** Se obtuvo por medio de la longitud total de la raíz expuesta en la cuadrícula. Además, se consideró la máxima profundidad de las raíces. Las mediciones se establecieron a los 15 y 32 días después de la siembra (Guevara *et al.*, 2013).

$$RL = \frac{\text{Peso fresco raíces por maceta}}{\text{Número de plantas por maceta}} \times RL_s \quad (2)$$

$$RL_s = \text{Largo específico de la raíz} \quad (3)$$

- **Longitud de raíz por volumen de suelo (RL_v):** Este parámetro cumplió con la estimación de la competencia por nutrientes. Teniendo en cuenta 32 días después de la siembra y la longitud total del sistema radicular de las plantas, sumado a todas las longitudes de cada raíz individual (Cano, 2013).

$$RL_v = \frac{RL \times (\text{número de plantas por maceta})}{(\text{Volumen de suelo} \div \text{densidad de suelo})} \quad (4)$$

- **Peso húmedo y seco:** A las plantas de *O. sativa* de cada tratamiento se les separó en la parte aérea y radical donde se registró su peso fresco (g). Posteriormente, fueron ingresadas a la estufa por 72 horas a 60°C donde se tabularon en una balanza de precisión.

3.5.3. OE3 Cuantificar el porcentaje de extracción de Zinc que las plantas de arroz (*Oryza sativa*) lograron extraer del suelo contaminado.

3.5.3.1. Selección de las muestras

El análisis de suelo fue fundamental para determinar cuándo y en qué forma se debe realizar una aplicación de fertilizantes con Zn y asegurar que no ocurra una deficiencia en el cultivo, ni tampoco se acumule en el suelo a niveles tóxicos. Se tomaron las muestras más representativas de los tratamientos de la unidad 1, para análisis mediante la espectrofotometría de absorción atómica (AES) que fueron llevadas a laboratorios del INIAP.

3.5.3.2 Análisis en INIAP mediante método de espectrométrico de absorción atómica

En laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas del INIAP se empleó la técnica de espectrometría de absorción atómica mediante el procedimiento de dirección de un haz luminoso a través de una llama hacia un monocromador y por medio de un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama.

Dependiendo del metal con su longitud de onda y absorción característica, se utiliza como fuente luminosa una lámpara de cátodo hueco según el elemento; esto proporciona un método relativamente libre de interferencias espectrales. La cantidad de energía absorbida en la llama a una longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra (Lajunen y Peramaki, 2004).

De acuerdo con Lajune y Perakamaki (2004) durante el proceso se sigue con cuidado y precisión la preparación de la muestra, calibración del equipo, preparación del equipo, medición de la absorbancia, cálculo de la concentración y control de calidad.

3.6. Instrumentos de investigación

- IBM SPSS Statistics 25 para los tratamientos y repeticiones de cada unidad de planta trampa de arroz *Oryza sativa*.
- Microsoft Excel
- Software ArcGis 10.8

3.7. Tratamiento de los datos

3.7.1. Diseño completamente al Azar

El experimento empleó un modelo completamente al azar (DCA) con doce tratamientos. Posteriormente estos tratamientos fueron infestados con tres dosis distintas de Zinc a 200ppm, 150ppm y 100ppm. Esto produjo un total de 96 unidades experimentales.

Tabla 8.

Tratamientos

Tratamiento	Sustancia
TL	Líquido comercial
TS	Sólido comercial
TSE	Suelo (esporas)
TTM	Testigo (metal)

ELABORADO: AUTORA

Tabla 9.*Unidad 1*

UNIDAD 1		
R1_TL_200	R1_TSE_150	R1_TL_100
R1_TS_200	R1_TTM_150	R1_TSE_100
R1_TSE_200	R1_TL_150	R1_TS_100
R1_TTM_200	R1_TS_150	R1_TTM_100
R2_TTM_200	R2_TS_150	R2_TTM_100
R2_TSE_200	R2_TL_150	R2_TSE_100
R2_TS_200	R2_TTM_150	R2_TL_100
R2_TL_200	R2_TSE_150	R2_TL_100
R3_TSE_200	R3_TTM_150	R3_TSE_100
R3_TL_200	R3_TS_150	R3_TTM_100
R3_TTM_200	R3_TSE_150	R3_TL_100
R3_TS_200	R3_TL_150	R3_TS_100
R4_TS4_200	R4_TL_150	R4_TS_100
R4_TTM_200	R4_TSE_150	R1_TTM_100
R4_TL_200	R4_TS_150	R4_TL_100
R4_TSE_200	R4_TTM_150	R4_TSE_100

ELABORADO: AUTORA

Tabla 10.*Unidad 2*

UNIDAD 2		
R1_TL_200	R1_TSE_150	R1_TL_100
R1_TS_200	R1_TTM_150	R1_TSE_100
R1_TSE_200	R1_TL_150	R1_TS_100
R1_TTM_200	R1_TS_150	R1_TTM_100
R2_TTM_200	R2_TS_150	R2_TTM_100
R2_TSE_200	R2_TL_150	R2_TSE_100
R2_TS_200	R2_TSE_150	R2_TS_100
R2_TL_200	R2_TTM_150	R2_TL_100
R3_TS_200	R3_TSE_100	R3_TS_100
R3_TL_100	R3_TTM_100	R3_TL_200
R3_TTM_150	R3_TS_150	R3_TTM_200
R3_TSE_200	R3_TL_150	R3_TSE_150
R4_TSE_100	R4_TTM_150	R4_TSE_150
R4_TL_150	R4_TSE_200	R4_TL_100
R4_TTM_200	R4_TS_150	R4_TTM_100
R4_TS_200	R4_TL_200	R4_TS_100
ELABORADO: AUTORA		

3.7.2. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, los datos obtenidos para todas las variables se aplicó estadística paramétrica mediante el análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidades de error y de significancia para verificar el efecto de los tratamientos. Se realizó la transformación logarítmica $\ln(x + 1)$ que a menudo se elige cuando los datos muestran asimetría o distribuciones sesgadas, para ayudar a aplanar la distribución y hacer que se asemeje más a una distribución normal (Mayorga-Ponce *et al.*, 2022).

Los datos fueron tratados mediante estadística descriptiva e inferencial por medio de pruebas estadísticas con la media, media cuadrática, desviación estándar, media cuadrática y medidas de tendencia central con la representación del diagrama de bigotes (Saboor, Ali, Hussain, *et al.*, 2021). Se utilizaron análisis estadísticos de los datos obtenidos de los atributos que determinan el (porcentaje de colonización, intensidad de colonización, número de esporas, masa seca de la parte aérea y raíces) que se sometieron al análisis de la varianza (ANOVA), utilizando el software IBM SPSS Statistics 25 (Saboor, Ali, Danish, *et al.*, 2021).

3.8. Recursos humanos y materiales

Recursos humanos

- Oscar Prieto PhD (Director)
- Ing. Erick García (Investigador)
- Ing. Angel Cedeño (Investigador)

Materiales de campo

- Botas
- Fundas plásticas
- Machete
- Marcador permanente
- Pala

De laboratorio

- Toallas de cocina reutilizables
- Cajas petri
- Cubre objetos
- Hojas de bisturí 19
- Jeringuillas
- Mascarilla
- Pipetas
- Iman varilla agitador magnético
- Piscetas
- Porta objetos
- Probetas graduadas
- Tamices
- Tubos de ensayo
- Vasos de precipitación
- Cinta de papel para el rotulado de muestras
- Pera de succión

Reactivos

- Sacarosa al 20%
- Sacarosa al 60%
- Metal pesado Zinc

Equipos

- Agitador magnético
- Balanza de precisión
- Computadora
- Estéreo microscopio
- Estufa
- Centrifugadora
- Impresora
- Microscopio
- pH-metro
- calibrador digital

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. OE1 Identificar las esporas de hongos micorrizicos arbusculares en cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*) por medio de una evaluación morfológica.

En las cinco muestras de suelo se identificaron 16 especies *claroideoglosum lamellosum*, *Acaulosporaceae colombiana*, *A.koskei*, *A. enticulata*, *A. bireticulata*, *Acaulospora sp*, *Acaulospora foveata*, *Acaulospora kentinensis*, *Glomus fistulosum*, *Glomus maculosum*, *Glomus pansihalos*, *Glomus hoy*, *Glomus sp 1*, *Glomus sp 2*, *Rhizófago intraradices*, *Rhizófago manihotis*. En cuanto a la forma se observa que hay 14 especies de forma globosa, con una diversidad que varía entre 1 y 5. La forma más común es la globosa, presente en 9 especies, seguida por la subglobosa en 5. En cuanto al color, el marrón es el más predominante en 7 especies, seguido del amarillo en 3 y el anaranjado con 3.

Tabla 11.

Diversidad de micorrizas

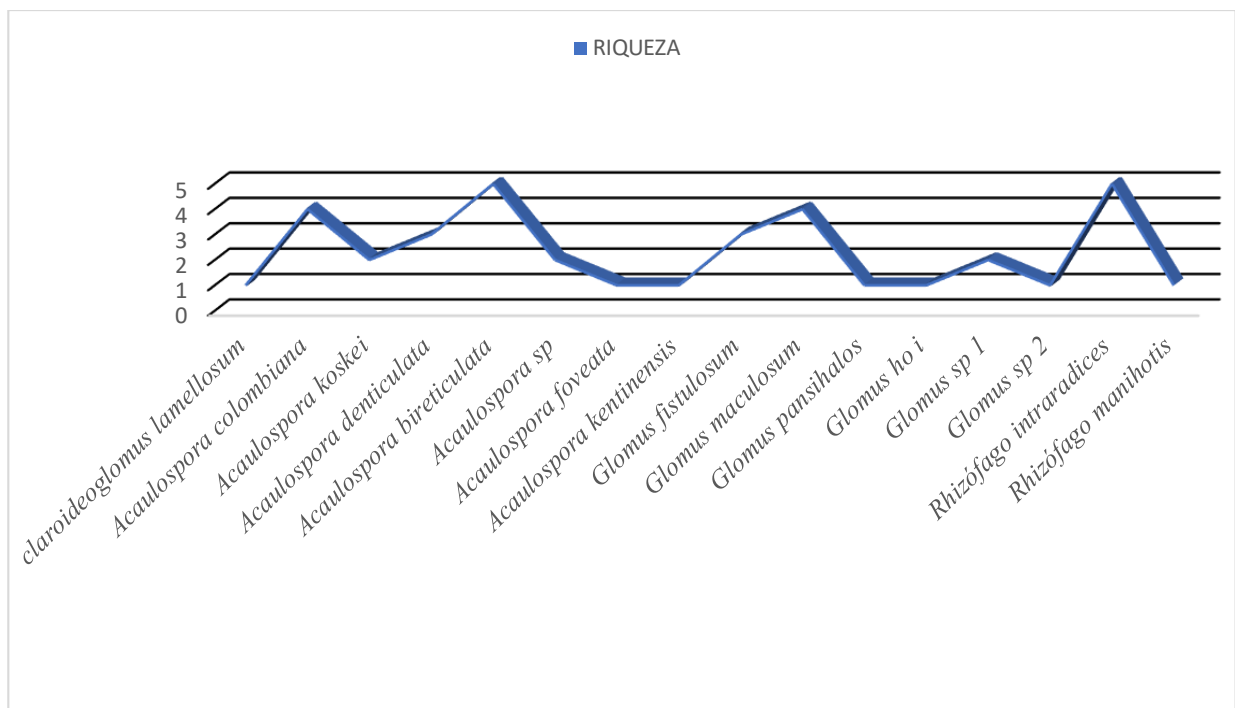
Familias	Especies	Diversidad	Forma	Color
Claroideoglomeraceae	<i>claroideoglosum</i>		Globosa a	Amarillo
	<i>lamellosum</i>	1	subglobosa	pálido
Acaulosporaceae	<i>A. colombiana</i>	4	Globosa a subglobosa	Marrón anaranjado
	<i>A.koskei</i>	2	Globosa a subglobosa	Marrón oscuro
	<i>A. enticulata</i>	3	Globosa, subglobosa	anaranjado oscuro
	<i>A. bireticulata</i>	5	Globosa	Marrón claro Marrón
	<i>Acaulospora sp</i>	2		anaranjado
	<i>Acaulospora foveata</i>	1	Globosa a subglobosa	Rojo anaranjado
	<i>Acaulospora kentinensis</i>	1	Globosa a subglobosa	Marrón anaranjado

Glomeraceae	<i>Glomus fistulosum</i>	3	Globosa a subglobosa	Amarillo claro
	<i>Glomus maculosum</i>	4	Globosa a subglobosa	Hialino Amarillo-
	<i>Glomus pansihalos</i>	1	Globosa	marrón
	<i>Glomus hoi</i>	1	subglobosa	Marrón claro Marrón
	<i>Glomus sp 1</i>	2	Globosa	oscuro
	<i>Glomus sp 2</i>	1	Globosa	Naranja
	<i>Rhizófago</i> <i>intraradices</i>	5	Globosa, subglobosa	Marrón amarillento
	<i>Rhizófago</i> <i>manihotis</i>	1	Globosa	Marrón amarillento

ELABORADO: AUTORA

Figura 3.

Diversidad de especies



Nota. La figura representa las especies encontradas en el cultivo de cacao.

De las cinco muestras de suelos recolectadas se identificaron valores promedios de esporas; teniendo en cuenta dos repeticiones del proceso de selección de esporas por cada 50g en la R1 y R2, el promedio y la relación esporas por los 100 gramos de suelo. Los resultados en promedio cuentan con una densidad baja entre 0,23 y 0,27 esporas/gramo de suelo donde las M2 y M3 representan los valores más altos. Esto se ve influenciado por las condiciones climáticas, como la temperatura y la humedad que pueden tener un impacto significativo en la producción y dispersión de esporas.

Tabla 12.

Densidad de las esporas en las muestras de suelo

Muestra	R1	R2	Promedio	E/100	Densidad
M1	10	2	6,0	0,060	Baja
M2	13	14	13,5	0,270	Baja
M3	19	6	12,5	0,250	Baja
M4	14	2	8,0	0,160	Baja
M5	10	13	11,5	0,230	Baja

ELABORADO: AUTORA

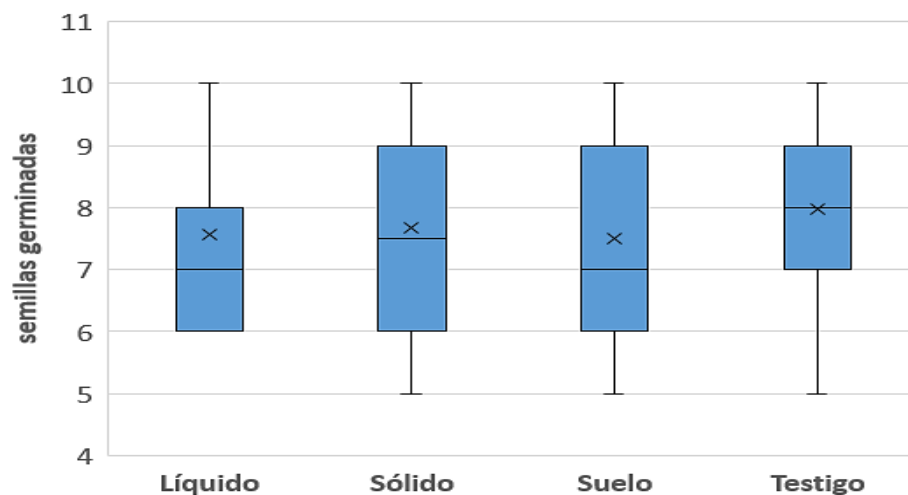
4.2 Evaluar el efecto del Zinc (Zn) en las variables agronómicas de la planta de arroz (*Oryza sativa*)

Se representa la distribución de los tratamientos líquidos TL, sólidos TS, suelo esporas TSE y testigo TTM obtenidos durante las 5 semanas donde existe poca variabilidad en los diferentes tratamientos. En el tratamiento líquido, los bigotes se extienden hasta el valor máximo de 10, mientras que, en los tratamientos sólido, suelo y testigo, abarcan el rango entre el valor mínimo y máximo de 5-10, proporcionando así una representación gráfica efectiva de la dispersión de los datos y la presencia de datos atípicos (Figura 4).

En relación con las medidas de tendencia central, la mediana, que divide la caja en partes iguales, exhibe patrones distintivos en los diversos tratamientos. Es especialmente notable que la mediana predomine en el tratamiento testigo metal, presentando un valor de 8. En segundo lugar, el tratamiento sólido muestra una mediana de 7.5, mientras que los tratamientos líquido y suelo esporas comparten la mediana más baja de 7. En cuanto a la dispersión la caja del suelo líquido es más pequeña que la del suelo sólido y testigo, lo que indica una menor dispersión en los datos. Esto sugiere que la germinación en suelo líquido es más consistente.

Figura 4.

Caja de bigotes semillas germinadas



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

4.2.1. Variables iniciales

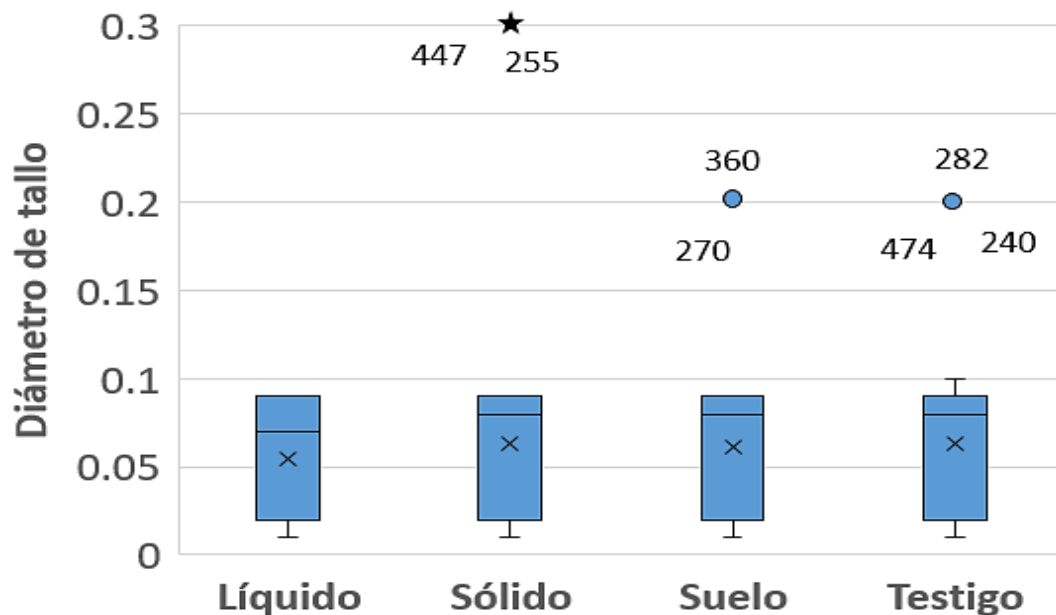
4.2.1.1. Diámetro de tallo

Existe poca variabilidad en los diferentes tratamientos y existen datos atípicos en sólido en la observación (447, 255) en suelo (360, 270) en testigo (474, 282, 240) que indica que tuvieron valores diferentes al resto de los datos. En el tratamiento líquido, los bigotes se extienden hasta el valor máximo de 10, mientras que, en los tratamientos sólido, suelo y testigo, abarcan el rango entre el valor mínimo y máximo de 5-10. En relación con las medidas de tendencia central, la mediana, que divide la caja en partes iguales, exhibe patrones distintivos en los diversos tratamientos. Es especialmente notable que la mediana predomine en el tratamiento testigo metal, presentando un valor de 8.

En segundo lugar, el tratamiento sólido muestra una mediana de 7.5, mientras que los tratamientos líquido y suelo comparten la mediana más baja de 7. (Figura 5)

Figura 5.

Caja de bigotes diámetro de tallo



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

4.2.1.2. Número de hojas

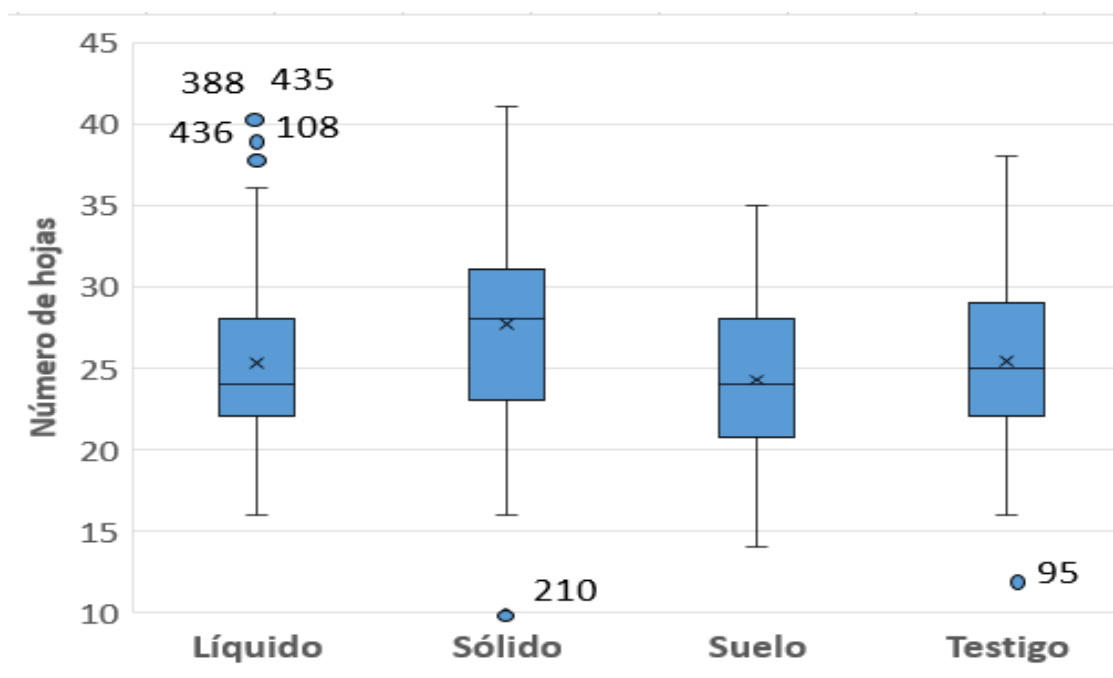
Existe una media variabilidad en los diferentes tratamientos. Se identificaron valores atípicos en líquido en las observaciones (436, 388, 435, 108) sólido (210) y testigo (95). Existe una tendencia a valores superiores, principalmente en el tratamiento líquido, que se encontraban fuera de los límites de los bigotes, indicando una variabilidad inusual. Mientras que, en menor proporción, se observaron valores atípicos con una inclinación a valores inferiores en los tratamientos sólido y testigo (Figura 6)

En el tratamiento sólido, la dispersión de los datos se refleja en la extensión de los bigotes hasta alcanzar el valor máximo de 42, contrastando con los tratamientos testigo, líquido y suelo, los cuales presentan valores máximos de 38, 36 y 35, respectivamente. En cuanto a los valores mínimos, se aprecia una relativa homogeneidad entre los tratamientos líquido, sólido y testigo, con mínimos registrados de 15, mientras que el tratamiento de suelo exhibe un valor mínimo ligeramente inferior, situándose en 12.

La mediana, como medida de tendencia central, revela particularidades en los diferentes tratamientos. El tratamiento sólido destaca al presentar una mediana de 28, en contraste con los tratamientos líquido, suelo y testigo, donde la mediana permanece constante. Este patrón sugiere una mayor concentración de hojas en el tratamiento sólido.

Figura 6.

Caja de bigotes número de hojas



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

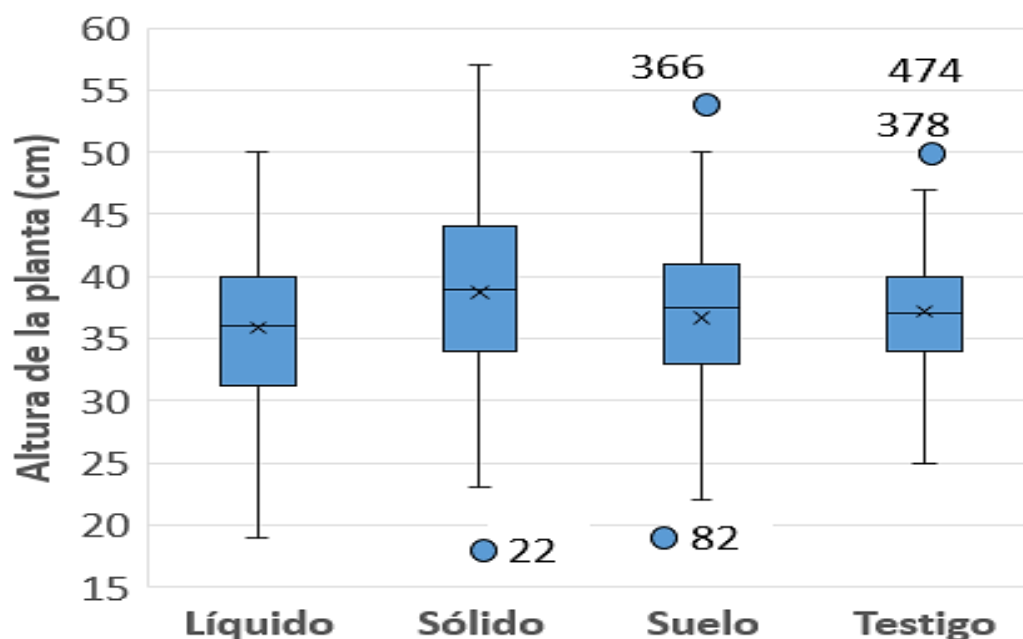
4.2.1.3. Altura de las plantas

Se registra una variabilidad constante en todos los tratamientos. Se observa una presencia predominante de valores atípicos en el tratamiento sólido en la observación (22) en suelo, se evidencian valores atípicos (82, 366) tanto por encima como por debajo de la caja, indicando mediciones que se sitúan significativamente por encima o por debajo de los límites de confianza superiores e inferiores, en testigo (378, 474) donde dichos valores indican que en estas observaciones se obtuvieron valores de mediana fuera del rango al resto de datos (Figura 7).

Respecto a las medidas de tendencia central, se identifica la mayor mediana en el tratamiento sólido, seguido de los tratamientos suelo y testigo metal, mientras que el tratamiento líquido exhibe la mediana de menor proporción.

Figura 7.

Caja de bigotes altura de la planta



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

4.2.2. Variables después de los 32 días del experimento

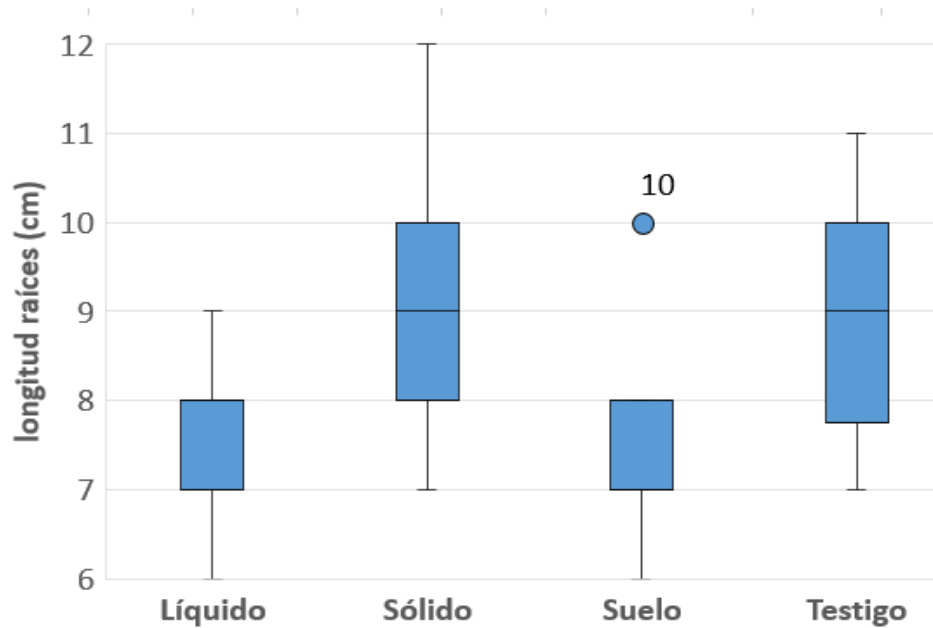
4.2.2.1. Longitud de raíces

Se revela una notoria variabilidad en todos los tratamientos bajo estudio y solo se presentan datos atípicos en el tratamiento suelo en la observación (10), los tratamientos sólido y testigo exhiben similitudes en la dispersión de los datos, mientras que los tratamientos líquido y suelo presentan una homogeneidad relativa en sus distribuciones. La detección de valores atípicos, particularmente en el tratamiento de suelo, sugiere una variabilidad inusual en este tratamiento en comparación con los demás (Figura 8)

En relación con las medidas de tendencia central, se destaca la mayor mediana en los tratamientos sólido y testigo metal, seguida por el tratamiento líquido. Por otro lado, el tratamiento de suelo muestra la mediana de menor proporción entre los tratamientos evaluados. Este patrón de distribución de medianas sugiere una concentración significativa de datos en los tratamientos sólido y testigo metal, lo que contrasta con la menor concentración observada en el tratamiento de suelo.

Figura 8.

Caja de bigotes longitud de raíces



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

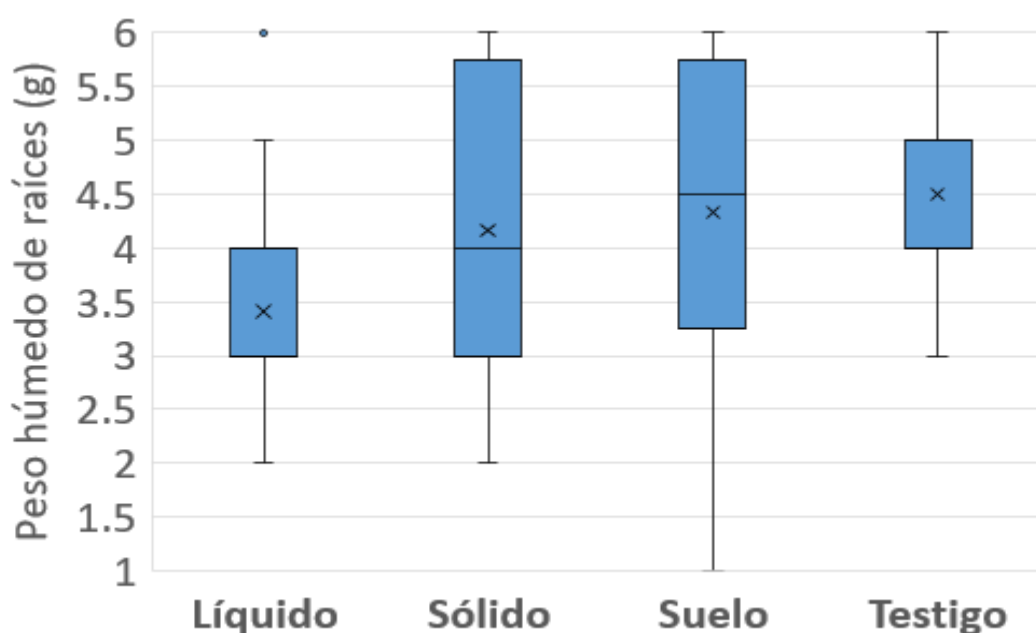
4.2.2.2. Peso húmedo de las raíces

En la Figura 9 se exhibe una marcada variabilidad en todos los tratamientos analizados. La identificación de valores atípicos, especialmente en los tratamientos de líquido en la observación (6) indica una variabilidad inusual en comparación con los demás tratamientos estudiados.

En cuanto a las medidas de tendencia central, se observa una mediana destacada en los tratamientos de suelo, sólido y testigo. Contrariamente, el tratamiento líquido exhibe la mediana de menor magnitud entre los tratamientos evaluados.

Este análisis detallado de la variabilidad y las medidas de tendencia central en el peso húmedo de las raíces proporciona una visión más precisa de las respuestas de las plantas a los diferentes tratamientos experimentales.

Figura 9. Caja de bigotes peso húmedo de las raíces



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

4.2.2.3. Peso húmedo de las hojas

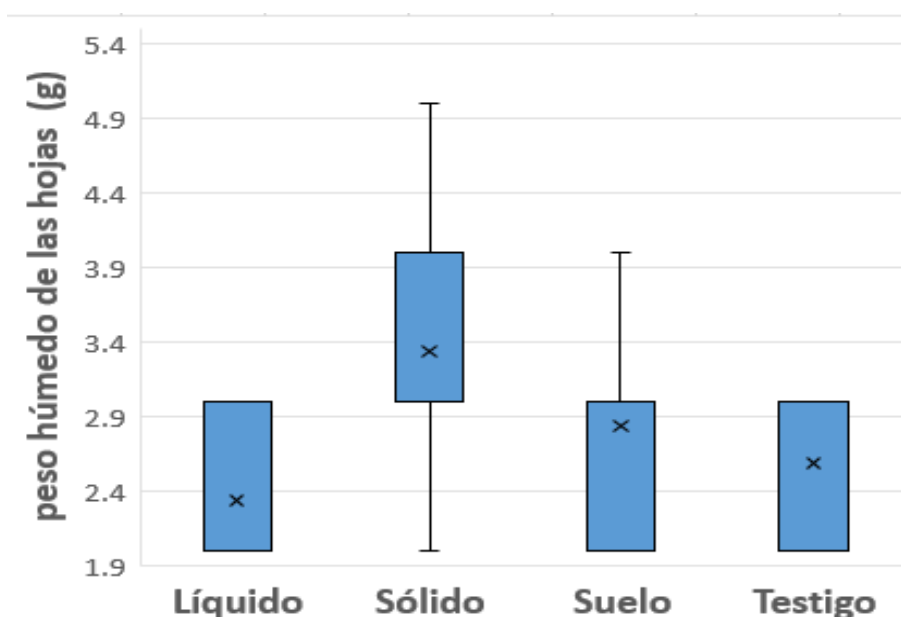
Se presenta una marcada variabilidad, destacando especialmente en el tratamiento sólido en comparación con los tratamientos líquido, suelo y testigo. Es relevante señalar que no se observaron valores atípicos en ninguno de los tratamientos (Figura 10)

En relación a las medidas de tendencia central, se destaca una mediana similar en los tratamientos de sólido, suelo y testigo, sugiriendo una consistencia en la distribución de los datos en estos tratamientos. En contraste, el tratamiento líquido exhibe una mediana de menor magnitud, indicando posiblemente una distribución más sesgada hacia valores más bajos en comparación con los demás tratamientos evaluados.

La ausencia de valores atípicos sugiere una coherencia en la distribución de los datos, mientras que las diferencias en las medianas indican posibles variaciones en la respuesta de las raíces a los distintos tratamientos

Figura 10.

Caja de bigotes Peso húmedo de las hojas



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

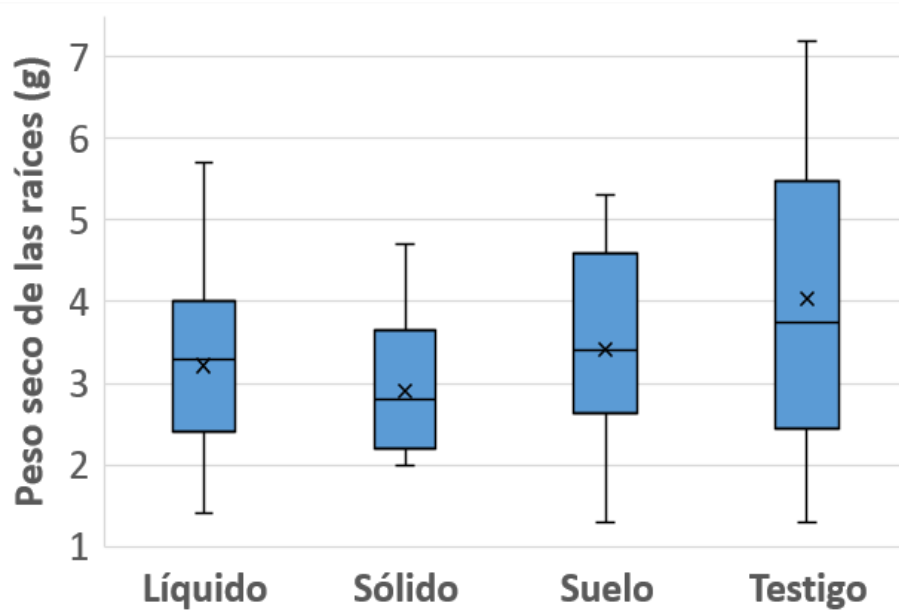
4.2.2.4. Peso seco de las raíces

Se exhibe una notable variabilidad, destacando especialmente en el tratamiento testigo, seguido por el tratamiento de suelo, en comparación con los tratamientos de líquido y sólido. Es importante resaltar que durante el análisis no se identificaron valores atípicos en ninguno de los tratamientos, lo que contribuye a la consistencia y confiabilidad de los datos (Figura 11)

En cuanto a las medidas de tendencia central, sobresale la mayor mediana en el tratamiento testigo, seguido por los tratamientos de suelo y líquido. En contraste, el tratamiento sólido exhibe una mediana de menor magnitud, indicando posiblemente una distribución más sesgada hacia valores más bajos en comparación con los demás tratamientos evaluados.

Figura 11.

Caja de bigotes peso seco de las raíces



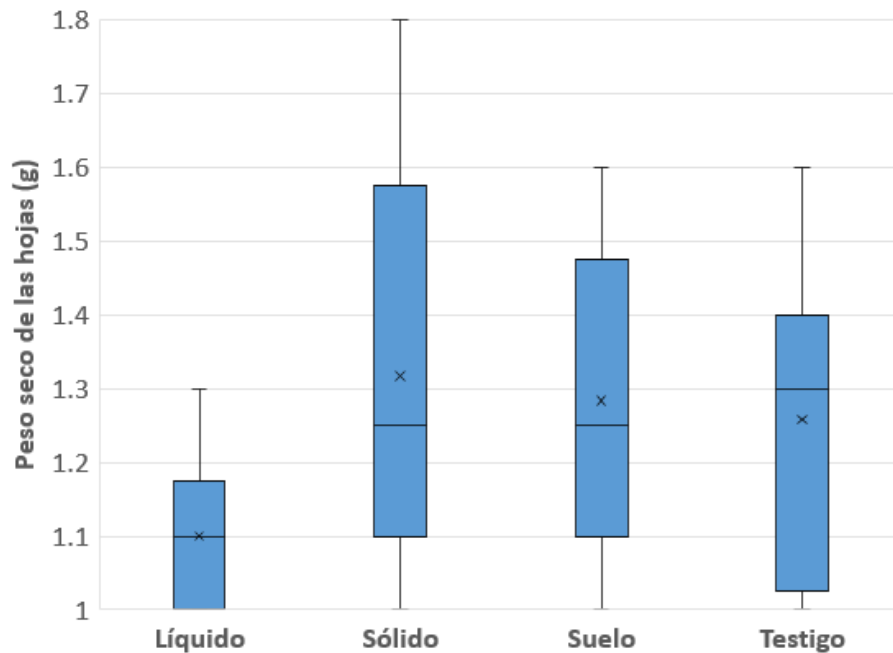
Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

4.2.2.5. Peso seco de las hojas

Se exhibe una variabilidad constante en todos los tratamientos evaluados. Se destaca la ausencia total de valores atípicos en los datos, lo que contribuye a la fiabilidad y coherencia de los resultados obtenidos. Al analizar las medidas de tendencia central, se observa que la mayor mediana se encuentra en el tratamiento testigo metal, seguido de los tratamientos sólido y suelo. En contraste, el tratamiento líquido presenta la mediana de menor magnitud entre los tratamientos evaluados (Figura 12)

Figura 12.

Caja de bigotes peso seco de las hojas



Nota. El grafico representa la caja de bigotes de los tratamientos, se obtuvo de IBM SPSS Statistics 25

4.3 OE3. Cuantificar la cantidad de extracción de Zinc que los hongos micorrícicos arbusculares lograrán extraer del suelo contaminado.

Se observa la variabilidad en la concentración de zinc y mediante el análisis de varianza (ANOVA) revela un modelo corregido con una suma de cuadrados de 2318,364, 3 grados de libertad, y una media cuadrática de 772,788. La intersección, con una suma de cuadrados de 550,939,595 y una prueba F de 286,189 ($p < 0,001$), muestra una contribución significativa al modelo, indicando la presencia de factores determinantes en la concentración de zinc. Sin embargo, el término de tratamiento no muestra significancia estadística ($F = 0,401$, $p = 0,753$) (Tabla 13)

Tabla 13.*Variabilidad en la concentración de Zinc (ANOVA pruebas de efectos inter-sujetos)*

Variable dependiente: Zn					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2318,364 ^a	3	772,788	,401	,753
Intersección	550939,595	1	550939,595	286,189	,000
Tratamiento	2318,364	3	772,788	,401	,753
Error	84703,900	44	1925,089		
Total	637961,858	48			
Total corregido	87022,263	47			

a. R al cuadrado = ,027 (R al cuadrado ajustada = -,040)

FUENTE: IBM SPSS Statistics 25**ELABORADO:** AUTORA

4.3.1. Regresión de variables vegetales y Zinc

En la Tabla 14 se observa las relaciones entre diversas variables clave para comprender el impacto de diferentes factores en el desarrollo vegetal. Los resultados revelan asociaciones significativas y relevantes. La variable "Semilla" muestra una correlación positiva fuerte con un coeficiente de correlación de 0,413, explicando el 17% de la variabilidad observada, con una significancia estadística de $p=0,001$.

En cuanto a la variable "Hojas", se observa una correlación positiva más modesta (0,104), pero aún significativa ($p=0,041$), explicando el 1% de la variabilidad. El "Tallo" exhibe una correlación positiva considerable (0,187) y una significancia de $p=0,039$, contribuyendo al 3% de la variabilidad. Por último, la variable "Altura" revela una correlación positiva robusta con un coeficiente de 0,356, explicando el 13% de la variabilidad, y una significancia estadística de $p=0,001$.

Tabla 14.

Resultados de las variables vegetales y Zinc

Variable	Coefficiente de correlación	Coefficiente de determinación R²	Significancia
Semilla	0,413234432	0,170762696	p=0,001
Hojas	0,103910181	0,010797326	p=0,041
Tallo	0,186714657	0,034862363	p=0,039
Altura	0,35620257	0,126880271	P=0,001

FUENTE: IBM SPSS Statistics 25

ELABORADO: AUTORA

4.4 Discusión

Entre los morfotipos *claroideoglomus lamellosum*, *Acaulosporaceae colombiana*, *A. koskei*, *A. enticulata*, *A. bireticulata*, *Acaulospora sp*, *Acaulospora foveata*, *Acaulospora kentinensis*, *Glomus fistulosum*, *Glomus maculosum*, *Glomus pansihalos*, *Glomus*, *Glomus sp 1*, *Glomus sp 2*, *Rhizófago intraradices*, *Rhizófago manihotis* se encontró en un estudio en bosques secos tropicales en Tolima, Colombia (Devia *et al.*, 2022) donde representan un importante aporte al conocimiento de microorganismos y su respuesta ante diferentes eventos antrópicos y naturales en hábitats amenazados por actividades antropogénicas. Aunque los hongos micorrizicos en suelos afectados por este fenómeno disminuyen en su riqueza y diversidad, aumentan de nuevo al pasar los años y cumplen con la función de resiliencia de la vegetación después de una perturbación (Gemma y Koske, 1990).

De la misma manera estos morfotipos pertenecen al filo Glomeromycota de micorrizas arbusculares que son considerados de importancia mundial porque aumentan en el 72% de las plantas vasculares la absorción de agua y de nutrientes como el fósforo y nitrógeno (van der Heyde *et al.*, 2017), participan en la regulación de nutrientes en los ecosistemas, influyen en la estructura del suelo y confieren a las plantas tolerancia a la sequía, los metales pesados, las enfermedades, y los patógenos (Keymer y Gutjahr, 2018) (Lanfranco *et al.*, 2018).

De la misma familia de especies de micorrizas arbusculares que se obtuvo en el cultivo de cacao, se presentó en Costa Rica (Lovelock *et al.*, 2003). Sin embargo, está por debajo de lo registrado en selvas húmedas de otras regiones del mundo con 27 especies en China (Zhao *et al.*, 2003), 27 especies en Panamá (Mangan *et al.*, 2004), 61 especies en la región occidental de la Amazonía (Stürmer y Siqueira, 2010), 60 especies dentro de una zona de selva y 35 especies en áreas con cierto grado de disturbio dentro de los estados de Chiapas y Veracruz (Violi *et al.*, 2008).

La diferencia de diversidad entre sitios está relacionada con el efecto que tienen las prácticas de manejo del suelo en las muestras seleccionadas, ya que si son muy intensas pueden reducir la diversidad de hongos micorrizicos arbusculares, debido a la sensibilidad de aplicación de fertilizantes (Owen *et al.*, 2009).

La mayor diversidad de especies en el rango de cinco se presenta *Acaulosporaceae bireticulata* con forma Globosa, color marrón claro y *Glomeraceae Rhizófago intraradices*, Globosa, subglobosa color amarillo amarillento. Esta diversidad o disminución se da a causa de los factores como el clima y las propiedades del suelo (la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, el pH, la disponibilidad de N, P y combinadas con las propiedades bióticas que tienen impacto en la cantidad y la distribución de las especies (Chaudhary *et al.*, 2008).

De acuerdo con Lovelock *et al* (2003) *Acaulosporaceae bireticulata* predominó al igual que en un estudio de diversidad, abundancia y variación estacional en la comunidad de hongos micorrizicos arbusculares en Chiapas, México, debido a que esta especie se adapta a suelos degradados y poco fértiles, pero con una alta disponibilidad de agua durante gran parte del año.

De la misma manera (Boddington y Dood, 2000) argumenta que esta especie ayuda en las asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas. Estas asociaciones son vitales para la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, por parte de las plantas. La presencia de esta especie puede influir significativamente en la salud y la productividad de las plantas asociadas. Cuando *Glomeraceae Rhizófago intraradices* coloniza las raíces garantiza el mejoramiento de la absorción de nutrientes que aumentan la capacidad de las plantas, para la recuperación de suelos degradados, formando estructuras micorrícicas que aumentan la superficie de absorción de las raíces y mejoran la captación.

La densidad baja de hongos micorrizicos y la poca calidad del suelo en el cultivo de cacao en cuanto a composición, textura y presencia de nutrientes es deficiente en las cinco muestras (Bever *et al.*, 2002). De igual manera existen prácticas agronómicas como la rotación de cultivos, la aplicación de fertilizantes, el control de malezas, la presencia de enfermedades específicas en el cultivo de cacao y la gestión del riego que pueden afectar la densidad de esporas.

Las prácticas de manejo de enfermedades, como el uso de fungicidas o métodos biológicos. En ambientes áridos y perturbados, la variedad de los hongos micorrícicos arbusculares es baja (Oehl F *et al.*, 2010). La baja densidad de hongos micorrícicos puede ser el resultado de diversas influencias ambientales y prácticas agrícolas que afectan negativamente a su capacidad para establecer y mantener relaciones simbióticas con las plantas.

La planta trampa *O. sativa* fue efectiva para la conducción del experimento en las variables agronómicas, puesto que actúa como un huésped adecuado para aumentar la densidad de los inóculos de hongos micorrícicos arbusculares, debido a su ciclo corto y que en su raíz, colonizan fácilmente (Chaiyasen *et al.*, 2017).

En cuanto a la variable hojas, en la mayoría de los tratamientos se produjo un retardo y marchitamiento, puesto que el exceso de zinc puede llevar a una disminución en la formación de hojas. Esto puede deberse a que según un estudio de la toxicidad del zinc afectó la producción de materia seca, el pigmento de las hojas y la calidad del fruto en fresas *Fragaria sp. cv. Camarosa* que afecta la fotosíntesis y otros procesos metabólicos esenciales para el desarrollo de las hojas, con clorosis generalizada y la aparición, a lo largo de las nervaduras, de puntos rojizos y manchas (Casierra y Poveda, 2005).

En el diámetro de tallo, aunque la aplicación de micorrizas en los distintos tratamientos logró mantener un equilibrio durante los 32 días de contaminación, se tiene en cuenta que en otros estudios las concentraciones elevadas de zinc pueden afectar la formación y elongación de las células del tallo, lo que podría resultar en un diámetro de tallo reducido. Esto se debe a la interferencia del zinc en procesos celulares y en la síntesis de proteínas (Ramani y Kannan, 1985).

De acuerdo con Vallegos *et al* (2022) los resultados de la variable altura de la planta pueden compararse con los obtenidos en el invernadero experimental de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (UCSS) en Perú donde el crecimiento de las plantas obtuvo 80 cm mayoritariamente a los 220 días. Sin embargo, un exceso de zinc puede interferir con la absorción de otros nutrientes esenciales, como el hierro y el manganeso, lo que puede llevar a un crecimiento deficiente de la planta.

Además, altas concentraciones de zinc pueden afectar la elongación celular y, por lo tanto, reducir la altura de las plantas (Efroymsen *et al.*, 1997). Entre las alteraciones por Zn se encuentran clorosis y crecimiento reducido de la planta; esto ocurre porque continua inhibiendo la fijación de CO₂ , el transporte de los hidratos de carbono en el floema y alterando la permeabilidad de la membrana celular (Marschner, 1998).

Las características morfométricas de la variable del peso húmedo de la raíz y estos resultados se pueden comparar en que fueron mayores en las plantas que contenían tratamientos de hongos micorrizicos arbusculares a causa de que estos hacen aumentar el crecimiento y la producción de biomasa (Jungk y Claassen, 1997). De acuerdo con Vallegos *et al* (2022) en Perú se obtuvo un peso de raíz máximo de 6,95g a los 220 días.

La dosis con mayor cuantificación de Zinc que los hongos micorrizicos arbusculares lograrón extraer del suelo contaminado se encuentra en el tratamiento de suelo esporas R2_TSE_200 con 188,9 mg/kg que está relacionado a los resultados de las variables agronómicas con 8 semillas germinadas, diámetro de tallo de 0.08mm; 25 hojas; altura de la planta de 40cm y 18 hojas marchitas. Este resultado influye en que las plantas sensibles presentan retardo en su crecimiento y daño en tejidos con 150 a 200 mg/kg de Zn, puesto que de manera general, el intervalo de toxicidad varía de 100 a 500 mg/kg de Zn (Kabata y Pendias, 2000).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En las cinco muestras recolectadas del sistema agroforestal del cultivo de cacao en la finca experimental la María, se identificaron 16 morfotipos de Hongos Micorrícicos Arbusculares con densidad baja a causa de los factores como el clima, actividades antropogénicas y las propiedades del suelo. Donde las especies predominantes fueron *Acaulosporaceae bireticulata* con forma Globosa, color marrón claro y *Glomeraceae Rhizófago intraradices*, Globosa, subglobosa color amarillo amarillento que son de gran importancia mundial permitiendo en la mayoría de plantas vasculares aumentar la absorción de agua y de nutrientes como el fósforo y nitrógeno, además influyen significativamente en la salud y la productividad de las plantas asociadas mediante la relación simbiótica de hongo raíz.

Las plantas de arroz (*Oryza Sativa*) inoculadas respondieron significativamente a la infección y esporulación por los hongos micorrícicos nativos, mostrando altos niveles de infección micorrizal y producción de esporas. Es por esto que la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares estimulan el desarrollo de mayores respuestas a variables agronómicas.

Entre las principales variables se encuentran el número de hojas en el tratamiento líquido con 39 hojas; en la altura de la planta el tratamiento sólido a una concentración de 200 ppm con 52 cm; en el largo de raíces el tratamiento sólido con 12 cm; en el peso húmedo de las raíces el tratamiento suelo inoculado con esporas con 6cm; en la variable peso húmedo de las hojas el tratamiento sólido con una concentración de 200 ppm con 4g/planta; en el peso seco de las raíces el tratamiento suelo inoculado con esporas a una concentración de 200 ppm se comportó superior a los demás tratamientos con un peso de con 5,3 g/planta; en el peso seco de las hojas el tratamiento sólido con un peso de 1,6 g/planta; en el peso húmedo de suelo el tratamiento suelo esporas con 123g y en el peso seco de suelo el tratamiento suelo inoculado con esporas a una concentración de 200 ppm con 122g. Por tanto, los tratamientos sólidos e inoculados con esporas fueron los más significativos.

La dosis con mayor cuantificación de Zinc que los hongos micorrícicos arbusculares lograron extraer del suelo contaminado se encuentra en el tratamiento de suelo esporas R2_TSE_200 con 188,9 mg/kg y la de menor cuantificación de Zinc se encuentra en el tratamiento liquido R4_TL_100 con 28,28 mg/kg.

5.2 Recomendaciones

La combinación de factores abióticos, junto con las interacciones bióticas, impacta significativamente en la cantidad y distribución de las especies de HMA en el sistema agroforestal de cultivo de cacao. Además, se da la importancia de considerar ambos factores en la gestión y mejoramiento del sistema agroforestal de cacao, buscando estrategias que favorezcan la presencia y actividad de los hongos micorrícicos arbusculares para potenciar el rendimiento y la sostenibilidad del cultivo.

Dada la respuesta significativa de las plantas de arroz a la infección y esporulación por los hongos micorrícicos nativos, es necesario considerar la inoculación sistemática de cultivos de arroz con estos hongos para mejorar las respuestas agronómicas. Dado que los tratamientos sólidos e inoculados con esporas mostraron resultados superiores, es necesario considerar enfoques en programas de manejo del suelo, con el objetivo de mejorar la salud y sostenibilidad del suelo a largo plazo.

Es necesario continuar con investigaciones adicionales para comprender mejor los mecanismos detrás de la interacción entre los hongos micorrícicos y el arroz mediante el monitoreo y adaptación para optimizar los beneficios en función de las condiciones específicas de cada cultivo.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P., Galiano-Murillo, F., & Torres-Cruz, T. J. (2016). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(7), 5. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i7.2700>
- Amezcu, J. C., & Lara, M. (2017). El Zinc en las Plantas. *Ciencia*, 68(3), 28–35. <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/zinc-in-plants>
- Andrango, C., Cueva, M., & Viera, W. (2016). Evaluation of methods to estimate mycorrhizal inoculum potential in field soils. *Revista Ciencia*, 18, 329–352. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3609/1/iniapscCD85.pdf>
- Beltrán, V. M. (2001). Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. *Proyecto de Investigación Para Obtener El Grado de Maestra En Ciencias e Ingeniería Ambientales. UAM-Azacapotzalco*, 176. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/185>
- Benavides, O. P., Pinargote, C. B., Silva, W. M., Zambrano, E. V., & Gutiérrez, V. (2011). *Inoculación de con hongos formadores micorriza arbuscular*. 4(2), 9–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v4i2.110>
- Bever, J. D., A, A. P. & P., & Schultz., A. (2002). *Dynamics within the plant-arbuscular mycorrhizal funfi mutualism: testing the nature of community feedback*. In: M. G. A. VAN DER HEIJDEN & I. R. SANDERS (eds.), *Mycorrhizal Ecology* (pp. 267–292). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-38364-2_11
- Bose, S. K., & Chakraborty, U. C. (1957). Resolutions Adopted at the General Session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st December, 1956. *The Indian Journal of Pediatrics*, 24(1), 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Calle, C. M., Calle, C. A. Á., & Rivillas Osorio, C. A. (2019). *Micorrizas Arbusculares “aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila”*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4223/1/Cap03.pdf>
- Camarena, G. (2012). Interaccion planta-hongos micorrizicos arbusculares. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 409–421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Cano, A. (2013). *Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en plantas de Phaseolus vulgaris L. (fréjol).(Tesis de Título para Ingeniero Agrónomo)*. 1–263. <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/546/1/T-UTEQ-0038%281%29.pdf>
- CEPAL. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad

- para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. In *Publicación de las Naciones Unidas*.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Chen, B. D., Li, X. L., Tao, H. Q., Christie, P., & Wong, M. H. (2003). The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of zinc. *Chemosphere*, 50(6), 839–846.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00228-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00228-X)
- Contreras, J. (2015). *Hongos micorrízicos de plantaciones de teca (tectona grandis l.) y su potencial como biofertilizantes en plántulas a nivel de vivero*.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1727/1/T-UTEQ-0020.pdf>
- Darquea, A. T. H. (2020). *The hidden symbiont: Exploring arbuscular mycorrhizae in the Ecuadorian Amazon*.
<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/9576/1/122863.pdf>
- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Espinoza, C. R. (1989). *Metales pesados*. 4, 73–75.
[file:///C:/Users/licet/Downloads/adminojs,+uazuay-revista-Coloquio-066-08-SALUD \(2\).pdf](file:///C:/Users/licet/Downloads/adminojs,+uazuay-revista-Coloquio-066-08-SALUD%20(2).pdf)
- García, R. A. (2021). *Micorrizas arbusculares y su interacción con especies forestales del bosque protector Pedro Franco Dávila del recinto Jauneche, cantón Palenque, provincia de Los Ríos*. 1–74. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6337>
- Garzón, L. P. (2015). Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Luna Azul*, 42, 217–234.
<https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.14>
- Gerdemann, J. W. ;, & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), IN8-296. [https://doi.org/http://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/http://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0).
- Guevara, E., Guenni, O., & Básicas, C. (2013). Densidad y longitud de raíces en plantas de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit. *Multiciencias*, 13, 372–380.
<https://www.redalyc.org/pdf/904/90430055005.pdf>
- Guthery, Fred S., et al. (2001). “*Land Cover and Bobwhite Abundance on Oklahoma Farms*

- and Ranches*, 16(May 2017), 1–17. <https://doi.org/10.14507/epaa.v16n16.2008>
- Mamani Sánchez, B. (2011). Principales Funciones de lo Macronutrientes y Síntomas de Deficiencia en las plantas. *Sistemas de Producción Vegetal II*, 23–25. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas_de_produccion_vegetal_2.pdf
- Mayorga-Ponce, R. B., Graciano-Ventura, D. C., Hernández, A. M., Moctezuma-Jiménez, P. M., Pérez-Galindo, B., & Roldan-Carpio, A. (2022). Cuadro comparativo de Análisis Paramétrico y No Paramétrico Main Comparative table of Parametric and Non-Parametric Analysis. *Publicación Semestral*, 10(20), 90–93. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/issue/archive%0AEducación>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente TULSMA. *Tulsma*, 1–17. https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/36/LIBRO_VI_Anexo_1_Normas_Recurso_Agua.pdf
- Moina-Quimi, E., Oviedo-Anchundia, R., Nieto-Barciona, S., Herrera-Samaniego, P., & Barcos-Arias, M. (2018). Evaluación de los Hongos Micorrízicos Arbusculares de zonas del trópico húmedo del Ecuador. *Bionatura*, 3(1), 531–536. <https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.01.9>
- Moreno Vera, A. N., & Núñez Cruz, Y. J. (2015). Elaboración de un plan de promoción turístico del cantón Mocache, provincia de Los Ríos. *Scielo.Sld.Cu*, 2020(2), 105. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/119/1/T-UTEQ-0013.pdf>
- Paillacho, F. (2010). Evaluación de la Efectividad de las Micorrizas Arbusculares Nativas Sobre el Desarrollo y Estado Nutritivo del Palmito. *Escuela Politécnica Del Ejército*, 92. http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2892/1/T-ESPE-IASA_II-002332.pdf
- Pamela, K., Ledezma, R., Pedro, C., & Revilla, E. (2014). Contaminación por metales pesados. *Heavy Metal Contamination of Water and Soil*, 51–51. <https://doi.org/10.1201/b16566-4>
- Plaza, M. (2021). *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debido al cultivo de maíz (Zea Mays) en la zona de la provincia de Los Ríos*. 1–158. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6164/1/T-UTEQ-116.pdf>
- Prefectura de los Rios. (2020). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial*. <http://losrios.gob.ec/publicdocts/PDyOTGADPLOSRIOS2020diagnostico.pdf>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una

- realidad oculta. In *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura FAO*. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Rubio, C., González Weller, D., Martín-Izquierdo, R. E., Revert, C., Rodríguez, I., & Hardisson, A. (2007). El zinc: Oligoelemento esencial. *Nutricion Hospitalaria*, 22(1), 101–107. <https://doi.org/10.23853/bsehm.2001.0510>
- Ruytinx, J., Kafle, A., Usman, M., Coninx, L., Zimmermann, D., Garcia, K., Ruytinx, J., Kafle, A., Usman, M., Coninx, L., & Zimmermann, S. D. (2021). *Micronutrient transport in mycorrhizal symbiosis ; zinc steals the show*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.09.001>
- Saboor, A., Ali, M. A., Danish, S., Ahmed, N., Fahad, S., Datta, R., Ansari, M. J., Nasif, O., Rahman, M. H. ur, & Glick, B. R. (2021). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the physiological functioning of maize under zinc-deficient soils. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97742-1>
- Saboor, A., Ali, M. A., Hussain, S., El Enshasy, H. A., Hussain, S., Ahmed, N., Gafur, A., Sayyed, R. Z., Fahad, S., Danish, S., & Datta, R. (2021). Zinc nutrition and arbuscular mycorrhizal symbiosis effects on maize (*Zea mays* L.) growth and productivity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(11), 6339–6351. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.096>
- Sandoval, K., & Orquidea, N. (2019). *Obtención de inoculantes puros de hongos micorrízicos arbusculares monospórico y consorcio en cultivo de brachiaria decumbens como opción para la reducción de fertilizantes sintéticos en el departamento de Ucayali*. 1–61. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4436/000004437T_AMBIENTA L.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2021). Plan nacional de desarrollo 2021-2025. *Lexis*, 1(5), 1–84. <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/36483282/PLAN+NACIONAL+DE+DESARROLLO+2021-2025/2c63ede8-4341-4d13-8497-6b7809561baf>
- Suarez, L. Y. T. (2015). *Efecto de inóculos de hongos micorrízicos arbusculares sobre la nutrición fosfatada y rendimiento de caña de azúcar*. 1, 1–27. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/17/Ordenez-Jarhii.pdf>
- Terrafex. (2001). *Consejos sobre el uso de audífonos*. https://terrafertil.com/docs/Terrafertil-Consejos_uso_de_Sustrato.pdf
- Thoungnon Islas, A. J., Eyherabide, M., Echeverría, H. E., Sainz Rozas, H. R., &

- Covacevich, F. (2014). Capacidad micotrófica y eficiencia de consorcios con hongos micorrícicos nativos de suelos de la provincia de Buenos Aires con manejo contrastante. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(2), 133–143. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70062-8](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70062-8)
- TULSMA. (2017). Texto unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI Anexo 2. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. *Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*, 18. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>
- Vallejos-Torres, G., Tenorio-Cercado, M. A., Gaona-Jimenez, N., Corazon-Guivin, M. A., Luna, J. O., Paredes, C. I., Saavedra, J., Tuesta, J. C., Tuesta, O. A., Alguacil, M. M., Becerra, A. G., & Marín, C. (2022). Multiplication of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from cocoa cultivated soils. *Bioagro*, 34(3), 265–276. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.6>
- Vilcapoma, D. (2019). *Fitoextracción de cadmio y zinc en suelos contaminados utilizando Lactuca sativa var . White Boston , en la Estación Agropecuaria Experimental El Mantaro - Junín 2019.* 0, 35. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5460/T010_43681971_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Viteri Viteri, G. I., & Zambrano, C. (2017). Comercialización de arroz en Ecuador: Análisis de la evolución de precios en el eslabón productor-consumidor. *Ciencia y Tecnología*, 9(2), 11. <https://doi.org/10.18779/cyt.v9i2.210>
- Alvarado, A., Chavarría, M., Guerrero, R., Boniche, J., & Navarro, J. (2004). Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L. f.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*(28), 89-100. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43628109.pdf>
- Boddington, C., & Dood, J. (2000). The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi Field studies in an Indonesian Ultisol. *Plant and Soil*(218), 137-144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1014966801446>

- Cámara oficial Española de comercio del Ecuador. (2021).
<https://www.camaraofespanola.org/geografia-de-ecuador/>
- Casierra, P., & Poveda, J. (2005). Manganese and zinc toxicity reduce dry matter production, leaf pigment and fruit quality in strawberries (*Fragaria* sp. cv. Camarosa). *Agronomía Colombiana*, *II*(23), 283-289.
<http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v23n2/v23n2a13.pdf>
- Chaiyasen, A., Leardwiriyaakool, C., Douds, D., & Lumyong, S. (2017). Influence of host plants and soil diluents on arbuscular mycorrhizal fungus propagation for on-farm inoculum production using leaf litter compost and agrowaste. *Biol. Agric. Hortic*, 33-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1187670>
- Chaudhary, V., Lau, M., & Johnson, N. (2008). Macroecology of microbes biogeography of the Glomeromycota. In: Varma, A. (ed.), *Myco rrhiza*. Springer-Verlag, Berlin., 529-565. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-78826-3_26
- Clark, R. (1997). Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. . *Plant Soil* (192), 15-22.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1004218915413>
- Clark, R., Zobel, R., & Zeto, S. (1999). Effects of mycorrhizal fungus isolates on mineral acquisition by *Panicum virgatum* in acidic soil. *Mycorrhiza*(9), 167-176.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s005720050302>
- Cuenca, G., Cáceres, A., & Oirdobro, G. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en areas tropicales.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100006&lng=es&tlng=es.
- Devia, G., Varón, L. M., & López, E. (2021). Hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en bosques secos tropicales (BST) afectados por fuego y depósitos fluviovolcánicos en el departamento del Tolima, Colombia.
<http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v45n177/0370-3908-racefn-45-177-1137.pdf>
- Devia, L., Pérez, U., López, E., & Varón, M. (2022). Hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en bosques secos tropicales (BST) afectados por fuego y depósitos fluviovolcánicos en el departamento del Tolima, Colombia. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* , 45 (177), 1137-1153., 45(177), 1137-1153. <https://doi.org/https://doi.org/10.18257/raccefyn.1482>
- Efroymson, R., Will, M., Suter, G., & Wooten, A. (1997). Toxicological benchmarks for screening contaminants of potential concern for effects on terrestrial plants.

- Department of Energy, Office of Environmental Management Activities at the East Tennes, Park*, 123. <https://rais.ornl.gov/documents/tm85r3.pdf>
- Gavito, M. E., Pérez, C., González, M. C., Vieyra, H. T., & Martínez, T. M. (2008). High compatibility between arbuscular mycorrhizal fungal communities and seedlings of different land use types in a tropical dry ecosystem. *Mycorrhiza*(19), 47-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00572-008-0203-4>
- Gemma, J., & Koske, R. E. (1990). Mycorrhizae in recent volcanic substrates in Hawaii. *American Journal of Botany. Sociedad Botánica de América*, 77(9), 1193-1200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1990.tb13618.x>
- INAMHI. (2017). *Estación Experimental Tropical Pichilingue*. <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- Jungk, A., & Claassen, N. (1997). Ion diffusion in the soil-root system. . *Advances in Agronomy* (61), 53-110.
- Kabata, P., & Pendias, H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*, 2ª Edición, CRC Press,1992. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781420039900/trace-elements-soils-plants-alina-kabata-pendias>
- Keymer, A., & Gutjahr, C. (2018). Cross-kingdom lipid transfer in arbuscular mycorrhiza symbiosis and beyond. *Current Opinion in Plant Biology*. (44), 137-144.
- Klironomos, J., McCune, J., & Moutoglou, P. (2004). Species of arbuscular mycorrhizal fungi affect mycorrhizal responses to simulated herbivory. *Appl. Soil Ecol*(26), 133-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.11.001>
- Lajunen, L., & Peramaki, P. (2004). *Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission*. <https://books.rsc.org/books/monograph/411/Spectrochemical-Analysis-by-Atomic-Absorption-and>
- Lanfranco, L., Fiorilli, V., & Gutjahr, C. (2018). Partner communication and role of nutrients in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*. 220(4), 1031-1046. [https://doi.org/ https://doi.org/10.1111/nph.15230](https://doi.org/https://doi.org/10.1111/nph.15230)
- Lovelock, C., Anderson, K., & Morton J, B. (2003). Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia*, 268-279. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/02-5309>
- Mangan, S., Eom, A., Adler G, H., Yavitt, J., & Herre, E. (2004). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi across a fragmented forest in Panama: insular spore communities

- differ from mainland communities. *Oecologia*(141), 687-700.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-004-1684-2>
- Marschner, H. (1998). Mineral nutrition of higher plants. *Academic Press, San Diego, CA*, 313-396. https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higher-plants-Marschner-2012.pdf
- Oehl F, E., Laczko, A., Bogenrieder, K., Stahr, R., & Bösch, M. (2010). Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Sol. Biol. Biochem. van der HEIJDEN & E. SIEVERDING*.(42), 724-738. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071710000234>
- Owen, S., Sieg, C., Gehring, C., & Bowker, M. (2009). Above and belowground responses to tree thinning depend on the treatment of tree debris. *Forest Ecology and Management*, 259(1), 71-80.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811270900704X>
- Ramani, S., & Kannan, S. (1985). Studies on Translocation of Zinc in Bean Plants: Evidence for Retranslocation during New Growth. *Elsevier*, 121, 313-318.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(85\)80024-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80024-9)
- Rosales, J. Y., Pérez, L., Sánchez, I., & Cruz, J. (2022). Micorrizas arbusculares y su efecto sobre el desarrollo vegetativo de portainjertos de limón (*Citrus limon* L.). *Universidad Nacional Agraria*, 22(38).
<https://lcalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/487/817>
- Shukla, A., Kumar, A., Jha, A., Chaturvedi, O. P., Prasad, R., & Gupta, A. (2008). Effects of shade on arbuscular mycorrhizal colonization and growth of crops and tree seedlings in Central India. *Agrofor. Syst.*(76), 95-109.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10457-008-9182>
- Stürmer, S., & Siqueira, J. (2010). Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Wes tern Brazilian Amazon. *Mycorrhiza*. 21, 255-267. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0330-6>
- van der Heyde, M., Ohsowski, B., Abbott, L. K., & Hart, M. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungus responses to disturbance are context-dependent. *Mycorrhiza*, 27(5), 431-440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00572-016-0759-3>
- Violi, H., Barrientos, A., Wright, S., Escamilla, P., Morton, J., Menge, J., & Lovatt, C. (2008). Disturbance chan ges arbuscular mycorrhizal fungal phenology and soil glomalin concentrations but not fungal spore composition in montane rai. https://www.researchgate.net/publication/222411272_Disturbance_changes_arbus

cular_mycorrhizal_fungal_phenology_and_soil_glomalin_concentrations_but_not
_fungal_spore_composition_in_montane_rainforests_in_Veracruz_and_Chiapas_
Mexico

Zhao, Z., Wang, G., & Yang, L. (2003). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a tropical rainforest of Xishuangbanna, southwest China. *Fungal Diversity*(13), 233-242. <https://www.fungaldiversity.org/fdp/sfdp/FD13-233-242.pdf>

CAPITULO VII

ANEXOS

Anexo 1.

Cronograma del proyecto

		Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
No. OE	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Conocimientos básicos del laboratorio	X	X								
1	Elaboración de sustrato y sacarosa al 20% y 60%.	X	X								
1	Colecta de muestras de suelos			X	X	X					
1	Aislamiento de esporas de HMA					X					
2	Preparación, esterilización y uso de sustrato, inoculación y contaminación de zinc						X	X			
3	Análisis en laboratorio INIAP, análisis estadísticos en programas. Elaboración y entrega del informe final								X	X	
3	Socialización de resultados, Elaboración de informes.										X

Anexo 2.

Recolección de muestras de suelo para el objetivo 1



Anexo 3.

sacarosa, tamizado, decantación, centrifugación, observación e inoculación de micorrizas para el desarrollo del objetivo 1



Anexo 4.

Medición del pH



Anexo 5.

Desinfección de semillas de arroz (*Oryza Sativa*) para la siembra



Anexo 6.

Esterilización del sustrato y riego con agua destilada durante los 32 días del experimento



Anexo 7.

Preparación del líquido comercial para la inoculación.



Anexo 8.

Inoculación con micorrizas el 9 de noviembre del 2023



Anexo 9.

Preparación de las concentraciones 200ppm, 150ppm y 100 ppm para la contaminación con el Zinc.



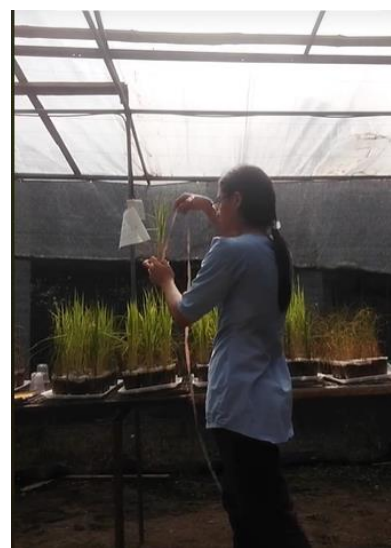
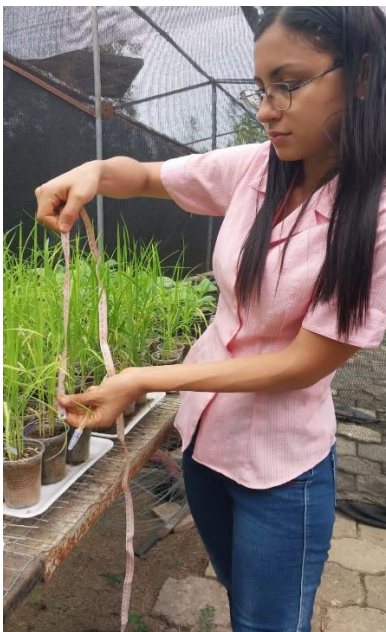
Anexo 10.

Contaminación de las plantas trampa de O. Sativa con Zinc el 15 de noviembre del 2023.



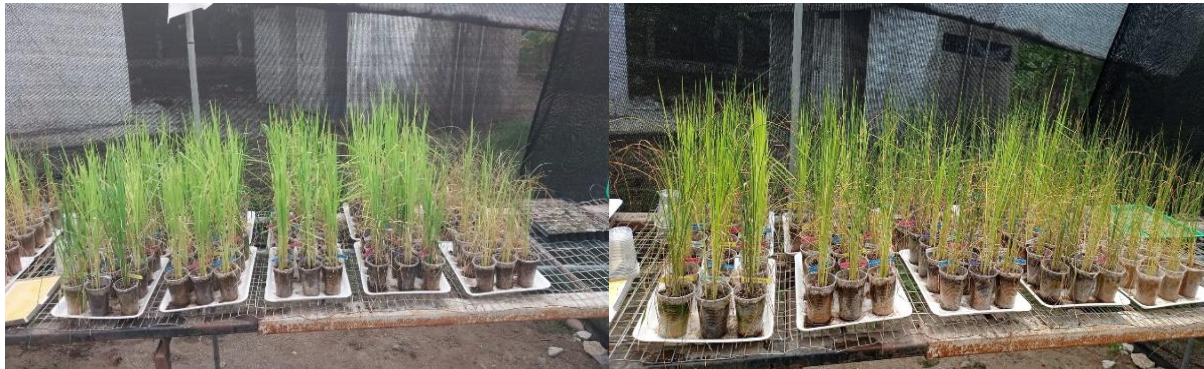
Anexo 11.

Mediciones realizadas semanalmente durante los días 9,16,23 y 30 de noviembre y el 7,18 diciembre del 2023 de las plantas trampa O. Sativa



Anexo 12.

Evidencia de las unidades 1 y 2 con las diferentes repeticiones que fueron analizadas durante 32 días



Anexo 13.

Toma de datos de las mediciones registradas en campo durante los 32 días del experimento

Jueves Nov 16/23

Fecha: 15 días antes de contaminar jueves Noviembre 16/23

Unidad 1

Unidad 2

15 días antes de contaminar

Unidad	Repeticiones	Diámetro de tallo	Número de hojas	Alteza de planta	Observaciones
Unidad 1	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R1.12. Unidad 1, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
Unidad 2	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm
	R2.12. Unidad 2, 200gms	0.00mm	2.0	2.0cm	2.0cm

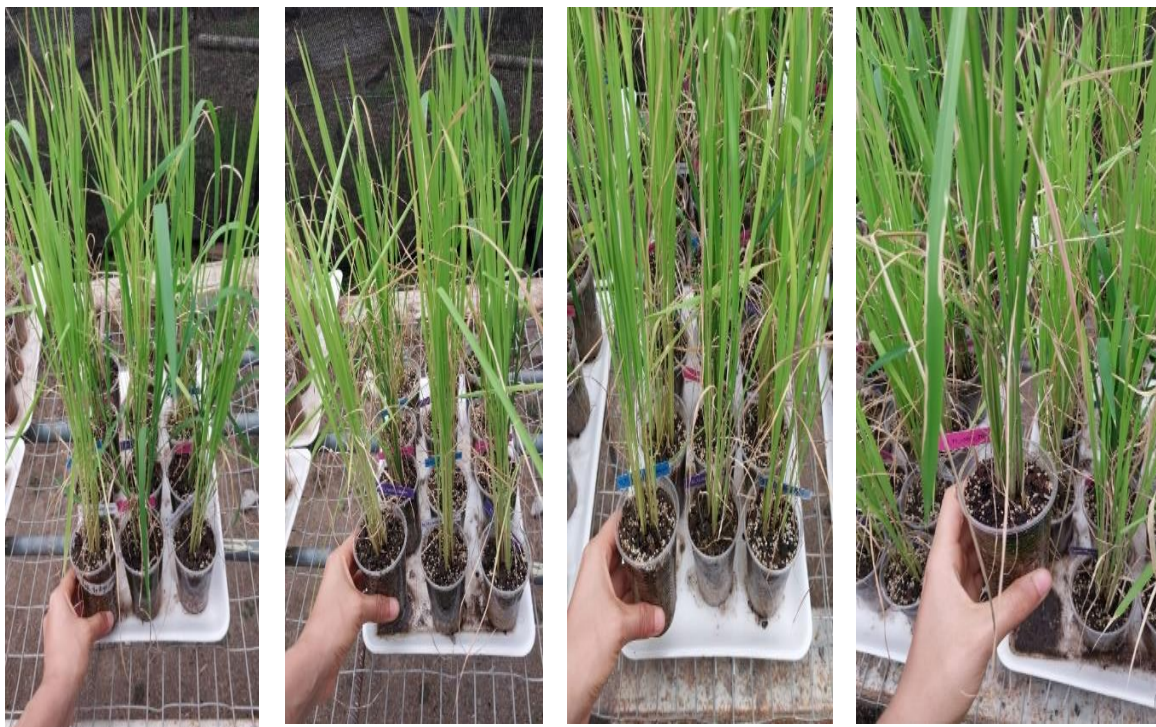
Anexo 14.

Unidad 1 con las repeticiones R1,R2,R3 y R4 del experimento



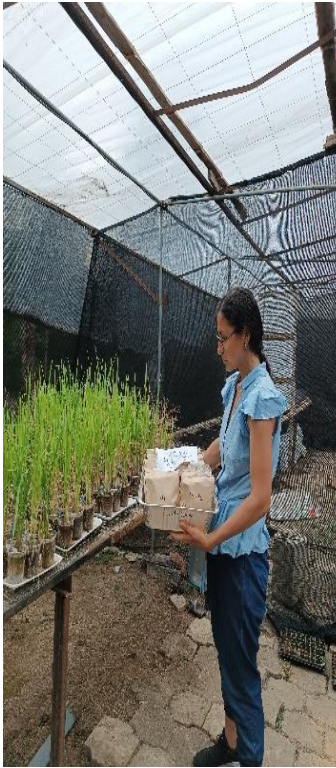
Anexo 15.

Unidad 2 con las repeticiones R1,R2,R3 y R4 del experimento



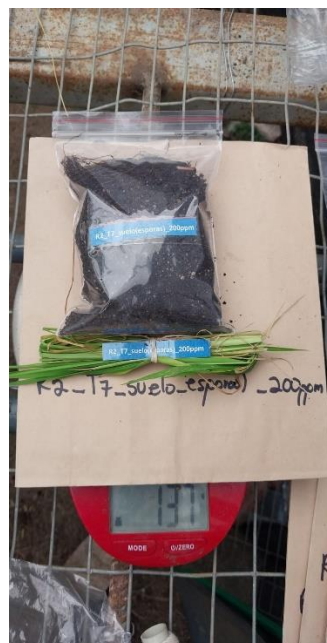
Anexo 16.

Plantas de arroz analizadas durante los 32 días.



Anexo 17.

Desmontaje del experimento a los 32 días de realizar la contaminación con Zinc, el 18 de diciembre del 2023



Anexo 18.

Desmontaje del experimento el 18 de diciembre del 2023



Anexo 19.

Muestras colocadas en la estufa el 21 de diciembre a las 8:00 am durante 24 horas para medir el peso seco de las hojas, raíces y suelo.



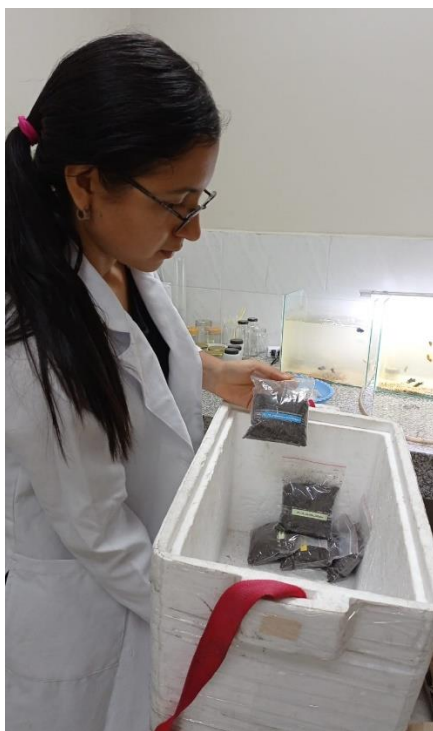
Anexo 20.

Muestras sacadas de la estufa el 22 de diciembre del 2023 para medir el peso seco del suelo, raíz y hojas donde posteriormente fueron guardadas en el laboratorio de microbiología para posterior análisis.



Anexo 21.

48 Muestras seleccionadas del objetivo 3 para enviar a análisis de suelo el 23 de enero del 2024



Anexo 22.

Resultados del objetivo 3 análisis de suelo del zinc laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas INIAP.



ESTACIÓN EXPERIMENTAL TROPICAL PICHILINGUE

LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS					
Km 5 carretera Quevedo – El Empalme; Apartado 24					
Quevedo – Ecuador Teléfonos: 783128 Ext.201					
Nombre del propietario	OSCAR PRIETO	Tel: 0939453803	REPORTE	11306	
Nombre de la propiedad	BENAVIDES		N°		
Localización	UTEQ – LAMARÍA		Fecha de muestreo	01/12/2023	
	QUEVEDO	LOS RÍOS	Fecha de ingreso	22/01/2024	
			Fecha de resultados	20/02/2024	

Anexo 23.

Resultado e interpretación de análisis de zinc semitotal en suelo

Número de laboratorio	Identificación de la muestra	Zn mg kg ⁻¹
2159	R1_T1_Líquido_200ppm	179,07
2160	R1_T2_Líquido_150ppm	118,81
2161	R1_T3_Líquido_100ppm	94,74
2162	R1_T4_solido_200ppm	123,25
2163	R1_T5_solido_150ppm	116,95
2164	R1_T6_solido_100ppm	48,64
2165	R1_T7_suelo(esporas)_200ppm	188,6
2166	R1_T8_suelo(esporas)_150ppm	130,14
2167	R1_T9_suelo(esporas)_100ppm	47,91
2168	R1_T10_testigo(metal)_200ppm	181,68
2169	R1_T11_testigo(metal)_150ppm	140,78
2170	R1_T12_testigo(metal)_100ppm	76,34
2171	R2_T1_Líquido_200ppm	109,55
2172	R2_T2_Líquido_150ppm	128,79
2173	R2_T3_Líquido_100ppm	44,39
2174	R2_T4_solido_200ppm	146,14
2175	R2_T5_solido_150ppm	135,19
2176	R2_T6_solido_100ppm	75,78
2177	R2_T7_suelo(esporas)_200ppm	188,9
2178	R2_T8_suelo(esporas)_150ppm	108,25
2179	R2_T9_suelo(esporas)_100ppm	85,9
2180	R2_T10_testigo(metal)_200ppm	157,6
2181	R2_T11_testigo(metal)_150ppm	113,94
2182	R2_T12_testigo(metal)_100ppm	46,36
2183	R3_T1_Líquido_200ppm	137,87
2184	R3_T2_Líquido_150ppm	103,73
2185	R3_T3_Líquido_100ppm	44,12
2186	R3_T4_solido_200ppm	110,03
2187	R3_T5_solido_150ppm	90,47
2188	R3_T6_solido_100ppm	66,70
2189	R3_T7_suelo(esporas)_200ppm	184,25
2190	R3_T8_suelo(esporas)_150ppm	60,70

2191	R3_T9_suelo(esporas)_100ppm	72,08
2192	R3_T10_testigo(metal)_200ppm	124,90
2193	R3_T11_testigo(metal)_150ppm	129,7
2194	R3_T12_testigo(metal)_100ppm	86,06
2195	R4_T1_Líquido_200ppm	103,84
2196	R4_T2_Líquido_150ppm	129,47
2197	R4_T3_Líquido_100ppm	28,28
2198	R4_T4_solido_200ppm	117,69
2199	R4_T5_solido_150ppm	112,30
2200	R4_T6_solido_100ppm	41,94
2201	R4_T7_suelo(esporas)_200ppm	160,66
2202	R4_T8_suelo(esporas)_150ppm	81,88
2203	R4_T9_suelo(esporas)_100ppm	44,28
2204	R4_T10_testigo(metal)_200ppm	143,90
2205	R4_T11_testigo(metal)_150ppm	103,78
-----2206-----	R4_T12_testigo(metal)_100ppm	76,15

Laboratorista

Anexo 24.

Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas antes de contaminar semana 1 (16 de noviembre del 2023).

unidad 1	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
					2 hojas amarillo claro
R1_TL_200	7	0.01	20	25	
R2_TL_200	8	0.01	23	27	todas verde
R3_TL_200	6	0.01	16	26	manchas amarillas, 1 hoja café
R4_TL_200	10	0.01	30	29	1 hoja quebrada
R1_TL_150	7	0.01	23	31	todas verde
R2_TL_150	8	0.01	24	28	todas verde

R3_TL_150	7	0.01	20	23	3 hojas manchas café
R4_TL_150	9	0.01	22	28	2 quebradas
R1_TL_100	7	0.01	22	28	todas verdes
R2_TL_100	8	0.01	20	28	todas verdes
R3_TL_100	7	0.01	21	28	puntas amarillas
R4_TL_100	6	0.01	27	28	2 quebradas
R1_TS_200	7	0.01	27	34	todas verdes
R2_TS_200	10	0.01	30	25	4 hojas amarillas
R3_TS_200	7	0.01	23	42	verdes
R4_TS_200	8	0.01	30	29	1 quebrada
R1_TS_150	9	0.01	29	37	todas verdes
R2_TS_150	10	0.01	31	30	5 hojas amarillas
R3_TS_150	7	0.01	22	34	verdes
R4_TS_150	9	0.01	22	30	1 quebrada
R1_TS_100	7	0.01	22	33	todas verdes
R2_TS_100	6	0.01	16	18	5 hojas amarillas
R3_TS_100	5	0.01	20	30	todas verde
R4_TS_100	9	0.01	27	23	1 hoja quebrada
R1_TSE_200	8	0.01	26	29	todas verde
R2_TSE_200	8	0.01	23	28	2 hojas amarillas
R3_TSE_200	10	0.01	31	30	todas verdes
R4_TSE_200	8	0.01	27	28	1 quebrada
R1_TSE_150	8	0.01	23	32	todas verde
R2_TSE_150	5	0.01	14	27	todas las hojas verde
R3_TSE_150	6	0.01	20	33	3 quebradas, 1 café
R4_TSE_150	6	0.01	20	31	1 quebrada
R1_TSE_100	7	0.01	24	33	todas verde
R2_TSE_100	10	0.01	30	27	1 hoja amarilla
R3_TSE_100	6	0.01	17	28	2 hojas quebradas

R4_TSE_100	7	0.01	24	34	1 quebrada
R1_TTM_200	9	0.01	23	28	todas verde
R2_TTM_200	8	0.01	24	32	hojas verde
R3_TTM_200	9	0.01	26	31	3 quebradas
R4_TTM_200	6	0.01	24	34	1 quebrada
R1_TTM_150	7	0.01	21	32	todas verdes
R2_TTM_150	8	0.01	23	29	1 hoja con mancha café
R3_TTM_150	8	0.01	25	29	todas rectas
R4_TTM_150	8	0.01	28	28	1 quebrada
R1_TTM_100	7	0.01	21	31	todas verdes
R2_TTM_100	5	0.01	19	32	3 hojas quebradas y dobladas
R3_TTM_100	10	0.01	29	28	2 quebradas
R4_TTM_100	8	0.01	24	30	1 quebrada

ELABORADO: AUTORA

Anexo 25.

Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas antes de contaminar semana 1(16 de noviembre del 2023)

unidad 2	Semillas germinadas	Diámetro tallos (mm)	de	Numero de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	7	0.02		19	32	2 amarillas
R2_TL_200	10	0.03		29	28	todas rectas
R3_TL_200	9	0.02		27	30	2 hojas con puntas café
R4_TL_200	10	0.01		30	36	3 hojas con puntas café
R1_TL_150	8	0.02		25	30	2 hojas amarillas
R2_TL_150	9	0.02		26	31	1 hoja café
R3_TL_150	9	0.01		22	26	4 hojas con puntas café

R4_TL_150	6	0.02	19	33	1 hoja seca y 1 hoja quebrada
R1_TL_100	7	0.04	19	19	8 hojas café
R2_TL_100	6	0.02	18	29	1 hoja café
R3_TL_100	6	0.02	18	27	3 hojas secas
R4_TL_100	9	0.01	23	33	2 hojas secas
R1_TS_200	8	0.03	23	39	hojas verdes
R2_TS_200	9	0.02	31	32	manchas verdes
R3_TS_200	9	0.03	31	36	3 puntas amarillas
R4_TS_200	10	0.02	29	27	2 hojas verde claro
R1_TS_150	7	0.03	20	26	2 hojas amarillas
R2_TS_150	8	0.01	22	24	2 cafés
R3_TS_150	8	0.03	23	39	1 hoja amarilla
R4_TS_150	10	0.01	37	36	1 hoja verde, 1 hoja torcida
R1_TS_100	6	0.03	20	32	1 hoja amarilla
R2_TS_100	6	0.02	19	29	1 hoja quebrada
R3_TS_100	9	0.02	30	32	1 hoja quebrada
R4_TS_100	10	0.01	32	31	2 hojas cafés, 3 hojas amarillas
R1_TSE_200	9	0.03	28	37	3 hojas quebradas
R2_TSE_200	7	0.03	22	33	hojas verdes y rectas
R3_TSE_200	10	0.02	28	29	verdes
R4_TSE_200	10	0.01	32	31	2 hojas cafés y 3 hojas amarillas
R1_TSE_150	9	0.03	28	37	3 hojas quebradas
R2_TSE_150	6	0.03	18	41	verdes, rectas
R3_TSE_150	6	0.01	20	33	verdes
R4_TSE_150	8	0.02	23	32	hojas verde claro
R1_TSE_100	8	0.03	25	33	1 hoja quebrada
R2_TSE_100	9	0.02	23	19	hojas amarillas
R3_TSE_100	5	0.01	18	28	hojas amarillas
R4_TSE_100	10	0.02	29	35	hojas verde claro
R1_TTM_200	9	0.03	26	31	2 hojas quebradas
R2_TTM_200	8	0.01	22	26	2 amarillas
R3_TTM_200	9	0.01	27	33	hojas verde claro

R4_TTM_200	10	0.02	29	32	2 hojas quebradas
R1_TTM_150	9	0.03	30	40	2 quebradas
R2_TTM_150	7	0.02	26	38	2 quebradas
R3_TTM_150	9	0.02	28	37	verde claro
R4_TTM_150	10	0.02	31	32	1 hoja quebrada
R1_TTM_100	6	0.03	18	29	1 hoja café
R2_TTM_100	7	0.03	21	25	1 hoja quebrada
R3_TTM_100	5	0.02	10	28	hojas amarillo claro
R4_TTM_100	10	0.02	30	34	1 quebrada

ELABORADO: AUTORA

Anexo 26.

Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas a los 8 días después de contaminar semana 2 (23 de noviembre del 2023)

unidad 1	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	7	0.03	25	30	6 hojas amarillas 10hojas puntas café, y
R2_TL_200	8	0.02	26	31	amarillas
R3_TL_200	6	0.02	20	31	7 hojas café y 1 hoja amarilla
R4_TL_200	10	0.03	36	29	17 hojas marchitas
R1_TL_150	7	0.03	24	33	8 hojas amarillas
R2_TL_150	8	0.02	29	36	7 hojas puntas café, amarilla
R3_TL_150	7	0.01	18	29	10 hojas marchitas
R4_TL_150	9	0.01	27	33	6 hojas marchitas
R1_TL_100	7	0.02	22	35	4 hojas amarillas
R2_TL_100	8	0.03	25	34	7 hojas puntas café
R3_TL_100	7	0.02	24	30	7 hojas marchitas, 2 amarillas
R4_TL_100	6	0.02	38	31	9 marchitas
R1_TS_200	8	0.03	29	34	Todas verdes, 1 hoja punta amarilla
R2_TS_200	10	0.03	38	33	1 hoja con rama café
R3_TS_200	7	0.03	29	45	todas verdes
R4_TS_200	9	0.01	36	35	4 hojas blancas, 3 amarillas
R1_TS_150	9	0.02	33	38	2 hojas con punta amarilla

R2_TS_150	10	0.02	37	34	1 hoja con rayas cafés
R3_TS_150	7	0.04	26	44	todas verdes
R4_TS_150	8	0.02	33	39	5 hojas amarillas
R1_TS_100	7	0.02	30	42	todas verdes
R2_TS_100	6	0.03	19	27	10 hojas amarillas
R3_TS_100	5	0.04	26	44	todas verdes
R4_TS_100	9	0.02	33	39	5 hojas amarillas
R1_TSE_200	9	0.03	27	31	13 hojas puntas café, amarilla
R2_TSE_200	8	0.02	29	34	6 hojas verde claro
R3_TSE_200	10	0.02	34	31	7 hojas café marchitas
R4_TSE_200	8	0.01	33	39	5 hojas amarillas
R1_TSE_150	8	0.02	25	39	9 hojas cafés
R2_TSE_150	5	0.03	19	28	4 hojas verde claro
R3_TSE_150	7	0.03	22	41	8 hojas marchitas
R4_TSE_150	7	0.03	35	39	8 hojas punta café
R1_TSE_100	7	0.03	21	36	1 hoja café
R2_TSE_100	10	0.02	35	39	8 hojas punta café
R3_TSE_100	6	0.02	23	39	todas las hojas verdes
R4_TSE_100	7	0.03	23	38	11 hojas marchitas
R1_TTM_200	8	0.02	28	36	1 hoja café
R2_TTM_200	8	0.02	31	37	9 hojas punta café
R3_TTM_200	9	0.03	35	34	10 hojas marchitas
R4_TTM_200	6	0.02	24	35	todas verdes
R1_TTM_150	7	0.02	25	47	7 hojas puntas cafés
R2_TTM_150	9	0.02	30	34	1 punta café, 3 hojas verdes claro.
R3_TTM_150	8	0.03	29	37	8 hojas marchitas
R4_TTM_150	8	0.01	26	34	11 hojas cafés
R1_TTM_100	7	0.03	28	35	4 hojas punta amarilla
R2_TTM_100	5	0.02	19	39	8 hojas quebradas, 2 hojas cafés
R3_TTM_100	10	0.02	38	31	9 hojas marchitas
R4_TTM_100	9	0.02	33	45	1 hoja amarilla

ELABORADO: AUTORA

Anexo 27.

Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 8 días después de contaminar semana 2 (23 de noviembre del 2023)

unidad 2	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Numero de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	7	0.01	23	37	9 hojas marchitas
R2_TL_200	10	0.03	31	32	11 hojas marchitas
R3_TL_200	8	0.02	31	34	13 hojas marchitas
R4_TL_200	10	0.01	22	38	11 hojas marchitas
R1_TL_150	8	0.02	29	34	9 hojas marchitas
R2_TL_150	9	0.03	32	34	8hojas amarillas
R3_TL_150	8	0.02	30	29	14 hojas marchitas
R4_TL_150	6	0.01	20	37	8 hojas marchitas
R1_TL_100	7	0.01	24	21	12 hojas marchitas
R2_TL_100	6	0.03	22	36	3 hojas amarillas
R3_TL_100	6	0.01	23	35	10 hojas marchitas
R4_TL_100	8	0.02	26	34	11 hojas marchitas
R1_TS_200	7	0.03	28	41	todas verdes
R2_TS_200	9	0.04	32	44	3 marchitas
R3_TS_200	8	0.01	29	44	3 hojas marchitas
R4_TS_200	9	0.05	36	38	5 hojas amarillas
R1_TS_150	7	0.01	21	28	6 hojas verde claro
R2_TS_150	8	0.02	25	34	4 hojas marchitas
R3_TS_150	8	0.01	29	44	3 hojas marchitas
R4_TS_150	10	0.02	38	33	5 hojas amarillas
R1_TS_100	7	0.01	22	35	todas verdes
R2_TS_100	6	0.01	22	38	4 hojas marchitas
R3_TS_100	9	0.02	35	34	todas verdes
R4_TS_100	10	0.02	38	33	1 hoja marchita
R1_TSE_200	7	0.01	26	39	2 hojas amarillas
R2_TSE_200	7	0.01	24	38	5 hojas marchitas
R3_TSE_200	9	0.02	24	31	8 hojas marchitas
R4_TSE_200	10	0.03	30	33	11 hojas marchitas
R1_TSE_150	7	0.01	22	35	todas verdes
R2_TSE_150	5	0.01	18	46	7 puntas cafés
R3_TSE_150	6	0.01	22	38	5 hojas marchitas

R4_TSE_150	8	0.02	29	37	2 hojas marchitas
R1_TSE_100	8	0.03	31	35	6 hojas amarillas
R2_TSE_100	8	0.01	27	23	todas amarillas
R3_TSE_100	6	0.02	21	30	todas verde claro
R4_TSE_100	10	0.05	35	39	4 hojas amarillas
R1_TTM_200					2 hojas puntas
	8	0.02	31	38	amarillas
R2_TTM_200	6	0.02	29	29	verde claro
R3_TTM_200	9	0.03	29	35	3 marchitas
R4_TTM_200	10	0.02	34	33	14 marchitas
R1_TTM_150	9	0.03	28	43	11 hojas marchitas
R2_TTM_150	7	0.03	27	47	7 hojas marchitas
R3_TTM_150	9	0.01	28	39	11 hojas marchitas
R4_TTM_150	10	0.01	34	35	10 hojas marchitas
R1_TTM_100	6	0.02	23	36	1 hoja quebrada
R2_TTM_100	7	0.02	27	27	verde claro
R3_TTM_100	5	0.02	18	35	2 hojas amarillas
R4_TTM_100	10	0.02	29	40	9 marchitas

ELABORADO: AUTORA

Anexo 28.

Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas a los 15 días después de contaminar semana 3 (30 de noviembre del 2023).

unidad 1	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	8	0.02	22	32	11 hojas marchitas
R2_TL_200	7	0.08	19	32	11 hojas marchitas
R3_TL_200	6	0.08	24	34	12 hojas marchitas
R4_TL_200	9	0.05	24	36	16 hojas marchitas
R1_TL_150	7	0.02	28	33	12 hojas marchitas
R2_TL_150	8	0.08	19	32	11 hojas marchitas
R3_TL_150	7	0.08	24	34	12 hojas marchitas
R4_TL_150	8	0.08	28	40	12 hojas marchitas
R1_TL_100	8	0.02	22	38	11 hojas marchitas

R2_TL_100	7	0.07	24	42	8 hojas marchitas
R3_TL_100	6	0.05	24	35	10 hojas marchitas
R4_TL_100	6	0.07	28	38	13 hojas marchitas
R1_TS_200	8	0.08	25	34	15 hojas marchitas
R2_TS_200	10	0.07	30	33	9 hojas marchitas
R3_TS_200	7	0.06	23	45	9 hojas marchitas
R4_TS_200	7	0.09	26	38	13 hojas marchitas
R1_TS_150	9	0.07	28	39	13 hojas marchitas
R2_TS_150	10	0.06	10	39	10 hojas marchitas
R3_TS_150	6	0.09	23	45	9 hojas marchitas
R4_TS_150	5	0.08	18	36	9 hojas marchitas
R1_TS_100	7	0.07	22	44	15 hojas marchitas
R2_TS_100	6	0.06	25	27	7 hojas marchitas
R3_TS_100	5	0.08	23	45	6 hojas marchitas
R4_TS_100	7	0.08	25	44	8 hojas marchitas
R1_TSE_200	9	0.09	29	34	13 hojas marchitas
R2_TSE_200	7	0.09	22	38	9 hojas marchitas
R3_TSE_200	10	0.07	23	29	13 hojas marchitas
R4_TSE_200	8	0.09	25	35	12 hojas marchitas, 2 hojas puntas amarillas
R1_TSE_150	8	0.09	21	36	10 hojas marchitas
R2_TSE_150	6	0.09	22	32	12 hojas marchitas
R3_TSE_150	6	0.08	26	41	10 hojas marchitas
R4_TSE_150	5	0.09	19	44	8 hojas marchitas
R1_TSE_100	7	0.09	18	40	11 hojas marchitas
R2_TSE_100	10	0.09	27	33	11 hojas marchitas
R3_TSE_100	6	0.09	17	37	10 hojas marchitas
R4_TSE_100	7	0.09	23	40	9 hojas marchitas
R1_TTM_200	9	0.05	22	33	16 hojas marchitas
R2_TTM_200	8	0.08	25	39	15 hojas marchitas
R3_TTM_200	9	0.05	19	36	11 hojas marchitas
R4_TTM_200	6	0.08	20	37	9 hojas marchitas
R1_TTM_150	7	0.01	29	39	12 hojas marchitas
R2_TTM_150	9	0.07	20	39	14 hojas marchitas
R3_TTM_150	10	0.08	22	40	11 hojas marchitas

R4_TTM_150	8	0.09	24	37	11 hojas marchitas
R1_TTM_100	7	0.02	22	35	11 hojas marchitas
R2_TTM_100	5	0.20	20	38	8 hojas marchitas
R3_TTM_100	10	0.08	27	34	12 hojas marchitas
R4_TTM_100	8	0.20	22	44	9 hojas marchitas

ELABORADO: AUTORA

Anexo 29.

Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 15 días después de contaminar semana 3 (30 de noviembre del 2023).

unidad 2	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Numero de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	7	0.09	20	37	9 hojas marchitas, 2 hojas puntas café
R2_TL_200	10	0.09	26	34	11 hojas marchitas
R3_TL_200	9	0.05	24	35	12 hojas marchitas
R4_TL_200	10	0.09	28	42	14 hojas marchitas
R1_TL_150	8	0.06	19	37	13 hojas marchitas
R2_TL_150	9	0.09	28	40	14 hojas marchitas
R3_TL_150	8	0.08	21	31	9 hojas marchitas
R4_TL_150	6	0.09	17	41	11 hojas marchitas, 2 puntas marchitas
R1_TL_100	6	0.09	20	34	10 hojas marchitas
R2_TL_100	6	0.09	23	45	11 hojas marchitas
R3_TL_100	6	0.08	20	39	9 hojas marchitas
R4_TL_100	8	0.09	23	38	10 hojas marchitas
R1_TS_200	6	0.09	23	46	6 hojas marchitas
R2_TS_200	8	0.09	28	46	11 hojas marchitas
R3_TS_200	9	0.3	30	44	9 hojas marchitas
R4_TS_200	9	0.09	26	33	11 hojas marchitas
R1_TS_150	6	0.09	25	32	5 hojas amarillas
R2_TS_150	7	0.01	25	32	9 hojas marchitas
R3_TS_150	6	0.09	22	50	10 hojas con puntas marchitas

R4_TS_150	10	0.09	24	36	13 hojas marchitas
R1_TS_100	6	0.09	19	38	7 hojas marchitas
R2_TS_100	6	0.09	22	39	12 hojas marchitas
R3_TS_100	9	0.09	26	36	9 hojas marchitas
R4_TS_100	9	0.09	27	35	13 hojas marchitas
R1_TSE_200	7	0.09	23	41	13 hojas marchitas
R2_TSE_200	6	0.08	16	38	10 hojas marchitas
R3_TSE_200	10	0.09	22	32	10 hojas marchitas
R4_TSE_200	9	0.09	28	35	9 hojas marchitas
R1_TSE_150	7	0.09	19	39	9 hojas marchitas
R2_TSE_150	6	0.20	18	50	7 hojas marchitas
R3_TSE_150	6	0.09	17	41	7 hojas marchitas
R4_TSE_150	6	0.09	19	37	8 hojas marchitas
R1_TSE_100	8	0.09	19	40	8 hojas marchitas
R2_TSE_100	9	0.01	28	22	5 hojas amarillas
R3_TSE_100	6	0.09	17	41	7 hojas marchitas
R4_TSE_100	8	0.09	23	41	8 hojas marchitas
R1_TTM_200	9	0.09	24	42	12 hojas marchitas
R2_TTM_200	7	0.09	28	33	7 hojas marchitas
R3_TTM_200	9	0.09	25	36	8 hojas marchitas
R4_TTM_200					10 hojas con
	10	0.09	25	38	puntas marchitas
R1_TTM_150	9	0.09	24	43	9 hojas marchitas
R2_TTM_150	7	0.20	22	47	8 hojas marchitas
R3_TTM_150	9	0.10	25	40	10 hojas marchitas
R4_TTM_150	10	0.09	21	39	12 hojas marchitas
R1_TTM_100	6	0.09	19	39	9 hojas marchitas
R2_TTM_100	7	0.09	18	30	8 hojas marchitas
R3_TTM_100	5	0.09	20	39	6 hojas marchitas
R4_TTM_100	10	0.09	24	41	9 hojas marchitas

ELABORADO: AUTORA

Anexo 30.

Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampa a los 22 días después de contaminar semana 4 (7 de diciembre del 2023)

unidad 1	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	8	0.09	23	38	11 hojas marchitas
R2_TL_200	7	0.08	27	35	11 hojas marchitas
R3_TL_200	6	0.08	21	38	8 hojas marchitas
R4_TL_200	9	0.09	28	40	17 hojas marchitas
R1_TL_150	7	0.09	23	37	11 hojas marchitas
R2_TL_150	8	0.09	30	42	11 hojas marchitas
R3_TL_150	7	0.08	28	40	14 hojas marchitas
R4_TL_150	8	0.08	29	44	14 hojas marchitas
R1_TL_100	7	0.09	24	40	11 hojas marchitas
R2_TL_100	7	0.09	28	44	11 hojas marchitas
R3_TL_100	6	0.09	28	39	12 hojas marchitas
R4_TL_100	6	0.08	27	38	16 hojas marchitas
R1_TS_200	8	0.08	31	35	14 hojas quebradas y marchitas
R2_TS_200	10	0.09	41	33	16 hojas marchitas
R3_TS_200	7	0.09	28	46	15 hojas marchitas
R4_TS_200	7	0.09	28	39	15 hojas marchitas
R1_TS_150	9	0.08	35	36	15 hojas marchitas
R2_TS_150	10	0.08	34	42	13 hojas marchitas
R3_TS_150	6	0.09	28	44	14 hojas marchitas
R4_TS_150	5	0.09	23	43	14 hojas marchitas
R1_TS_100	7	0.09	28	44	14 hojas marchitas
R2_TS_100	6	0.08	27	37	12 hojas marchitas
R3_TS_100	5	0.08	28	49	12 hojas marchitas
R4_TS_100	7	0.09	28	48	13 hojas marchitas
R1_TSE_200	9	0.09	30	34	8 hojas marchitas
R2_TSE_200	8	0.08	28	39	14 hojas marchitas

R3_TSE_200	10	0.08	28	31	14 hojas marchitas
R4_TSE_200	8	0.09	25	37	14 hojas marchitas
R1_TSE_150	8	0.09	25	38	11 hojas marchitas
R2_TSE_150	5	0.09	17	36	12 hojas marchitas
R3_TSE_150	6	0.08	27	43	11 hojas marchitas
R4_TSE_150	5	0.08	18	38	10 hojas marchitas
R1_TSE_100	7	0.09	21	41	9 hojas marchitas
R2_TSE_100	10	0.09	32	39	13 hojas marchitas
R3_TSE_100	6	0.08	23	41	10 hojas marchitas
R4_TSE_100	7	0.08	24	42	10 hojas marchitas
R1_TTM_200	8	0.09	27	38	12 hojas marchitas
R2_TTM_200	8	0.09	26	39	11 hojas marchitas
R3_TTM_200	9	0.09	21	37	9 hojas marchitas
R4_TTM_200	6	0.08	31	40	12 hojas marchitas
R1_TTM_150	7	0.08	21	40	11 hojas marchitas
R2_TTM_150	5	0.09	21	40	8 hojas marchitas
R3_TTM_150	10	0.09	22	38	11 hojas marchitas
R4_TTM_150	8	0.09	21	40	12 hojas marchitas
R1_TTM_100	7	0.08	27	36	12 hojas marchitas
R2_TTM_100	7	0.08	21	37	15 hojas marchitas
R3_TTM_100	10	0.09	27	34	12 hojas marchitas
R4_TTM_100	8	0.09	23	45	9 hojas marchitas

ELABORADO: AUTORA

Anexo 31.

Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 22 días después de contaminar semana 4 (7 de diciembre del 2023)

unidad 2	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Numero de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	7	0.09	21	39	9 hojas marchitas, 2 hojas puntas cafés
R2_TL_200	10	0.09	27	36	11 hojas marchitas
R3_TL_200	9	0.05	25	37	12 hojas marchitas
R4_TL_200	10	0.09	30	44	14 hojas marchitas

R1_TL_150	8	0.06	21	40	13 hojas marchitas
R2_TL_150	9	0.09	30	42	14 hojas marchitas
R3_TL_150	8	0.08	22	33	9 hojas marchitas
R4_TL_150					11 hojas marchitas, 2
	6	0.09	19	43	puntas marchitas
R1_TL_100	6	0.09	21	36	10 hojas marchitas
R2_TL_100	6	0.09	24	47	11 hojas marchitas
R3_TL_100	6	0.08	22	42	9 hojas marchitas
R4_TL_100	8	0.09	24	38	10 hojas marchitas
R1_TS_200	6	0.09	24	48	6 hojas marchitas
R2_TS_200	8	0.09	28	46	11 hojas marchitas
R3_TS_200	9	0.3	32	46	10 hojas marchitas
R4_TS_200	9	0.09	31	34	13 hojas marchitas
R1_TS_150	6	0.09	30	34	5 hojas amarillas
R2_TS_150	7	0.01	31	34	9 hojas marchitas
R3_TS_150					10 hojas con puntas
	6	0.09	31	53	marchitas
R4_TS_150	10	0.09	31	37	13 hojas marchitas
R1_TS_100	6	0.09	30	40	7 hojas marchitas
R2_TS_100	6	0.09	30	40	12 hojas marchitas
R3_TS_100	9	0.09	30	38	9 hojas marchitas
R4_TS_100	9	0.09	30	37	13 hojas marchitas
R1_TSE_200	7	0.09	22	43	14 hojas marchitas
R2_TSE_200	6	0.08	16	40	10 hojas marchitas
R3_TSE_200	10	0.09	22	44	10 hojas marchitas
R4_TSE_200	9	0.09	28	39	9 hojas marchitas
R1_TSE_150	7	0.09	19	44	9 hojas marchitas
R2_TSE_150	6	0.20	18	54	7 hojas marchitas
R3_TSE_150	6	0.09	17	44	7 hojas marchitas
R4_TSE_150	6	0.09	19	39	8 hojas marchitas
R1_TSE_100	8	0.09	19	44	8 hojas marchitas
R2_TSE_100	9	0.01	28	24	5 hojas amarillas
R3_TSE_100	6	0.09	17	43	7 hojas marchitas
R4_TSE_100	8	0.09	23	44	8 hojas marchitas
R1_TTM_200	9	0.09	22	45	14 hojas marchitas
R2_TTM_200	7	0.09	26	44	7 hojas marchitas

R3_TTM_200	9	0.09	23	38	10 hojas marchitas
R4_TTM_200	10	0.09	27	40	10 hojas con puntas marchitas
R1_TTM_150	9	0.09	26	45	11 hojas marchitas
R2_TTM_150	7	0.20	20	50	11 hojas marchitas
R3_TTM_150	9	0.10	25	40	10 hojas marchitas
R4_TTM_150	10	0.09	19	41	14 hojas marchitas
R1_TTM_100	6	0.09	17	41	11 hojas marchitas
R2_TTM_100	7	0.09	16	33	9 hojas marchitas
R3_TTM_100	5	0.09	22	41	6 hojas marchitas
R4_TTM_100	10	0.09	26	44	11 hojas marchitas

ELABORADO: AUTORA

Anexo 32.

Mediciones variables agronómicas Unidad 1 de las plantas trampas a los 32 días después de contaminar semana 5 (18 de diciembre del 2023)

unidad 1	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	8	0.09	29	38	11 hojas marchitas
R2_TL_200	7	0.08	23	40	10 hojas marchitas y 3 hojas muertas
R3_TL_200	6	0.08	24	40	11 hojas marchitas
R4_TL_200	9	0.09	39	36	19 hojas marchitas
R1_TL_150	7	0.09	25	40	9 hojas marchitas
R2_TL_150	8	0.09	28	43	11 hojas marchitas
R3_TL_150	7	0.08	32	41	17 hojas marchitas
R4_TL_150	8	0.08	30	42	11 hojas marchitas
R1_TL_100	7	0.09	29	40	6 hojas marchitas
R2_TL_100	7	0.09	29	45	10 hojas marchitas
R3_TL_100	6	0.09	26	39	15 hojas marchitas
R4_TL_100	6	0.08	25	43	12 hojas marchitas
R1_TS_200	8	0.08	18	40	12 hojas marchitas
R2_TS_200	10	0.09	34	47	12 hojas marchitas

R3_TS_200	7	0.09	33	52	16 hojas marchitas
R4_TS_200	7	0.09	30	40	9 hojas marchitas
R1_TS_150	9	0.08	36	41	12 hojas marchitas
R2_TS_150	10	0.08	20	41	17 hojas marchitas
R3_TS_150	6	0.09	25	41	9 hojas marchitas
R4_TS_150	5	0.09	21	43	14 hojas marchitas
R1_TS_100	7	0.09	30	45	10 hojas marchitas
R2_TS_100	6	0.08	28	39	18 hojas marchitas
R3_TS_100	5	0.08	28	49	10 hojas marchitas
R4_TS_100	7	0.09	28	43	9 hojas marchitas
R1_TSE_200	9	0.09	31	32	11 hojas marchitas
R2_TSE_200	8	0.08	25	40	18 hojas marchitas
R3_TSE_200	10	0.08	35	32	16 hojas marchitas
R4_TSE_200	8	0.09	30	36	15 hojas marchitas
R1_TSE_150	8	0.09	24	37	9 hojas marchitas
R2_TSE_150	5	0.09	15	37	9 hojas marchitas
R3_TSE_150	6	0.08	25	41	16 hojas marchitas
R4_TSE_150	5	0.08	21	44	15 hojas marchitas
R1_TSE_100	7	0.09	24	40	12 hojas marchitas
R2_TSE_100	10	0.09	30	34	11 hojas marchitas
R3_TSE_100	6	0.08	19	39	8 hojas marchitas
R4_TSE_100	7	0.08	28	42	13 hojas marchitas
R1_TTM_200	8	0.09	31	37	10 hojas marchitas
R2_TTM_200	8	0.09	26	38	12 hojas marchitas
R3_TTM_200	9	0.09	31	37	15 hojas marchitas
R4_TTM_200	6	0.08	25	41	13 hojas marchitas
R1_TTM_150	7	0.08	24	39	10 hojas marchitas
R2_TTM_150	5	0.09	23	37	14 hojas marchitas
R3_TTM_150	10	0.09	32	35	13 hojas marchitas
R4_TTM_150	8	0.09	33	36	11 hojas marchitas
R1_TTM_100	7	0.08	23	35	9 hojas marchitas
R2_TTM_100	7	0.08	20	38	10 hojas marchitas
R3_TTM_100	10	0.09	36	36	17 hojas marchitas
R4_TTM_100	8	0.09	22	47	16 hojas marchitas

ELABORADO: AUTORA

Anexo 33.

Mediciones variables agronómicas Unidad 2 de las plantas trampas a los 32 días después de contaminar semana 5 (18 de diciembre del 2023)

unidad 2	Semillas germinadas	Diámetro de tallo (mm)	Numero de hojas	Altura de planta (cm)	observaciones
R1_TL_200	7	0.09	24	41	11 hojas marchitas
R2_TL_200	10	0.09	40	38	14 hojas marchitas
R3_TL_200	9	0.05	39	42	18 hojas marchitas
R4_TL_200	10	0.09	38	46	18 hojas marchitas
R1_TL_150	8	0.06	34	45	16 hojas marchitas
R2_TL_150	9	0.09	36	46	12 hojas marchitas
R3_TL_150	8	0.08	31	39	16 hojas marchitas
R4_TL_150	6	0.09	26	50	14 hojas marchitas
R1_TL_100	6	0.09	21	41	15 hojas marchitas
R2_TL_100	6	0.09	22	48	11 hojas marchitas
R3_TL_100	6	0.08	28	40	13 hojas marchitas
R4_TL_100	8	0.09	34	44	11 hojas marchitas
R1_TS_200	6	0.09	22	44	11 hojas marchitas
R2_TS_200	8	0.09	36	46	18 hojas marchitas
R3_TS_200	9	0.3	28	47	24 hojas marchitas
R4_TS_200	9	0.09	32	42	17 hojas marchitas
R1_TS_150	6	0.09	24	51	15 hojas marchitas
R2_TS_150	7	0.01	23	49	16 hojas marchitas
R3_TS_150	6	0.09	30	57	19 hojas marchitas
R4_TS_150	10	0.09	40	46	27 hojas marchitas
R1_TS_100	6	0.09	24	40	14 hojas marchitas
R2_TS_100	6	0.09	29	51	17 hojas marchitas
R3_TS_100	9	0.09	33	45	17 hojas marchitas
R4_TS_100	9	0.09	38	43	22 hojas marchitas
R1_TSE_200	7	0.09	28	43	15 hojas marchitas
R2_TSE_200	6	0.08	24	41	14 hojas marchitas
R3_TSE_200	10	0.09	28	34	11 hojas marchitas
R4_TSE_200	9	0.09	30	36	14 hojas marchitas
R1_TSE_150	7	0.09	26	41	12 hojas marchitas
R2_TSE_150	6	0.20	26	50	12 hojas marchitas

R3_TSE_150	6	0.09	24	41	13 hojas marchitas
R4_TSE_150	6	0.09	24	41	10 hojas marchitas
R1_TSE_100	8	0.09	31	41	11 hojas marchitas
R2_TSE_100	9	0.01	27	34	15 hojas marchitas
R3_TSE_100	6	0.09	28	38	12 hojas marchitas
R4_TSE_100	8	0.09	33	42	9 hojas marchitas
R1_TTM_200	9	0.09	30	42	14 hojas marchitas
R2_TTM_200	7	0.09	28	36	13 hojas marchitas
R3_TTM_200	9	0.09	30	36	12 hojas marchitas
R4_TTM_200	10	0.09	34	39	16 hojas marchitas
R1_TTM_150	9	0.09	32	44	14 hojas marchitas
R2_TTM_150	7	0.20	30	50	15 hojas marchitas
R3_TTM_150	9	0.10	32	41	19 hojas marchitas
R4_TTM_150	10	0.09	36	38	14 hojas marchitas
R1_TTM_100	6	0.09	22	43	11 hojas marchitas
R2_TTM_100	7	0.09	25	41	13 hojas marchitas
R3_TTM_100	5	0.09	23	39	11 hojas marchitas
R4_TTM_100	10	0.09	34	41	12 hojas marchitas

ELABORADO: AUTORA

Anexo 34.

variables agronómicas Unidad 1 a los 32 días de la contaminación.

Unidad 1	Largo de las raíces (cm)	Peso húmedo de las raíces (g)	peso húmedo de las hojas (g)	peso seco de las raíces (g)	peso seco de las hojas (g)	peso húmedo suelo (g)	peso seco suelo(g)
R1_TL_200	8	3	2	2	1	116	114
R2_TL_200	7	3	3	3,5	1,1	125	124,4
R3_TL_200	7	2	2	2,5	1	118	120,2
R4_TL_200	9	4	3	3,7	1,3	109	108
R1_TL_150	9	5	2	5,7	1,1	116	130
R2_TL_150	7	3	3	3,2	1,2	104	103,8
R3_TL_150	6	3	2	2,4	1,1	114	114,3
R4_TL_150	8	6	2	4,3	1,3	106	110,3
R1_TL_100	8	2	2	1,4	1,1	110	108,5

R2_TL_100	8	3	3	3,4	1	115	114,9
R3_TL_100	7	4	2	4,1	1	102	101,8
R4_TL_100	8	3	2	2,4	1	92	90,5
R1_TS_200	8	3	3	3	1,2	102	101,1
R2_TS_200	8	5	4	4	1,4	111	110,3
R3_TS_200	12	3	4	2,2	1,6	110	103,9
R4_TS_200	10	6	3	2	1,1	98	96,6
R1_TS_150	7	5	5	4,7	1,6	108	107,3
R2_TS_150	8	4	3	3	1,1	114	113,3
R3_TS_150	9	4	4	3,8	1,5	92	91,7
R4_TS_150	12	6	3	2	1,1	118	96,6
R1_TS_100	9	2	3	2,2	1,3	122	121
R2_TS_100	8	2	2	2,2	1,1	97	96
R3_TS_100	9	4	3	3,2	1,8	86	84,6
R4_TS_100	10	6	3	2,6	1	106	90,5
R1_TSE_200	7	5	3	1,7	1,2	106	104,5
R2_TSE_200	7	5	3	5,3	1,3	123	122
R3_TSE_200	7	3	2	2,7	1,3	117	116,3
R4_TSE_200	10	6	4	3,7	1,6	99	98,4
R1_TSE_150	6	3	3	3,2	1,1	115	114,2
R2_TSE_150	6	5	2	4,9	1	111	110,3
R3_TSE_150	8	4	3	5,1	1,2	91	90,9
R4_TSE_150	10	6	2	2,6	1,5	116	104,3
R1_TSE_100	7	4	3	3,6	1,4	108	106,5
R2_TSE_100	7	4	3	3,2	1,1	113	109,9
R3_TSE_100	8	1	2	1,3	1,1	115	116,6
R4_TSE_100	8	6	4	3,7	1,6	99	98,4
R1_TTM_200	9	4	2	5,2	1	117	115,4
R2_TTM_200	7	7	3	7,2	1,3	100	101,3
R3_TTM_200	10	4	3	4	1,3	98	99,3
R4_TTM_200	9	3	2	1,3	1,2	119	118
R1_TTM_150	7	4	2	3,1	1,1	106	105,4
R2_TTM_150	7	3	2	2,3	1	103	104,1
R3_TTM_150	8	4	3	3,5	1,3	108	117,2
R4_TTM_150	10	5	3	2,6	1,6	102	99,3
R1_TTM_100	10	5	2	6	1	117	115,7
R2_TTM_100	8	6	3	5,5	1,5	123	123

R3_TTM_100	9	5	3	5,4	1,4	100	99,1
R4_TTM_100	11	4	3	2,4	1,4	102	101,4

ELABORADO: AUTORA

Anexo 35.

variables agronómicas Unidad 2 a los 32 días de la contaminación.

Unidad 2	Largo de las raíces (cm)	Peso húmedo de las raíces (g)	peso húmedo de las hojas (g)	peso seco de las raíces (g)	peso seco de las hojas (g)	peso húmed o suelo (g)	peso seco suelo(g)
R1_TL_200	10	2	2	1,2	1,6	106	104,5
R2_TL_200	9	3	3	1,1	1,4	107	107,3
R3_TL_200	11	2	2	0,7	1,1	105	104,6
R4_TL_200	9	3	2	2,6	1,4	101	100,5
R1_TL_150	9	2	3	1,2	1,3	104	102,1
R2_TL_150	12	2	2	0,8	1,2	93	93,6
R3_TL_150	10	2	2	1	1	105	104,2
R4_TL_150	8	2	2	1,1	1,3	104	103,5
R1_TL_100	9	2	2	1,3	1,8	96	94,9
R2_TL_100	10	2	2	1	1,3	100	98,4
R3_TL_100	9	2	2	1,4	1,1	108	107,2
R4_TL_100	7	3	3	2,2	1,3	94	92,1
R1_TS_200	10	3	2	1,7	1,3	96	94,6
R2_TS_200	10	3	3	1,2	1,4	106	106
R3_TS_200	9	4	2	2,1	1,3	98	96,6
R4_TS_200	9	2	3	2,6	1,3	99	92,2
R1_TS_150	9	3	2	1,4	1,3	91	89,9
R2_TS_150	13	2	2	1	1,1	109	107,5
R3_TS_150	13	2	2	1,5	1,3	90	89,6
R4_TS_150	89	5	2	3,8	1,8	104	93,8
R1_TS_100	8	2	2	0,8	1,1	92	90,3
R2_TS_100	8	2	2	0,9	1,3	102	101
R3_TS_100	16	4	2	1,9	1,1	96	95,4
R4_TS_100	8	3	2	2	1,4	93	98,2
R1_TSE_200	9	6	3	3	1,4	106	105

R2_TSE_200	8	2	2	1,5	1,2	94	93,2
R3_TSE_200	9	2	3	1,9	1,2	87	85,3
R4_TSE_200	8	2	2	2,3	1,3	103	101,6
R1_TSE_150	9	2	3	1,8	1,1	83	81,6
R2_TSE_150	9	3	2	1,4	1,4	110	109,8
R3_TSE_150	9	4	2	2,4	1,4	96	94,7
R4_TSE_150	8	3	3	1,3	2,3	103	102,6
R1_TSE_100	9	2	2	1,9	1,2	97	89,4
R2_TSE_100	12	3	2	0,3	0,8	106	104,1
R3_TSE_100	13	3	2	1,4	1,1	98	97,3
R4_TSE_100	9	3	3	2,8	1,6	97	95,1
R1_TTM_20							
0	8	4	6	3,4	1,5	97	96
R2_TTM_20							
0	9	2	2	1	1	98	96,3
R3_TTM_20							
0	8	3	2	2,2	1,3	98	96,8
R4_TTM_20							
0	8	3	2	2,4	1,4	104	103
R1_TTM_15							
0	8	3	2	2,2	1,2	94	93
R2_TTM_15							
0	10	5	4	2	1,6	118	117
R3_TTM_15							
0	7	4	3	2,3	1,5	88	85,5
R4_TTM_15							
0	8	5	3	2,7	1,5	104	102
R1_TTM_10							
0	8	2	2	1,1	1,3	8	91,9
R2_TTM_10							
0	9	2	2	0,9	0,9	95	93,7
R3_TTM_10							
0	9	4	3	2,1	1,7	96	94,8
R4_TTM_10							
0	9	5	2	3	1,3	91	90,2

ELABORADO: AUTORA

Anexo 36.

ANOVA y prueba tukey realizadas a los tratamientos de las variables agronómicas

ANOVA y prueba tukey realizadas al diámetro de tallo y numero de hojas

Variable dependiente: Diámetro de tallo (mm)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,561 ^a	4	,140	201,399	,000
Intersección	1,747	1	1,747	2510,279	,000
Semana	,561	4	,140	201,399	,000
Error	,331	475	,001		
Total	2,639	480			
Total corregido	,891	479			
a. R al cuadrado = ,629 (R al cuadrado ajustada = ,626)					
HSD Tukey ^{a,b}					
		Subconjunto			
Semana	N	1	2		
Semana 1	96	,0156			
Semana 2	96	,0216			
Semana 3	96		,0849		
Semana 4	96		,0898		
Semana 5	96		,0898		
Sig.		,524	,700		

Variable dependiente: Número de hojas

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	745,608 ^a	3	248,536	9,589	,000
Intersección	316521,408	1	316521,408	12212,401	,000
Tratamiento	745,608	3	248,536	9,589	,000
Error	12336,983	476	25,918		
Total	329604,000	480			
Total corregido	13082,592	479			

a. R al cuadrado = ,057 (R al cuadrado ajustada = ,051)

Anexo 37.

ANOVA y prueba tukey numero hojas tratamiento y semanas

HSD Tukey^{a,b} Numero hojas tratamientos

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Suelo	120	24,26	
Líquido	120	25,32	
Testigo	120	25,45	
Sólido	120		27,68
Sig.		,268	1,000

HSD Tukey^{a,b}

Semana	N	Subconjunto		
		1	2	3
Semana 3	96	22,90		
Semana 1	96	24,14	24,14	
Semana 4	96		25,23	
Semana 2	96			27,80
Semana 5	96			28,33
Sig.		,383	,514	,940

Variable dependiente: Altura de planta (cm)

Origen	Tipo III de suma		Media		Sig.
	de cuadrados	gl	cuadrática	F	
Modelo corregido	529,850 ^a	3	176,617	4,881	,002
Intersección	660973,633	1	660973,633	18268,146	,000
Tratamiento	529,850	3	176,617	4,881	,002
Error	17222,517	476	36,182		
Total	678726,000	480			
Total corregido	17752,367	479			

a. R al cuadrado = ,030 (R al cuadrado ajustada = ,024)

FUENTE: IBM SPSS Statistics 25

ELABORADO: AUTORA

Anexo 38.

ANOVA y Tukey altura de la planta

HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
Líquido	120	35,87	
Suelo	120	36,66	
Testigo	120	37,17	37,17
Sólido	120		38,74
Sig.		,339	,179

HSD Tukey ^{a,b} altura de la planta					
Semana	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Semana 1	96	30,50			
Semana 2	96		35,65		
Semana 3	96			37,80	
Semana 4	96				40,23
Semana 5	96				41,36
Sig.		1,000	1,000	1,000	,458

FUENTE: IBM SPSS Statistics 25

ELABORADO: AUTORA

Anexo 39.

Media y desviación estándar de las variables agronómicas diámetro de tallo, numero de hojas y altura de las plantas, largo de raíces, peso húmedo de raíces, peso húmedo de hojas, peso seco de raíces, peso seco hojas.

Tratamiento	Media y desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo
TL	,0548±,03363	,0700	,01	,09
TS	,0627 ±,05107	,0800	,01	,30
TSE	,0608±,03363	,0800	,01	,20
TTM	,0632±,04474	,0800	,01	,20
TL	25,33±5,003	24,00	16	40
TS	27,68±5,511	28,00	10	41
TSE	24,26±4,968	24,00	14	35
TTM	25,45±4,857	25,00	10	38
TL	35,87±5,977	36,00	19	50
TS	38,74 ±7,023	39,00	18	57
TSE	36,66±5,787	37,50	19	54
TTM	37,17±5,118	37,00	25	50
TL	7,7±0,887	8	6	9
TS	9,1±1,585	9	7	12
TSE	7,5±1,311	7	6	10
TTM	8,7±1,356	9	7	11
TL	3,4±1,164	3	2	6
TS	4,1±1,466	4	2	6
TSE	4,3±1,497	4,5	1	6
TTM	4,5±1,167	4	3	7
TL	2,3±0,492	2	2	3
TS	3,3±0,778	3	2	5
TSE	2,8±0,717	3	2	4
TTM	2,5±0,514	3	2	3
TL	3,2±1,171	3,3	1,4	5,7
TS	2,9±0,881	2,8	2	4,7
TSE	3,4±1,260	3,4	1,3	5,3
TTM	4,0±1,799	3,7	1,3	7,2
TL	1,1±0,112	1,1	1	1,3
TS	1,3±0,258	1,2	1	1,8
TSE	1,2±0,203	1,2	1	1,6
TTM	1,2±0,202	1,3	1	1,6

FUENTE: IBM SPSS Statistics 25

ELABORADO: AUTORA