



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMÍA**

**REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN
SUELO ALCALINO CON CULTIVO DE CACAO MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE MICROELEMENTOS Y HUMUS**

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de
INGENIERO AGRÓNOMO

**AUTOR
BARCIA INTRIAGO DAVID JOEL**

**TUTORA
ING. FANNY RODRIGUEZ JARAMA MSc.**

GUAYAQUIL-ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **FANNY RODRÍGUEZ JARAMA MSc.**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO ALCALINO CON CULTIVO DE CACAO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MICROELEMENTOS Y HUMUS**; realizado por el estudiante **BARCIA INTRIAGO DAVID JOEL**; con cédula de identidad **N.º 0952087963** de la carrera **AGRONOMÍA**, Sede Matriz - Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. FANNY RODRÍGUEZ JARAMA, MSc.
TUTORA

Guayaquil, 22 de marzo de 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO ALCALINO CON CULTIVO DE CACAO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MICROELEMENTOS Y HUMUS”**, realizado por el estudiante **BARCIA INTRIAGO DAVID JOEL**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Juan Martillo García, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Tany Burgos Herrería, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Freddy Veliz Piguave, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Fanny Rodríguez Jarama, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 18 de marzo de 2024

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios, dedicado a mi mamita Mariana y a la Sra Luisa dos personas en especial que, aunque ya no están conmigo estarían muy orgullosas de ver a lo que llegue en estos años de estudios; a mis padres que siempre han sido fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida me depare un futuro mejor, han tenido paciencia y me han inculcado los mejores valores para ponerlos en práctica, a mis hermanos que siempre me dieron una mano y lograron que este sueño se haga realidad, a mi enamorada que sin duda alguna es mi compañera de vida y fue parte esencial para terminar mi tesis.

A mi tutora de tesis que fue la encargada en guiarme en todo este proceso.

Agradezco al Ing. Jacobo Bucaram Ortiz. PhD., y Ec. Martha Bucaram Leverone, PhD., autoridades de la Universidad Agraria del Ecuador, por permitirme terminar mis estudios en esta prestigiosa institución.

Quiero darle gracias a Dios por brindarme salud y fortaleza para permitirme terminar mi carrera, a mi hermosa familia que son mi razón de ser, gracias a mis padres Emerson y Viviana que sin duda alguna han sido mi pilar fundamental y mi motivación en estos años, estando durante todo este proceso de inicio a fin y no dejaron nunca de darme ese amor incondicional, a mis hermanos Jesús, José y Cristhian que me han dado su apoyo y consejos para seguir con paso firme, a mi enamorada Mercedes que con sus palabras de aliento no me dejaba decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante en la meta que me propuse te amo mucho mi amor.

A mis amigos por brindarme su ayuda sin esperar nada a cambio. Expreso mi agradecimiento a mi tutora Ing. Fanny Rodriguez Jarama, encargada de orientarme en la ejecución de este proyecto de titulación.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **BARCIA INTRIAGO DAVID JOEL**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre **“REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO ALCALINO CON CULTIVO DE CACAO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MICROELEMENTOS Y HUMUS”**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 22 de marzo del 2024

BARCIA INTRIAGO DAVID JOEL

C.I. 0952087963

Índice general

PORTADA	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general	7
Índice de tablas	11
Índice de figura.....	12
Resumen	14
Abstract.....	15
1. Introducción	1
1.1 Antecedente del problema	16
1.2 Planteamiento y formulación del problema	17
1.2.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2.2 Formulación del problema.....	19
1.3 Justificación de la investigación	19
1.4 Delimitación de la investigación.....	19
1.5 Objetivo general.....	19
1.6 Objetivos específicos	20
1.7 Hipótesis.....	20

2. Marco teórico.....	21
2.1 Estado del arte	21
2.2 Bases teóricas.....	22
2.2.1 Origen.....	22
2.2.2 Clasificación taxonómica.....	22
2.2.3 Morfología del cacao.....	23
2.2.3.1. Raíz.....	23
2.2.3.2. Tallo.....	23
2.2.3.3. Hojas	24
2.2.3.4. Flor	24
2.2.3.5. Fruto	24
2.2.4 Condiciones edafoclimáticas	25
2.2.4.1. Clima	26
2.2.4.2. Precipitación.....	26
2.2.4.3. Luminosidad.....	26
2.2.4.4. Suelo	27
2.2.5 Producción de plántulas para la siembra.....	27
2.2.5.1. Reproducción sexual	28
2.2.5.2. Reproducción asexual	28
2.2.6 Metales pesados.....	29
2.2.6.1. Cadmio	30
2.2.7 Presencia de metales pesados en los suelos	31
2.2.8 Presencia de metales pesados en el agua	32

2.2.9 Enmiendas	34
2.2.9.1. Zinc.....	35
2.2.9.2. Humus de lombriz	36
2.2.9.3. Manganeso	37
2.2.9.4. Cachaza.....	38
2.2.9.5. Materia orgánica.....	38
2.2.9.6. Bacterias	39
2.2.9.7. Microorganismo	40
2.2.10 Suelos alcalinos	40
2.3 Marco legal	42
3. Materiales y métodos.....	45
3.1 Enfoque de la investigación.....	45
3.1.1 Tipo de investigación	45
3.1.2 Diseño de investigación	45
3.2 Metodología.....	45
3.2.1 Variables	45
3.2.1.1. Variable independiente	45
3.2.1.2. Variable dependiente	46
3.2.2 Tratamientos	46
3.2.3 Diseño experimental	47
3.2.4 Recolección de datos.....	47
3.2.4.1. Recursos.....	47
3.2.4.2. Métodos y técnicas	48

3.2.5 Análisis estadístico	52
4. Resultados.....	53
4.1 Describir el perfil del suelo alcalino mediante la elaboración de una calicata.....	53
4.2 Evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas sobre la concentración de Cd en suelos alcalinos, tejidos y almendras de cacao en la hacienda La Primavera en el recinto Cerecita.....	54
4.2.1 Concentración de Cd en el suelo.....	55
4.2.2 Concentración de Cd en tejidos (hojas).....	55
4.2.3 Concentración de Cd en la almendra de cacao.....	56
4.3 Realizar el análisis costo beneficio del uso de enmiendas en la reducción de Cd en el cultivo de cacao	57
5 Discusión	60
6 Conclusiones.....	63
7 Recomendaciones	65
8 Bibliografía	67
9 Anexos	76

Índice de tablas

Tabla 1. Tratamiento en estudio	46
Tabla 2. Presupuesto	48
Tabla 3. Característica de la parcela experimental.....	50
Tabla 4. Análisis de varianza.....	52
Tabla 5. Descripción de los diferentes perfiles del suelo alcalino	53
Tabla 6. Contenido de cadmio en suelo, tejidos (hoja) y almendra de cacao	54
Tabla 7. Concentración de Cd en el suelo.....	55
Tabla 8. Concentración de Cd en tejidos (hojas).....	56
Tabla 9. Concentración de Cd en la almendra de cacao	57
Tabla 10. Reducción en el contenido de cadmio en cacao	57
Tabla 11. Costo de producción del cultivo.....	58
Tabla 12. Análisis de la relación beneficio/costo	59

Índice de figura

Figura 1. Ubicación geográfica del recinto Cerecita	76
Figura 2. Análisis de cadmio en suelo, tejido y cotiledón de cacao	76
Figura 3. Ficha técnica de MICROQUEL Mn.....	77
Figura 4. Diseño de bloques completamente al azar.....	78
Figura 5. Concentración de Cd en suelo	79
Figura 6. Concentración de Cd en tejidos (Hojas).....	79
Figura 7. Concentración de Cd en la almendra de cacao.....	80
Figura 8. Delimitación de las parcelas.....	80
Figura 9. Colocación de las etiquetas para identificación de los tratamientos	81
Figura 10. Humus de lombriz y medición de las dosis para las parcelas.....	81
Figura 11. Manganeso y medición de las dosis para las parcelas.....	82
Figura 12. Bacterias y medición de las dosis para las parcelas	82
Figura 13. Aplicación del humus de lombriz en las parcelas	83
Figura 14. Calibración de la bomba para la aplicación del manganeso.....	83
Figura 15. Aplicación del manganeso en las parcelas.....	84
Figura 16. Aplicación de las bacterias en las parcelas	84
Figura 17. Ubicación y realización de la calicata	85
Figura 18. Descripción de los perfiles.....	85
Figura 19. Identificación de plasticidad y estructura del suelo.....	86
Figura 20. Comprobación de efervescencia	86
Figura 21. Recolección de las muestras de suelo para realizar el análisis de la concentración de Cd	87
Figura 22. Recolección de las muestras de tejidos (hojas) para realizar el análisis de la concentración de Cd.....	87

Figura 23. Recolección de las muestras de las mazorcas de cacao para realizar el análisis de la concentración de Cd de la almendra de cacao	88
Figura 24. Muestras de suelo secándose, para después pasarlo a molerlo y realizar su respectivo análisis en laboratorio de la concentración de Cd	88
Figura 25. Muestras de tejidos (hojas) secándose, para después pasarlas a molerlas y realizar su respectivo análisis en laboratorio de la concentración de Cd Barcia, 2024	89
Figura 26. Muestras de la almendra de cacao secándose, para después pasarlas a molerlo y realizar su respectivo análisis en laboratorio de la concentración de Cd	89
Figura 27. Primera cosecha cacao después de la aplicación de los tratamientos	90
Figura 28. Toma del peso de la baba del cacao.....	90
Figura 29. Toma de datos del número de mazorcas y el peso en baba del cacao	91

Resumen

El estudio se centra en la reducción de la concentración de cadmio en suelos alcalinos con cultivo de cacao y la aplicación de microelementos y humus; la investigación analiza los efectos de estos elementos en la absorción y acumulación de Cd por las plantas de cacao, así como en la calidad del suelo. Este proyecto se realizó en el recinto Cerecita zona norte de la provincia del Guayas. La metodología fue experimental donde se utilizó un Test de Tukey al 5% de probabilidad, con un diseño de bloques completamente al azar. Las variables tomadas fueron; concentración de Cd en: suelo alcalino, tejidos (hojas), almendra de cacao; análisis físico y químico; y producción al final del ensayo. Se determinó que el humus + bacterias (T2) y humus + manganeso + bacterias (T4) fueron los mejores tratamientos para reducir la concentración de Cd en el suelo; los tratamientos más eficiente para disminuir la concentración de Cd en tejidos (hojas) fue el manganeso (T5) y el humus + manganeso + bacterias (T4); mientras que el tratamientos Humus + Manganeso + Bacterias (T4) disminuyó la concentración de Cd en la almendra de cacao; así mismo, en el análisis económico, el humus de lombriz (T1), y el humus + manganeso (T3) obtuvieron un beneficio/costo de 2.80 y 2.55 respectivamente; equivalente a que si hubo ganancia en la aplicación de las enmiendas y se logró reducir la concentración de Cd en suelo, hojas y la almendra de cacao.

Palabras claves: Cadmio, enmiendas, microelementos, suelos alcalinos.

Abstract

The study focuses on the reduction of cadmium concentration in alkaline soils with cocoa cultivation and the application of microelements and humus; The research analyzes the effects of these elements on the absorption and accumulation of Cd by cocoa plants, as well as on soil quality. This project was carried out in the Cerecita site in the northern area of the province of Guayas. The methodology was experimental where a Tukey Test was used at 5% probability, with a completely randomized block design. The variables taken were; Cd concentration in: alkaline soil, tissues (leaves), cocoa kernel; physical and chemical analysis; and production at the end of the trial. It was determined that humus + bacteria (T2) and humus + manganese + bacteria (T4) were the best treatments to reduce the Cd concentration in the soil; The most efficient treatments to reduce the concentration of Cd in tissues (leaves) were manganese (T5) and humus + manganese + bacteria (T4); while the Humus + Manganese + Bacteria (T4) treatments reduced the Cd concentration in the cocoa kernel; Likewise, in the economic analysis, worm castings (T1), and humus + manganese (T3) obtained a benefit/cost of 2.80 and 2.55 respectively per hectare; equivalent to if there was a gain in the application of the amendments and it was possible to reduce the concentration of Cd in the soil, leaves and the cocoa kernel.

Keywords: Cadmium, amendments, microelements, alkaline soils.

1 Introducción

1.1 Antecedente del problema

El entorno cacaotero es considerada una de las primordiales influencias en el crecimiento productivo y de exportación en el territorio que los maneje, así mismo se asume diferentes tipos de procesamiento que permiten fundamentar el desarrollo y extender su propagación en la elaboración de otros recursos.

“Las exportaciones de cacao en el Ecuador figuran un sinnúmero de beneficios, entre estos tenemos el económico, donde se podrá observar la entrada de efectivo al país, el establecimiento de fuentes de empleo y la intervención internacional” (Córdova, Quezada, Barrezueta, Garzón y Carvajal, 2021).

El cadmio es un metal pesado tiene la característica de almacenarse en el cuerpo, logrando traer complicaciones a la salud de quienes manipula este tipo elemento químico sin un debido conocimiento.

En consecuencia, de este tipo de emergencia fitosanitario la Unión Europea (UE) decreto niveles máximos aprobados para distintos alimentos; en 2014 se estableció, pero no fue sino hasta entonces que, en enero de 2019, entro en vigor un reglamento en el cual se detalla los niveles máximos aceptados en los distintos productos de cacao y chocolate, a base de esto otros países están realizando reglamentos similares.

En distintos países de América Latina y El Caribe se ven afligidos debido a los alarmantes niveles de cadmio que se presenta en los granos de cacao esto en comparación con otras regiones productoras de cacao tales como África y Asia-Pacífico, esto es una inquietud para los fabricantes de productos con elevados contenidos de cacao (Rofner, Lineker, Melchor y Gómez, 2018, p.8).

Las fuentes de contaminación del cadmio provienen de la unión de los procesos naturales tales como la meteorización de las rocas, erupciones volcánicas, los incendios forestales, la erosión y la deposición en los sedimentos de los ríos; y de

los procesos antropogénicos donde sobresale las explotaciones de minas, quemas de basuras urbana, uso de lodos urbanos en la agricultura, agroquímicos, gases provenientes de industria, quema de combustibles fósiles, entre estos el carbón, contaminación por derivados del petróleo al secar el cacao en carreteras; siendo este el resultado de su disponibilidad en el suelo. Así mismo, se manejó diferentes alternativas para la disminución y disponibilidad del cadmio en las plantas de cacao, a través de pruebas que modificaban algunas propiedades del suelo e identificaban la porción necesario para su debida implementación (Llatance et al., 2018). Las diversas propiedades del suelo inciden en la biodisponibilidad del cadmio a las plantas, entre estas tenemos: el pH, contenido de materia orgánica, la textura y mineralogía del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, contenido de macro y micronutrientes, y la presencia de microorganismos.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La contaminación por metales pesados como el cadmio es una de las problemáticas que perjudica a las exportaciones de cacao fino de aroma de Ecuador, debido que este material químico influye de manera rigurosa la protección y bienestar humano como también el medioambiente en donde se presencia el desarrollo de la planta. Dado que el cadmio al ser aplicado en cantidades alta deteriora el conjunto de almendras que reside al interior de la corteza del fruto que será exportado, teniendo en cuenta que en ciertas ocasiones no se tiene una perspectiva de análisis u observación de la contaminación (Salama, 2018). Por esta razón se han establecidos niveles autorizados de metales pesados diferentes productos de consumo humano que se encuentran en un análisis en Europa, debido a que el instituto alemán para la valoración y análisis de riesgos (BfR) ha propuesto

un contenido máximo autorizado de cadmio que va de 0.1 – 0.3 mg por kg de chocolate, siendo una propuesta que estará sujeta a múltiples revisiones.

La producción y exportación de cacao representa una parte fundamental dentro de la economía del país, siendo este un sustento que sirve para las diversas familias que laboran en el campo, de modo que enfrente diferentes inconvenientes a lo largo de su desarrollo paulatino. Sin embargo, se ha identificado que la presencia de este tipo de metal pesado en el suelo genera problemas en la salud humana como también en la mazorca de cacao, ya sea deteriorándola o generando un gran conjunto de infecciones que disminuyen su desarrollo (Espinel y Ardila, 2022). Este tipo de infecciones se presenta debido a que algunos fertilizantes que son aplicados para controlar el crecimiento del fruto pueden presentar una fuente alta de cadmio el cual es aplicado en el suelo, dando como resultado cambios en la estructura del cultivo cacaotero.

Se ha podido identificado que ciertos niveles han tenido un aumento en el valor comercial de la producción de cacao, esto por factores como la mejorar de producción y calidad ofertada que hace referencia al uso adecuado del metal cadmio en el suelo. En Ecuador se genera una cantidad de variedades aceptables conviviendo en un producto emblemático, que ayuda a las numerosas familia del litoral ecuatoriano a tener fuentes de ingresos, entre sus niveles de producción tenemos a la provincia de los Ríos siendo el principal producto ocupando el 35%, Guayas con el 25%, Manabí con el 14%, Esmeralda con el 8% y El Oro con el 5% siendo el menor productor (Carranza, Angulo, Cedeño y Prado, 2020). Por otra parte, el uso de este tipo de metal pesado no es perjudicante cuando se lo aplican en porciones adecuadas, ya que al analizar el suelo se especifican ciertas variables que permiten determinar la porción idea y esta a su vez librería una serie de reacción

metabólicas positivas como el incrementar las actividades antioxidantes, la captación y transporte de ciertos nutrientes.

1.2.2 Formulación del problema

¿El uso de enmiendas de humus de lombriz y manganeso quelatado y bacterias reducirá la concentración de cadmio en suelo alcalino con cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) y su concentración en tejido?

1.3 Justificación de la investigación

Esta investigación accederá a reducir la concentración de cadmio (Cd) en suelos alcalinos con cultivo de cacao, de esta manera, se podrá corroborar la efectividad que posee el microelementos y humus para desarrollar este objetivo dentro de la ciudad de Guayaquil del recinto Cerecita. Este proyecto será desarrollado de forma idónea, debido a que no hay una averiguación clara con respecto al contenido de metales pesados, siendo este el cadmio y en cómo se reducirá la concentración en suelos alcalinos con cultivo de cacao.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Este proyecto se llevará a cabo en el recinto Cerecita zona norte de la provincia del Guayas
- **Tiempo:** Para la ejecución de este proyecto se considera un tiempo de 6 meses.
- **Población:** productores cacaoteros que buscan alternativas para bajar la tasa de transferencia de cadmio en el cultivo

1.5 Objetivo general

Estimar la reducción de la concentración de Cd en suelo alcalino con cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) mediante la aplicación de microelementos y humus en la zona norte en el recinto Cerecita.

1.6 Objetivos específicos

- Describir el perfil del suelo alcalino mediante la elaboración de una calicata.
- Evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas sobre la concentración de Cd en suelos alcalinos, tejidos y almendras de cacao en la hacienda La Primavera en el recinto Cerecita.
- Realizar el análisis costo beneficio del uso de enmiendas en la reducción de Cd en el cultivo de cacao.

1.7 Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos genera una reducción en la concentración de Cd en suelo alcalino con cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la ciudad de Guayaquil en el recinto Cerecita.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Una enmienda es considerada un conjunto de material orgánico mezclado y procesado para un motivo en específico, aportando un incremento productivo a la fertilidad del suelo en el cual se sembrará. Los materiales que tienen procedencia animal o vegetal son clasificados como enmiendas orgánicas, la finalidad de estas es certificar al suelo una mejora tanto a las características fisicoquímicas como a las biológicas (Connor et al., 2021). De esta manera se puede explicar que las enmiendas ya sean orgánica o minerales aumenta la temperatura del suelo y con esto le permite con mayor facilidad absorber los nutrientes.

En la actualidad una de las problemáticas en el cultivo de cacao es la presencia de Cd en el mismo, debido a que este tipo de compuesto químico altera algunas condiciones y reduce el crecimiento de la planta. Esto se refiere a un nivel del país la contaminación por Cd no ha sido estimada, es por eso que la aplicación de enmiendas debe ser considerada como una estrategia de mitigación que busca alterar las propiedades del suelo con el fin de reducir la disponibilidad de Cd en el mismo (Argüello et al., 2019). De esta forma se puede decir que el Cd afecta grandes plantaciones de cacao, teniendo pérdidas en el futuro con el entorno comercial.

Con el fin de transformar desechos en recursos, la implementación de enmiendas para el suelo en la producción agrícola se está volviendo una estrategia de vital importancia. Efectivamente las enmiendas pueden reducir la solubilidad del Cd y su absorción por las plantas en suelos altamente contaminados (Huaraca et al., 2020). Por lo tanto, estos contaminantes deben ser tratados, pues generan

cambios en el suelo que afectan su calidad y productividad, llegando a ocasionar graves problemas a la salud humana y ambiental.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Origen

El cultivo de cacao es denominada planta tropical, la cual procede de un periodo de desarrollo perenne conformado por diferentes procedimientos orgánicos, bilógicos y sintético que solventa la condición del fruto en un tiempo prolongado. Guerrero (2019) indican que este fruto ha revolucionado el mercado y entorno agrícola, ya que a través del procesamiento de las almendras que contiene en su interior se permite la elaboración de diferentes productos que son de uso habitual en la vida cotidiana del ser humano, otorgando crecimiento socioeconómico y desarrollo industrial. De manera que en la actualidad diferentes empresas industriales requieren del uso de este tipo de fruto para la elaboración de una serie de productos que permitan mejorar la calidad de vida humana.

2.2.2 Clasificación taxonómica

En relacion con el compuesto químico se presenta un listado sobre el perfil taxonómico del cadmio (Cd) tratado en el cultivo de cacao (Maney, Sassen y Hill, 2022). Como se observa en la siguiente lista detallada:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Subfamilia: Byttnerioideae

Tribu: Theobromeae

Género: Theobroma

Especie: Theobroma cacao L.

2.2.3 Morfología del cacao

2.2.3.1. Raíz

La planta de cacao tiene como proyección de crecimiento al redondear una altura entre los 6 a 8 metros, con un sistema radicular pivotante donde la raíz principal que tiene como función fundamental el anclaje de la planta y puede lograr hasta un metro de profundidad; cuando la planta alcanza de 1.5 metros y 2 metros de altura esto a partir de los 18 meses de desarrollo (Fechner, Greiner, Hesecker y Lindtner, 2019). El crecimiento de la raíz en la planta de cacao tiene como principal actividad irrumpir el desarrollo de ciertas las raíces laterales o también llamada secundarias logran llegar a un metro de radio esto con respecto al eje principal de la planta, además originan miles de pelos absorbentes que tienen como función primordial la absorción de minerales y nutrientes que influyen en la germinación de la planta.

2.2.3.2. Tallo

El tallo es una de las partes que indican el periodo de crecimiento en que se encuentra la planta de cacao cuando esta presenta cambios relacionados con la semilla de los cuales ostenta entre los días 3 y 4 el primer crecimiento (Vallejos, Ruíz, Chappa, Jiménez y Marín, 2021). De esta forma el tallo presenta un crecimiento progresivo en cada cierto periodo mediante controles fitosanitarios que favorecen aumentar la altura entre 1 a 2 metros, después de alcanzar este tamaño se interrumpe el crecimiento de la yema apical y del mismo nivel brotan de 3 a 5 ramas laterales, las cuales en conjunto toman el nombre de verticilo u horqueta.

2.2.3.3. Hojas

Las hojas son jóvenes pigmentadas, péndulas de consistencia blanda, de lámina simple, entera de forma que va desde lanceoladas o casi ovaladas, nervadura pinnada y ambas superficies lampiñas, acompañadas en su base por estipulas que se desprenden y caen rápidamente, su color varía según los cultivares o clones entre ellos se tiene el verde pálido al rosado o violeta. (Bunn, Castro, Lundy y Läderach, 2018). De modo que las hojas tienen su formación en el periodo de las 4 a la 5 fase de despliegue foliar, el mismo que les permite alcanzar la actividad fotosintética con el fin de absorber nutrientes que le permitan alimentar a la planta de cacao para una mejor calidad.

2.2.3.4. Flor

La flor de la panta de cacao es considerada una hermafrodita es decir que el gineceo y androceo están en la misma flor, su tamaño va entre 1 y 2 cm de diámetro, pentámeta y sostenida por un pedicelo de 1 a 3 cm, posee 5 sépalos unidos en su base, de color blanco o rosado, con pétalos alternos fusionados a los sépalos (Maney et al., 2022). Las primeras apariciones de floración en el tallo se generan entre uno a dos años de crecimiento, de modo que después de que el tallo se ha lignificado estos mismos capullos florales esperaran el proceso de polinización hasta el punto de que puedan producir frutos.

2.2.3.5. Fruto

El fruto de la planta de cacao por lo común es conocido como una mazorca, pero botánicamente que se le atribuye el nombre de drupa, dependiendo de la variedad de cultivo, el tamaño, color, textura y la forma serán distintos, de cascarón duro y en su interior un conjunto de semillas cubierto por un mucílago blanco lechoso el mismo que variara en relación al tiempo de maduración en que se encuentre el

cultivo (Fechner et al., 2019). En el caso del desarrollo completo del fruto del cacao toma un tiempo entre 150 a 180 días en donde después se debe de identificar a través del color del tejido de la mazorca el estado en maduración en que se encuentra el fruto, para que este después sea cosechado para su debido procesamiento industrial y consumo.

2.2.4 Condiciones edafoclimáticas

Las características edafoclimáticas desempeñan un rol fundamental en el éxito agrícola y la viabilidad de los cultivos dentro de un área específica. La combinación de elementos como el tipo de suelo, la temperatura, la humedad y la precipitación determina qué tipo de cultivos puede desarrollarse de manera óptima. La Zonificación edafoclimática permiten analizar y diseñar diferentes estrategias que condicionan las áreas donde será sembrado el cultivo de cacao, teniendo en cuenta los factores que condicionan el crecimiento de la planta y promuevan el desarrollo agrícola equilibrado con el medio ambiente (Suárez et al., 2021). En última instancia, estos hallazgos no solo proporcionan orientación práctica para los agricultores y las autoridades, sino que también sentarán las bases para un desarrollo agrícola más eficiente y sostenible para el cultivo del cacao.

Si bien la sostenibilidad del cacao y de las comunidades depende de adecuar su producción que se ve comprometida por diferentes circunstancias que alteran su debido desarrollo, estos impactos potenciales son asociados a través de su condiciones ambientales y climáticas propicias al cultivo. Se pudo resaltar que mediante la reducción de las precipitaciones y el aumento de temperatura son factores que provocan una disminución significativa en la idoneidad de las áreas estableciendo descensos entre un rango del 37,05% y 73,15% en las áreas aptas para zonas de intensificación y expansión bajo diferentes escenarios climáticos que

condicionan el progreso de germinación del cultivo (Igawa, Toledo y Anjos, 2022). Por lo tanto, es recomendable realizar diferentes análisis sobre los impactos negativos del cambio climático en la producción de cacao. Buscando de esta manera identificar las condiciones resistentes al cambio climático, como también la aplicación de estrategias fitosanitarias que garanticen la seguridad y sostenibilidad del cultivo para su debido desarrollo.

2.2.4.1. Clima

Es importante prevenir las zonas donde por naturaleza los vientos son fuertes ya que causan daños al cacao como la defoliación o caída prematura de hojas, por eso se recomienda tener estrategias que minimicen los efectos tales como árboles rompe vientos (Bunn et al., 2018). La temperatura promedio para el cultivo de cacao es de un factor promedio debido a que se recomienda establecer entre 23 a 25 grados Celsius de un clima fresco para acondicionar su entorno y crecimiento.

2.2.4.2. Precipitación

El cultivo de cacao requiere de una adecuada distribución de agua con el fin de llevar a cabo sus procesos metabólicos, la lluvia deber ser bien repartida debido a que es un factor climático que durante el año varía mucho; precisa una óptima precipitación que es bien distribuida durante todo el año que va de 1500 a 2500 mm, si sobrepasa estos valores la producción del cultivo de cacao se puede ver alterada (Suárez et al., 2021). Este tipo de cultivo tiene mayor adaptación con respecto a el clima tropical, dado que permite fundamentar su crecimiento vegetativo y brindar una óptima cosecha.

2.2.4.3. Luminosidad

Por otra parte, la luminosidad es otro factor de gran notabilidad para que el cultivo de cacao tenga un correcto crecimiento. El periodo de establecimiento se sugiere

el uso de otras plantas con el fin de generar diferentes sombras, esto es necesario ya que la radiación solar impacta directamente a las plantas jóvenes; mientras que se recomienda una intensidad lumínica menor al 50% para plantaciones ya asentadas. Por esta razón al establecer este porcentaje se estableció que al proporcionar una menor cantidad total de luz los rendimientos se limitan, pero al recibir el porcentaje en mayor cantidad de luz los rendimientos van a aumentar (Suárez et al., 2021).

2.2.4.4. Suelo

Para el cultivo de cacao tiene la facilidad de ser cultivados en cualquier tipo de suelo de los cuales se recomienda que estos sean profundos, livianos y manejen un conjunto extenso de nutrientes que permitan un desarrollo adecuado. Para eso se debe de requerir suelos con pH que vaya de 5.5 y 7, que sean hondos de 1.5m aproximadamente y con porcentaje de contenidos de materia orgánica de 3.5; su textura es suelta, arcillosos agregados, franco arenoso y franco limoso (Jaimez et al., 2022). Con referencia al uso de metales pesados para el control de fertilizantes y pesticidas se analizará el estado en que se encuentra el suelo y los nutrientes que manejan antes de aplicar este tipo de metal sin un debido estudio, ya teniendo conocimiento sobre dicha información se proporcionará un porcentaje adecuado de cadmio en el suelo con el fin de que permita mejorar el crecimiento del cultivo.

2.2.5 Producción de plántulas para la siembra

Si bien para el desarrollo de las plántulas se debe de manejar un conjunto de variables en donde predomina la disponibilidad del agua, sombra y protección de vientos. Andrade y Sena (2019) indica que para el cultivo de cacao existen dos formas de producción de plántula para la siembra; en donde el primer factor se fija en la reproducción sexual que se basa en la obtención de buenas semillas de

árboles (padres) seleccionados de cacao y a partir de su siembra producir plántulas y darles cuidado en viveros; mientras que la segunda forma es la reproducción asexual la cual sucede a través de estacas, acodos y yemas, como el enraizamiento de estacas o mediante la enjertación.

2.2.5.1. Reproducción sexual

La forma en que se da la reproducción sexual es la más general y común de desarrollar en la planta de cacao, dado que permite la combinación de dos tipos de genes de células para originar un respectivo gameto. Se basa en dar uso a la semilla de los árboles seleccionado como los mejores, y de esta forma asignarle un nombre de árbol élite, madres o productores de semillas, debido a que tiene las mejores cualidades tomando en referencia la fuerza y su textura de crecimiento, la producción y protección a infecciones patogénicas (Entuni, Nori, Edward y Kamil, 2021). En relación al cultivo de cacao es más recomendable el aplicar la reproducción por semilla, ya que esta contribuye a mantener ciertas variables genéticas que resguardan el ciclo de vida de la planta.

2.2.5.2. Reproducción asexual

Para este proceso de reproducción se analiza la textura y comportamiento que maneja la planta, teniendo en cuenta la fertilidad y calidad para un mayor anticipo en la cosecha. De esta manera se usan los tejidos vegetativos de un conjunto de plantas seleccionadas por su aspecto natural, estos pueden ser brotes, estacas o ramas; y es a partir de estos tejidos de las plantas seleccionadas que se da generar una nueva planta de cacao, este tipo de procedimiento denominado injerto es el tratamiento más recomendado en el campo agrícola (Black et al., 2020). Las mazorcas que se obtiene mediante este tipo de reproducción presenta

característica predominante, como la forma y el tamaño semejante en su etapa de desarrollo.

2.2.6 Metales pesados

Se reconoce como un conjunto de elementos químicos originarios de la corteza de la tierra, y que a su vez pueden ser utilizados en el área industrial, mercantil y agrícola. Los metales pesados se encuentran disponibles en el entorno de manera natural y sus densidades no afectan a las distintas formas de vida, mientras que existen otros procesos en donde interviene de manera directa estos tipos de componentes y causan un grado de contaminación alto hasta perjudicar el ciclo de vida de desarrollo de la planta (Rosales et al., 2020). Los metales pesados tienen un peso atómico por arriba de 20 g y una densidad alta de 5 g/cm³ que puede llegar a contemplar un metabolismo común.

Estos componentes son esenciales debido a que contribuyen en adquirir un óptimo metabolismo del cuerpo humano. Los metales pesados más utilizados son el mercurio (Hg), cadmio (Cd), berilio (Be), plomo (Pb), arsénico (As), bario (Ba), entre otros. La forma más tóxica es la iónica o de sales debido a que manejan un alto volumen de arsénico que es concentrado en los alimentos o medioambiente como en la sanidad pública (Castebianco, 2018). Sin embargo, se debe tener en cuenta que mientras se presenta una mayor concentración de un metal pesado en un terreno presentando factores problemáticos que pueden alterar el progreso de desarrollo y conducir a un deterioro progresivo.

La transmisión de estos metales son manejado por dos accesos que traerán inconvenientes en la salud, el primero es por transferencia en el medioambiente en donde los conductores serán el aire, agua, polvo o comida y la segunda es alterando la forma bioquímica de otros elementos (Chellaiah, 2018). Estos factores

han aumentado por realizar acciones antrópicas, en donde las fuentes de contaminación se originan por la ejecución de la minería, agricultura y otros entornos en donde participa el individuo, dando como resultado el deterioro de su salud como también el desarrollo del cultivo.

2.2.6.1. Cadmio

El cadmio con su sigla respectivas (Cd) es denominado como un elemento natural que se obtiene de la corteza terreras de la tierra para poder fabricar cualquier tipo de objeto y aplicación fitosanitaria. Rofner (2021) refiere que este metal pesado no se localiza en estado puro, sino por diferentes procesamiento químico que permiten prevalecer ciertas variables para su diferentes usos de transformación. En el campo agrícola este elemento químico prevalece en niveles creciente debido que genera ciertas inquietudes ambientales debido al cambio y disposición que tiene al ser absorbidos por las plantas que se encuentra sembradas.

Así mismo, el suelo sufre de cambios por la presencia de altos grados de contaminación que producen decadencia y deterioro de la tierra teniendo a recurrir a la no siembra o pérdida de plantación a cosechar. Al año grandes cantidades de Cd son liberadas al ambiente, siendo la mitad de este Cd expuesto en los ríos a través de la descomposición de rocas y una pequeña parte del Cd es liberado a la atmósfera a través de fuegos forestales y volcanes, y el restante del Cd se libera por las actividades humanas (Ackah, Ofosu, Lutterodt y Darko, 2019). De esta forma el cadmio se acumula en ciertas zonas del suelo y cuando la planta es sembrada esta absorbe los diferentes nutrientes que predomina en la tierra con el fin de contemplar recursos para su desarrollo.

Por lo tanto, se tiene en cuenta que la comprensión de los factores que contribuyen a la presencia de cadmio en el cultivo de cacao ha sido objeto de escrutinio debido a la acumulación de cadmio en sus granos, dado que este metal pesado reconocido por sus efectos nocivos, plantea desafíos significativos para los productores de cacao y los consumidores. Según estudios recientes, la acumulación de cadmio en el cacao puede atribuirse factores como la contaminación del suelo y el uso prácticas agrícolas inadecuadas, incluida la aplicación de fertilizantes y pesticidas que contiene metal (Genchi et al., 2020). Además, se recomienda el desarrollar estrategias que garantice la seguridad alimentaria y la salud de los consumidores, al tiempo que se protege la viabilidad económica de los productores de cacao en todo el mundo.

2.2.7 Presencia de metales pesados en los suelos

Las presencias de los metales pesados en el suelo son reconocidas como muy tóxico, en concentraciones que exceden los niveles de toxicidad al ser movilizados por la actividad humana. Los metales en el suelo se encuentra presente en las rocas, así como la influencia de ciertos microorganismos que alteran estos componentes a través de la energía solar y el ciclo en que el agua transcurre en el entorno (He et al., 2020). En el suelo existen un grupo extendido de metales pesados esenciales y no esenciales que tiene una influencia importante para el desarrollo del ciclo de vida de las plantas y que fácilmente puede ser utilizados para procesos microbiológicos.

La actividad agrícola tiende a contaminar el suelo con metales pesados a través de la aplicación de fertilizantes estos con contenido de metales pesados, de igual manera los plaguicidas, estiércol y purines. A medida que se recomienda la precisión y coordinación en el uso de este tipo de materiales y nutriente al hacer

aplicado en el suelo agrícola, debido a que se deben de realizar pruebas en las que se especifique la porción requerida por la planta sin alterar su crecimiento (Hong et al., 2020). El cadmio es uno de esos metales pesado no esenciales en el desarrollo de la planta, ya que en ciertos momentos aumenta su contaminación en el cultivo debido a la mala práctica fitosanitaria que es realizada por diversos factores.

La introducción de estos metales en el suelo puede provenir de diversas fuentes, como la contaminación, la aplicación de fertilizantes, pesticidas, así como la deposición atmosférica, lo que exige una atención inmediata y una acción preventiva para mitigar sus impactos. La contaminación por metales pesados en el del cultivo de cacao puede ser atribuida a prácticas agrícolas inadecuadas, la contaminación y la deficiente gestión de residuos, lo que subraya la necesidad de adoptar medidas urgentes para abordar un conjunto de problemáticas que afecta a los diferentes cultivos (Kicińska, Pomykala y Izquierdo, 2022). Debido a esto es importante tener identificado como un gran factor de amenaza seria para salud humana, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Podría ser controlado a través de la implementación d estrategias efectivas para monitorear y mitigar la contaminación hacia los cultivos de cacao.

2.2.8 Presencia de metales pesados en el agua

Se reconoce que en el estado líquido que se encuentra la materia denominada agua contiene diferentes metales pesados de manera natural, pero a su vez estos componentes tienen cierta concentración al estar presente en acuíferos donde circula el agua. La extensa contaminación rívida generada por el entorno industrial o minero es el promotor del aumento de concentración de metales pesado en el agua, como también los derramados de aguas o lixiviados de vertederos que

alteran ciertos niveles (Byung, Flora, Chang y Yoon, 2019). Teniendo en cuenta que ciertos metales son demasiados tóxicos y acumulan diversos organismos de los cuales son grandes fuentes de contaminación que perjudican al vínculo alimenticio.

Por lo consiguiente, la contaminación del cadmio en el agua produce ciertos factores tóxicos y de envenenamiento. En la agricultura el agua es una pieza clave a la hora de la fumigación y roció de las plantaciones, ya que en ciertos lugares se abastecen de aguas servidas o de canales para ejecutar estos controles fitosanitarios que permitan el crecimiento de la planta y nutrir el suelo (Tahoon, Siddeeg, Alsaiari, Mnif y Rebah, 2020). Los metales se encuentran vinculados con las actividades habituales de los seres humanos, tales como la agricultura, minería e industria; donde son áreas en las cuales se utiliza con frecuencia el agua como recursos para cual procedimiento o elaboración de un objeto u cosa.

Esta contaminación puede tener graves consecuencias para la vida acuática y para las personas que dependen del agua para su consumo y actividades diarias. Es esencial comprender las causas y consecuencias de la presencia de metales pesados en el agua para abordar este problema de manera efectiva. Considerando que los metales pesado pueden acumularse en los sedimentos y organismo acuáticos, lo que puede tener efectos adversos en la cadena alimentaria y en la salud humana a través del consumo de agua y alimentos contaminados que alteren la salud humana como también el medio ambiente (Panneerselvam & Shunmuga, 2023). Es necesario implementar medidas de control fitosanitario que contribuirán en un mayor esfuerzo a contrarrestar el desarrollo del cultivo mediante.

2.2.9 Enmiendas

Si bien las enmiendas agrícolas son relacionadas con un componente fundamental de las prácticas de manejo del suelo utilizadas en la agricultura moderna. Estas enmiendas, pueden incluir una variedad de materiales orgánicas e inorgánicas, se aplican al suelo con el propósito de mejorar su estructura, fertilidad y capacidad para retener nutrientes. Se puede resaltar que las enmiendas agrícolas pueden tener efectos beneficiosos significativos en la salud del suelo y la productividad de los cultivos. La adición de materia orgánica, como compost, estiércol y residuos de cosecha, pueden mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de humedad y nutrientes, y promover la actividad microbiana beneficiosa (Cazorla et al., 2020). Por lo tanto, es fundamental mejorar la salud del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a través de la aplicación de enmiendas que optimicen el cuidado de la biodiversidad.

Este tipo de prácticas pueden contribuir en el aumento de la productividad de los cultivos, reducir la erosión del suelo y mejorar la calidad del medio ambiente agrícola en general. Además, se puede iniciar que las ciertas enmiendas inorgánicas, como la cal y el yeso, pueden ayudar a corregir la acidez del suelo y mejorar su estructura física. Estos beneficios pueden traducirse en cosechas más saludables y abundantes, así como en una mayor resiliencia del suelo frente a condiciones adversa (Garbowski et al., 2023). Al integrar las enmiendas en el sector agrícola se puede concluir que puede ser una solución para promover un proceso fitosanitario más sostenible que condiciones cada etapa de desarrollo de la planta en cuestión.

2.2.9.1. Zinc

Se reconoce como un micronutriente que cumple un papel importante en el crecimiento y reproducción del ciclo de vida de las plantas, las misma que tienda a absorber a través de las raíces el nutriente que se presenta habitualmente en el suelo. Considerado un componente químico, el zinc posee rasgos de un metal manejable y dócil de aspecto gris; además de ser uno de los elementos menos abundantes, es uno de los más fundamentales para el desarrollo de organismos vegetales y animales (Rizwan, Rehman y Maqbool, 2019). Además, se puede resaltar que este tipo de nutriente maneja dos variables predominantes para el crecimiento de la planta en este caso son las enzimas y proteínas.

Este tipo de nutriente tiene mayor influencia en los controles fitosanitarios, debido a que los fertilizantes se encuentran elaborado por un conjunto extenso de micronutrientes que permiten proteger y adecuar el crecimiento de la planta; de esta forma se integran el fertilizante en las plantaciones y de ahí las raíces absorberán estos residuos con el fin de equilibrar el balance nutricional. La importancia biológica que tiene el zinc, de igual manera es un componente que es integrado para un sinnúmero de aplicaciones de cualquier tipo de área, pero en su gran parte puede ser un gran conductor de calor y electricidad (Zhou et al., 2020). Cuando el zinc excede los niveles de toxicidad este presenta diferente característica de alteración en el tamaño y color de las hojas e interrumpe el crecimiento de la planta.

La presencia de este tipo de elementos en la naturaleza y su disponibilidad para los organismos vivos son temas fundamentales que requieren comprensión y gestión adecuados para garantizar su uso sostenible y su impacto positivo en la salud y el medio ambiente. Teniendo en cuenta, que el zinc provoca un conjunto de problemas de manera secuencial en la salud, como retaso en el crecimiento,

enfermedades infecciosas y trastornos neurológicos, lo que subraya la importancia de mantener niveles adecuados de zinc en la dieta y el medio ambiente (Xue et al., 2020). Por esto, se puede tener en cuenta que el zinc contribuirá con resguardar los recursos naturales, de los cuales están siendo aplicados para mejorar su desarrollo progresivo en un lapso de tiempo planificado.

2.2.9.2. Humus de lombriz

Es un recurso natural generado por la recolección de material orgánico de la tierra y lombrices del suelo, el mismo que aporta en el desarrollo y resguardo de la plantación contra ataques de hongos o cualquier tipo de bacteria dañina. Las lombrices se encargan de realizar la relación entre las plantas y el suelo, con el fin de perturbar las funciones clave de los ecosistemas, siendo estos la descomposición, el ciclo de nutrientes y la bioturbación (Desie et al., 2020). El proceso por el cual pasa para transformarse en humus de lombriz, es donde la lombriz soporta el material orgánico y se alterará esto debido a la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora que se encuentra en su organismo, transformándolo en un adecuado abono orgánico.

Su composición es considerada muy rica en nutrientes y microorganismo beneficios, por lo que es una opción atractiva para los agricultores que buscan métodos sostenibles y orgánicos para mejorar el rendimiento de sus cultivos. Además, el humus de lombriz actúa como un sustrato enriquecedor de micronutrientes beneficioso que promueven la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes, lo que resulta en un suelo más saludable y fértil para el cultivo de cacao (Wright et al., 2021). Por lo tanto, es de gran importancia incorporar el humus de lombriz en las prácticas agrícolas, los agricultores pueden

mejorar la calidad de sus suelos, aumentar la producción de cacao y contribuir a la sostenibilidad de la industria cacaotera a nivel mundial.

2.2.9.3. Manganeseo

Este tipo de nutriente tiene la capacidad de poder producir energía y proteger las células con el fin de conservar sano las partes de la planta en el periodo de crecimiento. El manganeso (Mn) es un micronutriente de gran importancia para las plantas, ya que favorece la evolución, además de conserva las funciones metabólicas que se encuentra englobado en los diferentes compartimentos de las células vegetales (Santiago, Höller, Meier y Peiter, 2020). Además, es un componente cofactor esencial para el complejo generador de oxígeno (OEC) de la maquinaria fotosintética, la cual es catalizada en la reacción de segmentación del agua en el fotosistema II (PSII).

Sin embargo, la gestión adecuada del manganeso en el cultivo de cacao es un tema de creciente importancia, ya que su deficiencia o exceso puede tener consecuencias significativas para la calidad y la cantidad de la cosecha. Por otro lado, el exceso de manganeso en el suelo puede conducir a toxicidad, manifestándose en síntomas como necrosis y daño a las raíces; teniendo un manejo equilibrado del manganeso es esencial para garantizar un ambiente óptimo para el cultivo de cacao y maximizar su rendimiento (Hiller et al., 2021). La implementación de estrategias de fertilización precisa y monitoreo constante del estado nutricional de las plantas son esenciales para asegurar un crecimiento saludable y sostenible del cacao, contribuyendo así a una producción de alta calidad y a la sostenibilidad a lo largo plazo de la industria cacaotera.

2.2.9.4. Cachaza

La utilización de la cachaza en el cultivo de cacao representa una alternativa sostenible y rentable para los agricultores, ofreciendo beneficios tanto para el suelo como el rendimiento de los cultivos. Además, su composición orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta la retención de agua y promueve la actividad microbiana beneficiosa en el suelo. La aplicación de la cachaza como enmienda del suelo aumenta la fertilidad y productividad del suelo, contribuyendo así al éxito del cultivo de cacao (Moreno et al., 2022). Por lo tanto, este tipo de técnica contribuye a aumentar la resiliencia de sus sistemas de cultivos, contribuyendo así a mejorar la sostenibilidad y economía en el proceso de desarrollo del cultivo de cacao.

2.2.9.5. Materia orgánica

La materia orgánica se refiere a todo componente que tenga una relevación importante en el crecimiento de la vegetación mediante un conjunto de factores que promedia ese desempeño en un tiempo examinado. Es por esa razón que este medio sirve como mecanismo para la absorción de sustancia peligrosa con el fin de reducir cualquier tipo de químico que se encuentre en aumento y pueda alterar la composición de la planta en la fase de desarrollo (Cruz et al., 2020). Es por ese motivo que este componente al ser aplicado se lo acoge como un medio de almacenamiento el cual permita la recopilación de grandes cantidades de nutriente que se encuentran situadas en el suelo, el mismo que será usado para nutrir a la planta y mejorar su germinación.

En el contexto de la agricultura sostenible, la materia orgánica es considerada un recurso invaluable para mantener la productividad del suelo a largo plazo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos y otros insumos costosos. Por

ende, la materia orgánica mejora la estructura microbiana, lo que contribuye a la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes disponibles para las plantas. En consecuencia, la presencia de materia orgánica en el suelo es fundamental para mantener de crecimiento saludable y sostenible para los árboles de cacao (Visconti & Paz, 2021). Es importante priorizar la salud del suelo y la conservación de la materia orgánica, los agricultores pueden mejorar la calidad y la cantidad de sus cosechas de cacao, al tiempo que protegen el medio ambiente y promueven la sostenibilidad de la industria cacaotera.

2.2.9.6. Bacterias

El uso de bacterias como enmienda proporciona beneficios de rendimiento al proporcionar un metabolismo adecuado para el cultivo, en donde sus raíces absorben las diferentes vitaminas y compuesto con el fin de optimizar su crecimiento y desarrollo frutal. Las bacterias son un medio de tratamiento de aguas residuales; entre los beneficios que proporciona se resalta la erradicación y prevención de fitopatógenos que deteriora la germinación (Velasco, Castellanos, Acevedo, Clarene y Rodríguez, 2020). De manera que, las rizobacterias son un medio de contribución para la adquisición de un sinnúmero de nutrientes y recursos propicios para optimizar el ciclo de vida de las plantas.

La comprensión de las bacterias presentes en el cultivo de cacao es fundamental para promover prácticas agrícolas sostenibles y maximizar la productividad de los cultivos. Además, se ha observado que algunas bacterias tienen capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo que proporciona una fuente adicional de este nutriente esencial para las plantas de cacao. Estas interacciones benéficas entre las bacterias y las plantas son esenciales para el desarrollo saludable de los cultivos y la productividad del cacao (Wang et al., 2021). Por lo tanto, es importante

comprender y aprovechar las interacciones entre las bacterias y las plantas de cacao, los agricultores pueden mejorar la calidad de sus cosechas y contribuir a la salud de los ecosistemas agrícolas en general.

2.2.9.7. Microorganismo

Los microorganismos o también llamados descomponedores se encargan de la descomposición de la materia orgánica. Manejan nutrientes que son expuestos en procesos de filtración en donde se depositan esos respectivos organismo para contrarrestar cualquier tipo de patógeno que afecte el desarrollo de la planta, de modo que esa materia orgánica inestable se transforma en un tipo de materia orgánica más estable la cual toma el nombre de humus (Zhang et al., 2020). Por lo tanto, los microorganismos que garantiza beneficios importantes en la germinación de la planta son las bacterias y hongos al hacer integrado de manera controlada.

Se puede reconocer que los microorganismos manejan una diversidad de funciones que son fundamentales de cacao para promover prácticas agrícolas que fomentan la actividad y salud general del ecosistema del cultivo. Un ejemplo que resaltan, es la presencia de hongos micorrícicos forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas de cacao, mejorando la absorción de agua y nutrientes, especialmente fósforo; que permiten el aumentar la resistencia de las plantas a enfermedades y el estrés abiótico (Jan et al., 2020). Teniendo en cuenta por este medio los agricultores pueden mejorar la calidad de sus cultivos, reducir la dependencia de insumos químicos y promover la sostenibilidad a lo largo plazo del cultivo de cacao.

2.2.10 Suelos alcalinos

Es un tipo de suelo que se encuentra conformado por un conjunto de minerales como carbonato, sodio, fosforo y diferentes micronutrientes que permite adecuar el

crecimiento positivo de la plantación en un periodo secuencial. Se tienen en cuenta que la textura es densa, de una tonalidad baja, manteniendo una capacidad de infiltración deficiente, lenta permeabilidad y sobre todo con un elevado pH (Rashid et al., 2020). Sin embargo, las principales causas de estos suelos es que pueden presentarse factores naturales en relación con la descomposición de minerales por las diferentes condiciones climáticas en el que se encuentra situada la plantación climática, otra causa sería la interposición humana, está a través del agua en el proceso de riego y fumigación con un elevado bicarbonato de sodio, disolviéndose en el carbonato.

La calidad del suelo desempeña un papel crucial en la salud y productividad de los árboles de cacao. Los suelos alcalinos, caracterizados por un pH elevado y una concentración de sales solubles, representan un desafío para los agricultores de cacao debido a sus efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es por este tipo de suelo tiene una mayor presencia alcalinidad que puede interferir con la absorción de agua por parte de las raíces de las plantas, lo que puede provocar estrés hídrico y afectar el crecimiento y rendimiento del cacao (Feng et al., 2021). Esto aborda los desafíos asociado con los suelos alcalinos, los agricultores pueden promover un ambiente de crecimiento saludable y sostenible para el cultivo de cacao, lo que resulta en cosechas de mayor calidad y rendimiento.

2.3 Marco legal

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria

Título I

Principios generales

Artículo 1. Finalidad. - Esta Ley tiene por objeto establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente.

El régimen de la soberanía alimentaria se constituye por el conjunto de normas conexas, destinadas a establecer en forma soberana las políticas públicas agroalimentarias para fomentar la producción suficiente y la adecuada conservación, intercambio, transformación, comercialización y consumo de alimentos sanos, nutritivos, preferentemente provenientes de la pequeña, la micro, pequeña y mediana producción campesina, de las organizaciones económicas populares y de la pesca artesanal así como microempresa y artesanía; respetando y protegiendo la agrobiodiversidad, los conocimientos y formas de producción tradicionales y ancestrales, bajo los principios de equidad, solidaridad, inclusión, sustentabilidad social y ambiental (Ley Orgánica Del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2011, p.1).

El Estado a través de los niveles de gobierno nacional y subnacionales efectuará regímenes sobre etapas alimentaria en coordinación con el manejo de los procesos de producción.

Artículo 2. Carácter y ámbito de aplicación. - Las disposiciones de esta Ley son de orden público, interés social y carácter integral e intersectorial. Regularán el ejercicio de los derechos del buen vivir -sumak kawsay- concernientes a la soberanía alimentaria, en sus múltiples dimensiones.

Su ámbito comprende los factores de la producción agroalimentaria; la agrobiodiversidad y semillas; la investigación y diálogo de saberes; la producción, transformación, conservación, almacenamiento, intercambio, comercialización y consumo; así como la sanidad, calidad, inocuidad y nutrición; la participación social; el ordenamiento territorial; la frontera agrícola; los recursos hídricos; el desarrollo rural y agroalimentario; la agroindustria, empleo rural y agrícola; las formas asociativas y comunitarias de los microempresarios, microempresa o micro, pequeños y medianos productores, las formas de financiamiento; y, aquéllas que defina el régimen de soberanía alimentaria (Ley Orgánica Del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2011, p.1).

Las políticas establecidas garantizaran la sumisión irrestricta a los derechos de la naturaleza y el manejo de los recursos naturales, en correlación con los manuales de sostenibilidad ambiental y las prácticas de fabricación.

Artículo 3. Deberes del Estado. - Para el ejercicio de la soberanía alimentaria, además de las responsabilidades establecidas en el Art. 281 de la Constitución el Estado, deberá:

- a) Fomentar la producción sostenible y sustentable de alimentos, reorientando el modelo de desarrollo agroalimentario, que en el enfoque multisectorial de esta ley hace referencia a los recursos alimentarios provenientes de la agricultura, actividad pecuaria, pesca, acuacultura y de la recolección de productos de medios ecológicos naturales;
- b) Establecer incentivos a la utilización productiva de la tierra, desincentivos para la falta de aprovechamiento o acaparamiento de tierras productivas y otros mecanismos de redistribución de la tierra;
- c) Impulsar, en el marco de la economía social y solidaria, la asociación de los microempresarios, microempresa o micro, pequeños y medianos productores para su participación en mejores condiciones en el proceso de producción, almacenamiento, transformación, conservación y comercialización de alimentos;
- d) Incentivar el consumo de alimentos sanos, nutritivos de origen agroecológico y orgánico, evitando en lo posible la expansión del monocultivo y la utilización de cultivos agroalimentarios en la producción de biocombustibles, priorizando siempre el consumo alimenticio nacional;
- e) Adoptar políticas fiscales, tributarias, arancelarias y otras que protejan al sector agroalimentario nacional para evitar la dependencia en la provisión alimentaria; y,
- f) Promover la participación social y la deliberación pública en forma paritaria entre hombres y mujeres en la elaboración de leyes y en la formulación e implementación de políticas relativas a la soberanía alimentaria.

Artículo 4. Principios de aplicación de la ley. - Esta ley se regirá por los principios de solidaridad, autodeterminación, transparencia, no discriminación, sustentabilidad, sostenibilidad, participación, prioridad del abastecimiento nacional, equidad de género en el acceso a los factores de la producción, equidad e inclusión económica y social, interculturalidad, eficiencia e inocuidad, con especial atención a los microempresarios, microempresa o micro, pequeña y mediana producción (Ley Orgánica Del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2011, p.2).

Capítulo II

Protección de la Agrobiodiversidad

Artículo 7. Protección de la agrobiodiversidad. - El Estado, así como las personas y las colectividades protegerán, conservarán los ecosistemas y promoverán la recuperación, uso, conservación y desarrollo de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella. Las leyes que regulen el desarrollo agropecuario y la agrobiodiversidad crearán las medidas legales e institucionales necesarias para asegurar la agrobiodiversidad, mediante la asociación de cultivos, la investigación y sostenimiento de especies, la creación de bancos de semillas y plantas y otras medidas similares, así como el apoyo mediante incentivos financieros a quienes promuevan y

protejan la agrobiodiversidad (Ley Orgánica Del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2011, p.3).

Título III

Producción y comercialización agroalimentaria

Capítulo I

Fomento a la producción

Artículo 12. Principios generales del fomento.- Los incentivos estatales estarán dirigidos a los pequeños y medianos productores, responderán a los principios de inclusión económica, social y territorial, solidaridad, equidad, interculturalidad, protección de los saberes ancestrales, imparcialidad, rendición de cuentas, equidad de género, no discriminación, sustentabilidad, temporalidad, justificación técnica, razonabilidad, definición de metas, evaluación periódica de sus resultados y viabilidad social, técnica y económica (Ley Orgánica Del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2011, p.4).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Esta es una investigación experimental en donde se evaluó el estudio comparativo de la aplicación de enmiendas, para reducir la concentración de Cd en suelo alcalino con cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*).

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño que se utilizó es una investigación de tipo experimental. En cual se evaluó cinco tratamientos aplicados a seis plantas que fueron seleccionadas con el fin de identificar al mejor tratamiento.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. *Variable independiente*

3.2.1.1.1. *Enmiendas*

Humus de lombriz

El humus de lombriz, también conocido como vermicompost, se aplicó en razón de dos toneladas por hectárea, fraccionándose en una aplicación en los seis meses, y se aplicó a 25 cm de distancia alrededor de la planta.

Manganeso

Se aplicó manganeso a la planta con una duración de 5 segundos, esto dependió de las necesidades que tenga, luego del análisis de nutrientes.

El MicroQuel Mn (13% Zn EDTA-quelado) es un corrector de carencias de manganeso en forma de microgranulos totalmente solubles.

MicroQuel Mn es compatible con la mayor parte de los fertilizantes y productos fitosanitarios normalmente utilizados. No se recomienda mezclar con el Nitrato de Calcio y con soluciones madre muy ácidas ($\text{pH} < 4$).

La fracción quelatada permanece estable en un intervalo de pH entre 3 y 12.5, siendo uno de los correctores de manganeso más efectivo.

3.2.1.2. Variable dependiente

- Concentración de Cd en suelo alcalino
- Concentración de Cd en hojas
- Concentración de Cd en almendras
- Análisis físico y químico
- Producción al final del ensayo

3.2.2 Tratamientos

El factor de estudio está constituido, humus de lombriz, humus+bacterias, humus+manganeso, humus+manganeso+bacterias, manganeso y el testigo. Los tratamientos están constituidos por el nivel de dosis del producto y un total de una aplicación. Los tratamientos que se estudiaron se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Tratamiento en estudio

Nº	Tratamientos	Dosis	Dosis por parcela	Aplicaciones
T1	Humus de lombriz	1000kg/ha	216 Kg	1
T2	Humus + Bacterias	1000Kg/ha+ 50L/ha	216 Kg+10.8L	1
T3	Humus + Manganeso	1000Kg/ha+ 2Kg/ha	216 Kg/ha+0.43Kg	1
T4	Humus + Manganeso + Bacterias	1000 Kg/ha+ 2kg/ha+50l	216 Kg/ha+ 0.43Kg+10.8L	1
T5	Manganeso	2 Kg/ha	0.43Kg	1
T6	Testigo	–	–	–

Barcia, 2024

3.2.3 Diseño experimental

Para esta investigación se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

Recursos bibliográficos

- Libros
- Revistas
- Tesis de grado
- Sitios web
- Guías
- Informes técnicos

Materiales y equipos

- Plantas de cacao
- Fertilizantes
- Equipo de medición GPS
- Flexómetro
- Pendrive
- Machetes
- Estacas
- Libreta de apuntar
- Lápiz

Recursos humanos

Se realizó por el presente autor y la dirección de tutor docente de la UAE.

Recursos económicos

Se financió por medio de fuentes propias del autor y por medio de autogestión, detallando el presupuesto en la tabla 2:

Tabla 2. Presupuesto

Detalle	Valores
Movilización	300
Análisis de suelo, hojas y almendras.	200
Enmiendas	1000
Totales	1500

Barcia, 2024

3.2.4.2. Métodos y técnicas

Para la resolución del objetivo 1:

- **Técnica de la calicata**

Se realizó una calicata con dimensión de 1m³, con la finalidad de permitir, una inspección visual del contenido de humedad de suelo en la zona de raíces con esto se tuvo una idea clara de la disponibilidad de agua para las plantas, también se puede conocer la profundidad de suelo, horizontes, tipo de suelo, presencia de piedras, etc.

- **Recolección de muestra de suelo**

La muestra de suelo se tomó desde la superficie del suelo a 10 cm de profundidad con un barreno y se hizo en la zona de fertilización, donde se retiró los primeros dos cm del suelo, siendo aproximadamente un kg de suelo, luego se procedió a colocarlo en una bolsa plástica la cual no haya sido usada antes, y por último se detalló de forma clara por lote y sitio.

- **Recolección de muestras foliares**

Se inició recolectando las muestras de las hojas de 10 plantas de cacao con tijeras de podar, luego se cortó la cuarta hoja que este en su totalidad abierta de la rama media de los cuatro puntos cardinales de la planta, se seleccionó cuatro hojas por planta, después se colocó en su respectiva bolsa de papel con identificación, las cuales fueron posteriormente analizadas en laboratorio.

- **Recolección de granos de cacao**

En el lote se recolectó 10 mazorcas al inicio, dos mazorcas maduras por planta útil; luego se extrajeron las almendras las cuales fueron fermentadas; a continuación, se las colocó en bolsas de papel con su identificación para secarlas con una temperatura de 70° C durante 72 horas.

Después de todo ese proceso para medir la concentración de Cd mediante un análisis en laboratorio, las muestras secadas sin teste fueron molidas en un molino para tejidos, y luego colocadas en fundas con sus respectivas identificaciones.

Para para la resolución del objetivo 2:

En este objetivo se realizó un análisis a las enmiendas que se utilizaron humus de lombriz, Mn y bacterias.

- **Concentración de Cd en suelos y tejidos.**

Con el fin de determinar las concentraciones de Cd en suelo y tejidos, se recolectó muestras de hojas y almendras, el primer ensayo se realizó en tiempo cero al inicio, y el segundo ensayo después de las aplicaciones de las enmiendas, con una durabilidad de seis meses aproximadamente.

El proceso de recolección, digestión y análisis de las muestras será igual a las explicadas anteriormente.

Para la resolución del objetivo 3:

Una vez alcanzada la madurez fisiológica en las mazorcas de cacao se procedió a la cosecha y recolección de datos, números de mazorcas y peso de granos por planta, de cada planta útil de la unidad experimental. El cacao es cosechado durante todo el año en la unidad experimental se realizó la cosecha cada 15 días. Se colectó las mazorcas de las plantas útiles las cuales se les extrajeron las almendras, y se las pasó en húmedo con el fin de estimar su peso en Kg por ha⁻¹ con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\text{Peso fresco total}}{\# \text{ de plantas útiles productivas}} \times \text{densidad de siembra} \times 0.4$$

R = rendimiento (peso seco con 7% humedad en Kg ha⁻¹)

0.4 = factor de conversión de peso húmedo a seco (7% de humedad)

- **Manejo del ensayo**

Este trabajo se desarrolló en condiciones de campo con las siguientes características:

Tabla 3. Característica de la parcela experimental

Superficie total del ensayo	5500 m ²
Superficie por repetición	147m x 11.5m= 1690,5 m ²
Superficie de parcela	115 m ²
Largo y ancho de parcela	10.7m x 10.7m
Área útil de parcela	32.9 m ²
Distancia entre hileras y plantas	2.5 m x 2.5 m
Total de plantas por parcela	20
Total de plantas útiles por parcela	6
Total de plantas en experimento	720

Barcia, 2024

- **Manejo del cultivo**

La siembra de la plantación de cacao es del clon CCN-51, con un estimado de unas 1111 plantas por ha, las cuales tienen un promedio general de edad entre cuatro y seis años, y poseen un riego por microaspersión.

- **Fertilización**

Previo a la aplicación de las enmiendas se realizó un análisis de suelo y foliar, se ejecutó una sola aplicación que será en febrero y las dosis dependerán del análisis del suelo.

- **Podas**

Se realizó las podas de acuerdo a lo establecido por el propietario de la plantación.

- **Riego**

Se realizó el riego de acuerdo a lo establecido por el propietario de la plantación, de igual manera se programó con el fin de tener un control al momento de realizar la aplicación de las enmiendas, y con esto podremos evitar la lixiviación de los tratamientos.

- **Control de plagas y enfermedades**

Generalmente se realizó el control con productos como fungicidas e insecticidas, y dependiendo de la incidencia de ataque de plaga y enfermedades que haya en la plantación; pero los controles se realizaron acorde con la programación fitosanitaria del propietario de la plantación.

- **Control de malezas**

El control se realizó con herbicidas o moto guadaña, este control dependió de la población presente en la plantación.

- **Cosecha**

Se realizó acorde con la madurez fisiológica de la mazorca, y esto según lo programado por el propietario de la plantación.

3.2.5 Análisis estadístico

Los datos se evaluaron estadísticamente mediante el análisis de varianza que se detalla en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis de varianza

Fuentes de variación	Fórmula	Desarrollo	Grados de libertad
Tratamientos	$T - 1$	$6 - 1$	5
Repeticiones	$R - 1$	$3 - 1$	2
Error experimental	$(t-1)(r-1)$	$(6-1)(3-1)$	10
Total	$(t*r-1)$	$(6*3-1)$	17

Barcia, 2024

De este modo se genera dos hipótesis:

- H0: Ninguna de las enmiendas presenta una reducción en la concentración de Cd en suelo alcalino, tejidos (hojas) y almendras.
- H1: Al menos unas de las enmiendas aplicadas presentan una reducción en la concentración de Cd en suelo alcalino, tejidos (hojas) y almendras.

4. Resultados

4.1 Describir el perfil del suelo alcalino mediante la elaboración de una calicata.

Tabla 5. Descripción de los diferentes perfiles del suelo alcalino

Variable	Horizonte 1 (Ap)	Horizonte 2 (B1)	Horizonte 3 (B2)	Horizonte 4 (Bi)	Horizonte 5 (C)
Profundidad (cm)	0 - 14	14 - 52	52 - 69	69 - 82	+ 82
Color (Húmedo)	10 YR 5/3	10 YR 5/6	10 YR 6/6	2.5 Y 7/2	2.5 Y 6/6
Textura	Arcillo-limoso	Arcillo-limoso	Arcillo-limoso	Arcillo-limoso	Arcillo-limoso
Estructura	Bloques subangulares	Granular y bloques subangulares	Granular y bloques subangulares	Granular y bloques angulares	Granular y bloques angulares
Poros	Muy pequeños	Medios (2-5 mm)	Pequeños (1-2 mm)	Sin poros visibles	Pequeños (1-2 mm)
Cerocidad	Moderada	Débil	-----	-----	-----
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Concrecencias	-----	-----	-----	-----	Muy poco < 5%
Carbonato	-----	-----	-----	Ligera efervescencia débil	-----
Manganeso	Ligera efervescencia débil	Ligera efervescencia débil	Ligera efervescencia débil	Ligera efervescencia débil	Ligera efervescencia débil
Raíces	Gruesas	Gruesas	Medianas	Medianas	Fina
Macro (Fauna)	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay
Piedra	-----	-----	-----	-----	-----
Alofana	Leve	-----	-----	-----	-----

Barcia, 2024

En la hacienda "La primavera" lugar en estudio se describió un total de 5 horizontes, los cuales presentaron una profundidad de 0-14cm a +82 cm, en cada uno de los horizontes se evidencio suelos con una textura arcillo limoso, en donde podemos observar que la cerocidad va de entre débil a moderada; y la consistencia en cada uno de los horizontes es plástica; la presencia de los poros en los

horizontes va de muy pequeños, pequeños, medios, llegando hasta no ser visible; se evidencio la presencia de una ligera efervescencia débil de reacción al manganeso; mientras que existe presencia de raíces en cada uno de los horizontes pero acorde a la profundidad las raíces pasaron de gruesa en los primeros horizontes llegando hacer finas en los últimos; mientras que no se evidencio la presencia de piedra en ninguna de los horizontes. Esto es evidenciado y descrito en la tabla 5, donde se puede observar las características de cada uno de los horizontes.

4.2 Evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas sobre la concentración de Cd en suelos alcalinos, tejidos y almendras de cacao en la hacienda La Primavera en el recinto Cerecita.

Para la variable de la concentración de Cd en suelos alcalinos, tejidos (hojas) y almendras de cacao se realizó un análisis físico – químico por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) previo a la aplicación de las enmiendas (ver figura 2); donde se puede observar que el contenido de cadmio en el suelo es de 0.56 mg/Kg^{-1} superando el nivel permitido que es 0.50 mg/Kg^{-1} ; mientras que el contenido de cadmio en el tejido vegetal (hojas) es de 4.73 mg/Kg^{-1} mayor al nivel permitido que es de 0.5 mg/Kg^{-1} y el contenido de cadmio en la almendra de cacao es de 1.12 mg/Kg^{-1} superando el nivel permitido de 0.8 mg/Kg^{-1} (ver tabla 6).

Tabla 6. Contenido de cadmio en suelo, tejidos (hoja) y almendra de cacao

Contenido de cadmio	Cantidad (mg/Kg^{-1})	Niveles permitidos de Cd (mg/Kg^{-1})
Suelo	0.56	0.5
Tejido vegetal	4.73	0.5
Almendra	1.12	0.8

INIAP, 2022

4.2.1 Concentración de Cd en el suelo

Luego de los seis meses de aplicación de las enmiendas orgánicas, microelementos y bacterias se detalla la reducción de Cd en el suelo (ver tabla 7) donde todos los tratamientos aplicados se evidencia la reducción de Cadmio excepto el testigo o control (T6) por debajo del límite permisible que es 0.5 mg/kg^{-1} , sin embargo el tratamiento que redujo hasta un 27.12% la disponibilidad de Cadmio en el suelo fue la aplicación de humus aplicadas directamente al suelo en combinación con las bacterias aplicadas en drench al 25% (T2), seguido del tratamiento humus + manganeso + bacterias (T4), mismos que presentaron una diferencia significativa ($P < 0.05$) concluyendo que se rechaza la H_0 (Hipótesis nula) y con un coeficiente de variación de 3.06%.

Tabla 7. Concentración de Cd en el suelo

Tratamientos	Cantidad (mg/kg^{-1})	n	E.E.	
(T6) Testigo	0.59	3	0.01	A
(T1) Humus de lombriz	0.48	3	0.01	B
(T3) Humus + Manganeso	0.48	3	0.01	B
(T5) Manganeso	0.46	3	0.01	B C
(T4) Humus + Manganeso + Bacterias	0.45	3	0.01	B C
(T2) Humus + Bacterias	0.43	3	0.01	C
CV %	3.06			
P valor	0.0001			

Barcia, 2024

4.2.2 Concentración de Cd en tejidos (hojas)

En la tabla 8 se detalla la concentración de Cd en tejidos (hojas), de acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que todos los tratamientos que fueron aplicados durante estos 6 meses presentaron una reducción a excepción del testigo (T6); si bien todos los tratamientos presentaron una reducción, los tratamientos con mayor eficacia fue el manganeso aplicado de manera foliar (T5) con una media de

2.33 mg/Kg⁻¹ y el humus de lombriz en combinación con el manganeso y las bacterias (T4) teniendo una media de 2.58 mg/kg⁻¹; presentando una correlación significativa ($P < 0.05$) concluyendo que se rechaza la H_0 (Hipótesis nula) y con un coeficiente de variación de 5.47.

Tabla 8. Concentración de Cd en tejidos (hojas)

Tratamientos	Cantidad (mg/kg ⁻¹)	n	E.E.			
(T6) Testigo	3.44	3	0.09	A		
(T2) Humus + Bacterias	3.29	3	0.09	A	B	
(T1) Humus de lombriz	2.99	3	0.09	A	B	C
(T3) Humus + Manganeso	2.87	3	0.09		B	C
(T4) Humus + Manganeso + Bacterias	2.58	3	0.09			C D
(T5) Manganeso	2.33	3	0.09			D
CV %	5.47					
P valor	0.0001					

Barcia, 2024

4.2.3 Concentración de Cd en la almendra de cacao

La concentración de Cd encontrada en la almendra de cacao (tabla 9) presentó la media de 1.20 mg/kg⁻¹ del tratamiento en donde se aplicó el humus de lombriz de manera directa al suelo en combinación al manganeso foliar y las bacterias aplicadas en drench del 25% (T4) siendo el tratamiento con mayor efectividad para la disminución de Cd en el mismo; los valores encontrados en el resto de los tratamientos faltantes también presentaron una disminución de Cd en la almendra de cacao a excepción del testigo (T6); y presentó una diferencia significativa ($P < 0.05$) concluyendo que se rechaza la H_0 (Hipótesis nula); con un coeficiente de variación de 2.20%.

Tabla 9. Concentración de Cd en la almendra de cacao

Tratamientos	Cantidad (mg/kg ⁻¹)	n	E.E.	
(T6) Testigo	1.50	3	0.02	A
(T2) Humus + Bacterias	1.36	3	0.02	B
(T3) Humus + Manganeso	1.34	3	0.02	B
(T1) Humus de lombriz	1.32	3	0.02	B C
(T5) Manganeso	1.25	3	0.02	C D
(T4) Humus + Manganeso + Bacterias	1.20	3	0.02	D
CV %	2.20			
P valor	0.0001			

Barcia, 2024

Tabla 10. Reducción en el contenido de cadmio en cacao

Tratamientos	Concentración de cadmio (mg/kg ⁻¹)								
	Suelo			Tejido			Almendra		
	Inicial	Final	Reducción (%)	Inicial	Final	Reducción (%)	Inicial	Final	Reducción (%)
T1 – Humus	0.56	0.48	14.28	4.73	2.99	36.78	1.12	1.32	-17.86
T2 – Hum+ BTC	0.56	0.43	23.21	4.73	3.29	30.44	1.12	1.36	-21.43
T3 – Hum + Mn foliar	0.56	0.48	14.28	4.73	2.87	39.32	1.12	1.34	-19.64
T4 – Hum + Mn foliar + BTC	0.56	0.45	19.64	4.73	2.58	45.45	1.12	1.25	-11.61
T5 - Mn foliar	0.56	0.46	17.86	4.73	2.33	50.74	1.12	1.20	-7.14
T6 – Testigo	0.56	0.59	-5.36	4.73	3.44	27.27	1.12	1.50	-33.93

Barcia, 2024

4.3 Realizar el análisis costo beneficio del uso de enmiendas en la reducción de Cd en el cultivo de cacao.

Se realizó un análisis económico de los diversos tratamientos para determinar cuál ofrecía el mayor beneficio financiero en términos de rendimientos. Se requirió obtener datos oficiales de "La asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao del Ecuador", donde señala que el precio del quintal de cacao durante la semana del 7 al 12 de diciembre de 2021 era 90 dólares. En el estudio se realizó el costo/beneficio donde los tratamientos más destacados fueron el humus de lombriz aplicado directamente al suelo (T1) con un valor de 2.80, lo que significa

que por cada dólar invertido se generó una ganancia de 1.80 dólares; le siguió el tratamiento humus + manganeso foliar (T3) con un valor de 2.55, que por cada dólar invertido se obtuvo una ganancia de 1.55 dólares; mientras que el tratamiento que menor valor generó en la relación B/C fue el humus + bacterias aplicadas en drench del 25% (T2) con un valor de 1.36 lo que significa que por cada dólar invertido se generó solo una ganancia del 0.36 dólares.

Tabla 11. Costo de producción del cultivo

Insumos/ Labores	Valor Unitario (\$)	Cantidad	Valor (\$)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
Enmiendas								
Humus de lombriz saca de 50 Kg	10	20	200	200	200	200	0	0
Bacterias Galón	25	25	0	625	0	625	0	0
Manganeso kilo	30	4	0	0	120	120	120	0
Fertilizante completo	45	3	135	135	135	135	135	135
Diesel riego	240	1	240	240	240	240	240	240
Mano de obra								
Jornales	12	10	120	120	120	120	120	120
Limpieza de malezas	15	10	150	150	150	150	150	150
Control fitosanitario	12	10	120	120	120	120	120	120
Poda de mantenimiento	0.25	1449	362.3	362.3	362.3	362.3	362.3	362.3
Cosecha	12	15	180	180	180	180	180	180
Riego	15	10	150	150	150	150	150	150
Fertilización	12	10	120	120	120	120	120	120
Costos indirectos								
Mantenimiento de equipos		1	45	45	45	45	45	45
Otros			30	30	30	30	30	30
Costo Total			1852.3	2477.3	1972.3	2597.3	1772.3	1652.3

Barcia, 2024

Tabla 12. Análisis de la relación beneficio/costo

Tratamiento	T1 Humus de lombriz	T2 Humus + Bacterias	T3 Humus + Manganeso	T4 Humus + Manganeso + Bacterias	T5 Manganeso	T6 Testigo
Rend. Kg/ha	2781.28	1808.52	2691.52	2425.81	2262.86	2150.26
Precio Comercial (\$/Kg)	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87
Bien Bruto \$	5200.99	3381.93	5033.14	4536.26	4231.54	4020.99
Costo de Producción \$	1852.3	2477.3	1972.3	2597.3	1772.3	1652.3
Bien neto \$	3348.69	904.63	3060.84	1938.96	2459.24	2368.69
Relación B/C	2.80	1.36	2.55	1.74	2.38	2.43

Barcia, 2024

5 Discusión

En el recinto cercita zona norte de la provincia del Guayas, se realizó este estudio con la intención de reducir la concentración de cadmio en suelo alcalino, tejidos (hojas) y la almendra de cacao a través de la aplicación de enmiendas orgánicas, microelementos y bacterias.

Según Connor et al. (2021) una enmienda es definida como una mezcla procesada de material orgánico que tiene como fin de mejorar la fertilidad del suelo. Los materiales de origen animal o vegetal se consideran enmiendas orgánicas y se utilizan para mejorar las propiedades físico-químicas como biológicas del suelo; en resumen, las enmiendas ya sean orgánicas o minerales elevan la temperatura del suelo, facilitando así la absorción de los nutrientes por parte de las plantas; es por eso que a través de este estudio se descubrió que la realización de una calicata para la aplicación de enmiendas es una práctica donde se evalúa la calidad del suelo, así como su textura, estructura, consistencia, porosidad, su color, la presencia de raíces, entre otras; ya que con esto se puede identificar la distribución vertical de los nutrientes y los otros componentes del suelo; y así proporcionar una buena productividad al suelo y realizar una correcta aplicación de las enmiendas.

Huaraca et al. (2020) encontró que las enmiendas pueden disminuir la solubilidad del cadmio (Cd) y su absorción por parte de las plantas en suelos altamente contaminados. Estos contaminantes provocan alteraciones en la calidad y la productividad del suelo, lo que acarrea graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente. Los siguientes factores fueron examinados a raíz del segundo objetivo: el humus de lombriz en combinación de las bacterias (T2) resultó tener el mejor promedio en la reducción de Cd en el suelo, seguido de humus + manganeso + bacterias (T4); mientras que el mejor promedio para la reducción de Cd en tejidos

(hojas) lo tuvo el manganeso foliar (T5), consecutivo con el humus de lombriz aplicado directamente al suelo en combinación al manganeso foliar y las bacterias que fueron aplicadas en drench del 25% (T4); y para la reducción de Cd en la almendra de cacao el tratamiento con mejor resultado fue el humus + manganeso + bacterias (T4); y aunque todos los tratamientos presentaron una reducción favorable en suelo, tejidos (hojas) y almendra de cacao, los nombrados tuvieron los mejores promedios, llegando a reducir los niveles de cadmio y así mejorando la capacidad de retención en el suelo y disminuir la biodisponibilidad del cadmio para las plantas.

Argüello et al. (2019) indica que una de las preocupaciones en el cultivo del cacao radica en la presencia de cadmio (Cd), ya que este compuesto químico altera ciertas condiciones y disminuye el desarrollo de la planta. A nivel nacional, la contaminación de Cd aún no ha sido cuantificada, por lo que la aplicación de enmiendas se plantea como una estrategia de mitigación para modificar las propiedades del suelo y reducir la disponibilidad de Cd en él; con esto se afirma que el Cd afecta a las grandes plantaciones de cacao, lo que acarrea pérdidas en el futuro en términos comerciales. Así mismo, se recogieron datos para el análisis económico del tercer objetivo de la relación beneficio/costo, que reveló que el humus de lombriz (T1) y el humus + manganeso foliar (T3) tuvieron los valores medios más altos 2.80 y 2.55 respectivamente, mientras que el humus en combinación con las bacterias (T2) tuvo la media más baja, 1.36 lo que indica que se obtuvo un menor beneficio; pero de igual manera todos los tratamientos presentaron beneficios.

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de enmiendas orgánicas líquidas disminuye el nivel de cadmio disponible del suelo; facilitando algunas

combinaciones el incremento de cadmio disponible en el suelo, debido a la complejidad del mismo. La disponibilidad del cadmio en el suelo puede variar debido a la interacción con otros metales. Asimismo, Rofner (2021) refiere que el cadmio en el suelo está asociado a iones; por ello, la aplicación de enmiendas orgánicas líquidas puede alterar la disponibilidad de cadmio en el suelo (aumentar o disminuir).

Los resultados indican que la aplicación de enmiendas al suelo disminuye el nivel de cadmio en las plantas; sin embargo, los resultados entre enmiendas orgánicas líquidas no se diferencian en contenido de cadmio en las hojas, ello se puede deber al lugar de acumulación de cadmio en la planta. Resultado que concuerda con el reporte de Cazorla et al. (2020) donde manifiesta que todas las enmiendas orgánicas reducen el contenido de cadmio en hojas y la acumulación es mayor en las raíces que en la parte aérea.

El contenido de cadmio encontrado en las almendras de cacao es superior al límite permisible según el reglamento de la UE 488/2014 que entró en vigencia en enero del 2019 donde se especifica el contenido máximo de cadmio en productos alimenticios, específicamente en el chocolate (0,3 ppm) y otros derivados del cacao (0,6 ppm). Wright et al. (2021) realizó un estudio donde determinó que el contenido de cadmio en las almendras disminuye hasta en 0,25 ppm por efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas.

En este contexto se alcanzó la hipótesis alternativa (H1) donde al menos una de las enmiendas aplicadas presenta una reducción en la concentración de Cd en suelo alcalino, tejidos (hojas) y las almendras de cacao.

6 Conclusiones

Luego de seis meses de análisis de enmiendas orgánicas, minerales y bacterias en distintas proporciones se determina que la mejor combinación para disminuir el cadmio en suelo, tejidos (hojas) y en la almendra de cacao fue de humus de lombriz con el manganeso foliar y los organismos (bacterias) (T4) con una dosis de 1000 Kg/ha+2kg/ha+50l logrando un 23.73% de reducción en el suelo, un 25% en los tejidos (hojas) y hasta en un 20% en la almendra de cacao.

La aplicación de estas enmiendas de humus de lombriz (T1) y el humus de lombriz en combinación con el manganeso foliar (T3) para reducir el cadmio es económicamente viable ya que a pesar que la investigación llevó 6 meses de datos de producción, se constató un incremento de la producción en comparación a los demás tratamientos con un costo beneficio de 2.80 y 2.55 lo que significa que por cada dólar invertido se generó una ganancia de 1.80 y 1.55 dólares respectivamente.

En conclusión, la elaboración de una calicata para describir el perfil de un suelo alcalino es un recurso invaluable para entender su características y composición; la observación directa de las capas de suelo revela información sobre la presencia de 5 horizontes; con una textura arcillo-limoso; su estructura en mayor de los horizontes es granular y bloques subangulares; con presencia de poros, raíces, macro (fauna) y cerocidad; y presentando una consistencia plástica.

La evaluación del efecto de la aplicación de enmiendas sobre la concentración de Cd en suelos alcalinos, tejidos (hojas) y almendras de cacao es un proceso integral que implica tener en cuenta diversos factores entre ellos la efectividad de las enmiendas; luego de los seis meses de aplicación se concluyó que el humus +

bacterias (T2) y el humus + manganeso + bacterias (T4) fueron los más eficiente para disminuir la concentración de Cd en el suelo; mientras que los mejores tratamiento para reducir la concentración de Cd en tejidos (hojas) fue el Manganeso (T5) y el humus + manganeso + bacterias (T4) ; y el tratamiento que ayudó a disminuir la concentración de Cd en la almendra de cacao fue el humus + manganeso + bacterias (T4).

El análisis costo-beneficio del uso de enmiendas permitió realizar una evaluación económica de los diferentes tratamientos y enmiendas que se usaron para la reducción de Cd en el cultivo de cacao; los resultados indicaron que los tratamientos que generan un mayor beneficio es el humus de lombriz aplicado directamente al suelo (T1) con 2.80 dólares de ganancias y el humus + manganeso (T3) con 2.55 dólares de ganancias; mientras que el tratamiento que generó el valor más bajo fue el humus + bacterias (T2) con solo 1.36 dólares.

7 Recomendaciones

Se recomienda el uso del tratamiento de humus de lombriz aplicado de manera directa al suelo en combinación del manganeso foliar y las bacterias aplicadas con en drench del 25% (T4) porque se evidencio como el mejor resultado al momento de reducir la concentración de cadmio en el suelo, tejidos (hojas) y almendra de cacao; además el tratamiento que obtuvo un mejor beneficio económicamente fue el humus de lombriz aplicado directamente al suelo (T1) de 2.80 destacando que por cada dólar invertido se generó una ganancia de 1.80 dólares respectivamente.

Se recomienda realizar una calicata con el fin de proporcionar conocimiento de las características del suelo en un área determinada; para eso es necesario seguir el proceso correctamente como la planificación y ubicación de la calicata, excavación de la calicata, descripción del perfil del suelo, el muestreo de suelo, el registro y análisis de datos, y se culmina realizando un informe donde se detallará la descripción del suelo, análisis de las muestras y conclusiones sobre las características de este suelo en el área estudiada.

Con el fin de disminuir la presencia de Cd en suelos alcalinos, tejidos (hojas) y almendras de cacao mediante la aplicación de enmiendas orgánicas, microelementos y bacterias se sugiere realizar un estudio exhaustivo que abarque múltiple variables no solo la efectividad de las enmiendas sino también otros factores como las condiciones del suelo, el clima y las prácticas agrícolas; además se recomienda usar el humus + bacterias (T2) y el humus en combinación con el manganeso y las bacterias (T4) para reducir la concentración de Cd en el suelo; el manganeso (T5) y el humus + manganeso + bacterias (T4) ya que sirve para reducir la concentración de Cd en tejidos (hojas); y el humus + bacterias + manganeso (T4) para disminuir la concentración de Cd en la almendra del cacao.

Se recomienda a los agricultores y a los investigadores realicen un análisis costo-beneficio al momento de realizar el uso de enmiendas para reducir los niveles de Cd en el cultivo de cacao ya que con esto se obtendrá una eficiencia económica, una viabilidad financiera y sostenibilidad a largo plazo.

8 Bibliografía

- Alcívar Córdova, K. S., Quezada Campoverde, J., Barrezueta Unda, S., Garzón Montealegre, V. J., & Carvajal Romero, H. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014 – 2019. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 6, Nº. 3, 2021, Págs. 2430-2444, 6(3), 2430-2444.
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2522>
- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. (2020). Manganese in plants: From acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11, 300.
<https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00300/BIBTEX>
- Andrade Sodré, G., Roberto, A., & Gomes, S. (2019). Cocoa propagation, technologies for production of seedlings. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(2). <https://doi.org/10.1590/0100-29452019782>
- Anyimah-Ackah, E., Ofori, I. W., Lutterodt, H. E., & Darko, G. (2019). Exposures and risks of arsenic, cadmium, lead, and mercury in cocoa beans and cocoa-based foods: a systematic review. *Food Quality and Safety*, 3(1), 1-8.
<https://doi.org/10.1093/FQSAFE/FYY025>
- Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of The Total Environment*, 649, 120-127.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.292>
- Black, E., Pinnington, E., Wainwright, C., Lahive, F., Quaife, T., Allan, R. P., Cook, P., Daymond, A., Hadley, P., McGuire, P. C., Verhoef, A., & Vidale, P. L. (2020). Cocoa plant productivity in West Africa under climate change: a modelling and

- experimental study. *Environmental Research Letters*, 16(1), 014009.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABC3F3>
- Bunn, C., Castro, F., Lundy, M., & Läderach, P. (2018). *Climate change and cocoa cultivation*. 445-468. <https://doi.org/10.19103/AS.2017.0021.28>
- Castebianco, J. A. (2018). Review / Reseña bibliográfica Heavy metals remediation with potential application in cocoa cultivation. *LA GRANJA: Journal of Life Sciences*, 27(1), 20-33. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>
- Cazorla, F. M., Vida, C., & de Vicente, A. (2020). The role of organic amendments to soil for crop protection: Induction of suppression of soilborne pathogens. *Annals of Applied Biology*, 176(1), 1-15. <https://doi.org/10.1111/AAB.12555>
- Chellaiah, E. R. (2018). Cadmium (heavy metals) bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa*: a minireview. *Applied Water Science* 2018 8:6, 8(6), 1-10.
<https://doi.org/10.1007/S13201-018-0796-5>
- Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., Gordillo-Curiel, A., Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., & Gordillo-Curiel, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480.
<https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I3.506>
- Desie, E., Van Meerbeek, K., De Wandeler, H., Bruelheide, H., Domisch, T., Jaroszewicz, B., Joly, F. X., Vancampenhout, K., Vesterdal, L., & Muys, B. (2020). Positive feedback loop between earthworms, humus form and soil pH reinforces earthworm abundance in European forests. *Functional Ecology*,

- 34(12), 2598-2610. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13668/SUPPINFO>
- Diana, W., Quimi, C., Berenice, M., Castro, A., Silvana, G., Risco, C., Karina, Y., & Cabezas, P. (2020). Evaluación socioeconómica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies: JBES*, ISSN-e 2576-0971, Vol. 4, Nº. 2, 2020 (Ejemplar Dedicado a: July - December), Págs. 96-106, 4(2), 96-106. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.79>
- Entuni, G., Nori, H., Edward, R., & Jaafar, A. K. B. M. (2021). Reproductive characteristics of the selected cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones after regenerated from the somatic embryogenesis culture. *Trends in Sciences*, 18(24), 1406. <https://doi.org/10.48048/tis.2021.1406>
- Espinel-Rubio, G. A., & Feo-Ardila, D. (2022). Territorio e identidad de resistencia en jóvenes del Catatumbo (Colombia), constructores de paces imperfectas. *Investigación & Desarrollo*, 30(01), 40-68. <https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661>
- Fechner, C., Greiner, M., Hesecker, H., & Lindtner, O. (2019). Dietary exposure assessment of aluminium and cadmium from cocoa in relation to cocoa origin. *PLOS ONE*, 14(6), e0217990. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0217990>
- Feng, Y., Yang, J., Liu, W., Yan, Y., & Wang, Y. (2021). Hydroxyapatite as a passivator for safe wheat production and its impacts on soil microbial communities in a Cd-contaminated alkaline soil. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124005. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.124005>
- Garbowski, T., Bar, D., Charazińska, S., Grabowska, B., Kowalczyk, A., & Lochyński, P. (2023). An overview of natural soil amendments in agriculture.

- Soil and Tillage Research*, 225, 105462.
<https://doi.org/10.1016/J.STILL.2022.105462>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 3782, 17(11), 3782.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH17113782>
- He, G., Zhang, Z., Wu, X., Cui, M., Zhang, J., & Huang, X. (2020). Adsorption of heavy metals on soil collected from lixisol of typical karst areas in the presence of CaCO₃ and soil clay and their competition behavior. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 7315, 12(18), 7315. <https://doi.org/10.3390/SU12187315>
- Hiller, E., Jurkovič, L., Faragó, T., Vítková, M., Tóth, R., & Komárek, M. (2021). Contaminated soils of different natural pH and industrial origin: The role of (nano) iron- and manganese-based amendments in As, Sb, Pb, and Zn leachability. *Environmental Pollution*, 285, 117268.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117268>
- Huaraca-Fernandez, J. N., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L. S., Pampa-Quispe, N. B., Huaraca-Fernandez, J. N., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L. S., & Pampa-Quispe, N. B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información Tecnológica*, 31(4), 139-152. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Igawa, T. K., de Toledo, P. M., & Anjos, L. J. S. (2022). Climate change could reduce and spatially reconfigure cocoa cultivation in the Brazilian Amazon by 2050. *PLOS ONE*, 17(1), e0262729.
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0262729>

- Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L. A., Cedeño-García, G., Cantos, I. S., & Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: A comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ Computer Science*, *10*, e12676. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.12676/FIG-3>
- Jan, U., Feiwen, R., Masood, J., & Chun, S. C. (2020). Characterization of Soil Microorganism from Humus and Indigenous Microorganism Amendments. *Mycobiology*, *48*(5), 392-398. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1816154>
- Joseph, L., Jun, B. M., Flora, J. R. V., Park, C. M., & Yoon, Y. (2019). Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere*, *229*, 142-159. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.04.198>
- Kicińska, A., Pomykała, R., & Izquierdo, M. (2022). Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, *73*(1), e13203. <https://doi.org/10.1111/EJSS.13203>
- Ley Orgánica Del Régimen de la Soberanía Alimentaria. (2011). *Ley orgánica del régimen de la soberanía alimentaria título I principios generales*. 1-13. <https://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/pacha/wp-content/uploads/2011/04/LORSA.pdf>
- Maney, C., Sassen, M., & Hill, S. L. L. (2022). Modelling biodiversity responses to land use in areas of cocoa cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *324*, 107712. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2021.107712>
- Moreno, L., Perea, D., Soto, J., Torres, P., & Marmolejo, L. F. (2022). Improvement of biowaste composting by addition of sugarcane filter cake as an amendment material. *Ingeniería y Universidad*, *26*.

<https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.IUED26.IBCA>

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

<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115985>

Oc Llatance, W., Julián Gonza Saavedra, C., Guzmán Castillo, W., Pariente Mondragón, E., Ambiental, I., & independiente, consultor. (2018). Bioaccumulation of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao*) in the Native Community of Pakun, Peru. *Revista Forestal Del Perú*, 33(1), 63-75.

<https://doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>

Panneerselvam, B., & Shunmuga, K. (2023). Phytoremediation potential of water hyacinth in heavy metal removal in chromium and lead contaminated water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(13), 3081-3096.

<https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1901896>

Rashid, M., Hussain, Q., Khan, K. S., Al-Wabel, M. I., Afeng, Z., Akmal, M., Ijaz, S. S., Aziz, R., Shah, G. A., Mehdi, S. M., Alvi, S., & Qayyum, M. F. (2020). Prospects of biochar in alkaline soils to mitigate climate change. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*, 133-149.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_7

Rene, F., & Guerrero, G. (2019). Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* linnaeus) como Rubro para la Sustentabilidad de los Suelos. *Revista Scientific*, 4(13), 78-89.

<https://doi.org/10.29394/SCIENTIFIC.ISSN.2542-2987.2019.4.13.4.78-89>

Rizwan, M., Ali, S., Rehman, M. Z. ur, & Maqbool, A. (2019). A critical review on the

- effects of zinc at toxic levels of cadmium in plants. *Environmental Science and Pollution Research* 2019 26:7, 26(7), 6279-6289.
<https://doi.org/10.1007/S11356-019-04174-6>
- Rofner, N. F. (2021). Artículo científico / Scientific paper (Theobroma cacao L.) review on maximum limits of cadmium in cocoa (Theobroma cacao L.). *Ciencias de La Vida*, 34(2), 117-130. <https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.08>
- Rofner, N. F., Lineker, S., Melchor, C., & Gómez Bernal, R. (2018). El pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico (Theobroma cacao L.) en Leoncio Prado, Huánuco, Perú. *Folia Amazónica*, 27(1), 1-8.
<https://doi.org/10.24841/FA.V27I1.438>
- Rosales-Huamani, J. A., Breña-Ore, J. L., Sespedes-Varkarsel, S., De la Cuba, L. H., Centeno-Rojas, L., Otiniano-Zavala, A., Andrade-Choque, J., Valverde-Espinoza, S., & Castillo-Sequera, J. L. (2020). Study to determine levels of cadmium in cocoa crops applied to Inland Areas of Peru: “The case of the campo Verde-Honorina tournavista corridor.” *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1576, 10(10), 1576. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10101576>
- Salama, A. K. (2018). Health risk assessment of heavy metals content in cocoa and chocolate products sold in Saudi Arabia. <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1471090>, 38(4), 318-327.
<https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1471090>
- Suárez, G. M., Avendaño, C. H., Hernández, M. A., Rodríguez, L. A., Estrada de los Santos, P., & Salas, M. Á. (2021). Edaphoclimatic zoning of cacao cultivation in the state of Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 629-641. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V12I4.2518>
- Suárez Venero, G. M., Avendaño Arrazate, C. H., Hernández Ramos, M. A.,

- Rodríguez Larramendi, L. A., Estrada de los Santos, P., Salas Marina, M. Á., Suárez Venero, G. M., Avendaño Arrazate, C. H., Hernández Ramos, M. A., Rodríguez Larramendi, L. A., Estrada de los Santos, P., & Salas Marina, M. Á. (2021). Edaphoclimatic zoning of cacao cultivation in the state of Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 629-641. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V12I4.2518>
- Tahoon, M. A., Siddeeg, S. M., Alsaiari, N. S., Mnif, W., & Ben Rebah, F. (2020). Effective heavy metals removal from water using nanomaterials: A Review. *Processes* 2020, Vol. 8, Page 645, 8(6), 645. <https://doi.org/10.3390/PR8060645>
- Vallejos-Torres, G., Ruíz-Valles, R., María, C. E. C.-S., Gaona-Jiménez, N., & Marín, C. (2021). Bioagro. *Bioagro*, 34(1), 75-84. <https://doi.org/10.51372/BIOAGRO341.7>
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I2.470>
- Visconti, F., & Paz, J. M. (2021). Estimation of the carbon valence from its average formal oxidation state in the soil organic matter. *European Journal of Soil Science*, 72(5), 2225-2230. <https://doi.org/10.1111/EJSS.13122>
- Wang, J., Xie, J., Li, L., Luo, Z., Zhang, R., Wang, L., & Jiang, Y. (2021). The Impact of Fertilizer Amendments on Soil Autotrophic Bacteria and Carbon Emissions in Maize Field on the Semiarid Loess Plateau. *Frontiers in Microbiology*, 12,

664120. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2021.664120/BIBTEX>

- Wright, M. S., Lima, I. M., Moe, L., & Vancov, T. (2021). Identification of Microbial Populations in Blends of Worm Castings or Sugarcane Filter Mud Compost with Biochar. *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 1671, 11(8), 1671. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11081671>
- Xue, M., Wang, D., Zhou, F., Du, Z., Zhai, H., Wang, M., Dinh, Q. T., Tran, T. A. T., Li, H., Yan, Y., & Liang, D. (2020). Effects of selenium combined with zinc amendment on zinc fractions and bioavailability in calcareous soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110082. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2019.110082>
- Yu, H., Hou, J., Dang, Q., Cui, D., Xi, B., & Tan, W. (2020). Decrease in bioavailability of soil heavy metals caused by the presence of microplastics varies across aggregate levels. *Journal of Hazardous Materials*, 395, 122690. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.122690>
- Zhang, Y., Zou, J., Meng, D., Dang, S., Zhou, J., Osborne, B., Ren, Y., Liang, T., & Yu, K. (2020). Effect of soil microorganisms and labile C availability on soil respiration in response to litter inputs in forest ecosystems: A meta-analysis. *Ecology and Evolution*, 10(24), 13602-13612. <https://doi.org/10.1002/ECE3.6965>
- Zhou, J., Zhang, C., Du, B., Cui, H., Fan, X., Zhou, D., & Zhou, J. (2020). Effects of zinc application on cadmium (Cd) accumulation and plant growth through modulation of the antioxidant system and translocation of Cd in low- and high-Cd wheat cultivars. *Environmental Pollution*, 265, 115045. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115045>

9 Anexos



Figura 1. Ubicación geográfica del recinto Cerecita Google mapas, 2024

 ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km 5 Carretera Quevedo – El Empalme; Apartado 24 Quevedo – Ecuador Teléfonos: 783044 783128 Ext. 201				
Nombre del Propietario:	Departamento DMSA- EETP	Teléf.	052783044	Reporte N° : No aplica
Nombre de la Propiedad:	La Primavera	Cultivo:	Cacao	Fecha de muestreo: 14/07/2022
Localización:	Parroquia	Cerecita	Guayas	Fecha de ingreso: 18/07/2022
		Cantón	Provincia	Fecha salida resultados: 08/08/2022

RESULTADO E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE CADMIO EN SUELO, TEJIDO Y COTILEDÓN DE CACAO

Identificación de las Muestras	Cd mg kg ⁻¹
Suelo	0.56
Tejido foliar	4.73
Cotiledón de cacao	1.12
Agua	<LD

Instrumento de análisis: EAA-HGA (Espectrómetro de absorción atómica acoplado a Horno de Grafito)
Método de extracción en suelo (semitotal): Agua regia (HNO ₃ -HCl) relación 3:1
Método de extracción en tejido: Ácido nítrico-perclórico (HNO ₃ -HClO ₄) relación 4:2
Límite de detección en suelo (LD): 1.81 µg L ⁻¹ Cd
Límite de cuantificación en suelo (LC): 4.778 µg L ⁻¹ Cd
Límite de detección en tejido (LD): 1.80 µg L ⁻¹ Cd
Límite de cuantificación en tejido (LC): 3.68 µg L ⁻¹ Cd
Límite de detección en agua (LD): 0.02 µg L ⁻¹ Cd
Límite de cuantificación en agua (LC): 0.006 µg L ⁻¹ Cd
Menor al límite de detección: <LC
Nivel crítico en suelos agrícolas: (Cd) 2 mg kg ⁻¹ (TULA, acuerdo Nro. 061, Año II- SEAGRO, mayo de 2012)

RESPONSABLE DPTO.

LABORATORISTA

Figura 2. Análisis de cadmio en suelo, tejido y cotiledón de cacao INIAP, 2024

MICROQUEL Mn - 13% Mn - EDTA

FERTILIZANTE SOLUBLE

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

PARÁMETRO	CONTENIDO
Concentración	99.5 % min
Formula Química	$C_{10}H_{16}O_{16}N_4MnNa_2$
Peso Molecular	389.1
Manganeso soluble en agua (Mn)	13 %
Manganeso quelatado por EDTA (Mn)	13 %
Intervalo de estabilidad de pH	3 - 12.5
Densidad Aparente	0.85 g/cc
Insolubles	0.05 %
Solubilidad (agua a 20 °C)	800 g/litro
pH (solución al 10 %)	5 - 5.5
Presentación Física	Micro gránulos color beige/blanco
Humedad	0.2% máx.

- ✓ MicroQuel Mn (13% Zn EDTA-quelado) es un corrector de carencias de manganeso en forma de microgranulos totalmente solubles.
- ✓ El manganeso participa en la fotosíntesis, en los mecanismos de respiración y en numerosos sistemas enzimáticos de óxido-reducción. Favorece el desarrollo radicular e interviene en la síntesis de proteínas y en el crecimiento de las células vegetales.
- ✓ MicroQuel Mn es compatible con la mayor parte de los fertilizantes y productos fitosanitarios normalmente utilizados. No se recomienda mezclar con Nitrato de Calcio y con soluciones madre muy ácidas (pH < 4).
- ✓ La fracción quelatada permanece estable en un intervalo de pH entre 3 y 12.5, siendo por tanto uno de los correctores de manganeso más efectivos.

PRESENTACIÓN
5 kg



ORIGEN
ITALIA

GUAYAQUIL : Km 16 Vía a Daule, Calle Rosavín y Asbestos. Telfs : (593) 4 2162155 / 2162156
 QUITO : Km 1 Panamericana E35, vía Sangolquí - Pífo. Telfs : (593) 2 6021525 / 6021529
www.fermagri.com

Figura 3. Ficha técnica de MICROQUEL Mn
Fermagri, 2024

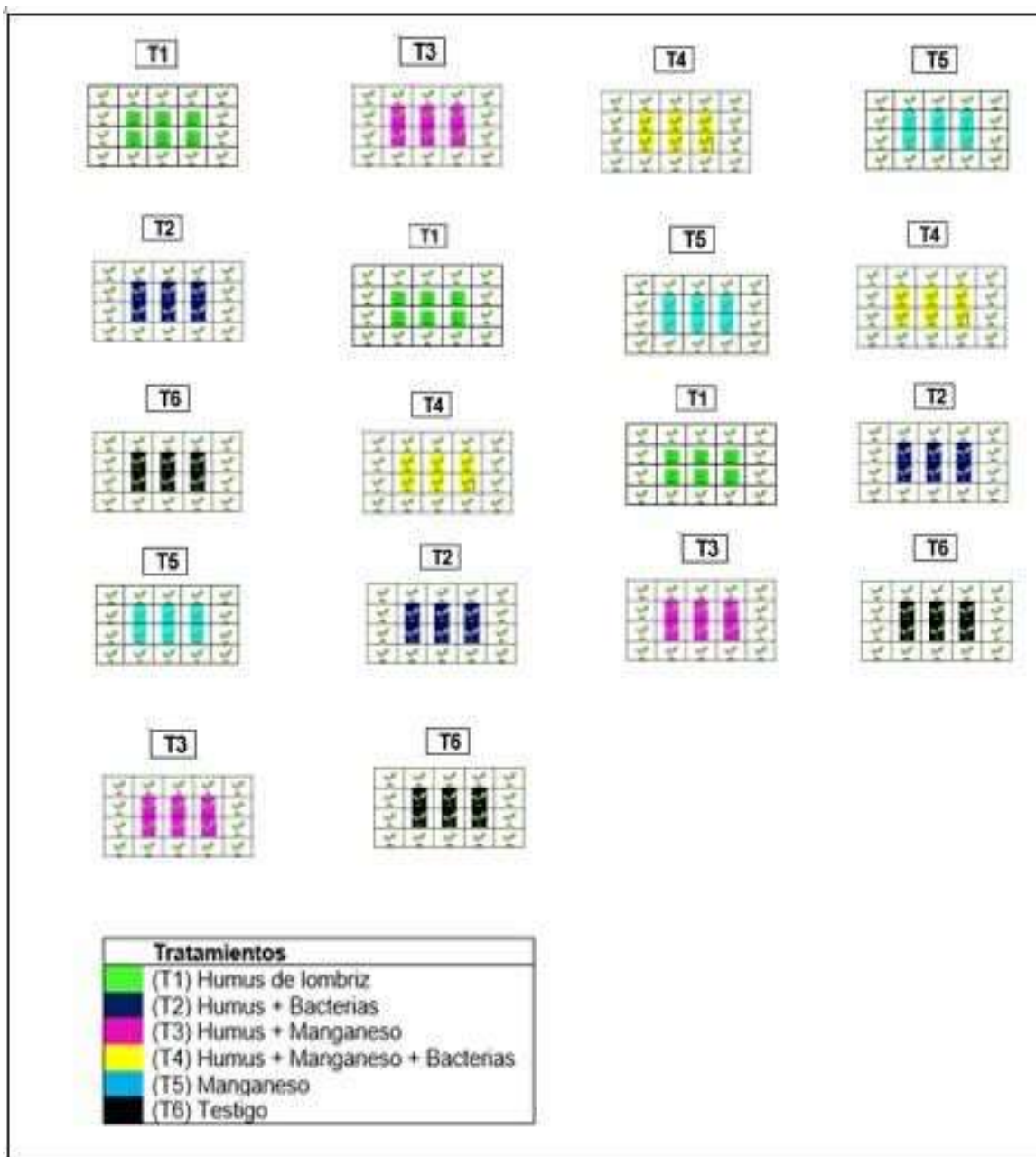


Figura 4. Diseño de bloques completamente al azar
Barcia, 2024

Concentración de Cd en suelo

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Concentración de cadmio en...	18	0.96	0.92	3.06	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.05	7	0.01	30.84	<0.0001
Tratamientos	0.05	5	0.01	42.89	<0.0001
Repetición	3.1E-04	2	1.6E-04	0.72	0.5096
Error	2.2E-03	10	2.2E-04		
Total	0.05	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.04164

Error: 0.0002 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T6 Testigo	0.59	3	0.01	A
T1 Humus de lombriz	0.48	3	0.01	B
T3 Humus + Manganeso	0.48	3	0.01	B
T5 Manganeso	0.46	3	0.01	B C
T4 Humus + Manganeso + Bac..	0.45	3	0.01	B C
T2 Humus + Bacterias	0.43	3	0.01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02324**

Error: 0.0002 gl: 10

Repetición	Medias	n	E.E.	
R2	0.49	6	0.01	A
R3	0.48	6	0.01	A
R1	0.48	6	0.01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)Figura 5. Concentración de Cd en suelo
Barcia, 2024**Concentración de Cd en tejidos (Hojas)**

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Concentración de cadmio en..	18	0.92	0.86	5.47	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.80	7	0.40	15.73	0.0001
Tratamientos	2.66	5	0.53	20.93	0.0001
Repetición	0.14	2	0.07	2.73	0.1132
Error	0.25	10	0.03		
Total	3.05	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45200

Error: 0.0254 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T6 Testigo	3.44	3	0.09	A
T2 Humus + Bacterias	3.29	3	0.09	A B
T1 Humus de lombriz	2.99	3	0.09	A B C
T3 Humus + Manganeso	2.87	3	0.09	B C
T4 Humus + Manganeso + Bac..	2.58	3	0.09	C D
T5 Manganeso	2.33	3	0.09	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.25225**

Error: 0.0254 gl: 10

Repetición	Medias	n	E.E.	
R3	3.02	6	0.07	A
R2	2.93	6	0.07	A
R1	2.80	6	0.07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)Figura 6. Concentración de Cd en tejidos (Hojas)
Barcia, 2024

Concentración de Cd en la almendra de cacao

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Concentración de cadmio en..	18	0.95	0.92	2.20	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.16	7	0.02	27.65	<0.0001
Tratamientos	0.16	5	0.03	37.73	<0.0001
Repetición	4.2E-03	2	2.1E-03	2.47	0.1343
Error	0.01	10	8.5E-04		
Total	0.17	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08279

Error: 0.0009 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
T6 Testigo	1.50	3	0.02	A			
T2 Humus + Bacterias	1.36	3	0.02		B		
T3 Humus + Manganeso	1.34	3	0.02		B		
T1 Humus de lombriz	1.32	3	0.02		B	C	
T5 Manganeso	1.25	3	0.02			C	D
T4 Humus + Manganeso + Bac..	1.20	3	0.02				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.04620

Error: 0.0009 gl: 10

Repetición	Medias	n	E.E.	
R3	1.35	6	0.01	A
R1	1.33	6	0.01	A
R2	1.31	6	0.01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 7. Concentración de Cd en la almendra de cacao
Barcia, 2024



Figura 8. Delimitación de las parcelas
Barcia, 2024



Figura 9. Colocación de las etiquetas para identificación de los tratamientos Barcia, 2024



Figura 10. Humus de lombriz y medición de las dosis para las parcelas Barcia, 2024



Figura 11. Manganeso y medición de las dosis para las parcelas Barcia, 2024



Figura 12. Bacterias y medición de las dosis para las parcelas Barcia, 2024



Figura 13. Aplicación del humus de lombriz en las parcelas Barcia, 2024



Figura 14. Calibración de la bomba para la aplicación del manganeso Barcia, 2024



Figura 15. Aplicación del manganeso en las parcelas Barcia, 2024



Figura 16. Aplicación de las bacterias en las parcelas Barcia, 2024



Figura 17. Ubicación y realización de la calicata
Barcia, 2024



Figura 18. Descripción de los perfiles
Barcia, 2024



Figura 19. Identificación de plasticidad y estructura del suelo
Barcia, 2024



Figura 20. Comprobación de efervescencia
Barcia, 2024



Figura 21. Recolección de las muestras de suelo para realizar el análisis de la concentración de Cd
Barcia, 2024



Figura 22. Recolección de las muestras de tejidos (hojas) para realizar el análisis de la concentración de Cd
Barcia, 2024



Figura 23. Recolección de las muestras de las mazorcas de cacao para realizar el análisis de la concentración de Cd de la almendra de cacao
Barcia, 2024



Figura 24. Muestras de suelo secándose, para después pasarlo a molerlo y realizar su respectivo análisis en laboratorio de la concentración de Cd
Barcia, 2024



Figura 25. Muestras de tejidos (hojas) secándose, para después pasarlas a molerlas y realizar su respectivo análisis en laboratorio de la concentración de Cd Barcia, 2024



Figura 26. Muestras de la almendra de cacao secándose, para después pasarlas a molerlo y realizar su respectivo análisis en laboratorio de la concentración de Cd Barcia, 2024



Figura 27. Primera cosecha cacao después de la aplicación de los tratamientos Barcia, 2024



Figura 28. Toma del peso de la baba del cacao Barcia, 2024



Figura 29. Toma de datos del número de mazorcas y el peso en baba del cacao Barcia, 2024