

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**EFFECTO DE COMELINA (*Callisia repens* L.) Y HONGOS
MICORRITICOS ARBUSCULARES EN LA DISMINUCIÓN DE
CADMIO EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN PUMAHUASI,
LEONCIO PRADO, HUÁNUCO 2018**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

TESISTA:

SOLEDAD ORFELINDA FARFAN TUCTO

ASESOR:

Ing. M.Sc. KADIR JOHN MARQUEZ DÁVILA

HUÁNUCO – PERU 2022

DEDICATORIA

Dedico a Dios, por sus bendiciones infinitas. A mis padres y hermanos, Ramona Tucto Cabello y Domingo Farfan Bruno que siempre estuvieron incondicionalmente apoyándome, aconsejándome y guiándome hacia un futuro mejor. Al grupo de investigación que confió en mí, para ejecutar este proyecto. A mis amigas y amigos, por confiar en mí y brindarme su amistad en los momentos difíciles y compartir los momentos de felicidad en nuestra casa mater.

AGRADECIMIENTO

Al Vice-Rectorado de investigación a través del proyecto “Alternativas de manejo de cadmio en el cultivo de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en suelos contaminados con metales pesados”, por financiar este trabajo de investigación.

A mi asesor Ing. M.Sc. Kadir John Márquez Dávila, por el asesoramiento, orientación y soporte en este trabajo de investigación.

A Dios; por brindarme infinita misericordia, por darme salud y bienestar y por no desampararme durante mi formación profesional y humanística.

A los docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional “Hermilio Valdizán”, quienes contribuyeron en mi formación personal y profesional.

Y a mis amigas y amigos, Delsi Ambicho, Gelma León, Ideyla Nolasco, Judith Palacin, Littman Trinidad, Nélica Ponce, Paola Bernardo, Sara Huerta; que compartieron junto a mí en las aulas de la carrera Profesional de Ingeniería Agronómica, por confiar en mí y brindarme su amistad en los momentos difíciles y compartir los momentos de felicidad en nuestra casa mater.

RESUMEN

La presencia de cadmio en almendras de cacao, es una amenaza para la industria chocolatera, en ese contexto se evaluó los efectos de los Hongos Micorríticos Arbusculares (HMA) y de la comelina en la disminución de cadmio (Cd) en suelo y almendra de cacao en condiciones de Pumahuasi. Fueron evaluados HMA (T1), Commelina (T2), HMA+commelina (T3) y un control absoluto (T4), cada uno con tres repeticiones e instalados bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). El HMA y la Commelina fueron incorporados al suelo cubriendo la circunferencia de la proyección de la copa al tallo del árbol de cacao. Doce meses después se tomaron muestras de suelo y almendras de cacao. Las muestras fueron sometidas a análisis químico para Cd tanto en suelo y almendras, y análisis físico, Los resultados indican que los porcentajes de arena, limo y arcilla indican que corresponde a la clase textural Franco limoso predominó solo en T3, mientras con HMA y comelina la textura fue franco. El pH, materia orgánica y fósforo, tuvieron comportamientos similares. El CIC fue mayor con la Commelina (15,90 meq/100 g); sin diferencias significativas HMA y HMA + Commelina. La concentración de Cd significativamente más baja en almendras fue registrada con la incorporación de HMA + Commelina. La concentración de Cd en almendras con el calcáreo, muestra una relación positiva con la incorporación de solo Hongos Micorríticos Arbusculares (HMA), y una, relación negativa entre concentración de Cd en almendras con la materia orgánica del suelo.

Palabras clave: *Biorremediación de cadmio, Contaminación de grano Metal pesado.*

ABSTRACT

The presence of cadmium in cocoa beans is a threat to the chocolate industry, in this context the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and Commelina in the decrease of cadmium (Cd) in soil and cocoa beans under conditions were evaluated. from Pumahuasi. HMA (T1), Commelina (T2), HMA + Commelina (T3) and an absolute control (T4) were evaluated, each with three repetitions and installed under the Random Complete Block Design (DBCA). The AMF and Commelina were incorporated into the soil covering the circumference of the projection of the crown to the stem of the cocoa tree. Twelve months later, soil and cocoa kernel samples were taken. The samples were subjected to chemical analysis for Cd both in soil and almonds, and physical analysis. The results indicate that the percentages of sand, silt and clay indicate that it corresponds to the silty loam textural class predominated only in T3, while with HMA and Commelina the texture was frank. The pH, organic matter and phosphorus, had similar behaviors. The CEC was higher with Commelina (15.90 meq / 100 g); without significant differences AMF and AMF + Commelina. The significantly lower Cd concentration in almonds was recorded with the incorporation of AMF + Commelina. The concentration of Cd in almonds with the calcareous, shows a positive relationship with the incorporation of only AMF, and a negative relationship between the concentration of Cd in almonds with the organic matter of the soil.

Keywords: *Cadmium bioremediation, Grain contamination Heavy metal.*

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
INDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN	xi
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. Fundamentación del problema de investigación.....	12
1.2. Formulación del problema de investigación general y específicos	12
1.3. Formulación de objetivos generales y específicos.....	12
1.4. Justificación	13
1.5. Limitaciones.....	13
1.6. Formulación de hipótesis generales y específicas	14
1.6.1. Hipótesis generales.....	14
1.6.2. Hipótesis específicas	14
1.7. Variables	14
1.8. Definición teórica y operacionalización de variables	14
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1 Cultivo de cacao	17
2.2.2 Micorriza	19
2.2.3 Fitorremediación	29
2.2.4 Commelina	30
2.2.5 Cadmio	32
2.3. Bases conceptuales	34
III. METODOLOGÍA.....	34

3.1. Ámbito	34
3.1.1. Características agroecológicas	35
3.2. Población	35
3.3. Muestra	36
3.4. Nivel y tipo de estudio	36
3.4.1. Nivel de investigación	36
3.4.2. Tipo de investigación	37
3.5. Diseño de investigación	37
3.6. Métodos, Técnicas e instrumentos	39
3.6.1. Técnicas de investigación	39
3.6.2. Instrumentos de investigación	41
3.7. Validación y confiabilidad del instrumento	43
3.8. Procedimiento	43
3.8.1. Reconocimiento del lugar	43
3.8.2. Aplicación de la Commelina	43
3.8.3. Aplicación de Hongos Micorríticos Arbusculares	43
3.9. Tabulación y análisis de datos	44
3.9.1. Análisis en laboratorio de las muestras de suelo	44
3.10. Consideraciones éticas	48
IV. RESULTADOS	49
4.1. Características físicas del suelo	49
4.1.1. Arena	49
4.1.2. Limo	51
4.1.3. Arcilla	52
4.2. Características químicas del suelo	53
4.2.1. pH del suelo	53
4.2.2. Calcáreo (CaCO ₃)	54
4.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	55
4.2.4. Materia orgánica	56
4.2.5. Fósforo (P ₂ O ₅)	57
4.3. Concentración de cadmio en el suelo	58
4.3.1. Cadmio total	58
4.3.2. Cadmio disponible	59

4.4. Concentración de cadmio en cacao.....	60
4.4.1. Cadmio en el grano de cacao.....	60
4.5. Relación del cadmio y las características del suelo	61
V. DISCUSIÓN	62
5.1. Características físicas del suelo	62
5.2. Características químicas del suelo	63
5.3. Concentración de cadmio en el suelo	64
5.4. Cconcentración de cadmio en el grano	64
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS	66
LITERATURA CITADA	67
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables	15
Tabla 2. Factor y tratamientos en estudio	37
Tabla 3. Rangos de pH.....	46
Tabla 4. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en el contenido de arena del suelo. Datos transformados $AsenX$	52
Tabla 5. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en el contenido de limo del suelo. Datos transformados $AsenX$	53
Tabla 6. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en el contenido de arcilla del suelo. Datos transformados $AsenX$	54
Tabla 7. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en el pH del suelo.	55
Tabla 8. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en calcáreo. Datos transformados $ArcsenX$	56
Tabla 9. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en la capacidad de intercambio catiónico.....	57
Tabla 10. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto materia orgánica. Datos transformados $ArcsenX$	58
Tabla 11. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto fosforo disponible.....	59
Tabla 12. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto cadmio total	60
Tabla 13. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto cadmio disponible	61
Tabla 14. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto cadmio en el grano de cacao	62
Tabla 15. Análisis correlacional de Pearson entre cadmio y las características del suelo	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los HMA del orden Glomales (INVAM 2006)	21
Figura 2. Ciclo de vida de HMA (INVAM 2006)	23
Figura 3. Fuentes naturales de Cd en el suelo (Guerra <i>et al</i> , 2017)	34
Figura 4. Croquis del campo experimental y detalle de la unidad experimental	40
Figura 5. Promedios de contenido de Arena en el suelo por efecto de los tratamientos. Datos originales (DO).....	52
Figura 6. Promedios de contenido de Limo en el suelo por efecto de los tratamientos. Datos originales (DO).....	53
Figura 7 Promedios de contenido de Arcilla en el suelo por efecto de los tratamientos. Datos originales (DO).....	54
Figura 8. Promedios de pH del suelo por efecto de los tratamientos.	55
Figura 9. Promedios de calcáreo en el suelo por efecto de los tratamientos. Datos originales (DO)	56
Figura 10. Promedios de CIC por efecto de los tratamientos.	57
Figura 11. Promedios de materia orgánica por efecto de los tratamientos.	58
Figura 12. Promedios de fósforo por efecto de los tratamientos.	59
Figura 13. Promedios de cadmio total por efecto de los tratamientos.	60
Figura 14. Promedios de cadmio disponible por efecto de los tratamientos.	61
Figura 15. Promedios de cadmio en el grano por efecto de los tratamientos.	62

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica en diversos países del mundo y en el Perú, es una especie originaria de los trópicos húmedos, cuyas almendras constituyen el insumo básico de la industria del chocolate y otros derivados (García *et al.* 2012).

Para desarrollar una propuesta sobre el manejo de cadmio en el cultivo de cacao, planteamos estrategias de manejo que beneficiará tanto al cultivo como al mercado reduciendo así este metal tóxico que será de beneficio para los consumidores y productores, porque existe una demanda sostenida en las almendras del cacao.

La presencia de ciertos elementos como el cadmio y plomo afectan a la exportación de cacao debido a la toxicidad que poseen, con la investigación ayudamos a contribuir a la solución de un problema ambiental que afecta al grano de cacao. La presente investigación se enfocará en la reducción de cadmio. La eliminación y atenuación de cadmio tiene efectos prácticos que luego serán de beneficio tanto para el agricultor y el consumidor desde el punto de vista como rentabilidad, inocuidad y calidad de las cosechas.

Sin embargo, existen escasos trabajos que planteen alternativas de manejo de cadmio (Cd) en suelos contaminados. Para mitigar los problemas detallados, sería interesante generar tecnologías limpias y adecuadas, como el uso de microorganismos y especies vegetales como fitoextractoras.

El objetivo general de esta investigación fue determinar los efectos de los Hongos Micorríticos Arbusculares y *Commelina* (*Callisia repens*) en la concentración de cadmio en suelo y almendra de cacao (*Theobroma cacao* L) en condiciones edafoclimáticas de Pumahuasi, Tingo María.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación del problema de investigación

En la localidad de Pumahuasi las áreas cultivadas con cacao presentan en sus cosechas altos índices de concentración de cadmio, Sin embargo, existen escasos trabajos que planteen alternativas de manejo de Cd en suelos contaminados. Para solucionar los problemas detallados, sería interesante generar tecnologías limpias y adecuadas utilizando enmiendas orgánicas, microorganismos y fitoextractoras para disminuir las altas concentraciones de Cd en los granos de cacao. Con el uso de los Hongos Micorríticos Arbusculares y la Commelina (*Callisia repens*) en la disminución de cadmio.

1.2. Formulación del problema de investigación general y específicos

Problema general

- ¿Cuáles son los efectos de los Hongos Micorríticos Arbusculares y Commelina (*Callisia repens*) en la concentración de cadmio en suelo y almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.)?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son los efectos de los Hongos Micorríticos Arbusculares y Commelina (*callisia repens*) en la concentración de cadmio en suelo?
- ¿Cuáles son los efectos de los Hongos Micorríticos Arbusculares y Commelina (*callisia repens*) en la concentración de cadmio almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.)?

1.3. Formulación de objetivos generales y específicos

Objetivo general

- Determinar los efectos de los Hongos Micorríticos Arbusculares y Commelina (*Callisia repens*) en la concentración de cadmio en suelo y almendra de cacao (*Theobroma cacao*. L)

Objetivos específico

- Determinar los efectos de los Hongos Micorríticos arbusculares y Commelina (*Callisia repens*) en la concentración de cadmio en el suelo
- Determinar los efectos de los Hongos Micorríticos arbusculares y Commelina (*Callisia repens*) en la concentración de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao*. L)

1.4. Justificación

Existen pocas estrategias adecuadas sobre el manejo de cadmio en el cultivo de cacao, debido a esto planteamos estrategias de manejo que beneficiará tanto al cultivo como al mercado reduciendo así este metal tóxico que será de beneficio para los consumidores y productores, porque existe una demanda sostenida en las almendras del cacao.

Sin embargo, existen escasos trabajos que planteen alternativas de manejo de cadmio (Cd) en suelos contaminados. Para mitigar los problemas detallados, sería interesante generar tecnologías limpias y adecuadas, como el uso de microorganismos y especies vegetales como fitoextractoras.

1.5. Limitaciones

El presente estudio fue viable por la razón siguiente:

- Disponibilidad de recursos financieros, puesto que el proyecto fue financiado económicamente todo el estudio.
- Se contó con la ayuda de los docentes del proyecto y estudiantes de la carrera profesional de ingeniería Agronómica para la ejecución del trabajo investigativo, por lo que se tuvo un buen manejo de la muestra.

1.6. Formulación de hipótesis generales y específicas

1.6.1. Hipótesis generales

El uso de los Hongos Micorríticos Arbusculares y la Commelina (*Callisia repens*) mitigara la concentración de cadmio en la planta de cacao.

1.6.2. Hipótesis específicas

- El uso de los Hongos Micorríticos Arbusculares y la Commelina mitigara el contenido de cadmio en el suelo.
- El uso de los Hongos Micorríticos Arbusculares y la Commelina reducirá el contenido de cadmio en el grano de cacao.

1.7. Variables

Variable independiente: Hongos Micorríticos Arbusculares Y Commelina.

Variable dependiente: Contenido de cadmio.

Variable interviniente: Las condiciones agroclimáticas de Pumahuasi.

1.8. Definición teórica y operacionalización de variables

1.8.1. Definición teórica

- **Variable independiente**

Micorrizas arbusculares y Comelina.” Análisis de la influencia en la disminución de cadmio en el suelo en el cultivo de cacao”.

- **Variable dependiente**

Contenido de cadmio. “Análisis de las propiedades físicas, químicas del suelo. Así mismo, la concentración de cadmio en el suelo y granos de cultivo de cacao”.

- **Variable interviniente**

Las condiciones agroclimáticas de Pumahuasi. “Las condiciones edafoclimáticas que influyen directamente a las variables independientes y dependientes como el clima, zona de vida y selo”.

1.8.2. Operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variabes		Indicadores
Variable independiente	Hongos	T1: Hongo Micorrítico Arbuscular
	Micorríticos	T2: Commelina
	Arbusculares y	T3: Hongo Micorrítico Arbuscular +
	Commelina	Commelina T4: Control
Variable dependiente	Contenido de cadmio	Características físicas del suelo
		Características químicas del suelo
		Concentración de cadmio en el suelo
		Concentración de cadmio en los granos de cacao
Variable interviniente	Condiciones de Pumahuasi	Clima
		Zona de vida
		Suelo

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Jácome (2017), en su artículo científico titulada "Efecto de la inoculación de Hongos Formadores de Ficorrizas Arbusculares (HFMA) sobre un sistema suelo-planta de cacao en suelos contaminados con cadmio en etapa de vivero", La presente investigación estudia la dinámica del cadmio (Cd) en el trópico ácido en presencia de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) cuando se tienen suelos con concentraciones del metal, destinados para cultivo de cacao. Se estudió adicionalmente la capacidad de absorción, translocación y fitoextracción de las plantas inoculadas comparadas con las no inoculadas, de lo que se concluye que para concentraciones altas de cadmio en el suelo la Eficiencia de Absorción (E abs) es mayor en plantas inoculadas, al igual que la Eficiencia de translocación (E transl) del metal, mientras que la Eficiencia de la fitoextracción (E fitoext) tiende a disminuir.

Trigoso (2017) en la tesis "Reducción de cadmio en suelos contaminados a través de *Amaranthus híbridos* y Hongos Micorríticos Arbusculares en la Región Huánuco", realizado con el objetivo de evaluar la eficiencia del uso de *Amaranthus hybridus* y Hongos Micorríticos Arbusculares para la reducción de cadmio. Se sembró directamente la planta (8 y 16 plantas/m²) y también se inocularon las micorrizas en las parcelas (2,5 y 5 gramos/m²), se monitoreó mensualmente el desarrollo de *Amaranthus hybridus* (altura y número de hojas); al final del experimento (3 meses), se realizó el análisis de Cadmio en el suelo. En cuanto al cadmio en el suelo, se encontró que los tratamientos 3 y 4 (16 y 8 plantas/m² respectivamente), tienen un efecto significativo en la reducción de cadmio, con eficiencia del 65% y 55 % respectivamente; por otro lado, el T6 (8 plantas/m² de *Amaranthus Hybridus* y 5 gramos/m² de micorrizas) mostró eficiencia del 54 % al reducir el cadmio en el suelo.

López *et al* (2018) en el artículo "Determinación del contenido de cadmio (Cd) en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro-región Ucayali". Los resultados demuestran que entre los sistemas orgánico, químico y tradicional no evidencian diferencias significativas en el contenido de cadmio total en almendras, con promedios de 0.75, 0.71 y 0.54 ppm

respectivamente; para el contenido de cadmio intercambiable en el suelo en los tres sistemas evaluados, se demostró que no hubo diferencias significativas (0.89 ppm, 0.86 ppm, 0.83 ppm).

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Cultivo de cacao

2.2.1.1 Importancia económica del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es de gran importancia comercial en el ámbito mundial, ya que éste es utilizado como materia prima para la obtención de diversos productos de la industria de alimentos, la transformación cosmetología y la farmacéutica. De esta manera, se puede identificar el proceso de Comercialización y distribución del rubro como un componente de enlace a través de todo el circuito cacaoteros, el cual se inicia con el productor agrícola hasta el consumidor final.

El género *Theobroma* es originario de América Tropical, específicamente de la cuenca alta del río Amazonas. El género posee algunas especies de gran excelencia económica en los trópicos, principalmente *Theobroma cacao* y en mucho menor grado *T. grandiflorum* y *T. bicolor*. Las semillas de *T. cacao* se han empleado para la preparación de bebidas y otros alimentos, como moneda, bebida ceremonial y tributo a reyes. Esta especie se encuentra distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 20° de latitud norte hasta los 20° de latitud sur (Organización Internacional del Cacao - ICCO 2003).

2.2.1.2 Morfología de cacao

Conabio (2012) menciona que el tronco tiene un hábito de crecimiento dimórfico, con brotes ortotrópicos o chupones. Ramas plagiotrópicas o en abanico. Las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 2 a 6 ramillas; al conjunto se le llama “molinillo”. Es una especie cauliflora, es decir, las flores brotan insertadas sobre el tronco o las viejas ramificaciones. Tiene una copa baja, densa y extendida, hojas grandes, alternas, colgantes, elípticas u oblongas, de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, de punta larga,

ligeramente gruesas, márgenes lisos, verde oscuro en el haz y más pálidos en el envés. Se presentan muchas flores en racimos a lo largo del tronco y de las ramas, sostenidas por un pedicelo de 1 a 3 cm. La flor es de color rosa, púrpura y blanco, de pequeña talla: de 0,5 a 1 cm de diámetro y 2 a 2,5 cm de largo, en forma de estrella. El fruto es una baya grande comúnmente denominada mazorca, carnosa, de forma oblonga a ovalada, puede tener varios colores de acuerdo al complejo de hibridación: verde, amarilla, morada, jaspeada roja, entre otros. Mide de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho, puntiaguda y con camellones longitudinales; cada mazorca contiene en general entre 30 y 40 semillas. La semilla es grande, de color chocolate o purpúreo, de 2 a 3 cm de largo, tiene un sabor amargo. No tiene albumen y están recubiertas por una pulpa mucilaginosa de color blanco y de sabor dulce y acidulado.

2.2.1.3 Condiciones edafoclimáticas

Cerrón (2012), indica que el cultivo de cacao se adapta en zonas de climas cálidos y húmedos, que no tengan una estación seca prolongada tropical, crece entre 26° latitud norte y 26° latitud sur. Requiere temperatura media entre 25 °C y 29 °C son sensibles a temperaturas mayores a 32°C. Cuando la temperatura es menor a 21 °C hay poca formación de flores, la cual alcanza su máximo nivel a los 25 °C. Temperaturas bajas detienen el crecimiento del tallo y favorecen el desarrollo de la pudrición parda causada por *Phytophthora palmivora*, aumenta el período de maduración del fruto y las grasas no saturadas en las semillas, lo que resulta en un bajo punto de fusión de la manteca. También es dependiente de las precipitaciones, entre 1 500 - 2 500 mm/año, debido a que un exceso o deficiencia de lluvias puede ocasionar pérdidas de cosecha. Cuando las lluvias son menores, se debe seleccionar áreas frescas y utilizar sombra.

Cerrón (2012), indica que en zonas con mayor lluvia se debe tener cuidado con el drenaje. Se desarrolla en suelos no inundables, fértiles, ricos en materia orgánica, profundos, con buen drenaje y pH entre 4,5 a 6,5. Crece bien en suelos desde franco arenosos hasta arcillosos. El subsuelo debe ser permeable y de fácil penetración para la raíz pivotante. Presenta menor

adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad que otras especies nativas de la Amazonía. No tolera niveles altos de aluminio y requiere buen nivel de calcio cambiante. Tolerancia períodos cortos de inundación, siempre y cuando tenga buen drenaje interno.

2.2.2 Micorriza

Importancia de las micorrizas

Hongos Micorríticos Arbusculares, se conoce con el nombre de micorriza a la asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas (tanto cultivadas como silvestres) y ciertos hongos del suelo. Es una relación beneficiosa para los dos organismos implicados, el hongo coloniza la raíz de la planta y le proporciona nutrientes minerales y agua que extrae del suelo por medio de su red externa de hifas, mientras que la planta suministra al hongo sustratos energéticos y carbohidratos que elabora a través de la fotosíntesis. Se trata de una simbiosis universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas, sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales (Hernández, 2003).

Tipos de micorrizas

Hay dos grandes grupos de tipos de micorrizas: las endomicorrizas y ectomicorrizas. Las endomicorrizas son más variables en cuanto a sus hospedantes, colonizando desde pastos hasta árboles, a su vez, son clasificadas en Hongos Micorríticos Arbusculares, Micorrizas Monotropoides, Ectoendomicorrizas y Micorrizas Orquidáceas. Las ectomicorrizas están caracterizadas por la formación de un manto y red de Hartig de hifas intercelulares, principalmente en raíces de árboles. (Peterson *et al.* 2004).

a. Ectomicorrizas

Se caracterizan porque desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de la planta las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, sino que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas. Se pueden observar a simple vista. Este tipo de micorrización predomina entre los árboles de zonas templadas, se producen

principalmente sobre especies forestales y leñosos, siendo especialmente característico en hayas, robles, eucaliptus y pinos. Los hongos que la forman son tanto Basidiomycota como Ascomycota. Las ectomicorrizas son relativamente poco frecuentes en la naturaleza, sólo un 3 a 5% de las plantas terrestres establecen este tipo de simbiosis (Vega 2011).

b. Endomicorrizas

Se caracterizan por la penetración del hongo inter e intracelularmente, la ausencia de manto y las acentuadas modificaciones anatómicas en las raíces no visibles a simple vista. Dentro de las endomicorrizas se distinguen varios subtipos: arbusculares, ericoides, orchidaceas, ectoendomicorrizas, arbutoides, y los monotropoides. El sub grupo importante desde el punto de vista de producción agrícola y forestal son los arbusculares y vesículo-arbusculares comúnmente simbolizados como MA o MVA (Vega, 2011).

Hongos micorrizas arbusculares (HMA)

a. Taxonomía

Hongos Micorríticos Arbusculares son todos los miembros de la división Glomeromycota del orden de los Glomales; la clasificación actual contiene 2 subórdenes que son Glomineae y Gigasporineae; dentro de los Glomineae se encuentra las familias Glomaceae (Glomus), Acaulosporaceae (Acaulospora y Entrophospora), Archaeosporaceae (Archaeospora) y Paraglomaceae (Paraglomus) y dentro del suborden Gigasporineae se encuentra la familia Gigasporineae (Gigaspora y Scullospora) (INVAM, 2006).

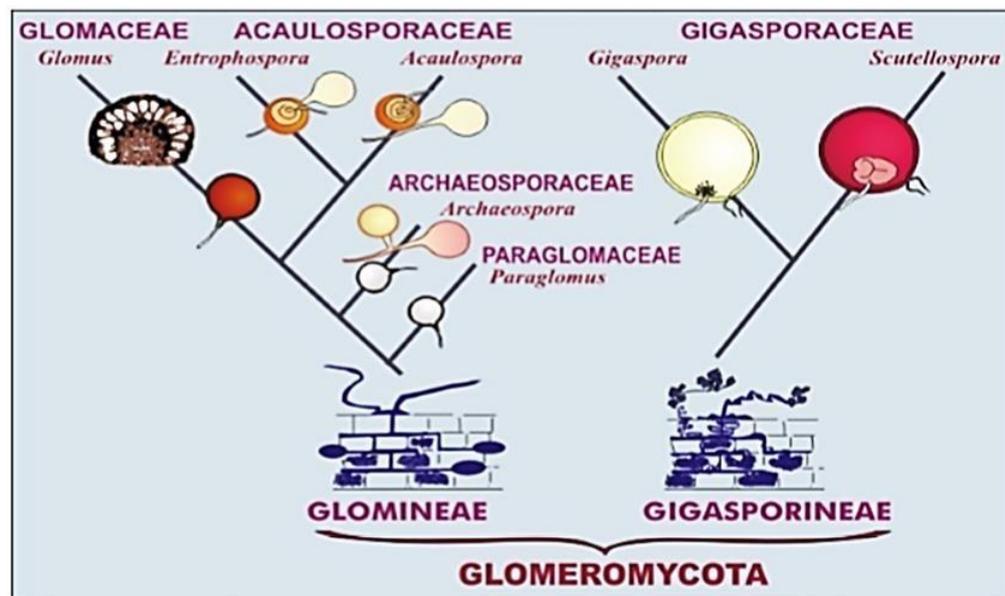


Figura 1. Clasificación de los HMA del orden Glomales (INVAM 2006)

b. Hongos micorríticos arbusculares

Los Hongos Micorríticos Arbusculares, son hongos simbióticos obligados, son el tipo más común de micorrizas y presentan una gran diversidad de plantas hospedantes. El nombre arbuscular es derivado de sus estructuras características, los arbusculos, que ocurren dentro de las células corticales de muchas raíces de plantas, también colonizan micotalos. Esta simbiosis es antigua (Ramírez y Rodríguez, 2010).

Los HMAs, son los más ubicados en los suelos agrícolas, representando de 9 – 55 % de biomasa total de microorganismos del suelo (Olson *et al.*, 1999). Una micorriza arbuscular tiene tres componentes principales: la raíz, las estructuras fungosas dentro y fuera de las células de la raíz y un micelio extraradical en el suelo (Smith y Read 2008).

Los arbusculos junto con vesículas, sirven de almacén, localizadas dentro o entre las células, estas estructuras son consideradas para el diagnóstico de la simbiosis de HMA (Smith y Read 2008). Estos arbusculos, son efímeros pero importantes para el intercambio de nutrientes durante un periodo de 4 a 15 días (Carling y Brown 1982).

La morfología de los Hongos Micorríticos Arbusculares, sin embargo, puede cambiar en las raíces de diferentes hospederos y en raíces de diferentes

edades en una misma planta (Abbott y Robson 1991). Las esporas formadas por los hongos HMAs son muy grandes (hasta 500 μm de diámetro), con abundantes reservas lipídicas, carbohidratos, paredes gruesas y resistentes que contienen quitina (Smith y Read 2008). Cada espora contiene un elevado número de núcleos con estimados desde 800 a 35 000 en diferentes especies (Hosny *et al.* 1998).

Las esporas son producidas rápidamente en presencia de una planta hospedera, de manera que a las 4 a 6 meses son producidas miles de nuevas esporas del mismo tipo. Las esporas son formadas en el micelio extraradical o agregado en estructuras más o menos bien definidas llamadas esporocarpos. Aunque en algunas especies las características de los esporocarpos son importantes, las características individuales de las esporas son las que principalmente se utilizan para la identificación. Las esporas difieren en forma, estructura, contenido citoplasmático, color, tamaño, número de paredes vía de germinación, morfología de esporas secundarias y presencia o ausencia de esporocarpos.

El fenotipo de la espora es el resultado de procesos de desarrollo completamente diferentes a aquellos del tallo. Sin embargo, el tubo germinativo de la espora puede originarse a partir de una red hifal filamentosa, arbusculos, vesículas o células accesorias. Un individuo fungal es representado por una sola espora identificable la cual consiste de una sola célula multinucleada. Esta célula puede dar origen a una nueva colonia fungal con componentes del micelio dentro de una raíz y en el suelo. Esta colonia vegetativa eventualmente dará origen a nuevos individuos en forma de nuevas esporas (Morton *et al.* 1995b).

Ciclo de vida de los hongos micorríticos arbusculares

Hongos Micorríticos Arbusculares se originan a partir de hifas que proceden de los propágulos existentes en el suelo (esporas maduras, fragmentos de raíz micorrizados o plantas micorrizadas que crecen en vecindad). Cuando una hifa contacta con la superficie de una célula epidérmicamente de la raíz, forma un apresorio que originará seguidamente la hifa colonizadora que penetrará en dicha célula o atravesará el espacio intercelular. En la zona externa

del córtex de la raíz forma unas estructuras típicas que son los “ovillos”; en la zona media las hifas crecen normalmente de forma longitudinal en los espacios intercelulares; mientras que en la zona interna las hifas penetran intercelularmente y forman los arbusculos por ramificación dicotómica repetida, a nivel de los cuales se produce el intercambio de nutrientes (INVAM 2006)

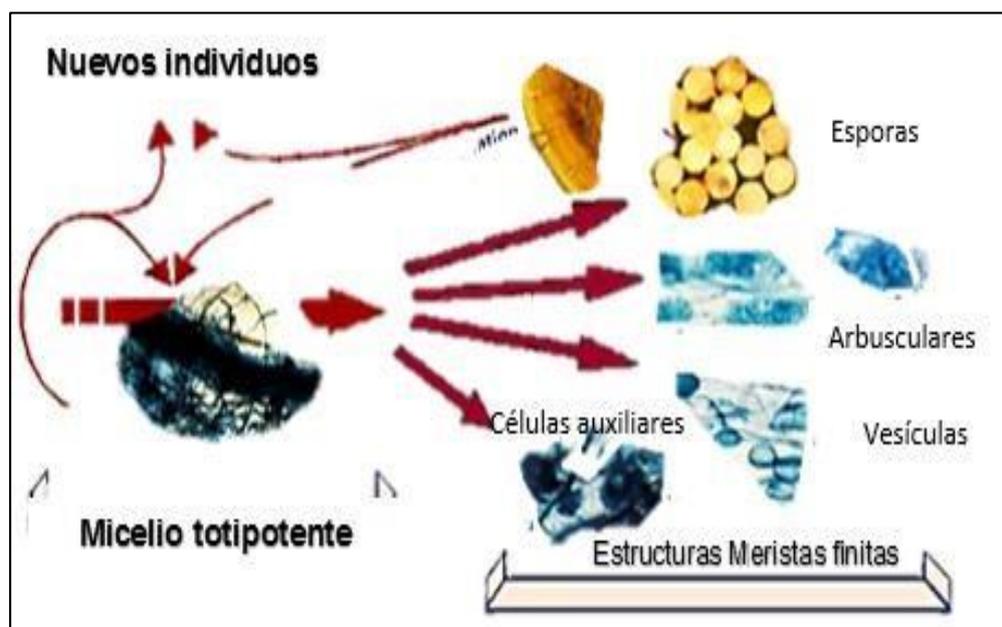


Figura 2. Ciclo de vida de HMA (INVAM 2006)

También habría que descartar la formación de vesículas en el córtex cuya función es el almacenamiento de reservas lipídicas. Tras la colonización interna se produce la ramificación y desarrollo del micelio externo, que es clave en la captación de nutrientes y da lugar a nuevos puntos de colonización en la propia raíz o en otras próximas. Sobre la red tridimensional de hifas que constituye se forman las esporas, estructuras de resistencia que al madurar completan el ciclo de vida del hongo.

Beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares en el suelo

Hongos Micorrízicos Arbusculares se prolongan el sistema radical de las plantas, y ello facilita una mayor retención física de partículas del suelo, limitando los efectos dañinos de la erosión causada por el agua. Las Micorrizas regeneran los suelos degradados, mejorando la estructura de éste incrementa sus posibilidades de retención de humedad, aireación y descomposición de la

materia orgánica, Interaccionan con diversos microorganismos del suelo, estableciendo provechosas cooperaciones con unos y compitiendo con otros generalmente de tipo patógeno, e incluso interactuando con la micro fauna de la rizosfera (nematodos, afidios, ácaros, entre otros) (Montilla, 2010).

Factores ecológicos relacionados con las micorrizas

La infección micorrízica depende de condiciones que determinan las características de los hospederos y del suelo, en particular el potencial fotosintético del hospedero y la fertilidad, condiciones físicas, contenido de agua y cantidad y calidad del humus presente en el suelo (Hermard *et al.* 2002).

Entre los factores condicionantes se pueden mencionar:

- **Luz.** Al incrementarse la intensidad luminosa el aumento de micorrizas es proporcional al número de raíces cortas posiblemente por un aumento en la disponibilidad de nutrientes, principalmente carbohidratos libres en las raíces.
- **Temperatura.** La temperatura tiene una acción directa sobre el porcentaje de crecimiento radical y sobre la producción de nuevas raíces. Las temperaturas óptimas para el crecimiento de las micorrizas varían entre 17 y 27 ° C para la mayoría de estos hongos, como por ejemplo Lactarius, Amanitas, y algunos Boletus, que tienen un óptimo térmico superior a los 20 ° C.
- **Agua y Aireación.** Las formaciones micorrizas están influenciadas por la humedad del suelo y por la aireación. Se presume que el crecimiento micelar decrece a una baja concentración de oxígeno debido a que la mayoría de estos Hongos Micorríticos Arbusculares son aeróbicos. En efecto, la formación micorrízica se inhibe en suelos arcillosos debido a la dificultad de las raíces para penetrar en este, así como también por una pobre aireación.
- **Suelos y Fertilidad.** La cantidad y la calidad de humus, constituye el factor más importante en la formación de las micorrizas, por lo tanto, estas disminuyen con la profundidad. La pobreza relativa en sales minerales

disponibles por otra parte determina la prevalencia de micorrizas en bosques. Cuando los nutrientes son abundantes en el suelo y el crecimiento de árboles es vigoroso la mayoría de los nuevos carbohidratos pueden ser utilizados para formar nuevos tejidos, siendo pobre su acumulación en las raíces. Al existir deficiencias de N, P y K disponibles, se impide la formación micorrízica y el crecimiento radicular, pero al existir una deficiencia moderada de uno de estos nutrientes la infección se lleva a cabo, (Hermard *et al.*, 2002).

Importancia de los Hongos Micorríticos arbusculares

Las micorrizas arbusculares son biotrófos obligados, siendo una de las asociaciones simbióticas más antiguas que existen. Los HMA juegan un rol importante en la fertilidad de suelo y nutrición de planta, son capaces de tomar nutrientes del suelo y transferirlos a la planta hospedante por medio del micelio extraradical, el cual explora el suelo y provee un área extensa para la absorción de agua y nutrientes (Smith y Read, 2008). Así los hongos HMA se extienden en el suelo más allá de la superficie radicular o la zona de pelos radiculares, pues su menor diámetro (similar o menor a pelos radiculares) les permite penetrar poros del suelo que las raíces no pueden acceder, logrando así una mayor capacidad de exploración de suelo y absorción de nutrientes en suelos más secos (Smith y Read, 2008).

Uno de los mayores enfoques en la investigación de Hongos Micorríticos Arbusculares ha sido su relación con la disponibilidad y reservas de fósforo en el suelo. Los efectos en el crecimiento de plantas debido al alivio de estrés por este elemento, es una de las respuestas más conocidas de las micorrizas. Además, algunas plantas inoculadas con micorrizas pueden presentar mayores concentraciones de fósforo en las hojas que las no colonizadas. Es importante considerar que a medida que el contenido del fósforo en el suelo se incrementa, el efecto de crecimiento en las plantas micorrizadas declina (Smith y Read, 2008).

El micelio externo en la simbiosis de Hongos Micorríticos Arbusculares también juega un rol directo en la toma y translocación de nitrógeno (Tobar, 1994) debido a una mayor área de exploración. Los HMA pueden incrementar

el poder de absorción de sulfatos de las raíces, pero probablemente es producto de un efecto secundario debido a una mejor nutrición del fósforo (Rhodes y Gerdenman, 1978).

Las asociaciones micorrízica desarrollan múltiples funciones importantes para el hospedero de las que se pueden destacar las siguientes: estimulan el crecimiento de la planta y aumenta considerablemente la producción y biomasa aérea y radical, debido a la mayor y más rápida disponibilidad de nutrientes en el sistema vascular de las plantas, que acelera su actividad fotosintética para mantener su equilibrio fisiológico, la producción de fitohormonas por parte de la micorriza (Fasabi, 2012).

Característica de la asociación Micorriza Arbuscular

a) En la planta

La simbiosis de los Hongos Micorríticos Arbusculares puede traducirse en los beneficios que por su simbiosis aporta a las plantas, con relación al mejor aprovechamiento de agua y nutrientes, especialmente el fósforo cuando este es limitado (Bethlenfalvay *et al.*, 1989). Los efectos que tiene en la biología de la planta en procesos involucrados de nutrición, promoción del crecimiento, fisiología y otros beneficios directos e indirectos (Tapia, 2003).

Los hongos se consideran biótrofos obligados, ya que para su desarrollo y reproducción requieren del sistema radical del hospedante, de modo que pueden satisfacer sus requerimientos energéticos, cuya base son diferentes fuentes de carbono generadas por el proceso fotosintético de la planta (Bethlenfalvay *et al.*, 1989).

Además, mantienen por mayor tiempo la funcionalidad de las raíces y el micelio externo (Extramatrical), generan una extensa red de hifas en el suelo que permite a la raíz mayor capacidad de exploración del volumen de suelo, por lo que contribuyen a que la zona de agotamiento aledaña a la raíz no sea limitativa en la disponibilidad de nutrientes y agua. De este modo, la fisiología de la simbiosis micorrízica provee a las plantas mejor capacidad de adaptación, establecimiento y crecimiento (Linderman, 1994).

La inoculación con hongos formadores de micorrizas es conocida por incrementar el crecimiento de muchas especies de plantas, el cual es atribuido un incremento en la toma de nutrientes, especialmente los de difusión limitada tales como: P, Zn, Cu, etc.; producción de sustancias promotoras de crecimientos, tolerancia a estrés hídricos; salinidad, estrés por trasplante; resistencia a plantas por fitopatógenos e interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos del suelo (Pérez *et al*, 2011).

b) En el suelo

La funcionalidad de la simbiosis de las plantas con micorrizas arbusculares en el suelo depende de la estructura vegetal, sin producir cambios en las características fisicoquímicas del suelo como textura, acidez, saturación de aluminio, y materia orgánica; obstante estos factores pueden influenciar en la abundancia de micorrizas (Garzón, 2016).

La textura de suelo también tiene una influencia directa en el grado de colonización micorrícica, varios estudios mostraron que cultivos instalados en suelos con mayores concentraciones de arena experimentan mayor grado de colonización micorrícica (Chinchay, 2016).

El nivel de infección micorrícica es de 46 % en suelos de textura arena franca y 80% en textura franco-arenosa; esta diferencia por la textura de estos suelos puede estar correlacionadas con la disponibilidad de fósforo en las parcelas (10,8 ppm en la arena-franca contra 4,8 ppm en la franco-arenosa), en el que es mayor en el suelo franco-arenoso por contener mayor cantidad de arcilla (Molina *et al*, 2005).

Existen relaciones inversas entre la concentración del Fósforo disponible en el suelo y los grados de infección, es decir, a menor disponibilidad del fósforo mayor infección, se argumenta que los HMA tienen amplia adaptación a varios tipos de pH ya que los podemos encontrar en suelos con pH que van desde 2,7 hasta 9,2; teniendo respuestas positivas a pH ácidos como alcalinos dependiendo de las especies o géneros (Paillacho, 2010).

Los Hongos Micorríticos Arbusculares interactúan con una amplia diversidad de microorganismos del suelo en las raíces, en la rizosfera y en la

masa del suelo; la interacción puede inhibir o estimular, aunque estos hongos no pueden fijar biológicamente el nitrógeno atmosférico, incrementan la fijación de este compuesto porque interactúan positivamente con los fijadores de nitrógenos; los altos niveles de nitrógeno en el suelo tienen efectos negativos sobre el desarrollo de los Hongos Micorrizicos Arbusculares y la estimulación del crecimiento en las plantas, estos efectos pueden ser también influenciados por la disponibilidad del fósforo en el suelo (Pérez *et al.*, 2011).

Morfología de la simbiosis Hongos Micorrizicos Arbusculares

Los hongos micorrizicos arbusculares no producen cambios visibles en la morfología de la raíz de sus hospedantes. Su presencia puede ser detectada mediante observaciones al microscopio óptico. En suelo, los hongos formadores de esta simbiosis presentan una extensa red de hifas que favorecen la absorción de nutrientes y agua, permitiendo que la raíz posee un mecanismo alterno que explore mayor volumen de suelo. Este micelio puede formar estructuras microscópicas que favorecen la propagación de los hongos a las cuales se les conoce como espora que pueden estar solitarias o agrupadas (Tapia, 2003).

Una vez que la hifa del hongo penetra la raíz, esta crece a lo largo del tejido radical y llega a formar estructuras típicas de esa simbiosis tales como: 1) hifas intercelulares e intracelulares; 2) Arbusculo que facilitan el intercambio bidireccional de nutrientes entre hongo-planta, 3) Vesículas las cuales almacenan reservas para el hongo; 4) Enrollamiento hifales y 5) Esporas simples o esporocarpicas en el suelo, pero algunas especies pueden esporular dentro de la raíz (Tapia, 2003).

Las micorrizas en la disminución del cadmio

La limitación de nutrientes disponibles en ambientes contaminados permite la metabolización de contaminantes orgánicos y oxidación de metales pesados por las comunidades bacterianas. La existencia de estos microorganismos puede tener efectos de factores como el pH, presencia de nutrientes y especialmente humedad y temperatura. Las tasas de aireación en

el suelo, presencia de cultivos, estaciones y profundidad de la capa arable pueden afectar a estos microorganismos (Kavamura *et al.*, 2010).

La capacidad de las bacterias y hongos por transformar metales pesados como Cr, Cd y Hg se pueden desarrollar. Los hongos micorriza arbuscular (HMA) pueden ser usados en procesos de fitorremediación (Khan, 2006). Existen estudios de varias especies de HMA con estas cualidades, dentro de una misma especie también puede haber diferencias en su sensibilidad a los metales pesados. Los Hongos Micorríticos Arbusculares pueden disminuir la toxicidad del metal para su planta hospedera uniéndose a su pared celular o rodeándolos con polisacáridos (Rajendran *et al.*, 2003).

Zimmer *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la inoculación dual de hongos ectomicorríticos y las bacterias *Micrococcus luteus* y *Sphingomonas* *ssp.* Sobre el crecimiento de plantas de sauce (*Salix* *ssp.*) en suelos contaminados con metales. Estas asociaciones tienen gran potencial biorremediador. Algunos géneros microbianos utilizados para remover Cd, Pb y Cu son *Rhizopus*, *Penicillium* y *Phanerochaete*.

2.2.3 Fitorremediación

Palabra que deriva del prefijo griego phyto = planta y sufijo latín remedium = limpiar o restaurar, es una tecnología de la biorremediación que puede considerarse rentable y sostenible (Marrero *et al.*, 2012); consiste en el uso de plantas para remover, transferir, estabilizar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos y aguas, puede ser aplicado tanto *in situ* como *ex situ* (López y Ramírez 2011). Las principales ventajas de esta tecnología es que no utilizan reactivos químicos peligrosos, no afectan negativamente a la estructura del suelo; el uso de plantas genera un bajo costo económico, apropiado para descontaminar superficies grandes, los metales pueden ser capturados y reciclados (Ortiz *et al.*, 2012).

Los métodos de recuperación de suelos contaminados con metales pesados pueden ser fisicoquímicos y biológicos. Los primeros, utilizan propiedades físicas y químicas de los contaminantes o del suelo para

transformar, separar o inmovilizar el contaminante (Dermont *et al.*, 2008). Los métodos biológicos también toman el nombre de biorremediación, se realizan aprovechando el potencial metabólico de organismos vivos como plantas, bacterias y hongos para eliminar a los metales pesados del suelo (Gadd 2010).

2.2.4 Commelina

En el género *Commelina* la polinización es realizada por insectos que se acercan en busca de alimento atraídos por las trofoanteras. Las flores de las Commelináceas carecen de néctar y se abren sólo unas horas durante el día. Se trata de flores principalmente entomófilas y, usualmente, atraen una variedad de abejas y dípteros. Poseen pétalos de colores brillantes y conspicuos, inclusive en especies autógamas; y cuando las flores son pequeñas, la inflorescencia está asociada a brácteas que atraen a los polinizadores.

El caso más extremo ocurre en algunas poblaciones de *Coleotrype* madagascariensis en las que las hojas superiores cercanas a las flores pueden ser vivamente rosadas, como las brácteas de la estrella federal. La posición y la longitud de los estambres pueden afectar la especie de insectos que visitan las flores y el lugar en que se deposita el polen para su traslado (Faden 1998).

Factor ecológico relacionado de la commelina

Las estrategias de sobrevivir a estas condiciones pueden ser la de tolerancia o resistencia. La mayor parte de las especies tolerantes a metales pesados son especies que impiden su entrada en la raíz. Sin embargo, las especies más raras y escasas son las tolerantes, especies que acumulan metales en sus tejidos aéreos, incluso cuando la concentración de metales en el suelo es muy baja, estas especies son hiperacumuladoras (Becerril *et al.* 1988).

Características de la fitoextractoras de la Commelina

Las metalófitas son plantas adaptadas a suelos con altas concentraciones de metales pesados. Estas plantas pueden tener mecanismos naturales de adaptación al estrés químico por metales pesados. El grado de capacidad de resistencia o tolerancia a la toxicidad de metales pesados difiere

con las especies, tanto desde el punto de vista de los mecanismos como de amplitud y distribución en las distintas especies, o incluso en variedades o ecotipos de una misma especie (Poschenrieder *et al.*, 1989).

La reacción de estas especies frente al estrés biótico se debe a su función defensiva (Poschenrieder *et al.*, 1989), forman complejos metálicos en el citosol mediante compuestos orgánicos producidos por las plantas y compartimentan el almacenamiento de metales en las vacuolas. La especie *Thlaspicaerulescens* (nombre común: *Viola baoshanensis*) es una especie hiperacumuladora de Zn. Esta especie se considera como modelo en los estudios de tolerancia a metales de fitoextracción. (Becerril *et al.*, 1988).

Existen 50 especies identificadas dentro del grupo de las tolerantes. Algunas de las especies hipertolerantes en lugares con alta concentración de metales son: *Thlaspicaerulescens*, *Jasione montana* L., *Rumex acetosa* L. y *Festuca rubra* L. (Becerril *et al.*, 1988). Algunas especies usadas como hiperacumuladoras son el Kudzú, maní forrajero, girasol, comelina; sin embargo, no existen estudios en detalle que demuestren que son eficientes para remediar suelos contaminados.

Características morfológicas de la commelina

Las metófitas son especies vegetales que tienen bien desarrollados los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales pesados. Los estudios genéticos de especies vegetales con estas características mostraron que han tomado cientos, miles o millones de años en desarrollar mecanismos de supervivencia a condiciones tóxicas (Shaw, 1990). Las estrategias de sobrevivir a estas condiciones pueden ser la de tolerancia o resistencia. La mayor parte de las especies tolerantes a metales pesados son especies que impiden su entrada en la raíz. Sin embargo, las especies más raras y escasas son las tolerantes, especies que acumulan metales en sus tejidos aéreos, incluso cuando la concentración de metales en el suelo es muy baja, estas especies son hiperacumuladoras (Becerril *et al.* 1988).

Commelina en la disminución del cadmio

Los métodos de recuperación de suelos contaminados con metales pesados pueden ser fisicoquímicos y biológicos. Los primeros, utilizan propiedades físicas y químicas de los contaminantes o del suelo para transformar, separar o inmovilizar el contaminante (Dermont *et al.* 2008). Los métodos biológicos también toman el nombre de biorremediación, se realizan aprovechando el potencial metabólico de organismos vivos como plantas, bacterias y hongos para eliminar a los metales pesados del suelo (Gadd 2010).

Sin embargo, existen escasos trabajos que plantean alternativas de manejo de Cd en suelos contaminados. Para solucionar los problemas detallados, sería interesante generar tecnologías limpias y adecuadas utilizando enmiendas orgánicas, microorganismos y fitoextractoras para disminuir las altas concentraciones de Cd en los granos de cacao.

Las metalófitas han evolucionado bastante durante miles de años de su existencia. Los mecanismos de acción de estas plantas son dos: (a) la exclusión del metal (las evitan) y (b) la tolerancia al metal. La tolerancia parece depender de varios genes con carácter aditivo y dominante, aunque se han visto casos de tolerancia ligada a un único gen (Clark 1982). En suelos contaminados con diferentes metales se han comprobado que las plantas pueden presentar tolerancia múltiple, en algunos pocos casos han observado tolerancia (tolerancia a un metal presente inducido por otro presente). El mecanismo de la tolerancia es lo que presentan las fitoextractoras hiperacumuladoras, que acumulan grandes cantidades de metales pesados en su organismo.

2.2.5 Cadmio

Las principales fuentes naturales de cadmio son las erupciones volcánicas y meteorización de rocas; también por fuentes antropogénicas el cadmio suele estar presente en la fabricación de baterías y pinturas, quema de combustibles fósiles, en la industria microelectrónica, fabricación de cemento y fertilizantes fosfatados (Ruíz y Armenta 2011).

Se considera que la presencia de altas concentraciones de cadmio en suelos agrícolas proviene del uso de fertilizantes fosfatados (Sánchez *et al.*,

2011), debido a su uso en diferentes actividades, puede ser emitido a la atmósfera, al suelo o al agua (Martínez *et al.* 2013).

En el suelo suele existir cadmio en concentraciones menores a $0,2 \text{ mg Kg}^{-1}$ lo cual es considerado como normal, pero cuando suele sobrepasar esta cantidad es considerado como tóxico (Marbán *et al.*, 1999). Una parte del cadmio presente en el suelo es capturada por las plantas a través de las células de las raíces, donde se unen a la pared celular de las células epidérmicas, a través del intercambio iónico son traslocados al resto de la planta. Plantas expuestas al cadmio producen especies reactivas del oxígeno (EROs), inhibiendo sus procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, reducción del crecimiento, enrollamiento foliar, clorosis; pero existen otras plantas que son capaces de aumentar sus enzimas antioxidantes, permitiéndoles reducir los daños de las EROs, aumentando la tolerancia de cadmio en sus tejidos (Lara *et al.* 2011).

El cadmio en el suelo se adhiere fácilmente a las partículas de arcilla y a la materia orgánica, haciéndola menos disponible para la absorción por las plantas. Los suelos arenosos con bajo contenido de arcilla y materia orgánica son probables de resultar en una mayor absorción (Trigoso, 2017).

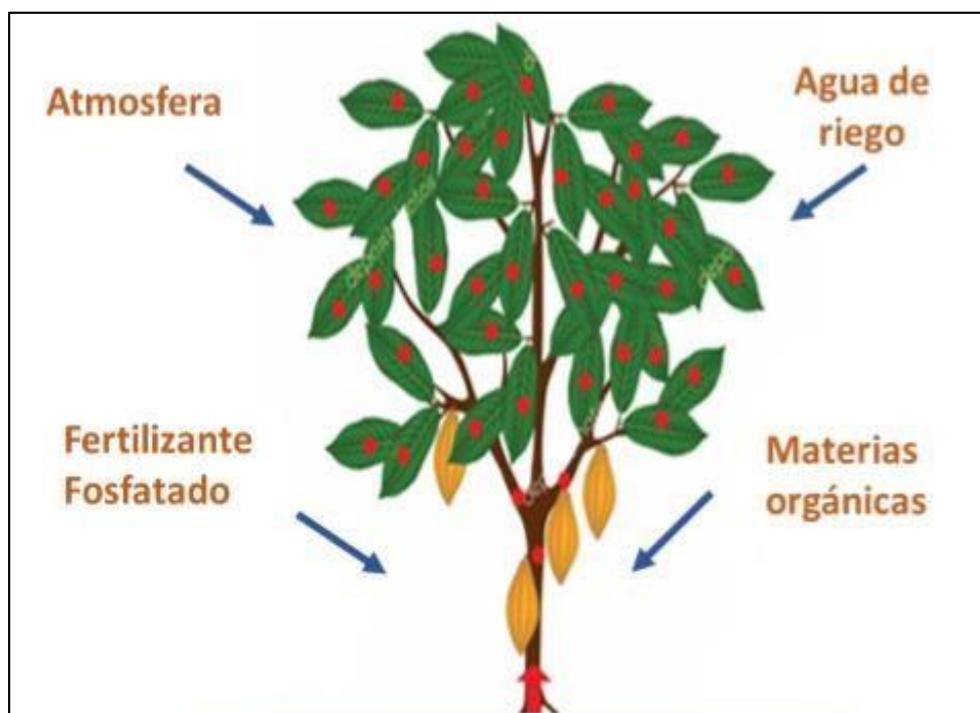


Figura 3. Fuentes naturales de Cd en el suelo (Guerra *et al.*, 2017)

2.3. Bases conceptuales

Hongos Micorríticos Arbusculares. Los efectos benéficos de las Micorrizas en el suelo están muy relacionados con sus efectos sobre las plantas por estar estrechamente relacionados. Sin embargo, podemos declarar que las Micorrizas, realizan varias funciones en el suelo que incrementan mucho su potencial agro productivo y sus posibilidades de sostén y mantenimiento de las diferentes especies vegetales.

Cadmio. Es un elemento químico, perteneciente al grupo IIB de la tabla periódica, con número atómico 48, en la naturaleza suele ir acompañado con el zinc, plomo y cobre (Ruíz y Armenta 2011).

Commelina. Las metalófitas han evolucionado bastante durante miles de años de su existencia. Los mecanismos de acción de estas plantas son dos: (a) la exclusión del metal (las evitan) y (b) la tolerancia al metal. La tolerancia parece depender de varios genes con carácter aditivo y dominante, aunque se han visto casos de tolerancia ligada a un único gen (Blum, 1988).

Cultivo de cacao. La producción de cacao en el Perú llega a las 31 500 toneladas, las zonas se ubican en la parte baja de la vertiente oriental de los Andes, siendo las principales zonas productoras del Valle del río Apurímac (Junín, Ayacucho y Cusco), el Valle de la convención (Cuzco), el Valle del Huallaga (Huánuco, San Martín), el Valle de Tambo (Junín), y el Valle del Marañón (Cajamarca y Amazonas) (Asociación Peruana de Productores de Cacao - APPCACAO 2009).

III. METODOLOGÍA

3.1. Ámbito

La investigación se realizó en el Centro Poblado de Huamancoto, que pertenece a la localidad de Pumahuasi capital del distrito de Daniel Alomía Robles, cuya ubicación política y posición geográfica es la siguiente:

Ubicación política

Región	: Huánuco
Provincia	: Leoncio Prado
Distrito	: Daniel Alomía Robles
Localidad	: Pumahuasi
Posición geográfica	
Latitud Sur	: 9° 11' 18.2" S
Latitud norte	: 75° 57' 17.5" W
Msnm	: 671 msnm
Zona de vida	: Monte espinoso- Pre montano Tropical (mte - PT)

3.1.1. Características agroecológicas

La investigación se encuentra ubicado a los 671 msnm, presenta condiciones climáticas cálido y húmedo, temperatura promedio es de 23 °C y a una precipitación promedio anual de 3 200 mm.

3.2. Población

La población en estudio estaba conformada por 60 plantas de híbridos de cacao variedad CCN 51 tiene 8 años (Universo de muestra), estuvo conformado de la siguiente manera:

Tabla 2. Factor y tratamientos en estudio

Clave	Descripción	Características
T1	Commelina	La comelina es una planta que se usa de cobertura y fitoextractora, Se aplicaron al contorno de la planta luego se cubrieron con hojarasca de cacao.
T2	Hongos Micorríticos Arbusculares	Se aplicó los HMAs es de color marrón oscuro el sustrato que contiene esporas, Se aplicó al contorno de la planta de cacao en la dirección de la copa del árbol.

T3	Hongos Micorríticos Arbusculares HMA + Commelina	Se aplicó los HMA en forma circular en el suelo luego se plantó la comelina luego se ha cubierto con hojarasca.
T4	Control	No se aplicaron los biorremediadores, conserva las características de su ecología

Fuente: elaboración propia

Observaciones de la concentración de cadmio en suelos y mazorcas de las plantas. Las muestras de suelo para la determinación de cadmio, Se tomo como muestra 12 plantas por cada área neta experimental. La muestra será de 12 plantas de cacao.

Para ello hubo un muestreo antes del tratamiento, en cada punto se realizaron cuatro muestreos a una profundidad de 30 cm de la superficie y se colectaron 120 gr de suelo de cada profundidad, utilizando barrenos muestreadores de 30 cm de longitud.

3.3. Muestra

El muestreo de granos fue “5” mazorcas, cada mazorca de un árbol, se tomaron granos del centro de la mazorca y se recolecto según la maduración de los frutos de cacao ya que su maduración es des uniformé.

La unidad de análisis fue las plantas de híbridos de cacao variedad CCN51, donde se determinaron las concentraciones de cadmio sistema suelo – planta, la concentración de cadmio fue expresada en Mg/Kg.

3.4. Nivel y tipo de estudio

3.4.1. Nivel de investigación

Según (Yuni y Urbano, 2014) El contexto de investigación será experimental, porque se manipulará la variable independiente alternativas de manejo de Cd en el suelo con Hongos Micorríticos Arbusculares y Commelina, se midió su efecto sobre las variables concentración de Cd en granos de cacao y en el suelo y, se comparará con un testigo absoluto. Los ensayos se realizarán en Tingo María, Huánuco.

3.4.2. Tipo de investigación

Según el tipo de investigación es correlacional – aplicada, la estrategia metodológica es cuantitativa, porque se recurrirá a los conocimientos pre constituidos de las ciencias del suelo y ciencias biológicas para contribuir en la solución del problema de contaminación de suelos con cadmio.

3.5. Diseño de investigación

El diseño experimental será en DBCA con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Las repeticiones serán una parcela contaminada con cadmio, previamente identificadas.

Para la cual se usó la siguiente ecuación lineal.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \ell_{ij}$$

Para $i = 1, 2, 3, \dots, t$ (N° de tratamientos) $j =$

$1, 2, 3, \dots, r$ (N° de repeticiones, bloques)

Dónde:

Y_i = Unidad experimental que recibe el tratamiento i y está en el bloque j .

μ = Media general a la cual se espera alcanzar todas las observaciones (media poblacional).

τ_i = Efecto verdadero del i ésimo tratamiento. $\beta_j =$

β_j = Efecto verdadero del j ésimo bloque. ℓ_{ij} = Error experimental.

Descripción del campo experimental

a) Características del campo experimental

Longitud del campo experimental : 320,00 m

Ancho del campo experimental : 240,00 m

Área total del campo experimental : 82 944 m²

b) Características de los bloques

Número de bloques : 4

Tratamientos por bloque	: 3
Longitud del bloque	: 6,00 m
Ancho del bloque	: 6,00 m
Ancho de las calles	: 3,00m
Área total del bloque	: 36,00 m

c) Características de la parcela experimental

Longitud de la parcela: 6,00 m

Ancho de la parcela: 6,00 m

Área total de la parcela: 36,00 m²

Área neta de la parcela: 12,00 m²

Total, de plantas por parcela: 60

d) Características de los surcos

Distanciamiento entre surcos: 3,00 m

Número de plantas por área neta experimental:

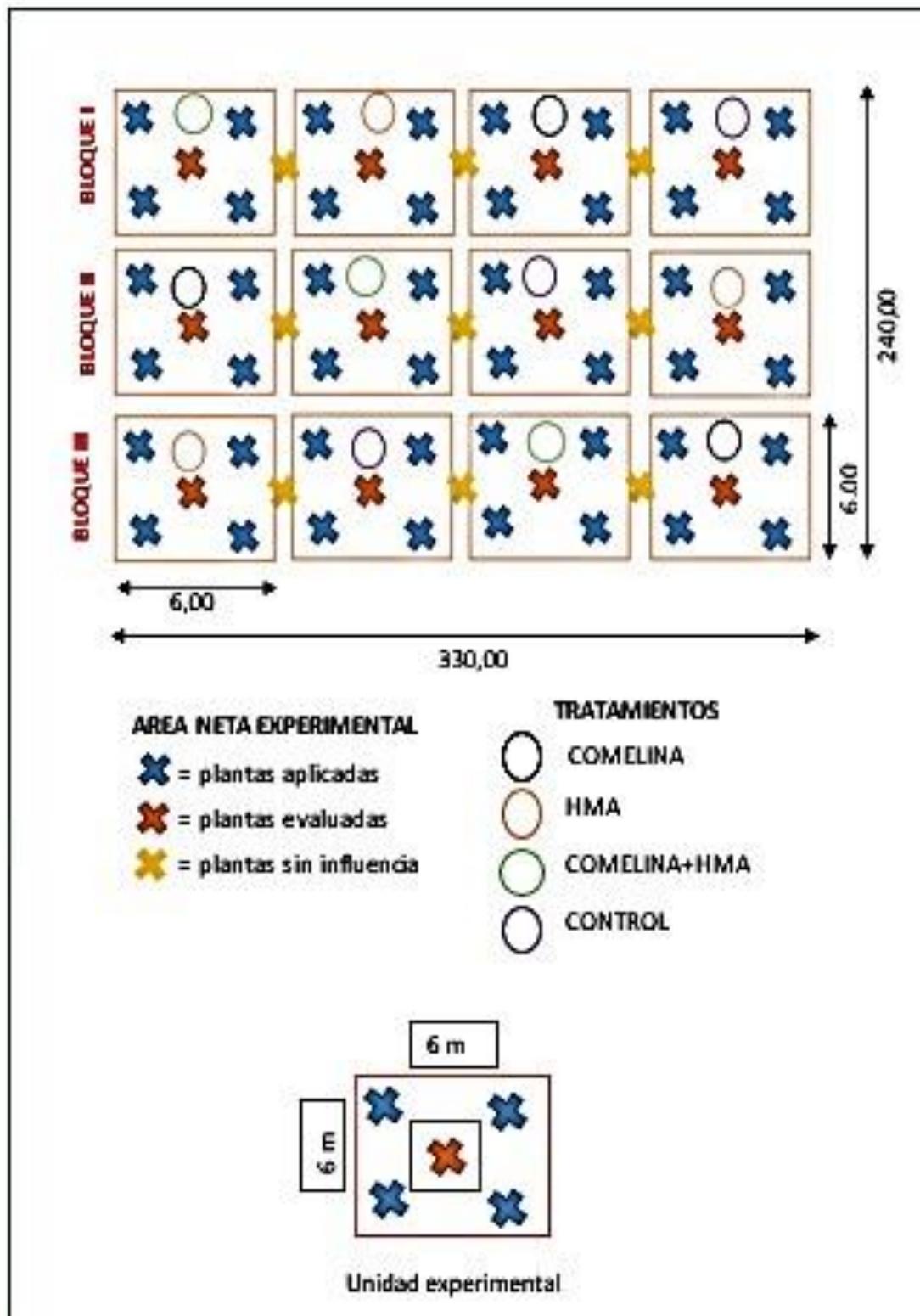


Figura 4. Croquis del campo experimental y detalle de la unidad experimental

3.6. Métodos, Técnicas e instrumentos

3.6.1. Técnicas de investigación

a) Técnicas para obtener información bibliográfica

- **Fichaje:** nos permite construir la literatura citada, redactada de acuerdo a las normas técnicas de IICA (instituto interamericano de cooperación para la agricultura) – CATIE (centro agronómico tropical de investigación y enseñanza).
- **Análisis de contenido:** nos permite analizar el contenido de los documentos leídos (libros, artículos, otros) para elaborar el sustento teórico, de acuerdo a las normas técnicas de IICA (instituto interamericano de cooperación para la agricultura) – CATIE (centro agronómico tropical de investigación y enseñanza).
- Formato de gestión de información que se empleó para elaborar el fundamento teórico.

b) Técnicas para obtener datos de campo

- **Observación:** nos permitió la recolección de datos obtenidos directamente del campo experimental. Y el muestreo consiste en la recolección de una cantidad de suelo representativo del área de muestreo a una profundidad determinada, de igual manera para las almendras del cacao.
- **Evaluación:** nos permitió determinar las características físicas y químicas de las muestras de suelo tomadas del campo de igual manera cuantificó la concentración de cadmio en grano y suelo.

▪ Instrumento de recolección de información

Instrumentos bibliográficos: Fichas de registro o localización, hemerográficas, se utilizó para recopilar información del Internet revistas, periódicos, etc. existentes las variables e indicadores en estudio.

Bibliográficas: Las fichas de documentación e investigación, fichas textuales o de transcripción, fichas de resumen y fichas de comentario.

Se utilizó para recopilar información de los libros, tesis, para construir el marco teórico.

▪ **Instrumentos de campo**

Libreta de campo: Se utilizó para recolectar datos directamente del campo experimental, como la fecha de recolección de las muestras, el número de muestras de suelo, hoja y mazorcas, el control de días de fermentado de las almendras.

3.6.2. Instrumentos de investigación

- Análisis de pH del suelo mediante el método del potenciómetro, para lo cual se tomó 10 g de suelo y 10 ml de agua destilada, se hizo una solución homogénea para luego tomar la lectura del pH.
- El análisis de % de carbonato de calcio (CaCO_3) se hizo mediante el método del volumétrico. Se pesó 5 g de suelo al que se le añadió 50 ml de Ácido clorhídrico (HCL 0,1 N) luego se tomó 20 ml de la solución filtrada y se realizó la titulación con el Hidróxido de sodio (NaOH a 0,1).
- La clase textural se determinó por el método de bouyoucos, para el cual se colocó 50 g de suelo + 5ml de Hidróxido de sodio (NaOH 1N) + 5 ml oxalato de sodio saturado y agua destilada (2/3 del volumen del vaso) en el dispensador eléctrico posteriormente se disgregó la solución por 15 minutos. Después se traspasó la solución a una probeta y se enrasó con el hidrómetro dentro a 1 130 cc con agua destilada. Se realizó 2 lecturas de temperatura y densidad de la solución en un intervalo de dos horas con el hidrómetro y el termómetro.
- La materia orgánica del suelo se determinó por el método de Walkley y Black modificado; primero se preparó la solución correctora después se pesó 1 gr de suelo al que se le añadió 10 ml de dicromato de potasio 1N + 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y dejó digerir por 30 minutos luego se traspasó la solución a una fiola aforándola con agua destilada

a 100 cc. De esta solución se tomó 20 ml, al que se le añadió 6 gotas del indicador difenilamina sulfúrica, para luego titular con el sulfato ferroso amoniacal 0.2 N hasta el viraje color verde manzana.

- La capacidad de intercambio catiónico, se determinó mediante el método del acetato de amonio 1N, pH 7,0 + 150 ml de alcohol etílico al 96 %. El suelo lavado se incorporó en el balón con 750 cc de agua destilada + 10 ml de hidróxido de sodio saturado y 2 g de parafina. En el equipo de desinfección se colocó el balón y se destiló hasta que la solución destilada no tuvo viraje en las tiras de fenolftaleína. El alícuota producto de la destilación se recibió en la solución receptora (25 ml de ácido clorhídrico + 5 gotas del indicador rojo de metilo y 100 ml de agua destilada) para luego titularla con el hidróxido de sodio 0,1 N hasta el viraje color amarillo.
- El fósforo disponible, se determinó por el método de Watanabe y Olsen. Para ello se preparó una serie de soluciones estándar de 0, 1, 2 y 3 mg de P/L, luego se realizó la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro para determinar la concentración de fósforo. Después se agitó la solución (2 g de suelo + 20 ml de bicarbonato de sodio 0,5 M pH 8,5 + 100 mg de carbón lavado Darco – 60) en el dispensador eléctrico por 30 minutos después se filtró las soluciones de las cuales se tomó 3 ml de alícuota +10 ml de molibdato II y se dejó en reposo por 10 minutos. Antes de hacer las lecturas en el espectrofotómetro de las muestras, se preparó la solución correctora (3ml de bicarbonato de sodio 0,5M + 10 ml de molibdato II) para la calibración del equipo.
- Concentración de cadmio en el suelo, La concentración de cadmio en el suelo determino por el método de absorción atómica por horno de grafito. Primero se pesó 5 g de suelo previamente tamizados y se colocó en unos frascos con sus identificaciones. Las muestras se enviaron al laboratorio de análisis de suelo de la UNAS. Donde se determinó el cadmio total y disponible en el suelo en ppm.

- Concentración de cadmio en granos de cacao, La concentración de cadmio en las hojas se determinó por el método de absorción atómica por horno de grafito. Primero se cosecho las mazorcas de donde se extrajo las almendras, luego se fermento por 6 días, después se secó. A las almendras secas se le retiró la cascara con una pinza para después triturarlos con el molinillo. Las muestras molidas se colocaron en una bolsa de papel con su respectiva identificación. Las muestras se enviaron al laboratorio de análisis de suelo de la UNAS donde se determinó la concentración de cadmio de los granos de cacao en ppm.

3.7. Validación y confiabilidad del instrumento

“No se aplicó para la investigación”

3.8. Procedimiento

3.8.1. Reconocimiento del lugar

En el reconocimiento del lugar de ejecución se realizó con el fin de obtener algunos datos, como: condiciones edafoclimáticas del lugar, edad de las plantas, terreno disponible para la ejecución del trabajo de investigación.

3.8.2. Aplicación de la Commelina.

La comelina se aplicó a 1,5 m alrededor del árbol y a la dirección de la copa del árbol de cacao. La cobertura se cubrió posteriormente con la hojarasca para facilitar a la retención de la humedad del suelo y permitir la emisión de raíces de la cobertura en el suelo del cultivo.

3.8.3. Aplicación de Hongos Micorríticos Arbusculares

La aplicación de los Hongos Micorríticos Arbusculares se realizó de acuerdo a la recomendación (5,0 g. Kg⁻¹, para arboles establecidos. Los HMAs fue aplicado en el área donde las raíces toman los nutrientes, se incorporó los

Hongos micorrizicos arbusculares sobre el suelo, posteriormente se cubrió con hojarasca para evitar la muerte de las esporas al momento de la emergencia.

3.9. Tabulación y análisis de datos

3.9.1. Análisis en laboratorio de las muestras de suelo

3.9.1.1 Determinación del pH

Se utilizó el siguiente Método del potenciómetro, relación suelo agua (1:1), para su respectivo análisis, se siguió la siguiente metodología:

- Se colocó 20 g de la muestra de suelo en un vaso de 50 ml, se añadió 20 ml de agua destilada, se agito con ayuda de una bagueta durante 1 minuto, se dejó macerando por media hora, repitiendo 5 veces durante el tiempo, realizar la lectura del potenciómetro.
- La lectura del pH fue directa que tiende de 4,5 a 9,1.

Tabla 3. Rangos de pH

RANGO	pH
Extremamente acido	Menos de 4,5
Muy fuertemente acido	4,5 a 5,0
Fuertemente acido	5,1 a 5,5
Moderadamente acido	5,6 a 6,0
Ligeramente acido	6,1 a 6,5
Neutro	6,6 a 7,3
Levemente acido	7,4 a 7,8
Moderadamente alcalino	7,9 a 8,4
Fuertemente alcalino	8,5 a 9,0
Muy fuertemente alcalino	9,1 a más

3.9.1.2 Determinación de materia orgánica

Se realizó por el método WALKLEY Y BLACK MODIFICADO, la secuencia del análisis es la siguiente:

- Se preparó la solución correctora, en una fiola de 100 ml, colocar 10 ml de dicromato de potasio 1 N , se anotó el gasto con una pipeta volumétrica, se tomó 20 ml de la solución homogenizada colocándola en un vaso de precipitado de 250 ml, se añadió 5 ml de ácido sulfúrico al 1/3 previamente medido en una probeta, se adiciono 6 gotas del indicador di fenilamina sulfúrica, luego se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,2 N a la luz y hasta el viraje de color verde manzana, se anotó el gasto.
- Se preparó la muestra colocando 1 g de suelo en un Erlenmeyer de 250 ml, se añadió 10 ml de dicromato de potasio 1 N, se anotó el gasto, se adiciono 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, luego se agito la solución, se dejó digerir la solución por espacio de 30 minutos, se colocó a una fiola de 100 ml aforándola con agua destilada y para lograr su homogenización, se volvió al Erlenmeyer.
- Se tomó 20 ml de la solución homogeneizadora con una pipeta volumétrica luego se colocó en un vaso de precipitado de 250 ml, se añadió 6 gotas de indicador di fenilamina sulfúrica, se tituló a la luz con sulfato ferroso amoniacal 0,2 N hasta el viraje al color verde manzana.

3.9.1.3 Determinación de fosforo extraíble

Se efectuó con el método WATANABE Y OLSEN MODIFICADO. La secuencia del análisis es la siguiente:

- Se colocó 2 g de suelo en un Erlenmeyer de 125 ml, se añadió 20 ml de bicarbonato de sodio 0,5 M pH 8,5 y 1 cucharadita de carbón lavado Darco-60, se removió la solución durante 30 minutos en el agitador eléctrico, se filtró recibiendo la alícuota en un vaso de precipitado de 50 ml.

- Se preparó la solución correctora o blanco con la ayuda de un tubo de ensayo, tomar 3ml de bicarbonato de sodio 0,5 M; pH 8,5 y 10 ml de molibdato II, esta solución es preparada para la calibración del espectrofotómetro.

Se preparó la alícuota con la ayuda de un tubo de ensayo luego se tomó 3 ml de la alícuota obtenida en el segundo paso y se añadió 10 ml de molibdato II, se sometió a la solución a reposo por espacio de 10 minutos y realizar la lectura en el espectrofotómetro después de haberlo calibrado con la solución correctora o blanco, luego se anotó la lectura.

3.9.1.4 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico

Se empleó el método de acetato de amonio 1N pH 7.5 (suelos con pH > 5.5), para su respectivo análisis se siguió la siguiente metodología:

- En un embudo con papel filtro se colocó 5 g de suelo, se lavó con 100 ml de acetato de amonio 1Na pH 7, se eliminó el exceso de amonio con 150 ml de alcohol etílico al 96 %, luego se trasladó en el proceso de destilado.
- Se preparó la solución a destilarse en un balón de 750 ml colocar aproximadamente 350 ml de agua destilada, se añadió 8 perlas de vidrio para evitar una ebullición violenta, se añadió de 2 g de parafina en escamas para evitar la formación de espuma y 10 ml de hidróxido de sodio.
- Se preparó la solución receptora en un vaso de precipitado de 150 ml, se colocó 5 gotas del indicador rojo de metilo y completar el volumen a 100 ml con agua destilada.
- Se preparó la destilación en el balón con la solución a destilarse, se colocó la muestra del suelo en el balón, se coloca el balón en la hornilla y la solución receptora en el orificio de salida del refrigerante procurando que la manguerita se encuentre dentro de ella, se probó con las tiras de fenolftaleína directamente de la manguerita, esta vira

de rosado seguir destilando, apagar el equipo y retirar la solución receptora.

Se tituló la solución receptora con hidróxido de sodio 0,1 N hasta el viraje de rosado a amarillo, se anotó el gasto.

3.9.1.5 Determinación de cadmio total

Se realizó según el método de USEPA 3050B (agencia de protección ambiental) de digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos (USEPA 1996), el filtrado se realizó con el ICP OES (espectrofotómetro de emisión atómica). Se tomaron muestras del suelo de cada tratamiento, para su respectivo análisis, se siguió la siguiente metodología:

- Se pesó 2 g. de suelo, con un tamaño de partícula 2 mm, se añadió 10 ml de HNO₃ 1:1, calentar a 95 ° C por 5 minutos, enfriar y se añadió 5 ml de HNO₃ concentrado, repetir una vez y dejar se redujo la solución hasta 5 ml, se dejó enfriar y se añadió 2 ml de agua destilada y 3 ml de H₂O₂ (peróxido de hidrogeno), al cesar la efervescencia añadir 1 ml de H₂O₂.
- Se repitió hasta no observar efervescencia, se añadió 5 ml de HCL (ácido clorhídrico) concentrado y 10 ml de agua desionizada, se calentó por 15 minutos y dejar enfriar, se filtró por gravedad, se aforo a los 50 ml con agua destilada, se almaceno y se mantuvo refrigerado.

3.9.1.6 Determinación de cadmio disponible

Se obtuvo con el método de EDTA 0.05 M (Ramtahal *et al.*, 2015) la secuencia el análisis fue la siguiente:

- Se pesó 5 g de suelo, se agito durante dos horas con 20 ml de solución de EDTA 0,05 M, los extractantes se filtraron posteriormente a través de filtro de Whatman N° 542 y se analizaron el cadmio biodisponible por espectrofotómetro de emisión atómica.

3.9.1.7 Determinación de cadmio total en granos de cacao

El cadmio total en granos se determinó según Arévalo *et al.* (2017), cuya secuencia del análisis fue la siguiente:

- Se pesó 500 mg de granos molido, se ha digerido con 10 ml de una mezcla de HNO₃ (65 %) y HCL (98 %) de merk en una proporción de 4:1 respectivamente, la digestión se realizó en un bloque a 120 °C durante 3 horas luego a 200 °C durante dos horas, la solución dirigida se filtró a través de un papel Whatman N° 42 y se diluyo antes del análisis, la concentración de cadmio en el filtrado se determinó utilizando espectrofotómetro de emisión atómica.

3.9.1.8 Cosecha y acondicionamiento de las mazorcas

La cosecha de las mazorcas se realizó con una tijera de podar manual, luego se identificó para evitar confusiones. Después se extrajo los granos de la mazorca y se fermento por 7 días. Pasado este tiempo se secó en la estufa a temperatura ambiente. Después del secado los granos de cacao se llevaron al laboratorio en bolsas de polietileno previamente identificadas. En el laboratorio se les quito la cascara a los granos, después se molió 5 gr de cada muestra con el molinillo. Las muestras molidas se colocaron en bolsas de papel mantequilla y se enviaron para su análisis al laboratorio. La determinación de Cd se realizó mediante el método de digestión húmeda por espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito.

3.10. Consideraciones éticas

Durante la ejecución del proyecto de investigación y recolección de datos, la aplicación de instrumentos y el análisis de los resultados de la investigación, se mantendrá la confidencialidad. Asimismo, se practicará los principios de respeto, beneficencia y justicia, del mismo modo, se tuvo en cuenta los principios básicos del derecho de autor y propiedad intelectual. Finalmente, para evidenciar y dar crédito a la investigación, se presentarán en la parte de anexos algunas evidencias como constancias, fotos y otros.

IV. RESULTADOS

Los datos registrados fueron expresados en tablas y figuras estadísticas que expresan los promedios obtenidos de los tratamientos, los cuales también se encuentran en los Anexos 1 al 11.

El de las hipótesis planteadas se empleó la técnica del Análisis de Varianza (ANVA) o Prueba de F a fin de establecer las diferencias significativas entre bloques y tratamientos, el establecimiento de la significación, se realizará mediante la regla de decisión siguiente:

Regla de contraste hipótesis

Si el Valor $p > 0.05$, significativo

Si el Valor $p < 0.05$, no significativo

Si el resultado del ANVA fue significativo se procedió a realizar la Prueba de Scott y Knott al 0,05 de probabilidad de error, donde las medias que registren una letra común fueron iguales estadísticamente, y letras distintas evidenció significación estadística, no obstante, para aquellas variables donde en la fuente Tratamientos del ANVA obtuvo un p-valor mayor al 0.05 (nivel de significación), la prueba de Scott y Knott no se realizó.

Para los variables arena, limo, arcilla, calcáreo y materia orgánica fueron transformados angularmente mediante la fórmula del Arco Seno $\sqrt{-X}$

4.1. Características físicas del suelo

4.1.1. Arena

La Tabla 4 muestra los resultados del Análisis de Varianza al 0,05 de probabilidad de error, donde evidencia que no existe diferencias estadísticas significativas en las fuentes Bloques y Tratamientos. El coeficiente de variabilidad

(CV) fue de 27,84 %, denotando confiabilidad en la información obtenida; la media general (DO: datos originales) fue de 27,77 %.

Tabla 4. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en el contenido de arena del suelo. Datos transformados $Asen\sqrt{X}$

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación ($p=0,05$)
	2	0,02	0,01	0,43	0,6668	ns
	3	0,03	0,01	0,42	0,7435	ns
Error	6	0,15	0,02			
Total	11	0,20				

CV = 27,84 %

□ (DO) = 27,77 %

Bloques

Tratamientos

El mayor contenido de arena se obtuvo con el tratamiento T2 (Commelina) con 32,56 % y el menor se registró en el tratamiento T3 (HMA + Commelina) con 21,92 %; tal como se muestra en la Figura 5.

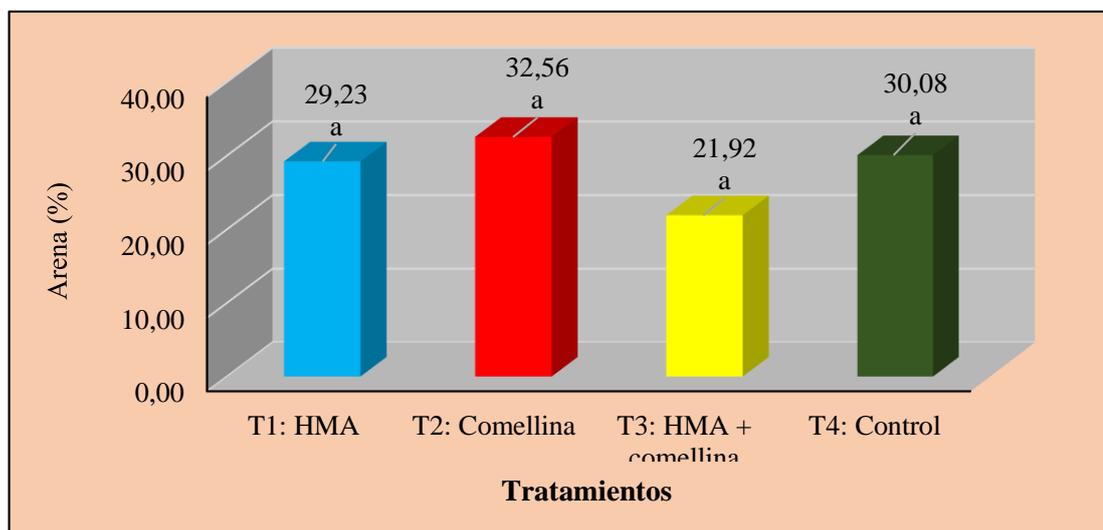


Figura 5. Promedios de contenido de Arena en el suelo por efecto de los tratamientos. Datos originales (DO).

4.1.2. Limo

Los resultados del Análisis de Varianza al 0,05 de probabilidad de error para el contenido de limo en el suelo, se visualiza en la Tabla 5, donde se demuestra que no existe diferencias estadísticas significativas en las fuentes Bloques y Tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 13,04 %, denotando confiabilidad en la información obtenida; la media general (DO: datos originales) fue de 49,87 %.

Tabla 5. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en el contenido de limo del suelo. Datos transformados $Asen\sqrt{X}$ —

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación ($p=0,05$)
Bloques	2	0,001	0,002	0,053	0,9485	ns
Tratamientos	3	0,011	0,001	0,351	0,7902	ns
Error	6	0,063	0,004			
Total	11	0,075				

CV = 13,04 % □ (DO) = 49,87 %

El mayor contenido de limo se obtuvo con el tratamiento T3 (HMA + Commelina) con 55,04 % y el menor se registró en el tratamiento con T2 (Commelina) 48,24 %; tal como se muestra en la Figura 6.

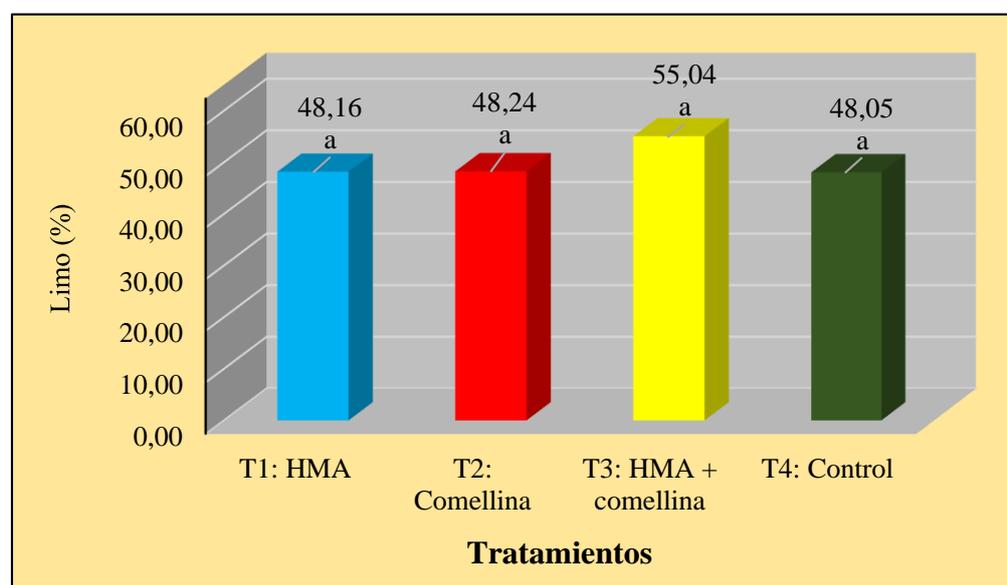


Figura 6. Promedios de contenido de Limo en el suelo por efecto de los tratamientos. Datos originales (DO).

4.1.3. Arcilla

El Análisis de Varianza al 0,05 de probabilidad de error de la Tabla 5 para el contenido de arcilla en el suelo, revela que no existe diferencias estadísticas significativas en las fuentes Bloques y Tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 14,42 %, denotando confiabilidad en la información obtenida; la media general (DO: datos originales) fue de 22,05 %.

Tabla 6. Análisis de varianza (p=0,05) para el efecto en el contenido de arcilla del suelo. Datos transformados $Asen\sqrt{X}$

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación (p=0,05)
Bloques	2	0,017	0,009	1,807	0,2431	ns
Tratamientos	3	0,006	0,002	0,441	0,7324	ns
Error	6	0,028	0,005			
Total	11	0,075				

CV = 14,42 % □ (DO) = 22,05 %

El tratamiento T3 (HMA + Commelina) obtuvo el mayor contenido de arcilla con 23,04 % y el menor se reportó en el tratamiento T2 (Commelina) con 19,20 %; tal como se muestra en la Figura 7.

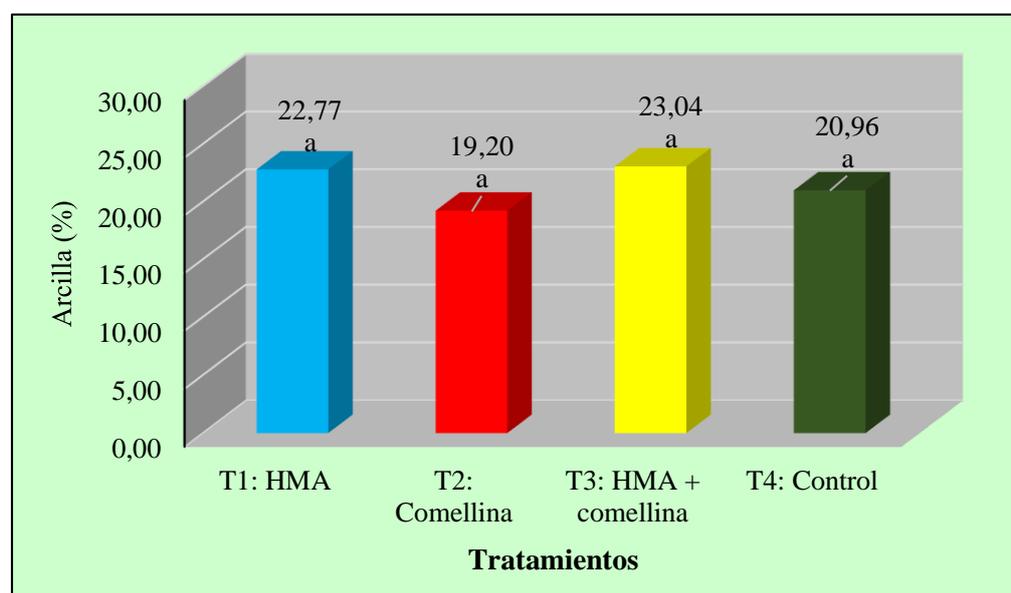


Figura 7 Promedios de contenido de Arcilla en el suelo por efecto de los

tratamientos. Datos originales (DO)

4.2. Características químicas del suelo

4.2.1. pH del suelo

Efectuado el Análisis de Varianza en la Tabla 7 determina que no existe diferencias estadísticas significativas al 0,05 de probabilidad de error en las fuentes Bloques y Tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 6,55 %, denotando confiabilidad en la información obtenida; la media general fue de 7,09.

Tabla 7. Análisis de varianza (p=0,05) para el efecto en el pH del suelo.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación (p=0,05)
Bloques	2	0,24	0,12	0,57	0,60	ns
Tratamientos	3	0,06	0,02	0,09	0,96	ns
Error	6	1,29	0,22			
Total	11	1,59				

CV = 6,55 %

□ = 7,09

El mayor pH se obtuvo con el tratamiento T2 (Commelina) con 7.17 y el menor pH se registró en el tratamiento T4 (control) con 6,98; tal como se muestra en la Figura 8

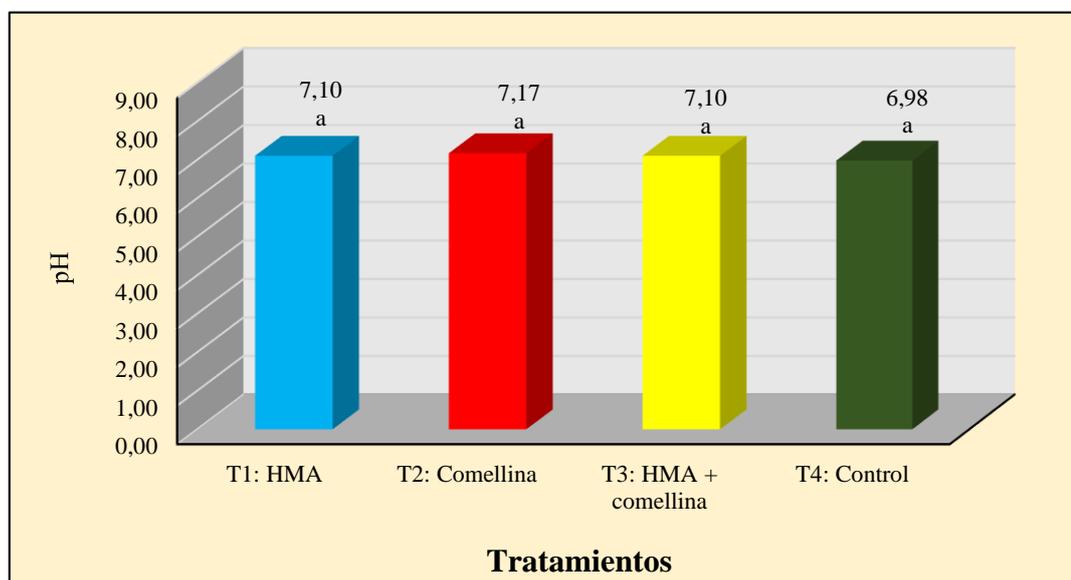


Figura 8. Promedios de pH del suelo por efecto de los tratamientos.

4.2.2. Calcáreo (CaCO_3)

El Análisis de Varianza al 0,05 de probabilidad de error para calcáreo, se visualiza en la Tabla 8, donde no existe diferencias estadísticas significativas en las fuentes Bloques y Tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 18,29 %, denotando confiabilidad en la información obtenida; la media general (DO: datos originales) fue de 2,04 %.

Tabla 8. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto en calcáreo. Datos transformados $\text{Arcsen}\sqrt{X}$

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación ($p=0,05$)
Bloques	2	0,001	0,001	0,91	0,4495	ns
Tratamientos	3	0,000	0,000	0,15	0,1464	ns
Error	6	0,004	0,001			
Total	11	0,006				

CV = 18,29 %

□ (DO) = 2,04 %

El tratamiento T1 (HMA) obtuvo el mayor contenido de calcáreo en el suelo con 2,15 %, mientras que el tratamiento T2 (Commelina) registra el menor contenido de calcáreo con 1,85 %; tal como se muestra en la Figura 9.

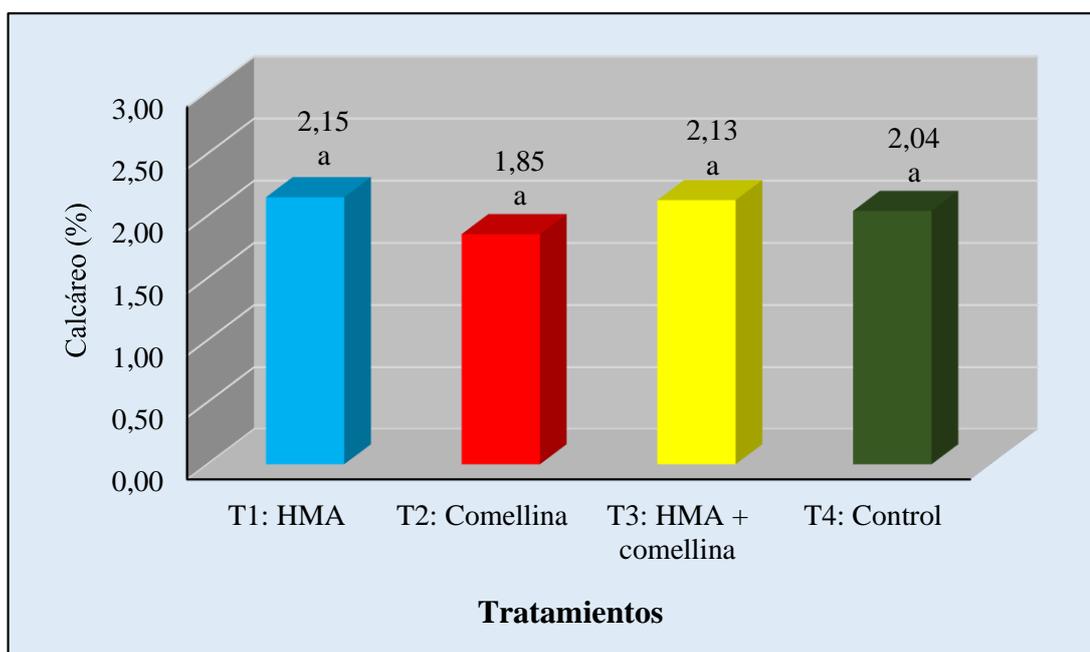


Figura 9. Promedios de calcáreo en el suelo por efecto de los tratamientos. Datos originales (DO)

4.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El Análisis de Varianza de la Tabla 9 revela que no existe diferencias estadísticas significativas al 0,05 de probabilidad de error en la fuente Bloques, mientras que existe diferencias significativas para Tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 9,67 %, que consigna la fiabilidad de información recopilada; la media general fue de 25,88 Cmol/100 g.

Tabla 9. Análisis de varianza (p=0,05) para el efecto en la capacidad de intercambio catiónico

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación (p=0,05)
Bloques	2	4,93	2,47	2,09	0,2053	ns
Tratamientos	3	34,27	11,42	9,66	0,0103	*
Error	6	7,10	1,18			
Total	11	46,29				

CV = 9,08 %

□ = 11,82

Realizada la prueba de Scott Knott expresa que el tratamiento T2 (Commelina). destaca sobre los tratamientos T1 (HMA), T3 (HMA + Commelina) y T4 (control), que son iguales estadísticamente en sus promedios. La mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) se obtuvo con el tratamiento T2 (Commelina) con 14,77 meq/100 g y la menor CIC se determinó en el tratamiento T4 (control) con 10,47 meq/100 g; tal como se muestra en la Figura 10.

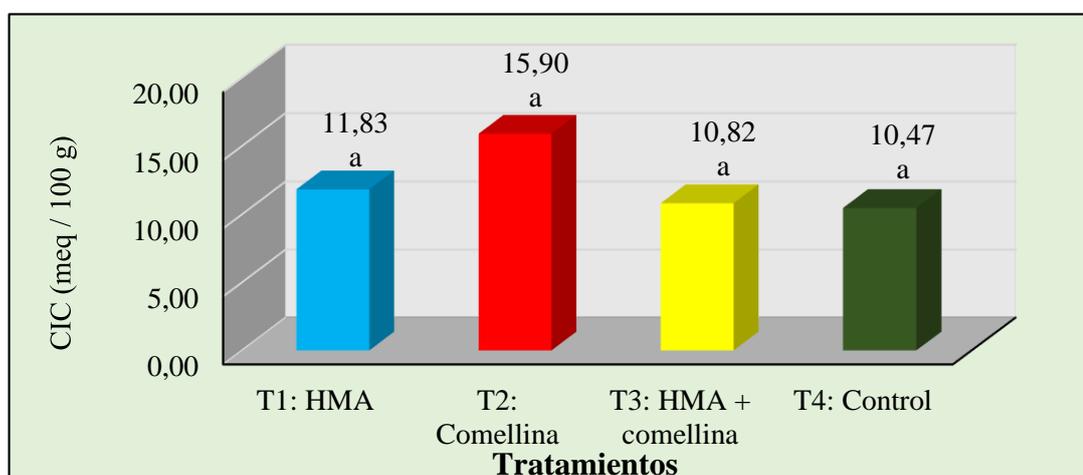


Figura 10. Promedios de CIC por efecto de los tratamientos.

4.2.4. Materia orgánica

El Análisis de Varianza de la Tabla 10 revela que no existe diferencias estadísticas significativas al 0,05 de probabilidad de error en las fuentes Bloques y Tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 25,94 %, que denota la confiabilidad de la información obtenida; la media general en datos originales fue de 1,38 %

Tabla 10. Análisis de varianza (p=0,05) para el efecto materia orgánica. Datos transformados $\text{Arcsen}\sqrt{X}$

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación (p=0,05)
	2	0,002	0,001	1,29	0,3432	ns
	3	0,008	0,003	3,44	0,0924	ns
Error	6	0,005	0,001			
Total	11	0,015				

$$\square (\mathbf{D.O}) = 1,38\%$$

Bloques

Tratamientos

CV = 25,94 %

El mayor porcentaje de materia orgánica se reportó en el tratamiento T4 (control) con 2,18 % y el menor porcentaje de materia orgánica registró en el tratamiento T2 (Commelina) de 0,57 %; tal como se muestra en la Figura 11.

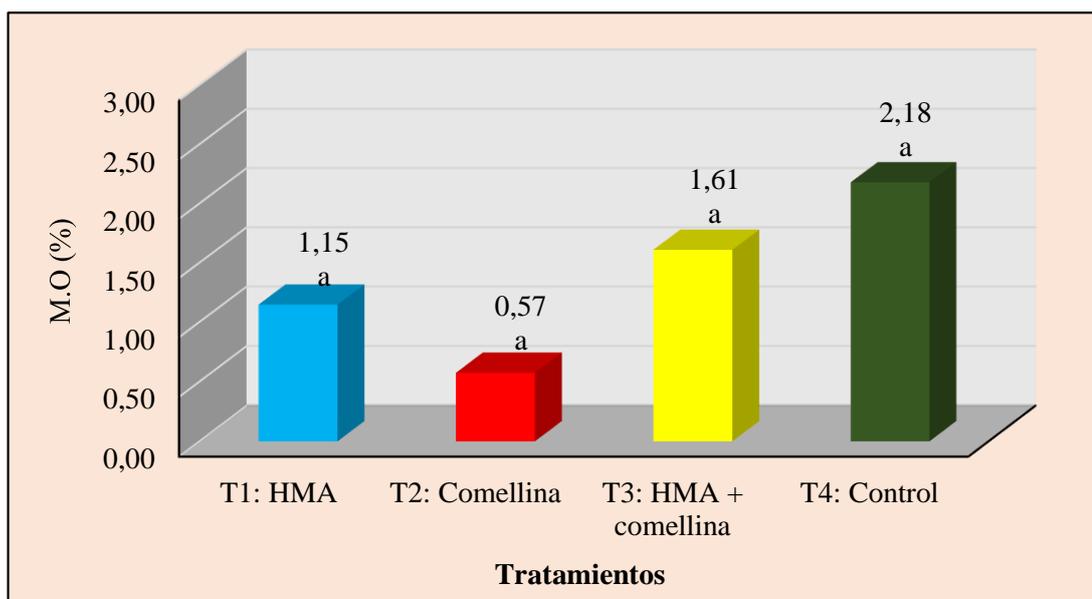


Figura 11. Promedios de materia orgánica por efecto de los tratamientos.

4.2.5. Fósforo (P_2O_5)

Realizado el Análisis de Varianza en la Tabla 11, los resultados expresan que no existe diferencias estadísticas significativas al 0,05 de probabilidad de error en las fuentes Bloques y Tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 15,77 %, que denota la confiabilidad de la información obtenida; la media general en datos originales fue de 5,01 ppm

Tabla 11. Análisis de varianza ($p=0,05$) para el efecto fosforo disponible

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación ($p=0,05$)
Bloques	2	0,04	0,02	0,03	0,97	ns
Tratamientos	3	2,17	0,72	1,16	0,40	ns
Error	6	3,74	0,62			
Total	11	5,95				

CV = 15,77 %

$\bar{x} = 5,01$

La mayor concentración de fosforo se obtuvo en el tratamiento T2 (Commelina) con 5,64 ppm y la menor concentración registró en el tratamiento T4 (control) de 4,69 ppm; tal como se muestra en la Figura 12.

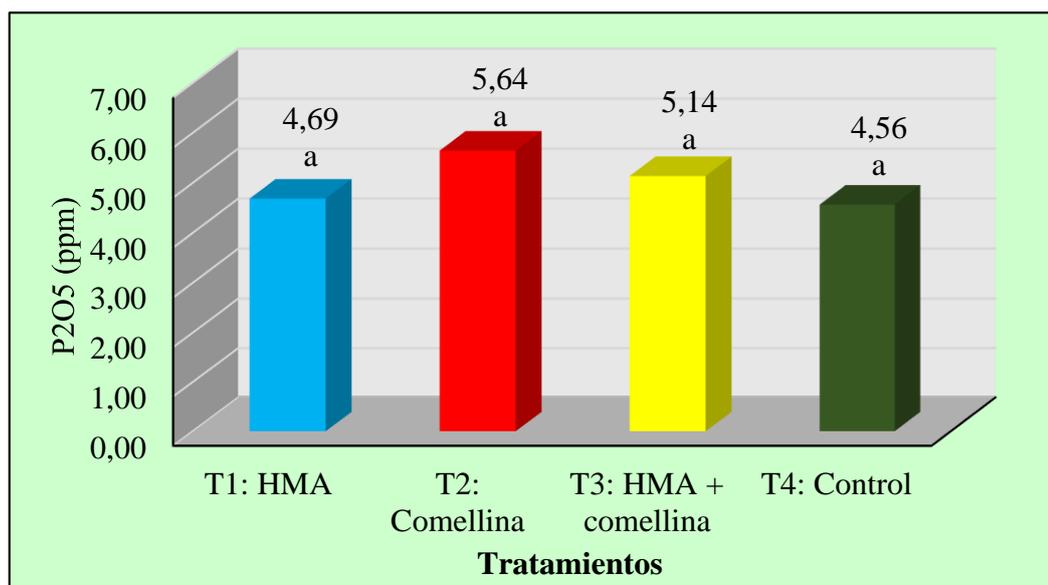


Figura 12. Promedios de fósforo por efecto de los tratamientos.

4.3. Concentración de cadmio en el suelo

4.3.1. Cadmio total

La Tabla 12 denota el Análisis de Varianza al 0,05 de probabilidad de error, donde las fuentes Bloques y Tratamientos no obtuvieron diferencias estadísticas significativas. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 12,38 %, el cual señala la confiabilidad de la información obtenida; la media general fue de 0,57 ppm.

Tabla 12. Análisis de varianza (p=0,05) para el efecto cadmio total

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación (p=0,05)
Bloques	2	0,01	0,010	1,190	0,3670	ns
Tratamientos	3	0,01	0,002	0,370	0,7787	ns
Error	6	0,03	0,005			
Total	11	0,05				

CV = 12,38 %

$\bar{x} = 0,57$

Los tratamientos T1, T2 y T3 obtuvieron la mayor concentración de cadmio total con 0,57; 0,58 y 0,59 ppm respectivamente y el menor se reportó en el tratamiento T4 (control) con 0,53 ppm; tal como se muestra en la Figura 13.

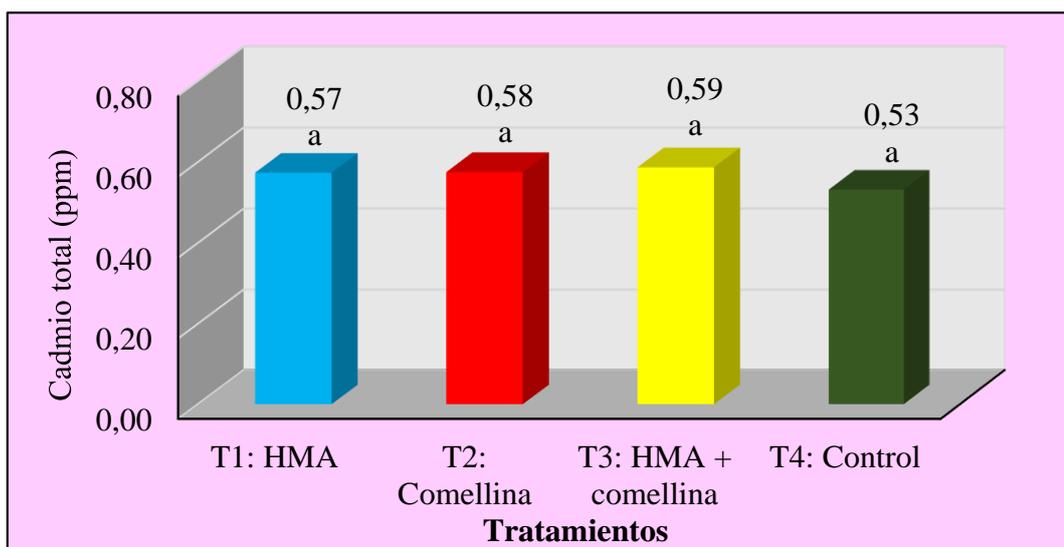


Figura 13. Promedios de cadmio total por efecto de los tratamientos.

4.3.2. Cadmio disponible

El Análisis de Varianza al 0,05 de probabilidad de error de la Tabla 13, indica que en las fuentes Bloques y Tratamientos no obtuvieron diferencias estadísticas significativas. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 13,99 %, el cual señala la confiabilidad de la información obtenida; la media general fue de 0,21 ppm.

Tabla 13. Análisis de varianza (p=0,05) para el efecto cadmio disponible

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación (p=0,05)
Bloques	2	0,001	0,001	0,76	0,5091	ns
Tratamientos	3	0,010	0,003	3,59	0,0857	ns
Error	6	0,010	0,001			
Total	11	0,020				

CV = 13,99 %

$\bar{x} = 0,21$

El tratamiento T4 (control) registra la mayor concentración de cadmio disponible con 0,26 ppm y los tratamientos T1 y T2 reportan el menor promedio de cadmio disponible con 0,19 ppm; tal como se muestra en la Figura 14.

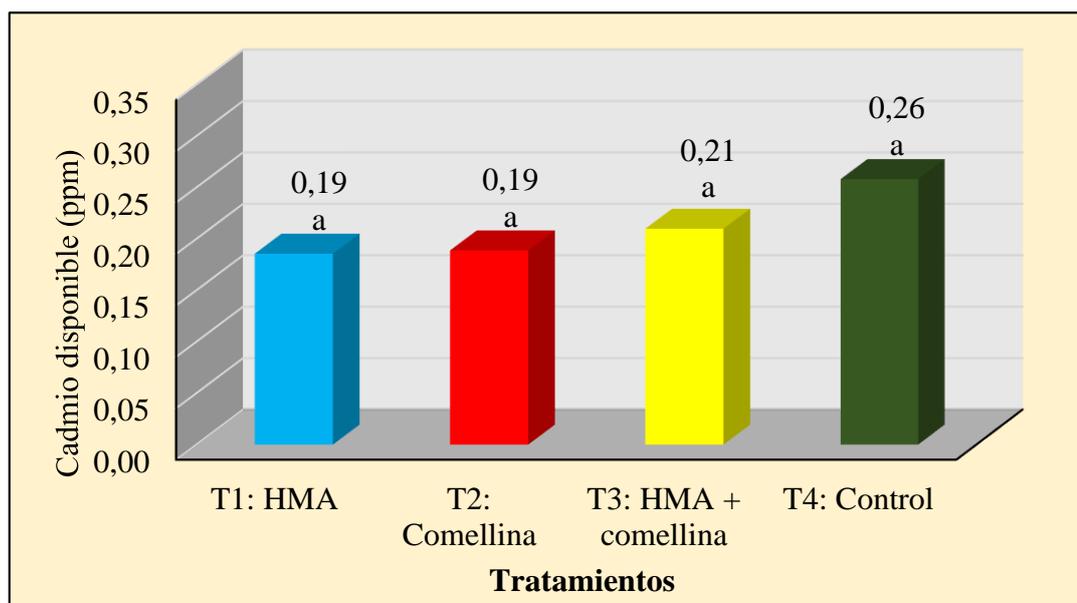


Figura 14. Promedios de cadmio disponible por efecto de los tratamientos.

4.4. Concentración de cadmio en cacao

4.4.1. Cadmio en el grano de cacao

El Análisis de Varianza al 0,05 de probabilidad de error de la Tabla 14, expresa que en la fuente Bloques no evidencia diferencias estadísticas significativas, mientras que en la fuente Tratamientos existió diferencias estadísticas. El coeficiente de variabilidad (CV) fue de 11,61 %, el cual señala la confiabilidad de la información obtenida; la media general fue de 0,21 ppm.

Tabla 14. Análisis de varianza (p=0,05) para el efecto cadmio en el grano de cacao

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	Significación (p=0,05)
Bloques	2	0,01	0,01	0,70	0,530	ns
Tratamientos	3	0,19	0,06	7,29	0,020	*
Error	6	0,05	0,01			
Total	11	0,25				

CV = 11,61 %

□ = 0,80

La prueba de Scott Knott al 0,05 de probabilidad de error de la Tabla 14, denota que los tratamientos T1 y T3 son iguales estadísticamente en sus promedios, pero difieren de los tratamientos T2 y T4. El tratamiento T4 y T2 denotan la mayor concentración de cadmio en los granos de cacao con 0,94 y 0,90 ppm y los tratamientos T1 y T3 expresan el menor promedio de cadmio en el grano con 0,65 y 0,71 ppm.

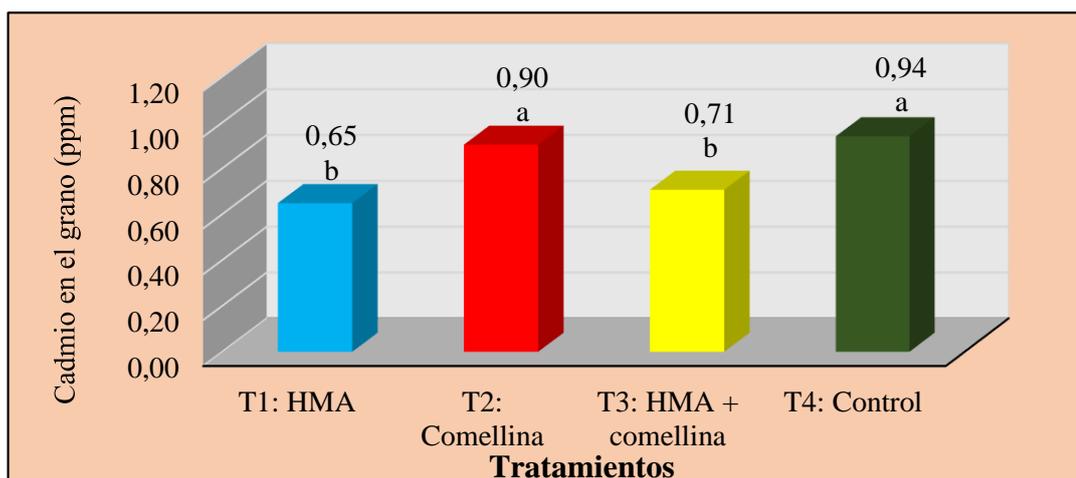


Figura 15. Promedios de cadmio en el grano por efecto de los tratamientos.

4.5. Relación del cadmio y las características del suelo

La Tabla 15 se evidencia el análisis correlacional de Pearson entre la concentración de cadmio y las características del suelo, en el cual se consigna existe correlación negativa significativa en el tratamiento T3 (HMA + Commelina), entre el contenido de cadmio del suelo y la arena; la concentración de cadmio disponible, la arcilla y calcáreo; y la concentración de cadmio en el grano y la materia orgánica. En el tratamiento T1 (HMA) denota correlación positiva significativa entre la concentración de cadmio en el grano y calcáreo. En el tratamiento T4 (control) solo muestra correlación positiva significativa entre la concentración de cadmio del suelo y la arena.

Tabla 15. Análisis correlacional de Pearson entre cadmio y las características del suelo

Cd	Caract. suelo	T1 (HMA)		T2 (Commelina)		T3 (HMA + Commelina)		T4 (control)	
		Pearson	pvalor	Pearson	pvalor	Pearson	p-valor	Pearson	pvalor
Cd suelo	Arena	0,72	0,484	-0,50	0,663	-1,00	0,015	1,00	0,026
	Limo	-0,37	0,759	0,21	0,865	0,96	0,176	-0,91	0,265
	Arcilla	-0,99	0,099	0,90	0,294	-0,65	0,546	-0,62	0,572
	pH	-0,32	0,793	0,84	0,363	-0,95	0,203	-0,21	0,864
	CIC	-0,72	0,488	-0,38	0,750	0,56	0,619	-0,74	0,465
	Calcáreo	-0,5	0,667	0,91	0,270	-0,65	0,546	-0,62	0,572
	M.O (t.)	-0,69	0,512	0,79	0,425	-0,33	0,788	-0,35	0,774
	P2O5	0,28	0,821	-0,15	0,905	0,00		0,37	0,762

Cd disp.	Arena	0,93	0,232	-0,98	0,118	-0,64	>0,99	0,98	0,121
	Limo	-0,70	0,507	0,88	0,319	0,84	0,561	-0,96	0,170
	Arcilla	-0,97	0,153	0,92	0,252	-1,00	0,370	-0,50	0,667
	pH	-0,66	0,541	0,96	0,183	-0,38	<0,000	-0,06	0,959
	CIC	-0,40	0,740	0,45	0,704	0,99	0,749	-0,84	0,370
	Calcáreo	-0,80	0,415	0,91	0,276	-1,00	<0,000	-0,50	0,667
	M.O (t.)	-0,92	0,260	0,65	0,549	0,50	0,667	-0,48	0,679
	P2O5	-0,11	0,927	0,98	0,121	-0,50	0,667	0,50	0,667
Cd grano	Arena	-0,97	0,149	0,02	0,990	-0,35	0,772	0,33	0,788
	Limo	0,98	0,125	0,30	0,809	0,06	0,963	0,12	0,921
	Arcilla	0,67	0,534	-0,56	0,621	0,50	0,667	-0,93	0,242
	pH	0,97	0,160	-0,47	0,689	-0,61	0,585	-1,00	0,051
	CIC	-0,19	0,879	0,79	0,424	-0,60	0,594	0,42	0,721
	Calcáreo	1,00	0,033	-0,59	0,597	0,50	0,667	-0,93	0,242
	M.O (t.)	0,98	0,121	-0,38	0,751	-1,00	<0,00	0,80	0,412
	P2O5	0,65	0,546	0,61	0,579	0,00	>0,99	-0,79	0,425

V. DISCUSIÓN

5.1. Características físicas del suelo

Los resultados indican que los hongos micorrizicos arbusculares (T1), la comellina (T2) y su acción conjunta (T3) muestran una simbiosis con la planta de cacao semejante en la proporción de arena, limo y arcilla, es decir la textura del suelo no es susceptible a variación por los tratamientos, ya que también mostró semejanza estadística con el tratamiento control (T4), esta nula variación coincide con lo afirmado por Garzón (2016), quien determinó similitud de la textura del suelo bajo el efecto de los hongos micorrizicos y coberturas vegetales.

La clase textural del tratamiento control (T4) fue Franco al igual que los tratamientos hongos micorrizicos arbusculares (T1) y la comellina (T2); sin embargo, los Hongos Micorrizicos Arbusculares más Commelina (T3) lograron modificar la textura a una clase Franco limoso, este comportamiento muestra que existe simbiosis entre HMA y Commelina, para disminuir la proporción de arena (21,92%), incrementar ligeramente gránulos de arcilla (23,04%) y permitir la formación de gránulos de limo en mayor proporción (55,04%), cabe la posibilidad de que exista

mayor capacidad de infección de los HMA, ya que la variación de la clase textural favorece el incremento del nivel de infección de los HMA (Molina *et al.*, 2005), por lo que, la textura del suelo influye directamente en el grado de colonización micorrícica (Chinchay, 2016).

Por otro lado, se comprueba amplia capacidad de sobrevivencia de la comellina bajo las condiciones de franco limoso con presencia de metal pesado como el cadmio, que concuerda con Shaw (1990); el cual consigue por la formación de complejos metálicos en el citoplasma mediante compuestos orgánicos y al almacenamiento de metales en las vacuolas (Becerril *et al.*, 1988).

5.2. Características químicas del suelo

En cuanto a las características químicas, los tratamientos en estudio no evidencian significación estadística en el pH, calcáreo, materia orgánica y fósforo del suelo a lo que asemeja según lo señalado por Garzón (2016); excepto en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), demostrando diferencias únicamente en el CIC destacó el tratamiento comellina (T2) con 15,90 meq/100 g.

El tratamiento control (T4) obtuvo los valores químicos más bajos en pH (6,98), calcáreo (1,85%), fósforo (4,56 ppm) y CIC (10,47 meq/100 g), y alto en la materia orgánica (2,18%), que con se incrementó levemente en el pH (7,10 a 7,17) y fósforo (5,14 a 5,64 ppm); estos resultados fueron similares con López *et al.* (2018) especialmente en el pH y fósforo, que también es influenciado por el sistema de manejo del cultivo.

Contrariamente la aplicación de los tratamientos HMA y Commelina permitieron la disminución de la materia orgánica (0,57 a 1,61%) y del CIC (26,0 a 28,0); el comportamiento mostrado en la materia orgánica se explica a que el nivel de fósforo disponible se elevó en la solución del suelo (Pérez *et al.*, 2011). En el caso del CIC, el tratamiento Commelina (T2) favoreció al incremento, debido a la capacidad de resistencia al estrés químico del suelo y su efecto de biorremediación (Poschenrieder *et al.*, 1989; Dermont *et al.* 2008; Gadd, 2010).

Cabe destacar que se ha demostrado que existe relación positiva entre el pH, calcáreo y fósforo, del que se corrobora con Pailancho (2010) quien señala que la colonización de HMA es favorecida por el incremento de la disponibilidad de fósforo y el pH del suelo, el cual oscila en un rango de 2,7 a 9,2. Sin embargo, la relación fue negativa en la materia orgánica y el CIC; esto se argumenta a que existe una relación inversamente proporcional entre la disponibilidad del fósforo y la materia orgánica, el cual es confirmado por Pérez *et al* (2011).

5.3. Concentración de cadmio en el suelo

Los tratamientos en estudio expresaron que no demostraron diferencias estadísticas significativas en la reducción del cadmio en el suelo (total y disponible), resultado que es similar al de Trigos (2018) y Jacome (2017) quienes no encontraron diferencias en la disminución de cadmio en el suelo

El resultado obtenido se justifica, porque los HMA solo colonizan a las raíces de las plantas (INVAM 2006), para mejorar las condiciones nutricionales de las plantas, desarrollándose simbiosis entre la planta hospedante y los microorganismos del suelo (Montilla, 2010), por lo que se descarta que los HMA absorban cadmio.

En cambio, *Commelina* no presenta capacidad de absorber metales pesados como el cadmio, sino que favorecen a la supervivencia de las plantas, ya que posee capacidad de biorremediación en el sistema radicular de las plantas (Becerril *et al.* 1988; Shaw, 1990; Gadd 2010); por otro lado, es posible que la *Commelina*, solo se comporte como una especie de planta que posea la característica de generar mecanismos para evadir el metal pesado en la solución del suelo, mas no como una planta acumuladora de cadmio en sus órganos (Clark 1982).

5.4. Cconcentración de cadmio en el grano

Respecto a la concentración de cadmio en el grano, los tratamientos estudiados demuestran que los tratamientos T1 (HMA) y T3 (HMA + *Commelina*) influencia sobre la concentración de cadmio en el grano de las mazorcas de cacao registrando

valores de 0,65 y 0,71 ppm respectivamente, sin embargo, se encuentran por encima del estándar límite de 0,50 ppm en las almendras de cacao (López *et al.*, 2018).

Los HMA recubren a las raíces de las plantas con el micelio formado por las hifas, evadiendo la absorción de iones y cationes contaminantes (Rajendran *et al.*, 2003), el efecto de los HMA mostrado sobre el cadmio en la almendra se relacionó con el contenido de calcáreo en el suelo, el cual indica que al subir el nivel de carbonato de calcio la concentración de cadmio en la almendra se incrementa o genera mayor absorción de cadmio, debido a que al incorporar carbonato de calcio al suelo, los niveles de pH disminuyen y producen mayor disponibilidad de cadmio para las plantas (Jácome, 2017; López *et al.*, 2018)

La efectividad de los HMA puede incrementar su desarrollo y hacer al cadmio un catión indisponible para las raíces de cacao; la efectividad del tratamiento HMA + *Commelina* en la reducción de cadmio de la almendra se relacionó negativamente con la materia orgánica, el cual demuestra que al elevar la materia orgánica del suelo permite al cadmio disminuir la concentración en la almendra, debido a que la materia orgánica hace menos disponible para la absorción de cadmio por las raíces del cacao (Trigoso, 2017).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Los tratamientos estudiados no mostraron efecto sobre la concentración de cadmio en el suelo.
2. Con los tratamientos HMA (T1) y HMA + commelina (T3), se redujo de manera significativa la concentración de cadmio en los granos de cacao.
3. Se obtuvo relación positiva entre el cadmio en las almendras y el calcáreo con el tratamiento HMA (T1), también se evidenció relación negativa significativa entre el cadmio en las almendras y la materia orgánica del suelo.
4. Las características físicas del suelo en cuanto al porcentaje de arena, limo y arcilla los tratamientos fueron estadísticamente semejantes; la clase textural que tuvo mayor predominancia fue Franco, excepto el tratamiento HMA + Commelina (T3) que obtuvo una clase Franco limoso.
5. Las características químicas del suelo como pH, calcáreo, materia orgánica y fósforo, los tratamientos tuvieron efectos similares, sin embargo, se evidenció diferencias en el CIC, donde el tratamiento comellina (T2) reporta el mayor CIC con 15,90 meq/100 g.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

De las conclusiones formuladas en el estudio se recomienda los siguientes:

1. Evaluar la fluctuación de la concentración de cadmio por mayor tiempo en presencia de HMA y la Commelina.
2. Evaluar otras enmiendas orgánicas con asociación de HMA y medir su efecto sobre la concentración de cadmio.
3. Realizar ensayos con otras coberturas vegetales que puedan mejorar el efecto de los HMA para la reducción del cadmio en las almendras de cacao.

4. Estudiar respecto a niveles de HMA para favorecer la disminución del cadmio en las almendras de cacao.
5. Determinar consorcios microbianos que ayuden a inmovilizar el cadmio en el suelo.
6. Difundir los beneficios del uso de los HMA como parte del manejo del cultivo de cacao.

LITERATURA CITADA

- Abbott, L. y Robson, A. (1991). Factors influencing the occurrence of vesiculararbuscular mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. Traducido. 35. 150 p.
- Asociación Peruana de Productores De Cacao – APPCACAO. (2009). Cultivo de cacao. Consultado 24 jul. 2019. Disponible en http://appcacao.org/index.php?option=com_content&task=view&id=431&Itemid=39/.
- Blum, A. (1988). *Plant Breeding for Stress Environments* 133-162. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Becerril, JM., Muñoz, A., Aparicio, P. y González, C. (1988). The effect of cadmium and lead on photosynthetic electron transport in clover and lucerne. *Plant Physiol. Biochem.* 26: 357-363p.
- Carling, D. y Brown M. (1982). Anatomy and physiology of vesicular-arbuscular and nonmycorrhizal roots. *Phytopathology* 72, 1108-1114p.
- Carrillo, MD. (2003). Caracterização das formas de metais pesados, sua biodisponibilidade e suas dinâmicas de adsorção e de mobilidade em solos do Equador. Departamento de Solos. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 49 p.
- Cerrón, G. (2012). Asistencia técnica del manejo del cultivo de cacao. Agrobanco. OAEPS. Junín, Perú. 38p.

- Clark, R. (1982). Plant response to mineral element toxicity and deficiency. In: Breeding Plants for Less Favorable Environments. N. N. Christiansen & C. F. Lewis, Eds..71-142. Wiley Interscience, New York.
- Chinchay, DO. (2016). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares nativos sobre el nemátodo agallador de raíces (*Meloidogyne* spp.) en platones de café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en la región San Martín. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional San Martín. Tarapoto, Perú. 85 p.
- Conabio. (2012). Theobroma cacao. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Dermont, G., Bergeron, G., Mercier, G., y Richer-Lafleche, M. (2008). Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications. *Journal of Hazardous Materials*, 152(1), 1-31.
- Faden, RB. (1998). Commelinaceae. Kubitzki, K. Las familias y géneros de plantas vasculares 4: 109-128. Springer.
- Fasabi, N. (2012). Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) como alternativa para una agricultura sustentable. Universidad Nacional de San Martín (UNSM). Tarapoto, Perú. 59 p.
- Gadd, G. M. (2010). Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*, 156 (Pt 3), 609-643 p.
- Garzón, LP. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana
- Guerra, B., Aguillon, A., García, S., Muñoz, G. (2017). Crecimiento de *Heliconia psittacorum* (Heliconiaceae) en suelos contaminados por cadmio, asociados a simbiosis micorrizica y biomasa de *Aspergillus niger*. Libro de resúmenes IX Congreso Latinoamericano de Micología. Lima Perú. 141 p. <http://almycperu2017.pe/inicio/>
- Hermard, C., Labaca, C., Jeres, G., Sandoval, P y Ulloa, A. (2002). Aspectos generales de las Micorrizas: Efecto de las micorrizas sobre la nutrición mineral de las plantas. 10 p.

- Hernández, D. (2003). Micorrización temprana de portainjertos de frutales como alternativa biotecnológica para el control de nemátodos. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 187 p.
- Hosny, M., Gianinazzi, V., Duliou H. (1998). Nuclear DNA content of 11 fungal species in Glomales. *Genome* 41,422 p.
- ICCO (Organización Internacional del Cacao). (2003). Resumen Estadístico. (Boletín del Cacao GB 21).
- INVAM. (2006). Internacional Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi. "INVAM". Consultado 24 oct. 2019. Disponible en <http://invam.caf.wvu.edu/>.
- Jácome, D. (2017). Efecto de la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) sobre un sistema suelo-planta de cacao en suelos contaminados con cadmio en etapa de vivero. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá D.C., Colombia. 19 p.
- Khan, A. (2006). Mycorrhizoremediation- an enhanced form of phytoremediation. *J Zhejiang UnivSci*, 7:503-14.
- Lara, T., Soares, A., Pedrosa, M., & Martins, G. (2011). Respostas fisiológicas e anatômicas de plantas jovens de eucalipto expostas ao cádmio. *Revista Árvore*, 35(5), 1006 p.
- Linderman, R.G. (1994). Role of VAM fungi in biocontrol. In: Pflieger FL, Linderman RG (eds) *Mycorrhizae and plant health*. APS Press, St Paul, 26 p.
- López, A. y Ramírez, C. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597 p.
- López, JA., Hoyos, J. y Coronado, E. (2018). Determinación del contenido de Cadmio (Cd) en almendras de Cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro-región Ucayali (en línea). Consultado 07 ene. 2020. Disponible en <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3926>.

- Marbán, L., de López, L., Ratto, S., y Agostini, A. (1999). Contaminación con metales pesados en un suelo de la cuenca del río Reconquista. *Ecología Austral*, (9), 19 p.
- Marrero, J., Sánchez, I., y -Pérez, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 46(3),61 p. Disponible en <https://doi.org/ISSN:0138-6204>.
- Martínez, K., Souza, V., Bucio, L., Gómez, L., y Gutiérrez, M. (2013). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta Toxicológica Argentina*, 21, 33– 49p. Consultado 09 ene. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S18513743201300010004.
- Molina, M., Mahecha, L., Medina, M. (2005). Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 18(2), 162-175 p.
- Montilla, E. (2010). Caracterización de la micorrización "nativa" en plantaciones de cafeto en diferentes condiciones edafoclimáticas. *Instituto de Geografía Tropical*. Consultado 10 ene. 2021. Disponible en <http://repositorio.geotech.cu/xmlui/bitstream/handle/1234/3707/>.
- Morton, J., Franke, M. Bentivenga, S. (1995). Developmental Foundations for Morphological Diversity Among Endomycorrhizal Fungi in Glomales (Zygomycetes). In: Varma A., Hock B. (eds) *Mycorrhiza*. Springer, Berlin, Heidelberg. Consultado 10 feb. 2021. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-662-08897-5_28.
- Ortiz, H., Mendoza, A., Arteaga, R., y González, A. (2012). Fitorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados. Centro de Investigación en Química Aplicada. Coahuila-México.
- Paillacho, F. (2010). Evaluación de la efectividad de las Micorrizas Arbusculares Nativas sobre el desarrollo y estado nutritivo del Palmito (*Bactris Gasipaes*

- HBK) en etapa de vivero". Escuela Politécnica del Ejército. Santo Domingo de los Tsáchilas - Ecuador. 108 p.
- Pérez, A., Rojas, J. Montes, V. y Donice, M. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en El Caribe colombiano. *Rev. Colombiana cienc. Anim.* 3(2). 366-385 p.
- Peterson, RL., Mássicotte, HB., Melville, LH. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. CABI Publishing, Wallingford, UK. 169 p.
- Poschenrieder, C., Gunsé, B., Barceló, J. (1989). Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance, and abscisic acid content in expanding vean leaves. *Plant Physiol.* 90:1365-1371 p.
- Ramírez, M. y Rodríguez, A. (2010). Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 53-60 p.
- Rajendran P, Muthukrishnan J, Gunasekaran P. (2003). Microbes in heavy metal remediation. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41: 935-944.
- Ruíz, C., y Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 147 p.
- Rhodes, L., Gerdenman, J. (1978). Translocation of calcium and Phosphate by external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Soil Science* 126, 126 p.
- Shaw, A. J. (Ed.), (1990). *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Sánchez, N., Subero, N., y Rivero, C. (2011). Determinación de la adsorción de cadmio mediante isothermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. *Acta Agonómica*, 60(2), 197 p.
- Smith, S., Read, j. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*, Third edition. Academic, London. Elsevier.

- Tapia, G. J. J. (2003). Identificación de hongos micorrizicos arbusculares aislados de suelos salinos y su eficiencia en plantas de lechuga. Tesis de doctorado en biotecnología. Tecoman, Colima-Colombia.10:39 p.
- Trigoso, D. (2017). Reducción de cadmio en suelos contaminados a través de *Amaranthus Hybridus* y Micorrizas Arbusculares en la Región Huánuco, 2017. Tesis Ing. Amb. Universidad César Vallejo. Lima – Perú. 76 p.
- Vega, M. (2011). "Identificación de micorrizas vesícula - arbusculares en especies agrícolas y forestales en la zona de Tingo María". Tesis UNAS.
- Zimmer, D., Baum, C., Leinweber, P., Hryniewicz, K., Missner, R. (2009). Associated bacteria increase the phytoextraction of cadmium and zinc from a metal contaminated soil by mycorrhizal willows. *Int J Phytoremediat*, 11:200213.

ANEXOS

Anexo 1.

PROMEDIOS

PROMEDIOS DE CONTENIDO DE ARENA. DATOS ORIGINALES (%).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	8,32	40,96	38,40	87,68	29,23
T2: Commelina	30,08	46,40	21,20	97,68	32,56
T3: HMA + Commelina	27,36	24,64	13,76	65,76	21,92
T4: Control	38,24	24,64	35,52	60,16	30,08
Total	65,76	136,64	108,88	311,28	
Promedio	21,92	34,16	27,22		27,77

PROMEDIOS DE CONTENIDO DE LIMO. DATOS ORIGINALES (%).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		

T1: HMA	59,84	46,24	38,40	144,48	48,16
T2: Commelina	46,08	40,80	57,84	144,72	48,24
T3: HMA + Commelina	45,44	54,40	65,28	165,12	55,04
T4: Control	46,24	54,40	43,52	144,16	48,05
Total	197,60	195,84	205,04	598,48	
Promedio	49,40	48,96	51,26		49,87

PROMEDIOS DE CONTENIDO DE ARCILLA. DATOS ORIGINALES (%).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	31,84	12,80	23,68	68,32	22,77
T2: Commelina	23,84	12,80	20,96	57,60	19,20
T3: HMA + Commelina	27,20	20,96	20,96	69,12	23,04
T4: Control	15,52	20,96	20,96	41,92	20,96
Total	82,88	67,52	86,56	236,96	
Promedio	27,63	16,88	21,64		22,05

PROMEDIOS DE pH DEL SUELO. DATOS ORIGINALES

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	7,58	7,06	6,67	21,31	7,10
T2: Commelina	7,62	6,40	7,49	21,51	7,17
T3: HMA + Commelina	7,19	7,24	6,88	21,31	7,10
T4: Control	6,70	7,00	7,24	20,94	6,98
Total	29,09	27,70	28,28	85,07	
Promedio	7,27	6,93	7,07		7,09

PROMEDIOS DE CALCÁREO DEL SUELO (CaCO₃). DATOS ORIGINALES (%).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		

T1: HMA	3,50	1,70	1,25	6,45	2,15
T2: Commelina	1,55	2,32	2,25	6,12	2,04
T3: HMA + Commelina	2,63	1,90	1,85	6,38	2,13
T4: Control	2,28	1,20	2,08	5,56	1,85
Total	7,68	5,92	5,35	18,95	
Promedio	2,56	1,97	1,78		2,11

PROMEDIOS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO. DATOS ORIGINALES (Cmol/100 g)

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	26,00	25,00	27,00	78,00	26,00
T2: Commelina	17,20	19,20	25,00	61,40	20,47
T3: HMA + Commelina	26,00	29,20	28,80	84,00	28,00
T4: Control	29,20	31,00	27,00	87,20	29,07
Total	98,40	104,40	107,80	310,60	
Promedio	24,60	26,10	26,95		25,88

PROMEDIOS DE MATERIA ORGÁNICA. DATOS ORIGINALES (%).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	1,379	0,680	1,379	3,44	1,15
T2: Commelina	0,689	0,344	0,689	1,72	0,57
T3: HMA + Commelina	1,379	2,068	1,379	4,83	1,61
T4: Control	2,960	2,896	0,680	6,54	2,18
Total	6,41	5,99	4,13	16,52	
Promedio	1,60	1,50	1,03		1,38

PROMEDIOS DE FOSFORO (P₂O₅). DATOS ORIGINALES (ppm).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio

	I	II	III		
T1: HMA	5,13	5,13	3,43	13,69	4,56
T2: Commelina	5,13	5,14	6,66	16,93	5,64
T3: HMA + Commelina	5,14	5,14	5,14	15,41	5,14
T4: Control	4,46	4,46	5,14	14,06	4,69
Total	19,86	19,87	20,37	60,09	
Promedio	4,96	4,97	5,09		5,01

PROMEDIOS DE CADMIO TOTAL. DATOS ORIGINALES (ppm).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	0,56	0,60	0,57	1,72	0,57
T2: Commelina	0,62	0,54	0,57	1,73	0,58
T3: HMA + Commelina	0,57	0,58	0,62	1,76	0,59
T4: Control	0,63	0,38	0,59	1,60	0,53
Total	2,38	2,09	2,34	6,80	
Promedio	0,59	0,52	0,59		0,57

PROMEDIOS DE CADMIO DISPONIBLE. DATOS ORIGINALES (ppm).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	0,16	0,21	0,19	0,56	0,19
T2: Commelina	0,20	0,16	0,21	0,57	0,19
T3: HMA + Commelina	0,19	0,22	0,22	0,63	0,21
T4: Control	0,28	0,21	0,28	0,77	0,26
Total	0,83	0,80	0,90	2,53	
Promedio	0,21	0,20	0,23		0,21

PROMEDIOS DE CADMIO EN GRANOS DE CACAO. DATOS ORIGINALES (ppm).

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
	I	II	III		
T1: HMA	0,77	0,61	0,57	1,95	0,65
T2: Commelina	0,82	0,94	0,96	2,71	0,90
T3: HMA + Commelina	0,76	0,60	0,76	2,12	0,71
T4: Control	1,03	0,93	0,87	2,82	0,94
Total	3,38	3,07	3,15	9,60	
Promedio	0,84	0,77	0,79		0,80

Anexo 2 PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 1. Instalación de tesis.



Figura 2. Rotulado de etiquetas



Figura 4. Identificación de plantas.



Figura 5. Identificación de frutos



5

Figura 4. Sustrato de micorrizas.



6

Figura 5. Identificación de esquejes de comelina.



7

Figura 9. Incorporación de comelina.



8

Figura 9. Aplicación de micorrizas al suelo.



Figura 10. Muestreo de suelo con barreno y recojo de la muestra de suelo.



Figura 11. Cosecha de mazorcas.



Figura 12. Muestras de suelo (a), secado del suelo (b), triturado del suelo (c).

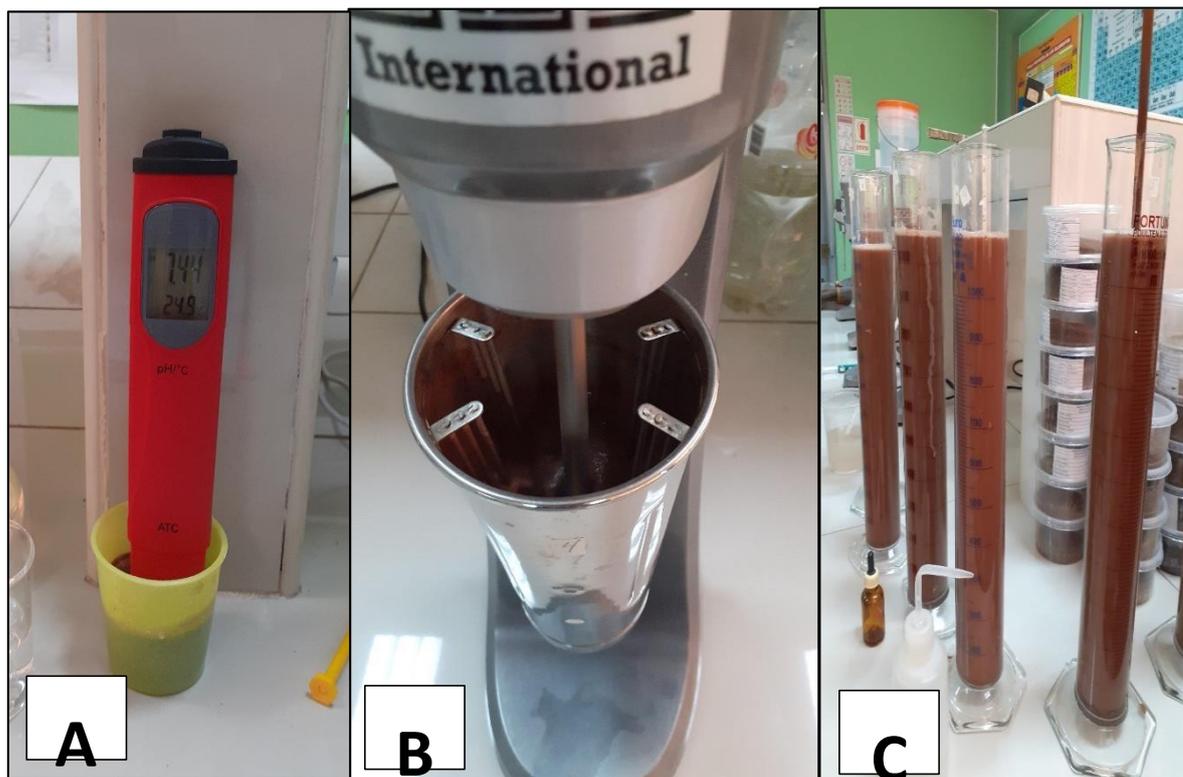


Figura 13. Determinación de pH (a), dispersión del suelo (b), lectura de textura (c).



Figura 14. Determinación de carbonatos



Figura 15. Determinación de materia orgánica



Figura 16. Determinación de fosforo.

Figura 17. Determinación de Capacidad de intercambio catiónico.

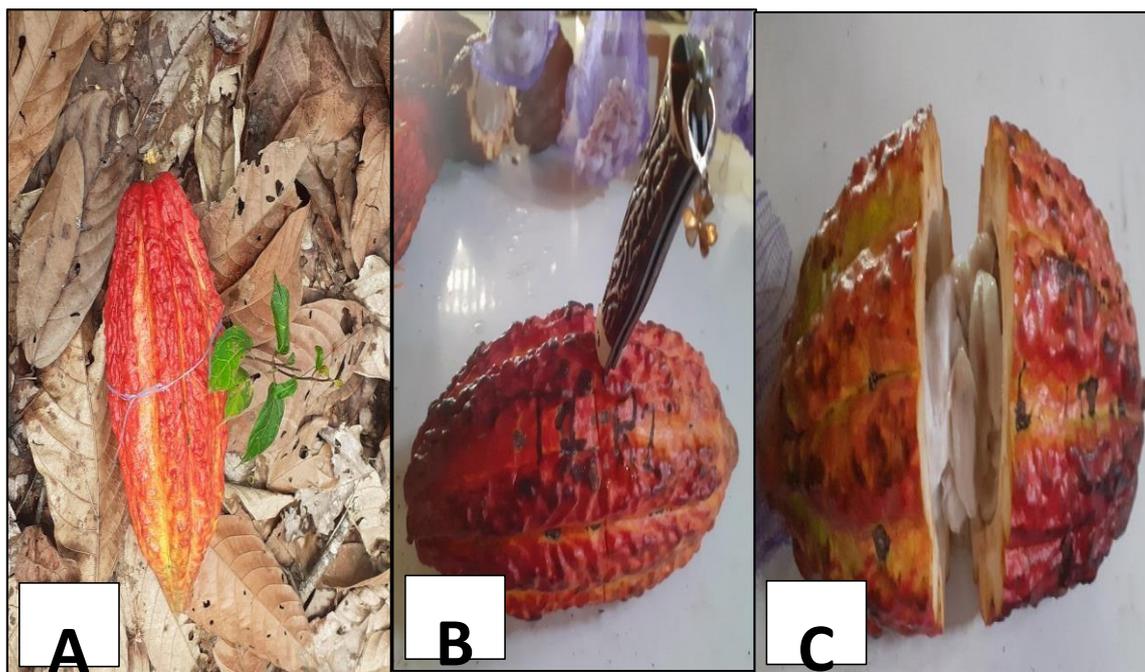


Figura 18. Mazorca de cacao (a), despulpado de las mazorcas (b, c).

**A**

Figura 19. Fermentado de los granos.

**B**

Figura 20. Despulpado de las mazorcas

**C**

Figura 21. Secado de granos en la estufa



Figura 22. Secado de las almendras de cacao.



Figura 23. Granos secos (a), despulpado de las mazorcas, Triturado con el molinillo de las almendras de cacao (b, c).



Figura 24. Retirado de muestra (a), empaquetado y etiquetado para enviar a un laboratorio especializado (b).

Anexo 3.

• Matriz de consistencia

Micorrizas Arbusculares y Commelina y sus impactos en la disminución de cadmio en el suelo y granos de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L).						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION
<p>General</p> <p>¿Cuáles son los efectos de los Hongos micorríticos arbusculares y comelina (<i>Callisia repens</i>) en la concentración de cadmio en suelo y planta de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)?</p> <p>Específicos</p> <p>¿Cuáles son los efectos de los Hongos micorríticos arbusculares y comelina (<i>Callisia repens</i>) en la concentración de cadmio en suelo?</p> <p>¿Cuáles son los efectos de los Hongos micorríticos arbusculares y comelina (<i>callisia repens</i>) en la concentración de cadmio planta de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)?</p>	<p>General</p> <p>¿Determinar los efectos de mitigación a la incorporación de HMAs y comelina (<i>callisia repens</i>) en la concentración de cadmio en el suelo y grano de cacao?</p> <p>Específicos</p> <p>Demostrar la influencia de los Hongos micorríticos arbusculares y comelina (<i>Callisia repens</i>) en la concentración de cadmio en el suelo</p> <p>Demostrar la influencia de los Hongos micorríticos arbusculares y comelina (<i>Callisia repens</i>) en la concentración de cadmio en la planta de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) (<i>callisia repens</i>) sobre la concentración de cd en granos de cacao?</p>	<p>General</p> <p>Las micorrizas arbusculares reducirán significativamente la concentración de cadmio en el suelo y grano de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L).</p> <p>Específicas</p> <p>Las micorrizas arbusculares reducirán significativamente la concentración de cadmio en el suelo y grano de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L).</p> <p>La comelina disminuirá la concentración de cadmio en el suelo para que la concentración grano de cacao sea menor (<i>Theobroma cacao</i> L).</p>	<p>Independiente</p> <p>comelina</p> <p>Micorrizas arbusculares</p> <p>Dependiente</p> <p>Concentración de Cd en el suelo</p> <p>Concentración de cadmio en el grano.</p>	<p>g kg⁻¹</p>	<p><u>Niveles</u></p> <p>Micorrizas comelina</p> <p><u>Suelo</u></p> <p>pH</p> <p>- Clase textural</p> <p>- materia orgánica del suelo</p> <p>- concentración de cadmio en las fracciones del suelo.</p> <p>- Concentración de cadmio en grano</p> <p><u>Clima</u></p> <p>Estación del año</p> <p>Temperatura</p> <p>Humedad</p> <p>Precipitación</p>	<p>Tipo</p> <p>Aplicado</p> <p>Nivel</p> <p>Experimental</p>



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRONOMO

En la ciudad de Huánuco a 01 día del mes de septiembre del año 2022, siendo las 15 horas de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán-Huánuco, se reunieron mediante la Plataforma de Cisco Webex de la **UNHEVAL**, los miembros integrantes del Jurado Calificador, nombrados mediante Resolución N° **447-2022-UNHEVAL-FCA-D**, de fecha 26 / 08 / 2022, para proceder con la evaluación de la sustentación de la tesis titulada:

"EFECTO DE COMELINA (*Callisia repens* L.) Y HONGOS MICORRITICOS ARBUSCULARES EN LA DISMINUCIÓN DE CADMIO EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN PUMAHUASI, LEONCIO PRADO, HUÁNUCO 2018"

presentada por el (la) Bachiller en Ingeniería Agronómica:

SOLEDAD ORFELINDA FARFAN TUCTO

Bajo el asesoramiento de M.Sc. Kadir Márquez Dávila

El Jurado Calificador está integrado por los siguientes docentes:

PRESIDENTE : M. Sc. Severo Ignacio Cárdenas

SECRETARIO : Dra. Liliana Vega Jara

VOCAL : Dra. María Gutiérrez Solórzano

ACCESITARIO : Mg. Antonio Salustio Comejo y Maldonado

Finalizado el acto de sustentación, luego de la deliberación y verificación del calificativo por el Jurado, se obtuvo el siguiente resultado: apto por unanimidad con el cuantitativo de 16 y cualitativo de bueno, quedando el sustentante APTO para que se le expida el TÍTULO DE INGENIERO AGRONOMO.

El acto de sustentación se dio por concluido, siendo las ... horas.

Huánuco, 01 de setiembre de 2022.



PRESIDENTE



SECRETARIO



VOCAL

- Deficiente (11, 12, 13) Desaprobado
- Bueno (14, 15, 16) Aprobado
- Muy Bueno (17, 18) Aprobado
- Excelente (19, 20) Aprobado



OBSERVACIONES:

SIN

OBSERVACIONES

sin observaciones.

Huánuco, 01 de setiembre de 2022.

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES:

CONSTANCIA

Por medio de la presente se deja constancia que la Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias UNHEVAL:

SOLEDAD ORFELINDA, FARFAN TUCTO:

Presento la tesis titulada:

“EFECTO DE COMELINA (*Callisia repens* L.) Y HONGOS MICORRITICOS ARBUSCULARES EN LA DISMINUCIÓN DE CADMIO EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN PUMAHUASI, LEONCIO PRADO, HUÁNUCO 2018”

Fue aplicado en el programa: “turnitin”

TESIS; para Revision.pdf, Fecha: 09 de agosto del 2021.

Resultado: **28 % de similitud general**, rango considerado: Apto, por disposición de la Facultad.

Para to cual firmo el presente para los fines correspondientes. Atentamente.



Dr. Antonio S. Cornejo y Maldonado
Director de Investigación de la F.C.A.

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN		REGLAMENTO DE REGISTRO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES			
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN		RESPONSABLE DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNHEVAL	VERSIÓN	FECHA	PÁGINA
		OFICINA DE BIBLIOTECA CENTRAL	0.0	20/09/2022	1 de 2

ANEXO 2

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS ELECTRÓNICAS DE PREGRADO

1. IDENTIFICACIÓN PERSONAL: (especificar los datos de los autores de la tesis)

Apellidos y Nombres: FARFAN TUCTO, Soledad Orfelinda

DNI: 76295501 Correo electrónico: soledad.tucto@gmail.com

Teléfonos: _____ Celular 968189637 Oficina _____

Apellidos y Nombres: _____

DNI: _____ Correo electrónico: _____

Teléfonos: _____ Celular _____ Oficina _____

Apellidos y Nombres: _____

DNI: _____ Correo electrónico: _____

Teléfonos: _____ Celular _____ Oficina _____

2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS:

Pregrado
Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica
Carrera Profesional de Ingeniería Agronómica

Título Profesional obtenido:

Ingeniero Agrónomo

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN		REGLAMENTO DE REGISTRO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES			
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN	INVESTIGACIÓN	RESPONSABLE DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNHEVAL	VERSIÓN	FECHA	PÁGINA
		OFICINA DE BIBLIOTECA CENTRAL	0.0	20/09/2022	2 de 2

Título de la Tesis:

“EFECTO DE COMELINA (*Callisia repens* L.) Y HONGOS MICORRITICOS ARBUSCULARES EN LA DISMINUCIÓN DE CADMIO EN CACAO (*Teobroma cacao* L.) EN PUMAHUASI, LEONCIO PRADO, HUÁNUCO 2018”

Tipo de acceso que autoriza(n) el (los) autor (es):

Marcar (X)	Categoría de Acceso	Descripción del Acceso
X	PÚBLICO	Es público y accesible al documento a texto completo por cualquier tipo de usuario que consulta el repositorio.
	RESTRINGIDO	Solo permite el acceso al registro del metadato con información básica, más no al texto completo

Al elegir la opción "Público", a través de la presente autorizo o autorizamos de manera gratuita al Repositorio Institucional - UNHEVAL, a publicar la versión electrónica de esta tesis en el Portal Web repositorio.unheval.edu.pe, por un plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita, pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla, siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente.

En caso haya(n) marcado la opción "Restringido", por favor detallar las razones por las que se eligió este tipo de acceso:

Asimismo, pedimos indicar el periodo de tiempo en que la tesis tendría el tipo de acceso restringido: (X) 1 año

() 2 años

() 3 años

() 4 años

Luego del periodo señalado por usted(es), automáticamente la tesis pasará a ser de acceso público.

Huánuco, 20 de setiembre del 2022.