

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio
en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la
provincia de Lamas, Perú

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

AUTORES

Damila Carranza Medina
Patricia Del Aguila Tapullima

ASESOR

Geomar Vallejos Torres

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'G. Vallejos Torres', is located to the right of the advisor's name.

Rioja, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 038 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del jueves 29 de agosto de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Katerin Manuelita Encina Oliva | presidente |
| 2. Alejandro Ruiz Janje | primer miembro |
| 3. Wilson Pérez Dávila | segundo miembro |
| 4. Geomar Vallejos Torres | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

Influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en dos sistemas de cultivos de "cacao" *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas, Perú

Que presenta las bachilleres en **Ciencias Ambientales**:

Damila Carranza Medina
Patricia Del Aguila Tapullima

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR	X
DESAPROBAR	...

La tesis, con el calificativo de **SUFICIENTE** y eleva la presente acta al decanato de la **Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales**, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 29 de agosto de 2024.


Katerin Manuelita Encina Oliva
Presidente


Alejandro Ruiz Janje
1° miembro


Wilson Pérez Dávila
2° miembro


Geomar Vallejos Torres
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Ciudad, Nueva Cajamarca 28 de agosto del 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, bajo mi asesoría, con título: **INFLUENCIA DE LAS ESPECIES VEGETALES EN LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN DOS SISTEMAS DE CULTIVARES DE "CACAO" THEOBROMA CACAO L. EN LA PROVINCIA DE LAMAS, PERÚ**, presentado por **DAMILA CARRANZA MEDINA**, con código de estudiante 2014101814 y DNI 72260093 y **PATRICIA DEL AGUILA TAPULLIMA** con código de estudiante 2014101823 y DNI 73454986 para optar el título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Dr. Geomar Vallejos Torres

DNI N°: 01162440

ORCID: 0000-0003-3440-6802

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

Dedico estas líneas de manera muy especial a mi querida madre. Quien ha sido mi pilar de apoyo, siempre estuvo ahí para guiarme y enseñarme los valores que me ha permitido ser una persona del bien. Gracias por ser mi luz en los momentos oscuros y por estar a mi lado en cada paso del camino. Su amor y dedicación ha sido fundamentales en mi vida.

A mis hermanos, por ser el motor que me impulsa a superarme a cada día. Su apoyo incondicional en cada etapa de aprendizaje ha sido invaluable.

Y por supuesto a todos mis amigos por estar siempre presentes acompañándome y aconsejándome a lo largo de esta etapa.

Damila Carranza Medina

A Jehová Dios todo poderoso por otorgarme llegar hasta este momento con salud y fuerzas y lograr mis objetivos, fortaleciendo mi corazón e iluminando mi mente, para así concluir satisfactoriamente este trabajo de investigación.

A mi querida madre por el apoyo incondicional brindado a través de sus consejos, sus valores, y esa motivación constante que me ha permitido cumplir con todas mis metas trazadas desde el inicio de mi formación profesional, así como también a mi esposo Heli y a mis hijos Ancel y Bianca, por su amor incondicional y apoyo moral que me brindan cada día para así seguir adelante y formarme como profesional y persona de bien con la perseverancia y constancia que me caracteriza.

A mi asesor, el Dr. Geomar Vallejos Torres por su apoyo, su consideración y estima brindados durante todo el proceso de investigación que se ha logrado concluir satisfactoriamente.

Patricia Del Aguila Tapullima

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente el constante apoyo que he recibido de mis padres y familia a lo largo de mis estudios. Su comprensión y aliento han sido fundamentales en este proceso.

También quiero expresar mi gratitud a cada docente de la Universidad Católica Sedes Sapientiae (UCSS) que ha influido en mi camino educativo. Sus enseñanzas y consejos han sido valiosos, demostrando siempre respeto, compromiso y dedicación hacia sus estudiantes.

Un agradecimiento especial al Dr. Geomar Vallejos Torres, cuyo apoyo científico y conocimientos han sido pilares en el desarrollo de esta investigación. Su guía ha sido esencial para hacer realidad este importante proyecto.

Así mismo, agradezco al Ingeniero Randy Orhiel Ramos Alvarez por su enseñanza y ayuda durante todo este tiempo. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. ¡Juntos hemos creado recuerdos que atesoraré para siempre!

Damila Carranza Medina

Agradecer a mis padres y a mi esposo por su apoyo moral y económico para poder realizar y así culminar con satisfactoriamente esta investigación.

Agradecer a mis docentes de la Universidad Católica Sedes Sapientiae por sus consejos y recomendaciones para el desarrollo de esta investigación con el compromiso y dedicación compartida.

Al asesor del proyecto de investigación Dr. Geomar Vallejos Torres por haberme dado el ánimo y apoyarme en el desarrollo de esta investigación para realizarlo y poder lograr este objetivo.

Patricia Del Aguila Tapullima

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Perspectiva internacional.....	4
1.1.2. Perspectiva Nacional	8
1.1.3. Perspectiva Regional	9
1.2. Bases teóricas especializadas	10
1.2.1. Origen y distribución del cacao.....	10
1.2.2. Características físico-químico del suelo en el cultivo de cacao	11
1.2.3. Características agronómicas y nutricionales del cacao	11
1.2.4. Sistema agroforestal de cacao con sistema orgánico.....	12
1.2.5. Sistema agroforestal de cacao convencional	12
1.2.6. Índice de diversidad de especies de árboles (Shannon-Wiener)	13
1.2.7. Cadmio	13
1.2.8. Contaminación por cadmio en el cultivo de cacao.....	14
1.2.9. Cadmio en suelos	14
1.2.10. Efectos del cadmio en las plantas.....	15
1.2.11. Cadmio en las hojas de los árboles de cacao.....	15
1.2.12. Cadmio en los granos de los árboles de cacao	15

1.2.13.	Cadmio en árboles de cacao	16
1.2.14.	Cadmio en árboles agroforestales.....	16
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS		17
2.1.	Diseño de la investigación.....	17
2.2.	Lugar y fecha	17
2.3.	Población y muestra	19
2.4.	Técnicas e instrumentos	20
2.5.	Descripción de la investigación.....	21
2.6.	Identificación de variables y su mensuración	25
2.7.	Análisis estadístico de datos	26
2.8.	Hipótesis Hipótesis general.....	26
CAPÍTULO III: RESULTADOS		27
3.1.	Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín	27
3.2.	Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín.....	29
3.3.	Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín.....	32
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN		35
4.1.	Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín	35
4.2.	Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín.....	36
4.3.	Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín.....	37
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....		39
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES		40
REFERENCIAS.....		41
TERMINOLOGÍA		56
APÉNDICES		58

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Ubicación geográfica de las parcelas y el laboratorio</i>	18
Tabla 2. <i>Ubicación de las muestras en estudio en la provincia de Lamas-San Martín</i>	18
Tabla 3. <i>Descripción de las parcelas en estudio</i>	20
Tabla 4. <i>Especies vegetales identificadas en las parcelas de estudio</i>	21
Tabla 5. <i>Operacionalización de las variables de investigación</i>	25
Tabla 6. <i>Análisis de cadmio en los suelos de dos sistemas de manejo del cacao</i>	27
Tabla 7. <i>Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las muestras de suelo</i>	28
Tabla 8. <i>Análisis de varianza para las muestras de los suelos de estudio</i>	28
Tabla 9. <i>Prueba de Tukey para las muestras de los suelos de estudio</i>	28
Tabla 10. <i>Correlación de Pearson entre el contenido de cadmio en los suelos y las especies vegetales de evaluación</i>	29
Tabla 11. <i>Prueba de T de Student entre el contenido de cadmio en los suelos y las especies vegetales de evaluación</i>	29
Tabla 12. <i>Análisis de cadmio en las hojas de dos sistemas de manejo del cacao</i>	30
Tabla 13. <i>Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las muestras de las hojas</i>	30
Tabla 14. <i>Análisis de varianza para las muestras de las hojas de estudio</i>	30
Tabla 15. <i>Prueba de Tukey para las muestras de las hojas de estudio</i>	31
Tabla 16. <i>Correlación de Pearson entre el contenido de cadmio en las hojas y las especies vegetales de evaluación</i>	31
Tabla 17. <i>Prueba de T de Student entre el contenido de cadmio en las hojas y las especies vegetales de evaluación</i>	31
Tabla 18. <i>Análisis de cadmio en los granos de dos sistemas de manejo del cacao</i>	32
Tabla 19. <i>Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las muestras de granos</i>	32
Tabla 20. <i>Análisis de varianza para las muestras de los granos de estudio</i>	33
Tabla 21. <i>Prueba de Tukey para las muestras de los granos de estudio</i>	33
Tabla 22. <i>Correlación de Pearson entre el contenido de cadmio en los granos y las especies vegetales de evaluación</i>	33
Tabla 23. <i>Prueba de T de Student entre el contenido de cadmio en los granos de evaluación y las especies vegetales de evaluación</i>	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Mapa de ubicación de los sistemas de siembra de cacao en la provincia de Lamas, región San Martín</i>	19
Figura 2. <i>Muestras de suelos para el análisis de cadmio</i>	22
Figura 3. <i>Muestras de hojas para el análisis de cadmio</i>	23
Figura 4. <i>Muestras de granos para el análisis de cadmio</i>	24

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. <i>Matriz de consistencia</i>	58
Apéndice 2. <i>Plano de ubicación de las muestras de estudio</i>	59
Apéndice 3. <i>Análisis de cadmio de los suelos estudiados</i>	60
Apéndice 4. <i>Análisis de cadmio en hojas de las plantaciones de cacao</i>	62
Apéndice 5. <i>Análisis de cadmio en granos de las plantaciones de cacao</i>	64
Apéndice 6. <i>Formato para la toma de datos de cadmio en sistemas agroforestales con cacao</i>	65
Apéndice 7. <i>Parámetros ecológicos evaluados para describir la estructura de la comunidad de especies agroforestales en cuatro sistemas de producción de cacao</i>	66
Apéndice 8. <i>Proceso de realización de la investigación</i>	67
Apéndice 9. <i>Datos de recolectados de especies vegetales, cadmio en suelos, hojas y granos de cacao, abundancia relativa e índice de Shannon</i>	69

RESUMEN

El “cacao” *Theobroma cacao* L. se desarrolla bien bajos árboles de sombra, debido a la sostenibilidad del cultivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de las especies vegetales en relación con la concentración de cadmio en el suelo, hojas y granos de un sistema de manejo de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín. La investigación se realizó por método de EPA 3050B, digestión húmeda con ácido nítrico HNO₃ y por el método espectrométrico de absorción atómica, también se usó el índice de Shannon-Wiener para la diversidad de las especies vegetales. Los resultados reportaron 0,722 mg.kg⁻¹ Cd en los suelos, 2,33 mg.kg⁻¹ Cd en las hojas y 0,59 mg.kg⁻¹ Cd en los granos de cacao con diversidad de las especies vegetales de 1,49 a 1,93, encontrándose además una correlación moderadamente negativa entre la diversidad de las especies vegetales respecto al Cd en el suelo y en las hojas, asimismo, una correlación débilmente positiva respecto al Cd en los granos de cacao. Se concluyó que existe una influencia inversa entre la diversidad de las especies vegetales respecto al Cd en el suelo y las hojas, y directa respecto al Cd en los granos de cacao.

Palabras Clave: cadmio, diversidad de especies vegetales, granos, hojas, suelos.

ABSTRACT

The “cocoa” *Theobroma cacao* L. grows well under shade trees, due to the sustainability of the crop. The objective of this research was to evaluate the influence of plant species in relation to cadmium concentration in soil, leaves and beans of a management system of “cocoa” *Theobroma cacao* L. in the province of Lamas-San Martin. The investigation was carried out by EPA 3050B method, wet digestion with nitric acid HNO₃ and by the atomic absorption spectrometric method, the Shannon-Wiener index was also used for plant species diversity. The results reported 0,722 mg.kg⁻¹ Cd in soils, 2,33 mg.kg⁻¹ Cd in leaves and 0,59 mg.kg⁻¹ Cd in cocoa beans with plant species diversity ranging from 1,49 to 1,93, and a moderately negative correlation between plant species diversity and Cd in soil and leaves, and a weak positive correlation with Cd in cocoa beans. It was concluded that there is an inverse influence between plant species diversity with respect to Cd in soil and leaves, and a direct influence with respect to Cd in cocoa beans.

Key Words: cadmium, diversity of plant species, grains, leaves, soils.

INTRODUCCIÓN

El “cacao” *Theobroma cacao* L. es uno de los granos alimenticios de gran importancia económica debido a sus derivados (Almeida y Valle, 2007), como harinas, licores, y chocolates (Moore *et al.*, 2020). El comercio mundial del chocolate representó en el 2015 una inversión de \$ 304 millones de dólares americanos, que representó un incremento del triple por tonelada comercializada (Molina *et al.*, 2020).

El comercio peruano en exportaciones del cacao presentó en el 2020 aproximadamente 130,6 millones de dólares americanos (USD), generándose un beneficio para muchas familias que dependen de este producto. La Unión Europea (UE) reguló la concentración del Cd en el cacao siendo el límite 0,8 mg.kg⁻¹ (Rofner, 2021), en donde el Reglamento N° 488/2014, establece los parámetros límites tolerables del Cd en el cacao y sus derivados (Jiménez, 2015), así mismo en el Perú los Estándares de calidad ambiental (ECA) según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM indica que los parámetros para suelos con cadmio presentan una tolerancia de -1.4 mg.kg⁻¹, En particular, la región de San Martín, Perú, reporta un 38 % de la producción total del país (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2019).

En Perú, estudios recientes han indicado que las plantas de cacao pueden translocar metales pesados presentes en el suelo a las partes vegetativas, resultando cantidades de 0,0758 a 0,8875 mg.kg⁻¹ en altitudes de 400 a 800 m s.n.m. que superan los límites máximos permisibles siendo el límite 0,8 mg.kg⁻¹ (Mendoza-López *et al.*, 2021). Esto ocurre con el cadmio, que afecta la función de los órganos de las plantas y puede ser letal para humanos y animales (Vanderschueren *et al.*, 2021). Arévalo *et al.* (2017) reportaron que la bioacumulación del cadmio en las hojas y los granos del cacao generan un problema en la exportación de la comercialización del chocolate (Assa *et al.*, 2018). La concentración alta del cadmio en el cacao se evidenció en las regiones de Tumbes, Piura y Amazonas, siendo de preocupación para los agricultores (Arévalo *et al.*, 2017). Los exportadores de chocolate que no cumplen con la normativa de regulación de la Unión Europea generan problemas para su comercialización (Cayotopa-Torres *et al.*, 2021).

Teniendo en cuenta los estudios que advierten de altas concentraciones de Cd en los derivados del cacao de origen sudamericano (Argüello *et al.*, 2019), la reciente disposición de la UE, el Reglamento N° 488/2014, que entró en vigor en 2019, establece valores límites que son 0,1 a 0,80 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para derivados de cacao (Jiménez, 2015). Esto pondrá en riesgo la calidad y las posibilidades de exportación del cacao de América Latina, y en particular de los provenientes de Perú, cuyo principal mercado es la UE, que concentra el 76 % de sus exportaciones (MIDAGRI, 2019).

La presente investigación se justifica por la contaminación del cadmio en el suelo, hojas y granos en sistemas de producción convencionales u orgánicas, cuya importancia tuvo para conocer las correlaciones entre la diversidad de las especies vegetales en relación a las concentraciones de cadmio en el suelo, hojas y granos del cultivo de cacao, esto es debido a que presentó una viabilidad por que se dispuso de los recursos económicos, tecnológicos, humanos e instrumentales para poder realizar la presente investigación.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín, debido a que se evidenció una deficiencia de poder exportar los granos de cacao y sus derivados por los altos contenidos de cadmio encontrados en anteriores investigaciones.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en dos sistemas de cultivos de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas, Perú.

Objetivos específicos

- Determinar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivos de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín.
- Determinar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivos de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín.
- Determinar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivos de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Perspectiva internacional

Merchán (2022) en el estudio “Variación en el contenido de cadmio en cultivos de cacao *Theobroma cacao* en Pauna y Coper (Boyacá - Colombia). Análisis desde la diversidad de las comunidades vegetales”; identificó los niveles de cadmio en suelos, grano y hojas de cacao, y la diversidad de la vegetación arbórea. La población estuvo constituida por fincas cacaoteras de la provincia Occidental de Boyacá. Las muestras estuvieron constituidas por 23 fincas cacaoteras que fueron extraídas de la provincia Occidental de Boyacá. Asimismo, empleó la metodología propuesta por Cottam y Curtis (1956) para la evaluación dasométricas, la densidad, el índice de valor de importancia (IVI) y la diversidad de especies. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, donde aplicó la media aritmética y el análisis de varianza (ANOVA), para ello usó el programa excel 2016. Los resultados evidenciaron un promedio de $0,78 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Cd en el suelo, también un promedio de $3,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Cd en el grano y un promedio de $12,59 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Cd en las hojas de las fincas cacaoteras, encontrándose que existe diferencia significativa en las 23 fincas evaluadas. El autor concluyó que el cadmio en el grano de cacao presentó niveles medios y altos lo cual afecta la salud humana, ocasionando que no se pueda exportar a la Unión Europea por los límites establecidos por la comunidad europea.

Argüello *et al.* (2019) en el estudio “Propiedades del suelo y factores agronómicos que afectan las concentraciones de cadmio en los granos de cacao: un estudio nacional en Ecuador”; identificaron la distribución espacial de Cd en los granos de cacao. La población estuvo constituida por fincas en 15 provincias que representaron el 97 % del área total de producción. Las muestras estuvieron constituidas por 560 muestras emparejadas de suelo y

plantas. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por ISO-23470 (2007) para el análisis del Cd. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, donde aplicaron la media aritmética, la mediana y la regresión simple, para ello usaron el programa JMP® Pro v. 13.1.0. Los resultados evidenciaron que el Cd en los granos fue de $0,90 \text{ mg.kg}^{-1}$, el Cd en el suelo promedio fue de $0,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ encontrados en huertos de edades de 4 a 40 años. Los autores concluyeron que la concentración de Cd en granos se vio afectada de manera inconsistente por el genotipo (CCN-51 vs. Nacional), también evidenciaron que las concentraciones relativamente mayores de Cd, estuvo relacionado con la alta capacidad de absorción de Cd de las plantas combinadas en suelos jóvenes, a diferencia de los suelos meteorizados pobres en Cd.

Rodríguez *et al.* (2019) en el estudio “Modelado de regresión espacial de suelos con alto contenido de cadmio en una zona productora de cacao del centro de Colombia”; determinaron las variables edáficas y Cd en granos de cacao para construir un modelo predictivo del contenido de cadmio en almendras de cacao. La población estuvo constituida por cuatro fincas de alto nivel de cadmio en los suelos de montaña caracterizados por depósitos de cenizas volcánicas y arcillas intercaladas con carbonatos. Las muestras estuvieron constituidas por 57 puntos de muestreo que fueron distribuidas a profundidades de 30 cm, 60 cm y 100 cm en las fincas de alto nivel de cadmio. Asimismo, emplearon la metodología propuesta por Jackson (1970) para el análisis del Cd. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, donde aplicaron la media aritmética, el coeficiente de variación, la correlación de Pearson y Spearman y la regresión simple, para ello usaron el programa R Studio v. 1.1.383. Los resultados evidenciaron que el Cd total y disponible disminuyó en cada profundidad en un 18 % (30-60 cm) y un 36 % (60-100 cm), respectivamente, asimismo, la concentración media de Cd en las hojarascas fue de $85,5 \text{ mg/kg}$ y que a 60 cm observó una reducción significativa del pH y el Cd en los granos del cacao. Los autores concluyeron que los niveles de Cd total y disponible medidos a una profundidad entre 60 cm y 100 cm muestran una tendencia a ser más bajos que a profundidades entre 0 cm y 30 cm.

Barraza *et al.* (2017) en el estudio “Bioacumulación de cadmio y bioaccesibilidad gástrica en cacao: un estudio de campo en áreas impactadas por actividades petroleras en Ecuador”;

determinaron la fracción de la concentración total de Cd que potencialmente pueda afectar a la salud humana por ingestión, Región Amazónica Norte, Ecuador. La población estuvo constituida por fincas impactadas por actividades petroleras con el contenido de Cd en los suelos y cacao cultivado. Las muestras estuvieron constituidas por suelos, hojas y cáscaras de cacao de 31 fincas en las regiones costeras del norte del Amazonas y el Pacífico. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por EP PetroEcuador (2013) para verificar la bioaccesibilidad gástrica de Cd en granos y masa de cacao, y lo propuesto por Schreck *et al.* (2014) para evaluar la acumulación de metales en hojas y frutos de cacaos. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva, donde aplicaron la media aritmética y la desviación estándar, para ello usaron el programa excel. Los resultados evidenciaron que los suelos superficiales de 0 a 20 cm tuvieron altas concentraciones de 0,88 a 2,23 mg.kg⁻¹ Cd que las capas más profundas de 0,27 a 0,50 mg.kg⁻¹ Cd, asimismo, las hojas de cacao acumularon más Cd de 2,81 a 7,87 mg.kg⁻¹ Cd que las cáscaras de los granos de 0,34 a 1,96 mg.kg⁻¹ Cd. Los autores concluyeron que el Cd en los árboles de cacao no puede ser considerado como un marcador de las actividades petroleras, y que el riesgo a la salud con su exposición al Cd es de bajo a moderado.

Charrupi y Martínez (2017) en su investigación sobre “Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño”; realizaron un estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados a cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño, Colombia. La población estuvo constituida por los suelos de los departamentos de Arauca y Nariño. Las muestras estuvieron constituidas por 447 fincas en Arauca y 147 fincas en Nariño. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por Agrosoil (2016) para los parámetros fisicoquímicos. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística inferencial, aplicándose la media aritmética, la prueba de normalidad, correlación de Spearman, prueba de T de Student, el Boxplot y el análisis de componentes principales, para ello usaron el programa R. Los resultados evidenciaron que los municipios de Arauca, Arauquita, Saravena, Fortul y Tame superaron el límite máximo permisible de Cd en suelo siendo 0,8 mg.kg⁻¹, donde el municipio de municipio de Tame fue el que tuvo mayor concentración de Cd, el menor factor de contaminación encontrado fue de 0,775 mg.kg⁻¹ (bajo factor de contaminación), y el mayor factor de contaminación encontrado fue de 1,68 mg.kg⁻¹ (moderado factor de contaminación), asimismo, el menor factor de riesgo ecológico encontrado fue de 18,6

mg.kg⁻¹ (bajo riesgo ecológico potencial), y el mayor factor de riesgo ecológico encontrado fue de 40,5 mg.kg⁻¹ (moderado riesgo ecológico potencial). Los autores concluyeron que no existe una normativa respecto al Cd en el suelo, presentaron una correlación baja de 66 %, esto indicó que el índice de contaminación y riesgo ecológico se encontraran bajos.

Gramlich *et al.* (2017) en el estudio “Absorción de cadmio por árboles de cacao en sistemas agroforestales y de monocultivo bajo manejo convencional y orgánico”; compararon las concentraciones de Cd en hojas, cáscaras y granos de dos cultivares de cacao en cuatro sistemas de producción diferentes. La población estuvo constituida por cinco parcelas del sistema de producción. Las muestras estuvieron constituidas por cuatro combinaciones de dos sistemas de cultivo agroforestal y monocultivo con los dos tipos de manejo orgánico y convencional. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por Bouyoucos (1962) para determinar la textura del suelo, asimismo emplearon lo propuesto por Lakanen y Ervio (1971) para evaluar Cd, Fe y Zn. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, donde aplicaron la media aritmética, desviación estándar, ANOVA y la regresión simple, para ello usaron el programa R v. 3.2.3. Los resultados encontrados indicaron que el Cd total y disponible, fueron significativamente más altos en la parte superior del suelo de 0-10 cm, que en las muestras del subsuelo de 10-25 cm, encontrándose Cd en el AF-convencional 1,15 mg.kg⁻¹, AF-orgánico 0,80 mg.kg⁻¹, Monocultivo-orgánico 1,30 mg.kg⁻¹ y Monocultivo-orgánico 0,82 mg.kg⁻¹. Los autores concluyeron que los árboles de cacao en los sistemas agroforestales y el cultivo de árboles de cacao TSH₅₆₅ acumularon menos Cd en las hojas que los árboles en monocultivos.

Sánchez *et al.* (2016) en el estudio “Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México”; compararon la composición florística, la estructura y la diversidad de especies arbóreas entre sistemas agroforestales de cacao. La población estuvo constituida por parcelas SAF-cacao en diferentes localidades del municipio de Cárdenas. Las muestras estuvieron constituidas por 20 sitios de muestreo de 5 000 m² cada una de las parcelas. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por Magurran (1989) para la diversidad y la uniformidad. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, donde aplicaron la media aritmética, varianza y la correlación, para ello usaron el programa InfoStat v. 1.0 y BIO-DAP. Los resultados registraron 2 856 árboles

pertenecientes a 67 especies, 58 géneros y 28 familias botánicas, las familias más diversas fueron las *Fabaceae*, *Moraceae*, *Rutaceae*, *Sapotaceae* y *Verbenaceae*, los SAF de 25 y 20 años presentaron la mayor y menor área basal (AB) con 22,7 y 12,16 m².ha⁻¹. Los autores concluyeron que los SAF de 35 y 6 años presentaron la mayor y menor diversidad con valores H' de 2,89 y 0,92, respectivamente.

1.1.2. Perspectiva Nacional

Cruz (2022) en el estudio “Diversidad de especies arbóreas en sistemas agroforestales con cacao *Theobroma cacao* L. fino de aroma en el distrito de Cajaruro, provincia Utcubamba”; identificó las especies arbóreas presentes en medio del cultivo de cacao y las segmentó por familias. La población estuvo constituida por 24 parcelas de cacao, ubicadas en el distrito de Cajaruro. Las muestras estuvieron constituidas por 10 parcelas en el primer piso altitudinal y 14 en el segundo piso altitudinal. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por Pla (2015) para la diversidad y abundancia de especies. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva, aplicaron la media aritmética, para ello usó el programa Excel. Los resultados registraron un diversidad de especies de 2,39 a un piso altitudinal I (400 - 800 m s.n.m) y un 2,64 a un piso altitudinal II (800 - 1 300 m s.n.m). El autor concluyó que identificó un total de 1 620 individuos, 48 especies arbóreas y 26 familias, la abundancia de las especies arbóreas más relevantes son la *Cordia alliodora* (28 %), *Inga edulis* (15 %) y *Calycophyllum spruceanum* (14 %).

Cusi (2022) en el estudio “Niveles de Cadmio en el cultivo de *Theobroma cacao*, en la cuenca del Río Ene, Río Tambo – Satipo”; analizó del contenido de Cadmio en el cultivo *Theobroma cacao*, en la cuenca del río Ene, río Tambo – Satipo. La población estuvo constituida por 278 familias productores de cacao. La muestra estuvo constituida por 12 fincas de producción de cacao. Asimismo, recolectó 10 plantas y las dejó fermentar por siete días. Luego pesó 10 g de cada muestra y las analizó en el laboratorio de análisis de suelo, agua y planta de Valle Grande - Laboratorio química agrícola. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, aplicó la media aritmética, prueba de normalidad, análisis de varianza y la prueba de Tukey, para ello usó el programa IBM SPSS y el Excel. Los resultados evidenciaron una concentración promedio de Cd en el manejo de

cultivo convencional de $1,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, en el manejo de cultivo orgánico de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ y en el manejo de cultivo sin insumos químicos de $0,9 \text{ mg.kg}^{-1}$, evidenciando que no existió diferencia significativa entre los tipos de manejo de cultivo. El autor concluyó que no existe efecto significativo entre el suelo y el tipo de manejo de cultivo, asimismo encontró que en el manejo de cultivo convencional existió mayor concentración de Cd a diferencia del orgánico y en sin insumos químicos.

Llatance *et al.* (2018) en el estudio “Bioacumulación de cadmio en el cacao *Theobroma cacao* en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú” evaluaron siete especies vegetales que acumulen cadmio total de forma natural en una parcela agrícola de la Comunidad Nativa de Pakun, distrito de Imaza, Amazonas. La población estuvo constituida por comunidades de especies vegetales del distrito de Imaza. Las muestras estuvieron constituidas por tres muestras por cada especie. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por Brako y Zurucchi (1993) para la identificación de las especies, emplearon el método AOAC 999.11 para el análisis del Cd. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, aplicaron la media aritmética, la prueba de homogeneidad, prueba de Tukey y la prueba de Duncan, para ello usaron el programa Excel y SPSS. Los resultados evidenciaron una concentración promedio de Cd total en el suelo de $0,054 \text{ mg.kg}^{-1}$, el fruto obtuvo un valor de $0,411 \text{ mg.kg}^{-1}$, las hoja un valor promedio de $0,087 \text{ mg.kg}^{-1}$ y la raíz un valor promedio de $0,219 \text{ mg.kg}^{-1}$. Los autores concluyeron que existen siete especies vegetales con capacidad de bioacumular Cd, asimismo el *Theobroma cacao* presentó mayor concentración de Cd seguido de la *Carludovica palmata*.

1.1.3. Perspectiva Regional

Irigoin y Trigoso (2022) en el estudio “Determinación de la correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con los contenidos de cadmio y la colonización micorrízica en “cacao” *Theobroma cacao* L. como monocultivo en diferentes pisos altitudinales de la región San Martín, Perú”, determinaron la correlación entre las principales propiedades físicas y químicas del suelo con los contenidos de cadmio y la colonización micorrízica en plantaciones cacao establecido como monocultivo en diferentes pisos altitudinales de la región San Martín. El estudio fue de tipo no experimental con enfoque cuantitativo de alcance descriptivo-correlacional. La población estuvo constituida por cuatro parcelas

establecidas en los cuatro niveles altitudinales. Las muestras estuvieron constituidas por 12 muestras para cada parcela. Para el estudio, emplearon la metodología propuesta por el MINAM (2014) para la caracterización física-química. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, aplicaron la media aritmética, prueba de Tukey y correlación, para ello usaron el programa R v. 3.4.0. Los resultados evidenciaron que existió mayor Cd en los granos en el sistema de producción de El Dorado. Los autores concluyeron que el Cd a 329 y 532 m s.n.m., presentaron concentraciones de 1,87 y 1,34 mg.kg⁻¹ respectivamente, superando el límite máximo permisible.

Ramos (2021) en el estudio “Efecto del abono orgánico en la absorción de cadmio en clones de cacao *Theobroma cacao* L., en la región San Martín”; evaluó la influencia del abono orgánico en la absorción de cadmio en clones de “cacao” *Theobroma cacao* L. ICS y CCN en la región San Martín. El estudio fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo de alcance descriptivo-correlacional. La población estuvo constituida por dos parcelas de cacao de los clones CCN e ICS. Las muestras estuvieron constituidas por cuatro tratamientos y dos repeticiones (4A X 2B) de 2 000, 4 000 y 6 000 g de abono y sin aplicación de compost (testigo). Para el estudio, empleó la metodología propuesta por Mite *et al.* (2010) para el muestreo foliar y granos de cacao. El tratamiento de los datos fue mediante la estadística descriptiva e inferencial, aplicándose la media aritmética, ANOVA, correlación y prueba de Tukey, para ello usó el programa SPSS. Los resultados evidenciaron que la concentración de Cd en el suelo, granos y hojas, presentaron diferencias significativas luego de aplicar las dosis en ambos clones CCN-51 e ICS-95. El autor concluyó que encontró menor Cd en el T₆ (4 000 g compost) del clon ICS-95 y el T₇ (6 000 g compost) del clon CCN-51, asimismo, encontró una alta reducción de Cd luego de aplicar el compost orgánico T₆ (4 000 g).

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Origen y distribución del cacao

El cacao es una planta que se desarrolla muy bien bajos árboles de sombra, debido a la sostenibilidad del cultivo. El lugar de origen es el Nor-Oriente amazónico de América del Sur y es allí donde la riqueza fenotípica del cacao es superior (Thomas *et al.*, 2012), pero los Olmecas y Mokayas fueron pioneros en domesticar y consumir la almendra del cacao en

México hace más de 3800 años (Powis *et al.*, 2011). Muchos investigadores concluyeron que el consumo de las semillas de cacao se remonta a cuatro mil años en las actuales superficies de Guatemala y Chiapas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2016).

Pastorelly *et al.* (2006) plantean que la planta de cacao presenta la siguiente taxonomía:

Reino: Plantae (plantas)

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Sterculiaceae

Género: *Theobroma*

Especie: *Theobroma cacao*

1.2.2. Características físico-químico del suelo en el cultivo de cacao

Las características físico-químico del suelo son esenciales para conocer la aptitud de uso del suelo para el cultivo de cacao y formular planes de fertilización adecuados. La textura de mejor desarrollo son los suelos francos, franco-arcillosos o franco-arcillo-limosos. Asimismo, en suelos con buena estructura y consistencia favorable en el desarrollo radicular. El cacao se desarrolla mejor en suelos con pH ligeramente ácido (5,5-6,5). El cacao responde positivamente a suelos con alto contenido de materia orgánica (> 4 %) (Calle *et al.*, 2021). El cacao se desarrolla en suelos con alta CIC (> 15 cmol.kg⁻¹) que mejoran la retención y disponibilidad de nutrientes. Por último, el cacao requiere niveles adecuados de N, P, K, Ca, Mg y micronutrientes como B y Zn (Calle *et al.*, 2023).

1.2.3. Características agronómicas y nutricionales del cacao

El cultivo de cacao es una especie arbórea que puede llegar hasta 10 m de altura, teniendo una característica agronómica de hojas con forma lanceolada y ovalada con nervadura reticulada pinnada con flores en la zona decasiforme y con un fruto de tipo baya denominado mazorca, nombrado como el “alimento de los dioses” por los nativos del norte de América, al interior del fruto es muy posible encontrar alrededor de 20 semillas cuyo color es violeta

y blanco embutido con una masa blanquecina llamada pulpa (Ganoza *et al.*, 2012). Se le considera al cacao, como el fruto dado por los dioses por su alto contenido de sustancias orgánicas, entre ellos están el ácido génstico, polifenol, minerales, vitaminas, fibra y la teobromina, este último es un compuesto que estimula el sistema nervioso y el aparato cardiaco, ya que el ácido génstico tiene propiedades antirreumáticas y analgésicas (Waizel *et al.*, 2012).

1.2.4. Sistema agroforestal de cacao con sistema orgánico

En monocultivos los árboles de cacao se cultivan solos, sin embargo, es necesario promover el uso de diferentes sistemas de cultivo con el fin de tener una producción buena, además, que brinde servicios ecosistémicos, esto es posible mediante los sistemas agroforestales considerados como la asociación de árboles y cultivos agrícolas, para este caso será una asociación de especies forestales y plantas de cacao, manejados de forma orgánica siendo diversificados y eficientes (Halberg y Muller, 2013). Los sistemas agroforestales en cacao brindan muchos beneficios para el agricultor, entre ellos, es tener ingresos altos porque no sólo se produce cacao, sino también otros cultivos; aparte de ser una estrategia para minimizar el cambio climático debido a los árboles que capturan el carbono (Nair *et al.*, 2009), y el suelo sufre cambios positivos como la mejora de la fertilidad, materia orgánica y en la capacidad de retener agua. Es por ello que el cacao orgánico es una oportunidad para los agricultores, gracias a su relevancia en su alimentación sana y libre de trazas, favorables con el medio ambiente, pues el cacao de origen orgánico más un sistema agroforestal es recomendable para la mejora de divisas económicas por consiguiente la subsistencia del productor (Castellanos *et al.*, 2007).

1.2.5. Sistema agroforestal de cacao convencional

Los sistemas convencionales atraen tecnologías que se encuentran disponibles, además, se ha demostrado científicamente que mejoran la productividad de los cultivos. No obstante, usar componentes de origen químico como son los fertilizantes, herbicidas y otros acarrear problemas de concentración de sales, suelos ácidos, disminución de la materia orgánica y que a futuro baje el rendimiento considerablemente (Florida *et al.*, 2018), además, modifica las propiedades físicas y químicas del suelo (Arteaga *et al.*, 2016) y altera la fauna biológica (Tofiño *et al.*, 2019).

El cultivo de cacao tiene una fuerte influencia de crecimiento en sistemas agroforestales, también puede tener un significativo efecto sobre la absorción del cadmio del suelo (Gattinger *et al.*, 2012). El manejo del cultivo de cacao puede afectar no solo la disponibilidad de Cd del suelo, sino también el contenido total de Cd en el suelo, a través de insumos con la aplicación de fertilizantes minerales, estiércol de corral, residuos orgánicos y otros materiales (Zhang *et al.*, 2012). Además, la ausencia o presencia de otras plantas pueden afectar la disposición del Cd en los cacaotales, al afectar directamente la cantidad de Cd del suelo disponible para la absorción, así como indirectamente al afectar la capacidad de los árboles de cacao para acumular Cd. Pocos estudios han investigado los componentes de afección al suelo en la absorción de metales pesados por el cacao (Chavez *et al.*, 2015), y ninguno de ellos examinó los efectos de la gestión agrícola sobre la disponibilidad de Cd para el cacao.

1.2.6. Índice de diversidad de especies de árboles (Shannon-Wiener)

Para evaluar la diversidad de especies biológicas existen muchas pruebas e índices (Moreno, 2001) entre ellos está la de Shannon - Weiner (h). La principal importancia de los sistemas agrícolas sombreados como refugio de la biodiversidad se encuentra en áreas que han sido particularmente afectados por la deforestación (Perfecto *et al.*, 1996). Dawoe *et al.* (2016) evaluaron árboles con el diámetro altura de pecho (DAP) ≥ 15 cm y encontraron que la biodiversidad del índice de Shannon osciló entre 0,99 y 1,54 en 10 sitios de sistemas de cacao sombreado en los paisajes de África occidental, encontrándose así una moderada diversidad y relación entre la diversidad de especies respecto al DAP de los árboles evaluados. Según Sambuichi *et al.* (2012) evaluaron árboles con DAP ≥ 10 cm y encontraron que el índice de diversidad de Shannon-Weiner, osciló entre 3,31 y 4,22 en fincas de cacao con árboles de sombra en Brasil, encontrándose una alta diversidad y relación entre la diversidad de especies respecto al DAP de los árboles evaluados.

1.2.7. Cadmio

El elemento metálico cadmio presenta N° atómico 48, masa atómica 112,10 u, densidad 8 650 kg.m⁻³, símbolo químico Cd, perteneciente al grupo IIB de la tabla periódica. El cadmio es un metal flexible que abunda en la tierra, asimismo, puede formar óxidos e hidróxidos, también es un metal nocivo para las plantas y los animales. Se utiliza para

baterías, colorantes, cerámicas entre otros (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2010).

1.2.8. Contaminación por cadmio en el cultivo de cacao

El cadmio se encuentra en la naturaleza como un metal, pudiendo ser absorbido por los humanos y las plantas, generándose riesgos considerables (Prieto *et al.*, 2009). Las plantaciones de cacao almacenan diversos metales pesados capturados del suelo y concentrados en sus semillas del cacao (Augstburger *et al.*, 2000). Asimismo, en ausencia del zinc, se transportará y distribuirá el Cd en toda la planta, sabiendo que el Cd no participa en los procesos metabólicos, habrá mayor concentración de Cd en bajos valores de pH del suelo (Barrueta, 2013). Asimismo, algunos genotipos de cacao presentan mayor capacidad de absorción de Cd en la planta, cuya distribución en la planta varía en las raíces, corteza y las semillas, esto es variable por la variedad del cacao (Kadow, 2015).

1.2.9. Cadmio en suelos

Maddela *et al.* (2020), se refieren específicamente al Cd como un metal presente en el suelo, producto de la meteorización de las rocas y erupciones volcánicas, fosfatos y por aportes de actividades humanas tales como la explotación minera, la fundición y refinación de metales no ferrosos, la quema de combustibles fósiles, la aplicación de fertilizantes fosfatados y la quema de residuos industriales y urbanos, considerándolo un tóxico y riesgos a la salud humana, especialmente a los niños. Huaraca *et al.* (2020), lo presenta como un problema ambiental, al ser un metal altamente tóxico, con un alto poder de persistir en el suelo por periodos largos a causa de la pérdida microbiológica y déficit de la concentración de la propiedad química; y Chávez *et al.* (2016) exponen que el cacao puede absorber el Cd presente en el suelo y posteriormente acumularlo en sus almendras. La gravedad de daño por este metal depende de su toxicidad específica, bioacumulación, persistencia y no biodegradabilidad (Wang *et al.*, 2015). El Cd en el suelo depende de varias variables, incluido el contenido total de metales, el pH, la materia orgánica del suelo (MOS), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de arcilla (Alloway, 2013). El pH del suelo es particularmente importante ya que interviene la solubilidad y la dispersión del Cd y por ende, su disponibilidad para las plantas, con mayor acidez aumenta la movilidad y solubilidad de este metal y, por lo tanto, el riesgo de absorción por plantas (Wang *et al.*, 2006).

1.2.10. Efectos del cadmio en las plantas

La presencia del cadmio afecta el secuestro de los fotones, generándose poca actividad fotosintética, asimismo, reduce la absorción y conducción del nitrato de las raíces al tallo y genera un déficit de hierro o fosfato (Pernía *et al.*, 2008). Las plantas de cacao acumulan el Cd dependiendo de la variedad de cacao con ello se encuentran diferentes concentraciones de Cd en la planta de cacao (Huamaní y Huauya, 2011). Las plantas expuestas a grandes concentraciones de Cd generan una disminución fotosintética, reduce el consumo de agua y déficit en nutrientes, clorosis, crecimiento lento y senescencia (Yadav, 2010).

1.2.11. Cadmio en las hojas de los árboles de cacao

En Centro América y en el Ecuador, existen protocolos de muestreo foliar en cacao y se ha reportado que, en ciertos casos, existen correlaciones de concentraciones de cadmio en los suelos, hojas y granos (Ramtahal, 2017). Ramtahal *et al.* (2016) indicaron que la concentración de Cd se distribuye principalmente en hojas y en menor concentración en granos. Llatance *et al.* (2018) en la selva del Perú, observó que, de acuerdo con la edad de las hojas, mientras más viejas sean, acumularán mayor contenido de Cd en comparación a las nuevas, esto es por los péptidos presentes en el área foliar. Bañuelos *et al.* (1997) indican que los tejidos de las plantas de cacao acumulan metales pesados, esto indica que tiene capacidad de bioacumulación según sus variedades y su capacidad de retención de estos metales pesados.

1.2.12. Cadmio en los granos de los árboles de cacao

Existe una fuerte correlación entre el contenido de metales pesados en el suelo y la concentración en los vegetales, por lo que hay un riesgo asociado por el consumo de vegetales, al ser estos cultivados en áreas contaminadas (Agbenin *et al.*, 2009). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) los límites máximos permisibles de cadmio en granos de cacao son de 0,1 mg.kg⁻¹ respectivamente (Martínez y Palacio, 2010). Tal es el caso de Hernández (2014), quién halló cadmio en las muestras de granos frescos procedentes de las regiones Cajamarca, Amazonas y San Martín, encontrándose entre 0,10 a

2,97 mg.kg⁻¹ Cd, asimismo en el acopio de los granos de cacao fueron de 0,10 a 2,29 mg.kg⁻¹ Cd.

1.2.13. Cadmio en árboles de cacao

Khan (2015) señala que la contaminación por cadmio en las plantaciones de cacao se debe a las actividades antropogénicas. Chávez *et al.* (2016) sustenta que la *Theobroma cacao* L. absorbe el Cd en el suelo, seguidamente lo acumula en las almendras del cacao. De igual manera, Zarcinas *et al.* (2004) indican que los árboles de cacao extraen más cadmio del suelo respecto a otras plantas. Asimismo, Arévalo *et al.* (2017) reportaron diferencias en la acumulación de Cd en fincas con diferentes clones de cacao. Para Orroño (2011), señala que el cadmio es encontrado con facilidad en la parte superior de las plantas, asimismo, su absorción y distribución varían según las variedades de las plantas.

1.2.14. Cadmio en árboles agroforestales

En plantas exclusivas de sistemas agroforestales las raíces imponen restricción a la absorción de metales por retención, lo que evita la dispersión de estos elementos en órganos aéreos, evitando la toxicidad, especialmente se da en las especies vegetales como *Hordeum vulgare*, *Zea mays* y *Trifolium repens* (Liu *et al.*, 2015). La composición celular de las raíces contribuye positivamente a la retención de Cd y constituye la primera barrera protectora del protoplasto por nocividad del Cd (Mahar *et al.*, 2016). En el sistema radicular de los árboles se hacen posible el secuestro de Cd, además, las barreras impuestas por las células del endodermo representan mecanismos que restringen el acceso del Cd al xilema, reduciendo la translocación a los brotes de las plantas. En estudios de plantas leñosas se encontró el secuestro de Cd por constituyentes de la pared celular de la raíz, lo que evidencia el secuestro de Cd como mecanismo primario de tolerancia de estas especies al efecto fitotóxico del Cd (Chen *et al.*, 2014). Las *Helianthus annuus* equilibran la concentración de los metales pesados, concentrándolo en las hojas y la raíz, tal como la especie *Solanum nigrum* aporta en la fitorremediación de los metales (Gómez *et al.*, 2018). Se ha determinado que la sucesión de acumulación de este elemento en los tejidos de cacao se da en el siguiente orden: raíz, tallo, hojas, cáscara o testa y grano de cacao (Mite *et al.*, 2010).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El estudio tuvo un diseño de tipo no experimental, debido a que las variables evaluadas no fueron manipulables y se analizaron en su ambiente natural (Ato *et al.*, 2013); asimismo, la investigación fue descriptiva y correlacional, donde se describió la influencia del índice de Shannon respecto a las concentraciones de cadmio en los suelos, hojas y granos de estudio, que fueron analizados en la presente investigación. Tuvo un enfoque de carácter cuantitativo, ya que se tomaron muestras en campo de fincas de cacao para los análisis respectivos haciendo uso de los métodos numéricos y estadísticos (Hernández *et al.*, 2014).

2.2. Lugar y fecha

La presente investigación se realizó bajo dos sistemas de manejo que comúnmente aplican los productores de cacao, siendo estos el manejo orgánico y convencional, en parcelas ubicadas en las localidades de Zapatero, Celendín y Tabalosos, que se encuentran en la provincia de Lamas (Figura 1) y se ejecutó en los meses de diciembre 2021 a mayo del 2022. Dichas parcelas de cacao que se estudiaron tienen una edad entre 6 a 10 años. Las parcelas de estudio tienen edades entre 6 a 10 años, teniendo una temperatura media de 26 °C con una precipitación anual de 1 358 mm con una humedad relativa de 83 % en el distrito de Celendín, mientras que en el distrito de Tabalosos tiene temperatura media de 24 °C con una precipitación anual de 1 200 mm con una humedad relativa de 77 % y para el distrito de Zapatero tiene temperatura media de 25,1 °C con una precipitación anual de 1 300 mm con una humedad relativa de 78,45 %, asimismo, el suelo en los distritos de Celendín, Tabalosos y Zapatero tienen un suelo inceptisol de taxonomía Vertic Haplustepts. La ubicación de las parcelas y el laboratorio están en la Tabla 1 y de las muestras extraídas están en la Tabla 2.

Tabla 1*Ubicación geográfica de las parcelas y el laboratorio*

Lugar	Coordenadas		
	Este	Norte	Altitud (m s.n.m.)
Zapatero	331512,92	9270778	723
Celendin	330590,28	9271797,07	1028
Tabalosos	319789,2	9292585,72	567
Laboratorio	352245,7	9281123	362

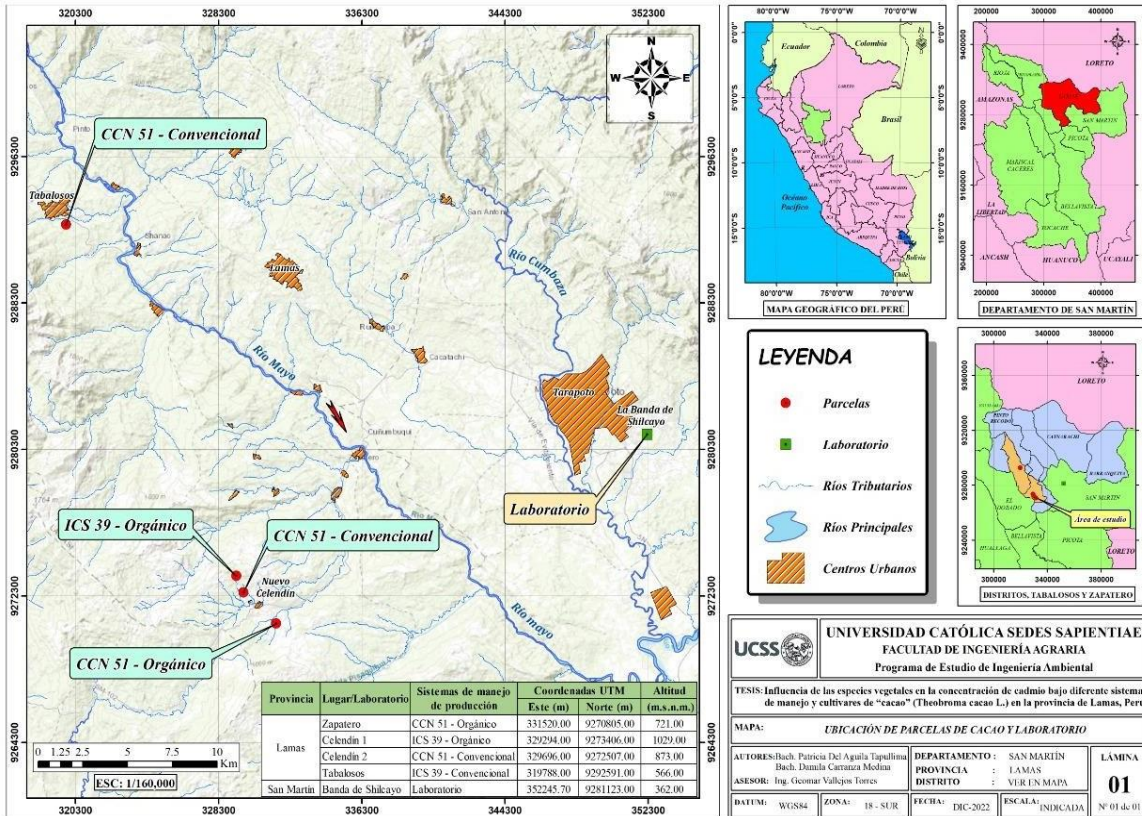
Tabla 2*Ubicación de las muestras en estudio en la provincia de Lamas-San Martín*

Provincia	Localidad	Sistemas de manejo de producción	Coordenadas		
			Este (18L)	Norte (UTM)	Altitud (m s.n.m.)
	Zapatero	CCN 51-Orgánico	331520	9270805	721
	Celendin 1	ICS 39-Orgánico	329294	9273406	1029
Lamas	Celendin 2	CCN 51- Convencional	329696	9272507	873
	Tabalosos	ICS 39- Convencional	319788	9292591	566

Nota. CCN 51-Orgánico, cacao en un sistema de manejo orgánico; ICS 39-Orgánico, cacao en un sistema de manejo orgánico; CCN 51-Convencional, cacao en un sistema de manejo convencional e ICS 39-Convencional, cacao en un sistema de manejo convencional.

Figura 1

Mapa de ubicación de los sistemas de siembra de cacao en la provincia de Lamas, región San Martín



Nota. En el mapa de la provincia de Lamas se puede visualizar los sistemas de producción de cacao orgánico y convencional.

2.3. Población y muestra

Población

La población estuvo formada por cuatro parcelas dentro de la provincia de Lamas, albergando densidades de especies vegetales silvestres de 3 700 plantas.ha⁻¹ y un aproximado de 1 000 plantas.ha⁻¹ de cacao en las parcelas de 10 000 m², cuya área fue propuesto por Yan *et al.* (2022).

Muestra

De las cuatro parcelas de cultivo de cacao, se extrajeron muestras de suelo, hojas y granos del cacao, también se evaluó de la diversidad de las especies vegetales en un área de 100 m². Las plantaciones de cacao y las especies agroforestales fueron identificadas y georreferenciadas, las cuales fueron distribuidas en los distritos de Zapatero, Celendin y Tabalosos, observándose en Tabla 3 (ver Apéndice 1).

Tabla 3

Descripción de las parcelas en estudio

Parcelas	Sistema de manejo de producción	Árboles de cacao	Número de muestras		
			Suelos	Hojas	Granos
1	Manejo orgánico CCN-51	3	1	1	1
2	Manejo orgánico ICS-39	3	1	1	1
3	Manejo convencional CCN-51	3	1	1	1
4	Manejo convencional ICS-39	3	1	1	1
Total		12	4	4	4

2.4. Técnicas e instrumentos

La técnica empleada fue la observación no participativa, en donde, no se llevó a cabo ningún tipo de interacción directa entre el investigador y el sujeto en relación con la situación que se estudió (Hurtado, 2000).

El instrumento empleado fue la ficha de observación no participante (cuaderno de campo), la cual permitió registrar las actividades y los datos recopilados de las parcelas de estudio (Arias, 2020).

2.5. Descripción de la investigación

a. Identificación y selección de fincas de cacao. Se identificaron parcelas con plantaciones de cacao con sistemas de manejo orgánico y convencional conformados por los clones CCN-51 e ICS-39. Las cuatro parcelas están localizadas dentro de la provincia de Lamas, cuyas parcelas tienen un área de 1 ha, de las cuales se extrajeron las muestras de suelo, hojas, granos y el cálculo de la diversidad vegetal en un área de 100 m². Las plantaciones de cacao y las especies vegetales fueron identificadas y georreferenciadas, tal como se observa en la Tabla 4 (ver Apéndice 7 y 8).

Tabla 4

Especies vegetales identificadas en las parcelas de estudio

Especies vegetales identificadas			
Sistema de manejo de producción	Localidad	N. Común	N. Científico
ORG-CCN-51	Zapatero	Palta	<i>Persea americana</i>
		Guaba	<i>Inga edulis</i>
		Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>
		Zapote	<i>Pouteria sapota</i>
CON-CCN-51	Celendin 2	Laurel	<i>Cordia sp</i>
		Pucaquiro	<i>Aspidosperma cylindmcarpon</i>
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>
		Hito	<i>Genipa americana</i>
		Guaba	<i>Inga edulis</i>
ORG-ICS-39	Celendin 1	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>
		Cacapana	<i>Simarouba amara</i>
		Estoraque	<i>Myroxylon balsamum</i>
		Teca	<i>Tectona grandis</i>
		Pino chuncho	<i>Shizolobium amazonicum</i>
CON-ICS-39	Tabalosos	Paliperro	<i>Vitex sp</i>
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>
		Caimito	<i>Pouteria caimito</i>
		Guaba	<i>Inga edulis</i>
		Cedro	<i>Cedrela odorata</i>

b. Índice de diversidad de árboles. Se determinó la cuantificación de las especies vegetales en los dos sistemas de manejo de producción de cacao (ver Apéndice 6), seguidamente se empleó el índice Shannon-Wiener, a través de la siguiente fórmula propuesto por Moreno (2001):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \log_{10} p_i$$

Donde:

“S” es el número de categorías en el hábitat,

“ p_i ” es la relativa abundancia de especies,

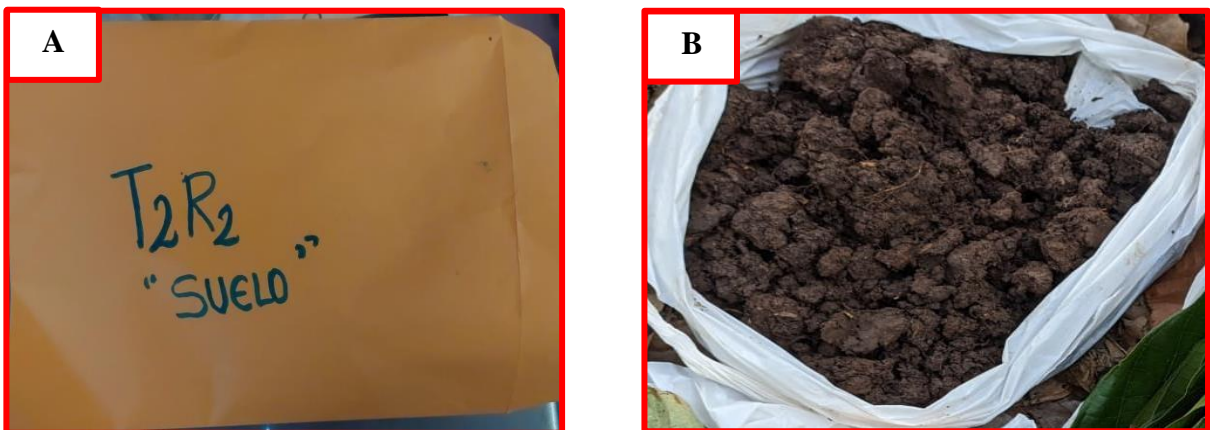
“i” es una parcela de cacao.

c. Colecta de muestras de suelo, hojas y granos de cacao para análisis de cadmio

En suelo. Para la recolección de los suelos se procedió a recolectar en cada parcela, una muestra con tres submuestras que fueron extraídas de las parcelas del cultivo de cacao de estudio, donde en cada punto de muestreo se extrajeron 1 kg de un área superficial de 1 m de largo x 1 m de ancho x 0,30 m de profundidad (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014), seguidamente fueron rotuladas y trasladados al laboratorio para su análisis. Para el análisis de Cd se empleó el Método de EPA 3050B (U.S. EPA, 1996) (ver Apéndice 2 y 5).

Figura 2

Muestras de suelos para el análisis de cadmio



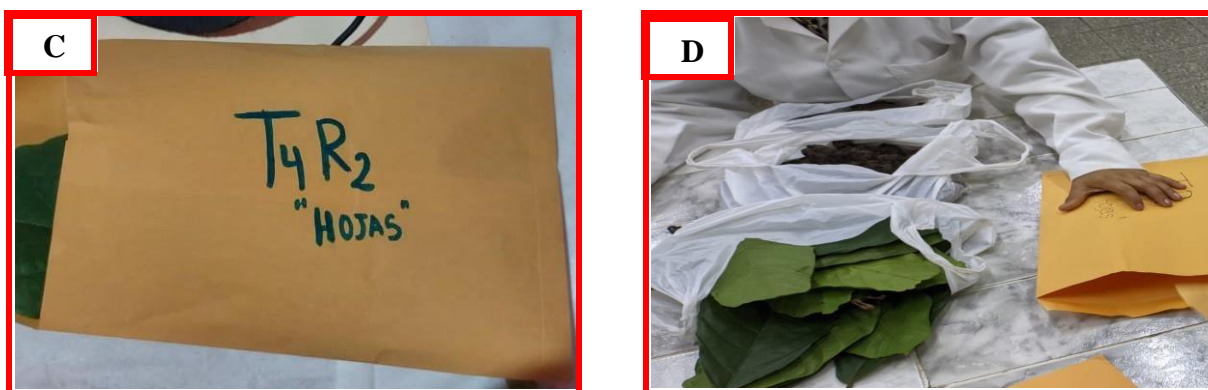
Nota. A) Muestras recolectadas de los suelos de estudio; B) Extracción de muestras del suelo de estudio.

Hojas de cacao. Para la recolección de las hojas se procedió a colectar en cada parcela, una muestra con tres submuestras (4 hojas de cada plantación de cacao), donde se extrajo de la parte media de la planta y de la cuarta hoja empezando a contar del ápice hacia el centro de

la rama y estas se depositaron en sobres manilas cuidadosamente (Mite *et al.*, 2010), seguidamente fueron rotuladas y trasladados al laboratorio para su análisis (ver Figura 3 y Apéndice 3 y 5). Para el análisis de cadmio se usó el método de digestión húmeda con ácido nítrico HNO_3 (Carrillo, 2003) y el método espectrométrico de absorción atómica (Baird *et al.*, 2017) (Baird *et al.*, 2017).

Figura 3

Muestras de hojas para el análisis de cadmio

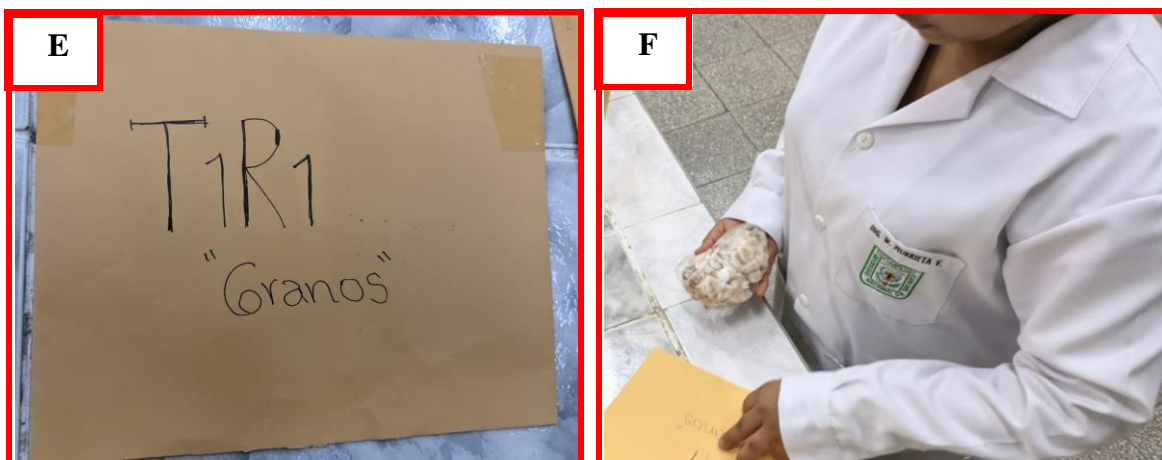


Nota. C) Muestras recolectadas de las hojas de estudio; D) Extracción de muestras de las hojas de estudio.

Granos de cacao. Para la recolección de los granos o almendras de cacao se procedió a recolectar los frutos maduros de cada planta, donde se extrajeron en cada parcela, una muestra con tres submuestras, luego se pesaron la cantidad de frutos recolectados. Se recolectó 1 kg de granos de cacao por submuestra en baba a partir de frutos maduros de la parte media del árbol sano y reproductivo (Sandoval *et al.*, 2020) para los análisis de cadmio, estas fueron rotuladas y trasladados al laboratorio para su análisis (ver Figura 4 y Apéndice 4 y 5). Para el análisis de cadmio se empleó el método de digestión húmeda con ácido nítrico HNO_3 (Carrillo, 2003) y el método espectrométrico de absorción atómica (Baird *et al.*, 2017).

Figura 4

Muestras de granos para el análisis de cadmio



Nota. E) Muestras recolectadas de los granos de estudio; F) Extracción de muestras de los granos de estudio.

2.6. Identificación de variables y su mensuración

Las variables consideradas en la presente investigación se observan en la Tabla 5:

Tabla 5

Operacionalización de las variables de investigación

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento
V.1 Especies vegetales	Las especies vegetales son aquellas plantas que se desarrollan de forma natural en un determinado ecosistema, sin intervención humana directa en su introducción o propagación, son parte integral de la biodiversidad de una región específica, adaptándose a las condiciones ambientales locales (Fernández, 2019)	Especies agroforestales	Índice de Shannon Abundancia relativa Densidad arbórea	--- % árboles.ha ⁻¹	Cuaderno de campo
V.2 Concentración de cadmio	La concentración de cadmio en el cacao puede variar dependiendo de varios factores, como la región de cultivo, los métodos de fertilización y otros factores ambientales, asimismo también puede encontrar en los productos derivados del cacao, pudiendo superar los límites establecidos por los organismos reguladores (Arias <i>et al.</i> , 2022; Echeverry y Reyes, 2016).	Suelo Hojas Granos	Cadmio (Cd)	mg.kg ⁻¹	Ficha de reporte de análisis
V.3 Sistemas de cultivos de “cacao”	El sistema de manejo de cultivos son las prácticas y técnicas utilizadas para gestionar y cuidar las diferentes variedades de cultivos de manera eficiente y productiva, evaluando el desempeño de diversos cultivos en diferentes sistemas de producciones específicas (Ferreira <i>et al.</i> , 2022).	Manejo orgánico Manejo convencional	CCN-51 ICS-39	---	Cuaderno de campo

2.7. Análisis estadístico de datos

Los datos que se obtuvieron fueron procesados en el programa Microsoft Excel 2019, en donde se realizaron las tablas presentadas en la presente tesis. Asimismo, se procesó las pruebas estadísticas tales como: prueba de Shapiro-Wilks, análisis de varianza (ANOVA), la comparación de medias de Tukey con una probabilidad de error del 5 %, la correlación de Pearson y la prueba de T de Student, para evaluar la influencia y relación de la diversidad vegetal respecto a la concentración del cadmio en los suelos, hojas y granos de las plantaciones de cacao de estudio, para ello se emplearon los programas: SPSS v. 25, programa Infostat v.1.0 y el programa Past v. 4.11.

2.8. Hipótesis

Hipótesis general

- Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas, Perú.

Hipótesis específicas

- Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas -San Martín.
- Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas -San Martín.
- Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas -San Martín.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín

Evaluación del cadmio en los suelos

En la Tabla 6, se observaron los resultados obtenidos del cadmio en los suelos en las parcelas de cacao cuyas edades oscilaron de 6 a 10 años, divididos en dos sistemas: sistema orgánico y el sistema convencional en dos variedades del cultivo de cacao siendo el CCN-51 y el ICS-39.

Tabla 6

Análisis de cadmio en los suelos de dos sistemas de manejo del cacao

Repeticiones	Sistemas de producción con cadmio en los suelos (mg.kg ⁻¹)			
	ORG-CCN-51	CONV-CCN-51	ORG-ICS-39	CONV-ICS-39
I	0,70	0,55	0,84	0,67
II	0,78	0,64	0,81	0,72
III	0,78	0,64	0,72	0,81
Promedio	0,75	0,61	0,79	0,73

En la Tabla 7, se observó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, en donde se evidenció que las muestras de los suelos presentan una distribución normal (p-valor > 0,05). A continuación, se presenta el análisis de varianza (ANVA) (Tabla 8), se evidenció una diferencia significativa (p-valor < 0,05), por lo tanto, en la Tabla 9, se observó la diferencia significativa mediante la significancia de letras “A” y “B”, entre las especies vegetales y el cadmio en los suelos de dos sistemas de manejo de cacao.

Tabla 7*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las muestras de suelo*

Sistemas de manejo de producción	n	Media	D.E	W*	p-valor
CCN 51-Orgánico	3	0,75	0,05	0,75	<0,0001
ICS 39-Orgánico	3	0,61	0,05	0,75	<0,0001
CCN 51-Convencional	3	0,79	0,06	0,92	0,46
ICS 39-Convencional	3	0,73	0,07	0,97	0,69
Total	12	0,72	0,09	0,94	0,61

Nota. Los sistemas de manejo de producción presentaron normalidad ($p\text{-valor} > 0,05$) empleándose las pruebas paramétricas para el estudio.

Tabla 8*Análisis de varianza para las muestras de los suelos de estudio*

F.V.	SC	G.L	C.M	Fc	p-valor
Tratamientos	0,05	3	0,02	5,31	0,03
Error	0,03	8	$3,40 \times 10^{-3}$		
Total	0,08	11			

Nota. Donde, $S = 0,09$; $\bar{x} = 0,72$; $CV = 8,13$

Tabla 9*Prueba de Tukey para las muestras de los suelos de estudio*

Sistemas de producción	Medias	n	E.E.	Significancia	
ORG-ICS-39	0,79	3	0,03	A	
ORG-CCN-51	0,75	3	0,03	A	B
CONV-ICS-39	0,73	3	0,03	A	B
CONV-CCN-51	0,61	3	0,03		B

A continuación, se presenta la correlación de Pearson (Tabla 10), observándose que $p \neq 0$, siendo el $\alpha > 0,05$, por lo tanto, no existió una relación significativa entre las especies vegetales silvestres y el cadmio en los suelos de dos sistemas de manejo de cacao, cuya relación fue inversa, es decir, a mayor concentración del cadmio en los suelos habrá una menor diversidad de las especies vegetales. Además, tuvo una relación moderadamente negativa de valor ($-0,439 \cong -43,9\%$) y la prueba de T de Student de la concentración del cadmio en los suelos (Tabla 11) evidenció que existió una diferencia significativa por consiguiente se aprobó la hipótesis alterna entre la influencia de las especies vegetales vs el

cadmio en los suelos de dos sistemas de cacao, observándose una influencia inversa con una significancia de $3,62 \times 10^{-8}$.

Tabla 10

Correlación de Pearson entre el contenido de cadmio en los suelos y las especies vegetales de evaluación

		Cadmio en los suelos	Especies vegetales
Especies vegetales	Correlación de Pearson	-0,439	1
	Sig. (bilateral)	0,153	
	N	12	12

Nota. Existió una correlación inversa moderadamente negativa entre las especies vegetales respecto al Cd en los suelos.

Tabla 11

Prueba de T de Student entre el contenido de cadmio en los suelos y las especies vegetales de evaluación

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media del Cadmio en el suelo	Media de las especies vegetales	t	GL	Sig. (bilateral)
Especies vegetales vs cadmio en el suelo de dos sistemas de manejo de cacao	-0,439	0,72	1,68	-13,43	11	$3,62 \times 10^{-8}$

Nota. Existió una diferencia significativa entre las especies vegetales respecto al Cd en los suelos.

3.2. Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín

Evaluación del cadmio en las hojas

En la Tabla 12 se observaron los resultados obtenidos del cadmio en las hojas en las parcelas de cacao cuyas edades oscilaron de 6 a 10 años, divididos en dos sistemas: sistema orgánico y el sistema convencional en dos variedades del cultivo de cacao siendo el CCN-51 y el ICS-39, de igual manera en la Figura 5, se observaron las muestras de las hojas de cacao para el análisis de cadmio en el laboratorio del Instituto de Cultivos Tropicales – ICT.

Tabla 12*Análisis de cadmio en las hojas de dos sistemas de manejo del cacao*

Repeticiones	Sistemas de producción de cadmio en las hojas (mg.kg ⁻¹)			
	ORG-CCN-51	CONV-CCN-51	ORG-ICS-39	CONV-ICS-39
I	1,82	2,36	2,60	2,86
II	1,41	2,78	2,31	2,60
III	1,83	2,69	2,22	2,50
Promedio	1,69	2,61	2,38	2,65

En la Tabla 13, se observó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, en donde se evidenció que las muestras de los suelos presentan una distribución normal (p-valor > 0,05). A continuación, se presenta el análisis de varianza (ANVA) (Tabla 14), se evidenció una diferencia significativa (p-valor < 0,05), por lo tanto, en la Tabla 15, se observó la diferencia significativa mediante la significancia de letras “A” y “B”, entre las especies vegetales y el cadmio en las hojas del cacao de dos sistemas de manejo de cacao.

Tabla 13*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las muestras de las hojas*

Tratamientos	n	Media	D.E	W*	p-valor
CCN 51-Orgánico	3	1,69	0,24	0,77	0,04
ICS 39-Orgánico	3	2,61	0,22	0,9	0,39
CCN 51-Convencional	3	2,38	0,2	0,92	0,44
ICS 39-Convencional	3	2,65	0,19	0,94	0,52
Total	12	2,33	0,44	0,90	0,29

Tabla 14*Análisis de varianza para las muestras de las hojas de estudio*

F.V.	SC	G.L	C.M	Fc	p-valor
Tratamientos	1,8	3	0,6	13,29	0,0018
Error	0,36	8	0,05		
Total	2,16	11			

Nota. Donde, S =0,44; \bar{x} = 2,33; CV = 9,11

Tabla 15*Prueba de Tukey para las muestras de las hojas de estudio*

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Significación
CONV-ICS-39	2,65	3	0,12	A
CONV-CCN-51	2,61	3	0,12	A
ORG-ICS-39	2,38	3	0,12	A
ORG-CCN-51	1,69	3	0,12	B

A continuación, se presenta la correlación de Pearson (Tabla 16), observándose que $p \neq 0$, siendo el $\alpha > 0,05$, por lo tanto, no existe relación significativa entre las especies vegetales y el cadmio en las hojas de dos sistemas de manejo de cacao, cuya relación fue inversa, es decir, a mayor concentración del cadmio en las hojas habrá una menor diversidad de las especies vegetales. Además, tuvo una relación moderadamente negativa de valor $(-0,343 \cong -34,3 \%)$ y la prueba de T de Student de la concentración del cadmio en las hojas (Tabla 17) evidenció que existió una diferencia significativa; por consiguiente, se aprobó la hipótesis alterna entre la influencia de las especies vegetales vs el cadmio en las hojas de dos sistemas de cacao, observándose una influencia inversa con una significancia de $1,47 \times 10^{-4}$.

Tabla 16*Correlación de Pearson entre el contenido de cadmio en las hojas y las especies vegetales de evaluación*

		Cadmio en las hojas	Especies vegetales
	Correlación de Pearson	0,343	1
Especies vegetales	Sig. (bilateral)	0,275	
	N	12	12

Nota. Existió una correlación directa moderadamente positiva entre las especies vegetales respecto al Cd en las hojas.

Tabla 17*Prueba de T de Student entre el contenido de cadmio en las hojas y las especies vegetales de evaluación*

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media del cadmio en las hojas	Media de las especies vegetales	t	GL	Sig. (bilateral)
Especies vegetales vs cadmio en las hojas de dos sistemas de manejo de cacao	0,343	2,33	1,68	5,66	11	$1,47 \times 10^{-4}$

Nota. Existió una diferencia significativa entre las especies vegetales respecto al Cd en las hojas.

3.3. Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín

En la Tabla 18 se observaron los resultados obtenidos del cadmio en los granos en las parcelas de cacao cuyas edades oscilaron de 6 a 10 años, divididos en dos sistemas: sistema orgánico y el sistema convencional en dos variedades del cultivo de cacao siendo el CCN-51 y el ICS-39.

Tabla 18

Análisis de cadmio en los granos de dos sistemas de manejo del cacao

Repeticiones	Sistemas de producción de cadmio en los granos (mg.kg ⁻¹)			
	ORG-CCN-51	CONV-CCN-51	ORG-ICS-39	CONV-ICS-39
I	0,64	0,7	0,36	1,05
II	1,08	0,84	0,53	0,12
III	0,51	0,75	0,4	0,18
Promedio	0,74	0,76	0,43	0,45

En la Tabla 19, se observó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, en donde se evidenció que las muestras de los suelos presentan una distribución normal (p-valor > 0,05). A continuación, se presenta el análisis de varianza (ANVA) (Tabla 20), se evidenció que no existe diferencia significativa (p-valor > 0,05), por lo tanto, en la Tabla 21, se observó que no existe la diferencia significativa mediante la significancia de letra “A”, entre el índice de las especies vegetales silvestres y el cadmio en los granos de cacao de dos sistemas de manejo de cacao.

Tabla 19

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks de las muestras de granos

Tratamientos	n	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
CCN 51-Orgánico	3	0,74	0,3	0,91	0,42
ICS 39-Orgánico	3	0,76	0,07	0,97	0,66
CCN 51-Convencional	3	0,43	0,09	0,91	0,43
ICS 39-Convencional	3	0,45	0,52	0,8	0,11
Total	12	0,6	0,31	0,94	0,65

Tabla 20*Análisis de varianza para las muestras de los granos de estudio*

F.V.	SC	G.L	C.M	Fc	p-valor
Tratamientos	0,3	3	0,1	1,06	0,42
Error	0,75	8	0,09		
Total	1,04	11			

Nota. Donde, $S = 0,31$; $\bar{x} = 0,60$; $CV = 51,18$

Tabla 21*Prueba de Tukey para las muestras de los granos de estudio*

Sistema de manejo de producción	Medias	n	E.E.	
CONV-CCN-51	0,76	3	0,18	A
ORG-CCN-51	0,74	3	0,18	A
CONV-ICS-39	0,45	3	0,18	A
ORG-ICS-39	0,43	3	0,18	A

A continuación, se presenta la correlación de Pearson (Tabla 22), se observa que $p \neq 0$, siendo el $\alpha > 0,05$, por lo tanto, no existe relación significativa entre las especies vegetales y el cadmio en los granos de dos sistemas de manejo de cacao cuya relación fue directa, es decir, a mayor concentración del cadmio en los granos habrá una mayor diversidad de las especies vegetales. Además, tuvo una relación débilmente positiva de valor ($0,084 \cong 8,4\%$) y la prueba de T de Student de la concentración del cadmio en los granos (Tabla 23) evidenció que existió una diferencia significativa, por consiguiente, se aprobó la hipótesis alterna entre la influencia de las especies vegetales vs el cadmio en los granos de dos sistemas de cacao, observándose una influencia directa con una significancia de $3,72 \times 10^{-7}$.

Tabla 22*Correlación de Pearson entre el contenido de cadmio en los granos y las especies vegetales de evaluación*

	Cadmio en los granos	Especies vegetales
Correlación de Pearson	0,084	1
Especies vegetales	Sig. (bilateral) 0,796	
	N 12	12

Nota. Existió una correlación directa débilmente positiva entre las especies vegetales respecto al Cd en los granos.

Tabla 23

Prueba de T de Student entre el contenido de cadmio en los granos de evaluación y las especies vegetales de evaluación

Parámetros de comparación	Coef. Correlación de Pearson	Media del cadmio en los granos	Media de las especies vegetales	t	GL	Sig. (bilateral)
Especies vegetales vs cadmio en los granos de dos sistemas de manejo de cacao	0,08	0,60	1,68	-10,71	11	3,72x10 ⁻⁷

Nota. Existió una diferencia significativa entre las especies vegetales respecto al Cd en los granos.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivos de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín

En el presente estudio se encontró una concentración media del cadmio en los suelos del cultivo de cacao de $0,72 \text{ mg.kg}^{-1}$ con una diversidad de las especies vegetales de 1,49 a 1,93, bajo las condiciones de poca diversidad de especies vegetales, encontrándose una influencia de las especies vegetales respecto a la concentración del cadmio en el suelo bajo los sistemas de manejo de cacao orgánico y tradicional en la producción de cacao de la variedad CCN-51 e ICS-39, que oscilan edades de 6 a 10 años, teniendo una precipitación anual de 1 200 - 1 358 mm con una temperatura media entre 24 - 26 °C, una humedad relativa de 77 – 83 %, y un suelo inceptisol de taxonomía Vertic Haplustepts. Este resultado es similar a lo reportado por Merchán (2022) quien encontró una concentración media del cadmio en el suelo de $0,78 \text{ mg.kg}^{-1}$ con una diversidad de especies de 1,19 a 1,34, donde evidenció que la diversidad arbórea no influye en la reducción de la concentración del Cd, asimismo, el uso excesivo de los plaguicidas incrementa la concentración del Cd en los suelos que fueron extraídos de los suelos de cultivos anuales y de cobertura boscosa y en cultivos de cacao de edades de 3 años. Asimismo, presentó resultados diferentes a lo reportado por Charrupi y Martines (2017) quienes encontraron una concentración de cadmio en el suelo entre 3 a 20 mg.kg^{-1} , estos valores son diferentes a lo encontrado debido a que encontró el índice de contaminación y riesgo ecológico siendo bajas, asimismo, se incrementó la concentración del Cd en los suelos por el empleo de fertilizantes orgánicos con alta presencia de los metales pesados en suelos de cultivos anuales de cultivos de cacao a condiciones climáticas de una precipitación anual de 1 600 a 2 500 mm con una temperatura media de 25 °C y a un rango de pH de 6,0 a 6,5. De igual manera, Chaney (2012) señala que la contaminación de cadmio en los suelos agrícolas del cultivo de cacao es acumulada por la aplicación de fertilizantes fosfatados que aportan entre 1 a 150 mg.kg^{-1} Cd en los suelos. Así mismo, Calla (2011) reporta que el cacao es una especie vegetal acumuladora de Cd, que distribuye en su tejido

vegetal tanto en el fruto, hojas y la raíz, absorbiendo el Cd del suelo agrícola generando una contaminación antropogénica.

4.2. Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas-San Martín

En el presente estudio se encontró una concentración media del cadmio en las hojas del cultivo de cacao de $2,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ con una diversidad de las especies vegetales de 1,49 a 1,93, bajo las condiciones de poca a moderada diversidad de especies vegetales, encontrándose una influencia de las especies vegetales respecto a la concentración del cadmio en las hojas bajo los sistemas de manejo de cacao orgánico y tradicional en la producción de cacao de la variedad CCN-51 e ICS-39, que oscilan edades de 6 a 10 años, teniendo una precipitación anual de 1 200 - 1 358 mm con una temperatura media entre 24 - 26 °C, una humedad relativa de 77 – 83 %, y un suelo inceptisol de taxonomía Vertic Haplustepts. Este resultado es similar a lo reportado por Llatance *et al* (2018) quienes encontraron una concentración media del cadmio en las hojas de $0,51 \text{ mg.kg}^{-1}$, los autores atribuyeron a translocación del contaminante de la raíz a las hojas generando una mayor concentración del Cd en las hojas y también porque el cacao es una planta expuesta y de fácil asimilación del Cd sobre todo en suelos de cultivos perennes y suelos inundables en cultivos de cacao de edades de 15 años a una altitud de 297 m s.n.m. De igual manera, es corroborado por Barraza *et al.* (2017) quienes obtuvieron una concentración media del cadmio en las hojas de $2,33 \text{ mg.kg}^{-1}$, este valor es similar a lo encontrado debido a que evidenció que el Cd es relevante en suelos de tipos: alfisoles, inceptisoles y entisoles, asimismo, en variedades de cacao tales como: CCN-51, nacional, forastero, nativo y la zamora, presentándose a una precipitación anual de 200 a 3 000 mm y una temperatura media de 25,5 °C. Asimismo, es avalado por Gramlich *et al.* (2017) quienes encontraron una concentración del cadmio en las hojas de 0,80 a $1,15 \text{ mg.kg}^{-1}$, este valor es similar a lo encontrado debido a que evidenció que el Cd se manifestó en sistemas de monocultivos convencionales y sistemas agroforestales orgánicos, también es porque se presentó en suelos de cultivos anuales con una micorrización de 28,7 % en cultivos de cacao con variedades de ICS 1 y la TSH 565, presentándose a una precipitación anual de 1 440 mm y una temperatura media de 24,5 °C. Por último, es reafirmado por Huamaní-Yupanqui *et al.* (2012) quienes reportaron una concentración media del cadmio en las hojas de $0,21 \text{ mg.kg}^{-1}$, este valor es similar a lo encontrado debido

a que la clase textural favorecen el aumento de la concentración del Cd disponible en la matriz del suelo que seguidamente fue transportada al tejido vegetal, además, descubrieron que existió una mayor concentración del Cd en suelos de clases texturales: franco arcilloso, francos, franco arenoso, franco limoso y franco arcilloso arenoso, siendo la mayor concentración en suelos arcillosos. Por lo contrario, se evidenció resultados diferentes presentados por los estudios de Rodríguez *et al.* (2019), quienes obtuvieron una concentración media del cadmio en las hojas de 85,5 mg.kg⁻¹, los autores encontraron en suelos con cobertura geográfica accidentada almacenando una alta concentración de los niveles de Cd a profundidades de 30 a 100 cm, presentándose a una precipitación anual de 1 000 a 2 000 mm y una temperatura media de 21 °C. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por Cusi (2022) quien menciona que las concentraciones del Cd en las hojas son variables siendo el sistema convencional el que mayor Cd reporta a comparación del sistema orgánico. Así mismo, el Cd en las hojas es elevada debido a la influencia de los parámetros fisicoquímicos en los suelos de sistema agroforestal (Gramlich *et al.*, 2017).

4.3. Determinación de la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao L.* en la provincia de Lamas-San Martín

En el presente estudio se encontró una concentración media del cadmio en los granos del cultivo de cacao de 0,59 mg.kg⁻¹ con una diversidad de las especies vegetales de 1,49 a 1,93, bajo las condiciones de poca a moderada diversidad de especies vegetales, encontrándose una influencia de las especies vegetales respecto a la concentración del cadmio en los granos bajo los sistemas de manejo de cacao orgánico y tradicional en la producción de cacao de la variedad CCN-51 e ICS-39, que oscilan edades de 6 a 10 años, teniendo una precipitación anual de 1 200 - 1 358 mm con una temperatura media entre 24 - 26 °C, una humedad relativa de 77 – 83 %, y un suelo inceptisol de taxonomía Vertic Haplustepts. Este resultado es similar a lo reportado por Alvarez *et al.* (2021) quienes que el límite máximo permitido por la Unión Europea es de 0,2 a 2,0 mg.kg⁻¹ en el chocolate con leche para los años 2018-2025, los autores reportaron que extrajeron de suelos cuyo sistema de manejo de producción fue orgánica y convencional cuyas variedades de cacao fueron CCN-51 e ICS-39, presentándose a una precipitación anual de 2 000 mm a una temperatura media de 22,6 °C y a elevaciones de 566 a 1 029 m s.n.m. Por lo contrario, se evidenció resultados diferentes presentados por los estudios de Merchán (2022) quien encontró una concentración media del

cadmio en los granos de $3,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ con una diversidad de especies de 1,19 a 1,34, el autor evidenció que la diversidad arbórea no influye en la reducción de la concentración del Cd, asimismo, el uso excesivo de los plaguicidas incrementa la concentración del Cd, asimismo, fueron extraídos de los suelos de cultivos anuales y de cobertura boscosa y en cultivos de cacao de edades de 3 años. De igual manera, es diferido por Argüello *et al.* (2019) quienes obtuvieron una concentración media del cadmio en los granos de $0,90 \text{ mg.kg}^{-1}$, los autores difieren lo encontrado por las muestras que fueron extraídas de un clima ecuatorial húmedo y tropical de sabana, asimismo, el Cd disminuyó en relación con la edad del huerto, presentándose a una precipitación anual de 250 a 5 500 mm en altitudes de 5 a 1000 m s.n.m. Asimismo, esto podría atribuirse a lo señalado por Mendoza-López (2021) quienes señalan que las concentraciones altas de Cd en los granos tienen variaciones significativas de Cd en altitudes mayores a los 800 m s.n.m. Por último, Ramos (2021) señala que las concentraciones altas de Cd en los granos de cacao de la variedad CCN-51 e ICS-95 se dan en un sistema de producción orgánico.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Se encontró una relación moderadamente negativa e inversa entre la diversidad de especies vegetales y la concentración del cadmio en los suelos, mostrándose que no existe una diferencia significativa y la influencia de ambas variables, aceptándose que existe variabilidad entre ambas variables estudiadas, en parcelas de cacao de cultivos de seis a diez años.
2. Se encontró una relación moderadamente positiva y directa entre la diversidad de especies vegetales y la concentración del cadmio en las hojas del cacao, mostrándose que existe una diferencia significativa y la influencia de ambas variables, aceptándose que existe variabilidad entre ambas variables estudiadas, en parcelas de cacao de cultivos de seis a diez años.
3. Se encontró una relación débilmente positiva y directa entre la diversidad de especies vegetales y la concentración del cadmio en los granos del cacao, mostrándose que no existe una diferencia significativa entre ambas variables y la influencia de ambas variables, aceptándose que existe una débil variabilidad entre ambas variables estudiadas, en parcelas de cacao de cultivos de seis a diez años.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer investigaciones correlacionales con las diversas propiedades físicas, químicas y microbiológicas en las parcelas de cultivos de cacao, para poder encontrar relaciones y observar su comportamiento entre estas, afín de poder posteriormente recomendar a los agricultores cómo pueden tener parcelas de cacaotales de buena calidad.
2. Se recomienda hacer investigaciones de los demás índices de diversidades tales como Simpson, Margalef, Pielou, entre otros, para poder observar el comportamiento de estas diversidades de especies vegetales en relación con las concentraciones de cadmio en el suelo, hojas y granos.
3. Se recomienda hacer mayores investigaciones en más zonas y diferentes tipos de suelos, para observar el efecto entre la diversidad de especies vegetales, aplicando el método de Shannon y el cadmio encontrado en los suelos, las hojas y los granos de las plantaciones del cacao.
4. Se debería articular una sinergia de tecnologías y conocimiento entre la Universidad Católica Sedes Sapientiae y el Ministerio de Agricultura y Riego, para así los egresados y tesistas interesados en ampliar el conocimiento sobre la reducción de contaminantes en los suelos, para que el agricultor pueda comercializar sus cultivos de cacao en buena calidad tanto en el interior y exterior del país.

REFERENCIAS

- Agbenin, J., Danko, M. y Welp, G. (2009). Soil and vegetable composition relationships of eight potentially toxic metals in urban garden fields from northern Nigeria [Relaciones de composición de suelo y vegetales de ocho metales potencialmente tóxicos en campos de jardines urbanos del norte de Nigeria]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 49-54. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3409>
- Aikpokpodion, P. E., Lajide, L. y Aiyesanmi, A. F. (2012). Assessment of heavy metals mobility in selected contaminated cocoa soils in Ondo state, Nigeria [Evaluación de la movilidad de metales pesados en suelos de cacao contaminados seleccionados en el estado de Ondo, Nigeria]. *Global Journal of Environmental Research*, 6(1), 30-35. doi: 10.5829/idosi.gjer.2012.6.1.385
- Alloway, B. J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In: Alloway B. (eds) *Heavy Metals in Soils* [Fuentes de metales pesados y metaloides en los suelos. En: Alloway B. (eds) *Metales pesados en suelos*]. *Environmental Pollution*, 22, 11-50. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2
- Almeida, A. A. F. y Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree [Ecofisiología del árbol del cacao]. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425-448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Alvarez, M. E., Guillin L. X. y Rodríguez, A. D. (2021). Análisis de los efectos que produce la presencia del cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). *Ingeniería e Innovación*, 9(2), 115-128. <https://doi.org/10.21897/23460466.2723>
- Arévalo, E., Arévalo, C. O., Baligar, V. C. y He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru [Acumulación de metales pesados en hojas y granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las principales regiones productoras de cacao del Perú.]. *Science of the Total Environment*, 605-606, 792-800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>
- Argüello, D., Chavez, E., Laurysen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E. y Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador [Propiedades del suelo y factores agronómicos que afectan las concentraciones de cadmio en los granos de cacao: un estudio nacional en Ecuador]. *Science of the Total Environment*, 649, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>

- Arias, J. 2020. Técnicas e instrumentos de investigación científica. Enfoques Consulting. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Arias-Gonzales-3/publication/350072286_TECNICAS_E_INSTRUMENTOS_DE_INVESTIGACION_CIENTIIFICA/links/604f8431458515e8344a4467/TECNICAS-E-INSTRUMENTOS-DE-INVESTIGACION-CIENTIIFICA.pdf
- Arias, K., Arévalo, O. y Mero, M. (2022). Cuantificación de cadmio en suelos de cultivo de cacao en el cantón Arenillas, provincia de el Oro, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 16(1), 303-315. <https://doi.org/10.53591/cna.v16i1.1596>
- Arteaga, J., Navia, J. y Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Ciencia Agrarias*, 33(2), 62-75. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.53>
- Assa, A., Noor, A., Yunus, M., Misnawi, y Djide, M. (2018). Heavy metal concentrations in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) originating from East Luwu, South Sulawesi, Indonesia [Concentraciones de metales pesados en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) originarios de East Luwu, South Sulawesi, Indonesia]. *Journal of Physics: Conference Series*, 979. doi: 10.1088/1742-6596/979/1/012011
- Ato, M., López, J. y Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29(3), 1038-1059. <https://dx.doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J. y Streit, C. (2000). Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guías de 18 cultivos. Asociación Naturland. <https://docplayer.es/39718647-Agricultura-organica-en-el-tropico-y-subtropico-guias-de-18-cultivos-vainilla.html>
- Baird, R., Eaton, A. y Rice, E. (2017). Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association.
- Bali, A., Sidhu, G. y Kumar, V. (2020). Root exudates ameliorate cadmium tolerance in plants: a review [Los exudados de raíces mejoran la tolerancia al cadmio en las plantas: una revisión]. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 1243–1275. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01012-x>
- Bañuelos, G.S., Ajwa, H.A., Mackey, M., Wu, L., Cook, C., Akohoue, S. y Zambruzuski, S. (1997). Evaluation of different plant species used for phytoremediation of high soil selenium [Evaluación de diferentes especies vegetales utilizadas para la fitorremediación de suelos con alto contenido de selenio]. *Journal of Environmental Quality*, 26(3), 639–646. <https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600030008x>

- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A. y Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador [Bioacumulación de cadmio y bioaccesibilidad gástrica en cacao: un estudio de campo en áreas impactadas por actividades petroleras en Ecuador]. *Environmental Pollution*, 229, 950-963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Barrueta, S. V. (2013). Guía de métodos de detección y análisis de cadmio en cacao (*Theobroma Cacao* L). Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas - DEVIDA. https://issuu.com/riicchperu/docs/guia_de_metodos_de_deteccion_y_anal/26
- Carrillo, M. D. (2003). Caracterização das formas de metais pesados, sua biodisponibilidade e suas dinâmicas de adsorção e de mobilidade em solos do Equador [Trabajo de postgrado, Universidade Federal de Viçosa]. Repositorio institucional <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/10826>
- Castellanos, O. F., Torres, L. M. y Fonseca, S. L. (2007). Agenda prospectiva de investigación de la cadena productiva de cacao-chocolate en Colombia. *Innovación y Cambio Tecnológico*, 6(6), 34-43. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/771>
- Calle, P., Mendoza, A. y Miranda, C. (2021). Aptitud de uso de suelos para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la localidad de Tumupasa, municipio de San Buenaventura - La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(3), 45–58. <https://doi.org/10.53287/burl9765fo12r>
- Calle, P., Maldonado, F. y Marza, M. (2023). Diagnóstico de la fertilidad de suelos en dos parcelas para cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea arábica*) en el municipio de San Buenaventura. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(3), 74–82. <https://doi.org/10.53287/fgqo7657sj41i>
- Cayotopa-Torres, J., Arévalo-López, L., Pichis-García, R., Olivera-Cayotopa, D., Rimachi-Valle, M. y Márquez-Dávila, K. (2021). New cadmium bioremediation agents: *Trichoderma* species native to the rhizosphere of cacao trees [Nuevos agentes biorremediadores de cadmio: especies de *Trichoderma* nativas de la rizosfera del árbol de cacao]. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 155-160. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.017>
- Chaney, R. L. (2012). Chapter Two - Food Safety Issues for Mineral and Organic Fertilizers. *Advances in Agronomy*, 117, 51-116. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00002-7>

- Charrupi, N. y Martínez, D. (2017). Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño. [Trabajo de tesis pregrado, Universidad de La Salle]. Repositorio institucional Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/718/
- Chávez, E., He, Z., Stoffella, P., Mylavarapu, R., Li, Y. y Baligar, V. (2016). Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production [Especiación química del cadmio: un enfoque para evaluar el cadmio disponible para las plantas en suelos ecuatorianos bajo producción de cacao]. *Chemosphere*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.013>.
- Chen, J., Yan, Z. y Li, X. (2014). Effect of methyl jasmonate on cadmium uptake and antioxidative capacity in *Kandelia Obovata* seedlings under cadmium stress [Efecto del jasmonato de metilo sobre la absorción de cadmio y la capacidad antioxidante en plántulas de *Kandelia Obovata* sometidas a estrés por cadmio]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 349-356. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.01.022>
- Crozier, S., Preston, A., Hurst, J., Payne, M., Mann, J., Hainly, L. y Miller, D. (2011). Cacao seeds are a "Super Fruit": A comparative analysis of various fruit powders and products [Las semillas de cacao son una "súper fruta": un análisis comparativo de distintos polvos y productos de frutas]. *Chemistry Central Journal*, 5, 5. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-5>
- Cruz, K. (2022). Diversidad de especies arbóreas en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) fino de aroma en el distrito de Cajaruro, provincia Utcubamba [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2750>
- Cusi, B. (2022). Niveles de Cadmio en el cultivo de *Theobroma cacao*, en la cuenca del Río Ene, Río Tambo – Satipo. [Trabajo de tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7973>
- Dawoe, E., Asante, W., Acheampong, E. y Bosu, P. (2016). Shade tree diversity and aboveground carbon stocks in *Theobroma cacao* agroforestry systems: implications for REDD+ implementation in a West African cacao landscape [Diversidad de árboles de sombra y reservas de carbono en la superficie en sistemas agroforestales de *Theobroma cacao*: implicaciones para la implementación de REDD+ en un paisaje de cacao en África Occidental]. *Carbon Balance Manage*, 11, 17. <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0061-x>

- Echeverry, A. y Reyes, H. (2016). Determinación de la concentración de cadmio en un chocolate colombiano con 65% de cacao y chocolates extranjeros con diferentes porcentajes de cacao. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 10(19), 22-32. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/452>
- Envol-vert. (23 de abril de 2022). ¿Que son los sistemas agroforestales, y porque son importantes para una agricultura sostenible?. <https://envol-vert.org/es/actualidades/2022/04/que-son-los-sistemas-agroforestales/>
- Fernández, A. (2019). Identificación de especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto, distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1594>
- Ferreira, R., De Souza, A. y De França, N. (2022). Evaluation of onion cultivars in agroecological production system in the municipality of Glória de Dourados, MS [Evaluación de cultivares de cebolla en sistema de producción agroecológico en el municipio de Glória de Dourados, MS]. *Research, Society and Development*, 11(12). <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.35007>
- Florida, R., Jacobo, S. S. y González, M. T. (2018). Comportamiento del cadmio y otros indicadores en suelo y almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo aplicación de compost y NPK. *Folia Amazónica*, 27(2), 193-202. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i2.461>
- Ganoza, R., Normando, E., Rojas, J., Olguín, U., Zegarra, M., Moscol, M. y Ganoza, R. (2012). Manual del cultivo de cacao blanco en Piura. Athenea, comunicación y cultura: Perú. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/04/Manual-de-cacao-24.09.pdf>
- García, C. (2010). Catálogo de cultivares de Cacao del Perú. R y F Publicaciones y servicios. <https://es.scribd.com/document/313320173/cultivares-de-cacao-en-el-peru-pdf>
- Gattinger, A., Müller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P.; Stolze, M., Smith, P., Scialaba, N. y Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming [Aumento de las reservas de carbono del suelo gracias a la agricultura orgánica]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44) 18226-18231. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>

- Gómez, L., Contreras, A., Bolonio, D., Quintana, J. y Merino, E. (2018). Phytoremediation with threes [Fitorremediación con árboles]. *Advances in Botanical Research*, 89, 281-321. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2018.11.010>
- González, Y., Fernández, Y. y Gutiérrez, T. (2013). El cambio climático y sus efectos en la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 51(3), 331-337. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032013000300011&lng=es&tlng=es.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros, J., Armengot, L., Schneider, M. y Schulin, R. (2017). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management [Absorción de cadmio por árboles de cacao en sistemas agroforestales y monocultivos bajo manejo convencional y orgánico]. *Science of The Total Environment*, 580, 677-686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>
- Halberg, N. y Muller, A. (2013). Organic agriculture, livelihoods and development, in *Organic Agriculture for Sustainable Livelihoods*. *Routledge*. <https://doi.org/10.4324/9780203128480>
- He, J., Li, H., Luo, J., Ma, C., Li, S., Qu, L., Gai, Y., Jiang, X., Janz, D., Polle, A., Tyree, M. y Luo, Z. (2013). A transcriptomic network underlies microstructural and physiological responses to cadmium in *Populus x canescens* [Una red transcriptómica subyace a las respuestas microestructurales y fisiológicas al cadmio en *Populus x canescens*]. *Plant physiology*, 162(1), 424-439. <https://doi.org/10.1104/pp.113.215681>
- Henderson, J. S., Joyce, R. A., Hall, G. R., Hurst, W. J. y McGovern, P. E. (2007). Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages [Evidencia química y arqueológica de las primeras bebidas de cacao]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(48), 18937-18940. <https://doi.org/10.1073/pnas.0708815104>
- Hernández, P (2014). Determinación de cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de alfalfa *Medicago sativa* irrigado con aguas residuales. [Trabajo de tesis pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidan Laguna]. Repositorio Institucional. [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio\(Cd\)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio(Cd)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1)
- Hernández, R., Fernandez, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-Hernández, P., Peña-Icart, M., Meriño-Hernández, Y. y Cartaya-Rubio, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&tlng=es.
- Huamaní, H. y Huauya, M (2011). Evaluación de la condición nutricional del suelo y foliar en cultivo de café orgánico en Tingo María – Perú. *Investigación y Amazonia*, 1(1), 29-33. ISSN 2223-8492
- Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. A., Mansilla-Minaya, L. G., y Neira-Trujillo, G. M. (2012). Presence of heavy metals in organic cacao (*Theobroma cacao* L.) crop [Presencia de metales pesados en cultivo de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.)]. *Acta Agronómica*, 61(4), 309–314. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/download/38134/40306/169662
- Huaraca, N., Pérez, L., Bustinza, S. y Pampa, B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica*, 31(4), 139-152. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Hurtado, J. (2000). Metodología de la Investigación Holística. Fundación Sypal.
- Irigoin, V. y Trigoso, L. (2022). Determinación de la correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con los contenidos de cadmio y la colonización micorrízica en “cacao” *Theobroma cacao* L. como monocultivo en diferentes pisos altitudinales de la Región San Martín, Perú. [Trabajo de tesis pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional Católica Sedes Sapientiae. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1631>
- Jiménez, C. S. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.): fantasía o realidad. *Producción + Limpia*, 10(1), 89 – 104. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5746910.pdf>
- Kadow, D. (2015). Memoria de reunión “Presencia de cadmio en cacao”. <https://redcacaoychocolateperu.blogspot.com/2015/11/memoria-de-reunion-daniel-kadow-sobre.html>

- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., Qamar, Z. y Wagas, M. (2015). The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants on plant nutrients, and associated health risk: a review [La absorción y bioacumulación de metales pesados por parte de las plantas alimenticias en los nutrientes de las plantas y el riesgo para la salud asociado: una revisión]. *Environmental Science Pollution*, 22, 13772-13799. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4881-0>
- Kirkham, M. B. (2006) Cadmium in plants on polluted soils: effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments [Cadmio en plantas en suelos contaminados: efectos de los factores del suelo, hiperacumulación y enmiendas]. *Geoderma*, 137, 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.024>
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, A., Arrieta, A., y Granados, C. C. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista ION*, 29(2), 113-124. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009>
- Liu, S. L., Yang, R. J., Ma, M. D., Dan, F., Zhao, Y., Jiang, P. y Wang, M. H. (2015). Effects of exogenous NO on the growth, mineral nutrient content, antioxidant system, and ATPase activities of *Trifolium repens* L. plants under cadmium stress [Efectos del NO exógeno sobre el crecimiento, el contenido de nutrientes minerales, el sistema antioxidante y las actividades ATPasa de plantas de *Trifolium repens* L. bajo estrés por cadmio]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4888-6>
- Lysenko, E. A., Klaus, A. A., Pshybytko, N. L. y Kusnetsov, V. V. (2014). Cadmium accumulation in chloroplasts and its impact on chloroplastic processes in barley and maize [Acumulación de cadmio en cloroplastos y su impacto en los procesos cloroplásticos en cebada y maíz]. *Photosynthesis Research*, 125, 291-303. <https://doi.org/10.1007/s11120-014-0047-z>
- Maddela, N., Kakarla, D., García, L., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K. y Megharaj, M. (2020). Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view [El cadmio cargado de cacao amenaza la salud humana y la economía del cacao: una visión crítica]. *Science of the Total Environment*, 720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>
- Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M., Lahori, A., Wang, Q. y Zhang, Z. (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review [Desafíos y oportunidades en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados: una revisión]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023>

- Martínez, G. y Palacio, C. (2010). Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. [Trabajo de tesis pregrado, Universidad industrial de Santander]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/397/2/136115.pdf>
- Mendoza-López, K. L., Mostacero-León, J., López-Medina, S. E., Gil-Rivero, A. E., De la cruz-Castillo, A. y Villena-Zapata, L. (2021). Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L "cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. *Manglar*, 18(2), 169-173. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/239>
- Merchán, K. (2022). Variación en el contenido de cadmio en cultivos de cacao (*Theobroma cacao*) en pauna y coper (Boyacá – Colombia) [Trabajo de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/61259>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). Guía para el muestreo de suelos. MINAM. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. 2019. Plan Nacional de Cultivos. Campaña Agrícola 2019-2020 Reporte de precio y mercado de cacao, Lima, Perú. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. 2016. Estudio del cacao en el Perú y en el mundo. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria. Primera Edición. Perú. <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Estudio-cacao-Peru-y-Mundo.pdf>
- Mite, F., Carrillo, M. y Durango, W. (17-19 de noviembre de 2010). Avances del monitoreo de Presencia de cadmio en almendras de cacao, suelo y agua en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Santo Domingo, República Dominicana. https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Mite/publication/304346639_AVANCES_DEL_MONITOREO_DE_PRESENCIA_DE_CADMIO_EN_ALMENDRAS_DE_CACAO_SUELOS_Y_AGUAS_EN_ECUADOR/links/576c304b08aef0e50da8c39f/AVANCES-DEL-MONITOREO-DE-PRESENCIA-DE-CADMIO-EN-ALMENDRAS-DE-CACAO-SUELOS-Y-AGUAS-EN-ECUADOR.pdf
- Molina, R., Ramos Martínez, M. F. (2020). Variables que impiden incrementar las exportaciones de cacao en grano del estado de Tabasco. *Revista Cimexus*, 15(2), 63-81. <https://doi.org/10.33110/cimexus150203>

- Moore, R., Ullah, I., de Oliveira, V., Hammond, S., Strekopytov, S., Tibbett, M., Dunwell, J. y Rehkämper, M. (2020). Cadmium isotope fractionation reveals genetic variation in Cd uptake and translocation by *Theobroma cacao* and role of natural resistance-associated macrophage protein 5 and heavy metal ATPase-family transporters [El fraccionamiento de isótopos de cadmio revela variación genética en la absorción y translocación de Cd por *Theobroma cacao* y el papel de la proteína 5 de macrófagos asociada a la resistencia natural y los transportadores de la familia ATPasa de metales pesados]. *Horticulture Research*, 7, 71. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-0292-6>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M y T-Manuales y Tesis SEA. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., Da Silva, J. W., Mota, E., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S. y Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.) [Diferenciación geográfica y genética poblacional del árbol de chocolate amazónico (*Theobroma cacao* L.)]. *PLOS ONE*, 3(10), 1-8. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Nair, P. K. R., Kumar, B. M. y Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration [La agroforestería como estrategia para el secuestro de carbono]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172, 10-23. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>
- Oliva, M., Rubio, K., Epquin, M. y Gand, M. (2020). Cadmium uptake in native cacao trees in agricultural lands of Bagua, Peru [Absorción de cadmio en árboles de cacao nativos en tierras agrícolas de Bagua, Perú]. *Agronomy* 10(10), 1551. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101551>
- Orozco, C., Valverde, F., Martínez, T., Chávez, B. y Benavides, H. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con manzano biofertilizado. *Terra Latinoamericana*, 34, 441-456. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf>
- Orroño, I. (2011). Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. . [Trabajo de tesis postgrado, Universidad de Buenos Aires]. Repositorio Institucional. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2011orronodanielaines.pdf>
- Pastorelly, D., Vera, M., Pilamunga, M., Izquierdo, L., Mejia, Y., Posligua, W. y Zambrano, R. (2006). El manual del cultivo de cacao. Asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao del Ecuador - ANECACAO.

- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R. y Van der Voort, M. E. (1996). Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity [Café de sombra: un refugio de biodiversidad en desaparición]. *BioScience*, 46, 598-608. <https://doi.org/10.2307/1312989>
- Pernía, B., Reyes, R., De Sousa, A. y Castrillo, M. (2008). Biomarcadores de contaminación por Cadmio en las plantas. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 8(30), 117-125. https://www.researchgate.net/profile/Rosa-Reyes-Gil/publication/232252253_Biomarcadores_de_contaminacion_por_Cadmio_en_las_plantas/links/54424b6d0cf2a76a3cca2361/Biomarcadores-de-contaminacion-por-Cadmio-en-las-plantas.pdf?origin=publicationDetail&_sg%5B0%5D=HLKPi8ZzaVJxNo5-BIsF7xSn6nHhgcVKRraCnHIZpW8ts7ra6YAhR82_UX15IPKy6O2LGdvpT5Ywb5OsEkdvkQ.4CWcPEvE46HDAuiUZ5P3Hz9QcEU7AKm7xhObRsoeHXik8Mr-tluxa3yJUJ0VCMGhbNe6EbvppY0JsnVBjIYGQ&_sg%5B1%5D=Jkb-XFniYoPjShbHoqOfgQMDEIO2SWGJygpN9Ivvavrj1Q4qO8N9x_IRH9r5LsNmQPqXEi0RjfAXcif2h7DNhvMYVejfun4qOZ7AZTn8Du2.4CWcPEvE46HDAuiUZ5P3Hz9QcEU7AKm7xhObRsoeHXik8Mr-tluxa3yJUJ0VCMGhbNe6EbvppY0JsnVBjIYGQ&_iepl=&_rtd=eyJjb250ZW50S W50ZW50IjoibWFpbkl0ZW0ifQ%3D%3D
- Powis, T., Cyphers, A., Gaikwad, N., Grivetti, L. y Cheong, K. (2011). Cacao use and the San Lorenzo Olmec [El uso del cacao y los olmecas de San Lorenzo]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 8595-8600. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1100620108>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (2010). Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish_and_English.pdf.
- Ramírez, R., Giraldo, D. y Barrera, D. (2018). Fitoextracción de cadmio con hierba mora (*Solanum nigrum* L.) en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 67(3), 420-424. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68536>
- Ramos, R. (2021). Efecto del abono orgánico en la absorción de cadmio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la región San Martín. [Trabajo de tesis pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional Católica Sedes Sapientiae. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1087>
- Ramtahal, G. (2017). Investigative Research into Cadmium Levels of Cocoa Beans in Trinidad and Tobago. University of the West Indies.

- Ramtahal, G., Yen, I., Bekele, I., Bekele, F., Wilson, L., Maharaj, K. y Harrynanan, L. (2016). Relationships between cadmium in tissues of cacao trees and soils in plantations of Trinidad and Tobago [Relaciones entre cadmio en tejidos de árboles de cacao y suelos en plantaciones de Trinidad y Tobago]. *Food and Nutrition Sciences*, 7, 37-43. doi: 10.4236/fns.2016.71005
- Rodríguez, H. S., Darghan, A. E. y Henao, M. C. (2019). Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia [Modelado de regresión espacial de suelos con alto contenido de cadmio en una zona productora de cacao del centro de Colombia]. *Geoderma Regional*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>
- Rofner, N. F. (2021). Revisión sobre límites máximos de cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 34(2), 117-130. <http://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.08>
- Ryan, M. H., Derrick, J. W. y Dann, P. R. (2004). Grain mineral concentrations and yield of wheat grown under organic and conventional management [Concentraciones de minerales en grano y rendimiento del trigo cultivado bajo manejo orgánico y convencional]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 207–216. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1634>
- Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernandez, R. y Valdés-Velarde, E. (2019). Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y bosques*, 25(1), <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638>
- Sambuichi, R., Vidal, D., Piasentin, F., Jardim, J., Viana, T., Menezes, A., Mello, D., Ahnert, D. y Baligar, V. (2012). Cabruca agroforests in southern Bahia, Brazil: tree component, management practices and tree species conservation [Agroforestales de cabruca en el sur de Bahía, Brasil: componente arbóreo, prácticas de manejo y conservación de especies arbóreas]. *Biodiversity and Conservation*, 21, 1055–1077. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0240-3>
- Sánchez-Gutiérrez, F., Pérez-Flores, J., Obrador-Olan, J., Sol-Sánchez, Á. y Ruiz-Rosado, O. (2016). Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7, 2695-2709. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016001002695&lng=es&tlng=es.

- Scaccabarozzi, D., Castillo, L., Aromatisi, A., Milne, L., Búllon, A. y Muñoz-Rojas, M. (2020). Soil, site, and management factors affecting cadmium concentrations in cacao-growing soils [Factores de suelo, sitio y manejo que afectan las concentraciones de cadmio en suelos cacaoteros]. *Agronomy*, 10(6), 806. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060806>
- Seregin, I. V. y Ivanov, V. B. (1997). Is the endodermal barrier the only factor preventing the inhibition of root branching by heavy metal salts? [¿Es la barrera endodérmica el único factor que impide la inhibición de la ramificación radicular por parte de las sales de metales pesados?]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 44(6), 797-800. <https://doi.org/10.1023/B:RUPP.0000035747.42399.84>
- Solis, R., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Marín-Díaz, J., Ñique-Alvarez, M., Engedal, T. y Bruun, T. (2020). Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon [Reservas de carbono y uso de árboles de sombra en diferentes sistemas cafetaleros en la Amazonía peruana]. *The Journal of Agricultural Science*, 158(6), 450-460. doi:10.1017/S002185962000074X
- Thomas, E., van Zonneveld, M., Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G. y van Etten, J. (2012). Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the neotropics reflect genetic differentiation in pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal [Los patrones actuales de diversidad espacial de *Theobroma cacao* L. en los neotrópicos reflejan una diferenciación genética en refugios del pleistoceno seguida de una dispersión influenciada por el hombre]. *PLoS ONE*, 7(10), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047676>
- Tofiño, R., Carbone, M. R., Melo, R. A. y Merini, L. J. (2019). Efecto del glifosato sobre la microbiota calidad del suelo y cultivo de frijol biofortificado en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Argentina de Microbiología*. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.01.006>
- United States Environmental Protection Agency - U.S. EPA. (1996). Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. <https://www.epa.gov/esam/epa-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils>
- Vanderschueren, R., Argüello, D., Blommaert, H., Montalvo, D., Barraza, F., Maurice, L., Schreck, E., Schulin, R., Lewis, C., Vazquez, J.L., Umaharan, P., Chavez, E., Sarret, G. y Smolders, E. (2021). Mitigating the level of cadmium in cacao products: Reviewing the transfer of cadmium from soil to chocolate bar [Mitigar el nivel de cadmio en los productos de cacao: revisión de la transferencia de cadmio del suelo a la barra de chocolate]. *Science of The Total Environment*, 781. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146779>

- Waizel, S., Waizel, B., Magaña, J., Campos, P. y San Esteban, J. (2012). Cacao y chocolate: seducción y terapéutica. *Anales Médicos*, 57(3), 236-245. <https://www.medigraphic.com/pdfs/abc/bc-2012/bc123k.pdf>
- Wang, A. S., Angle, J. S., Chaney, R. L., Delorme, T. A. y Reeves, R. D. (2006). Soil pH Effects on Uptake of Cd and Zn by *Thlaspi caerulescens* [Efectos del pH del suelo sobre la absorción de Cd y Zn por *Thlaspi caerulescens*]. *Plant Soil*, 281(1), 325–337. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4642-9>
- Wang, S., Wang, Y., Zhang, R., Wang, W., Xu, D., Guo, J., Li, P., y Yu, K. (2015). Historical levels of heavy metals reconstructed from sedimentary record in the hejiang river, located in a typical mining region of southern china [Niveles históricos de metales pesados reconstruidos a partir de registros sedimentarios en el río Hejiang, ubicado en una región minera típica del sur de China]. *Science of the Total Environment*, 532(1), 645 – 654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.035>
- Yadav, S. K. (2010). Toxicidad de los metales pesados en las plantas: una descripción general del papel del glutatión y las fitoquelatinas en la tolerancia de las plantas al estrés por metales pesados. *South African Journal of Botany*, 76, 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>
- Yan, G., Wang, Q., Han, S., Guo, Z., Yu, J., Wang, W., Fan, C., Cao, W., Wang, L., Xing, Y. y Zhang, Z. (2022). Beneficial effects of warming on temperate tree carbon storage depend on precipitation and mycorrhizal types [Los efectos beneficiosos del calentamiento sobre el almacenamiento de carbono de los árboles en zonas templadas dependen de las precipitaciones y los tipos de micorrizas]. *Science of The Total Environment*, 819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153086>
- Zarcinas, B.A., Ishak, C.F., McLaughlin, M.J. y Cozens, G. (2004). Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia [Metales pesados en suelos y cultivos en el Sudeste Asiático]. *Environ Geochem Health*, 26, 343-357. <https://doi.org/10.1007/s10653-005-4669-0>
- Zhang, F., Li, Y., Yang, M. y Li, W. (2012). Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in northeast China [Contenido de metales pesados en piensos y estiércol procedentes de granjas de diferentes escalas en el noreste de China]. *International journal of environmental research and public health*, 9(8), 2658-2668. <https://doi.org/10.3390/ijerph9082658>

Zug, K., Huamaní-Yupanqui, H., Meyberg, F., Cierjacks, J. y Cierjacks, A. (2019). Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation [Acumulación de cadmio en el cacao peruano (*Theobroma cacao* L.) y oportunidades de mitigación]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230, 72. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>

TERMINOLOGÍA

Absorción de cadmio: Las plantaciones absorben el ion de Cd^{2+} , pudiendo no estar aprovechables en las raíces. La absorción ocurre en la capa epidérmica, que se distribuyen por los pelos radicales y almacenadas en el tejido de la planta los iones de Cd^{2+} (Seregin e Ivanov, 1997).

Cadmio. Es un elemento químico de los metales pesados cuya toxicidad es alta. Es demasiado móvil al estar en la solución suelo por lo que la planta lo absorbe de una cantidad considerable (Hernández-Baranda *et al.*, 2019).

Cambio climático. Es el impacto que percibimos del calentamiento y podemos palpar en todo el planeta tierra, sin embargo, esto se puede apreciar de diferentes comportamientos (González *et al.*, 2013).

Caracterización del suelo. Es la evaluación de las propiedades físico-químicas del suelo tales como la textura, macronutrientes y micronutrientes disponibles e intercambiables que componen al suelo (Bautista *et al.*, 1998).

Clon. Es un espécimen que pertenece a un individuo, que es producido de manera asexual en una injertación, por estacas y/o acodos, cuya propagación es por espacios vegetativos (Oficina Nacional de Semillas, 2018).

Compost. Es una valorización de los desechos orgánicos, cuyo procesamiento se da de manera biológica con ausencia de oxígeno, cuyos minerales son benéficos para las plantas (Román *et al.*, 2013).

Metales pesados. Los metales pesados están definidos como elementos con un peso específico igual o superior a 5 g.cm^{-3} (Khan, 2015).

Planta de cacao. Es un árbol que se reproduce en bosques tropicales húmedos, lo cual restringe su origen a ciertas áreas del planeta (Leal *et al.*, 2000).

Sistema agroforestal convencional. Es un tipo de sistema de uso de la tierra que combina la producción agrícola y forestal en una misma área, cuyos métodos de producción no respeta el entorno ambiental (Envol-vert, 2022).

Sistema agroforestal orgánico. Un sistema agroforestal orgánico se fundamenta en el uso de enmiendas orgánicas como el uso de compost, humus de lombriz, etc. que logran contener la fertilidad del suelo y al mismo tiempo mejorar las propiedades físicas y químicas del mismo (Nair *et al.*, 2009).

Sistema suelo-planta: Es la evaluación de las correlaciones de los vegetales y las propiedades del suelo en su fisiología y/o morfología, en distintos paisajes del ecosistema (Bonadeo y Cantero, 2017).

Suelo contaminado. Es aquel suelo cuyas características físicas y químicas fueron deterioradas negativamente debido a la existencia de compuestos químicos que son peligrosos para los seres vivos, en la salud humana y ecosistema (García, 2010).

APÉNDICES

Apéndice 1

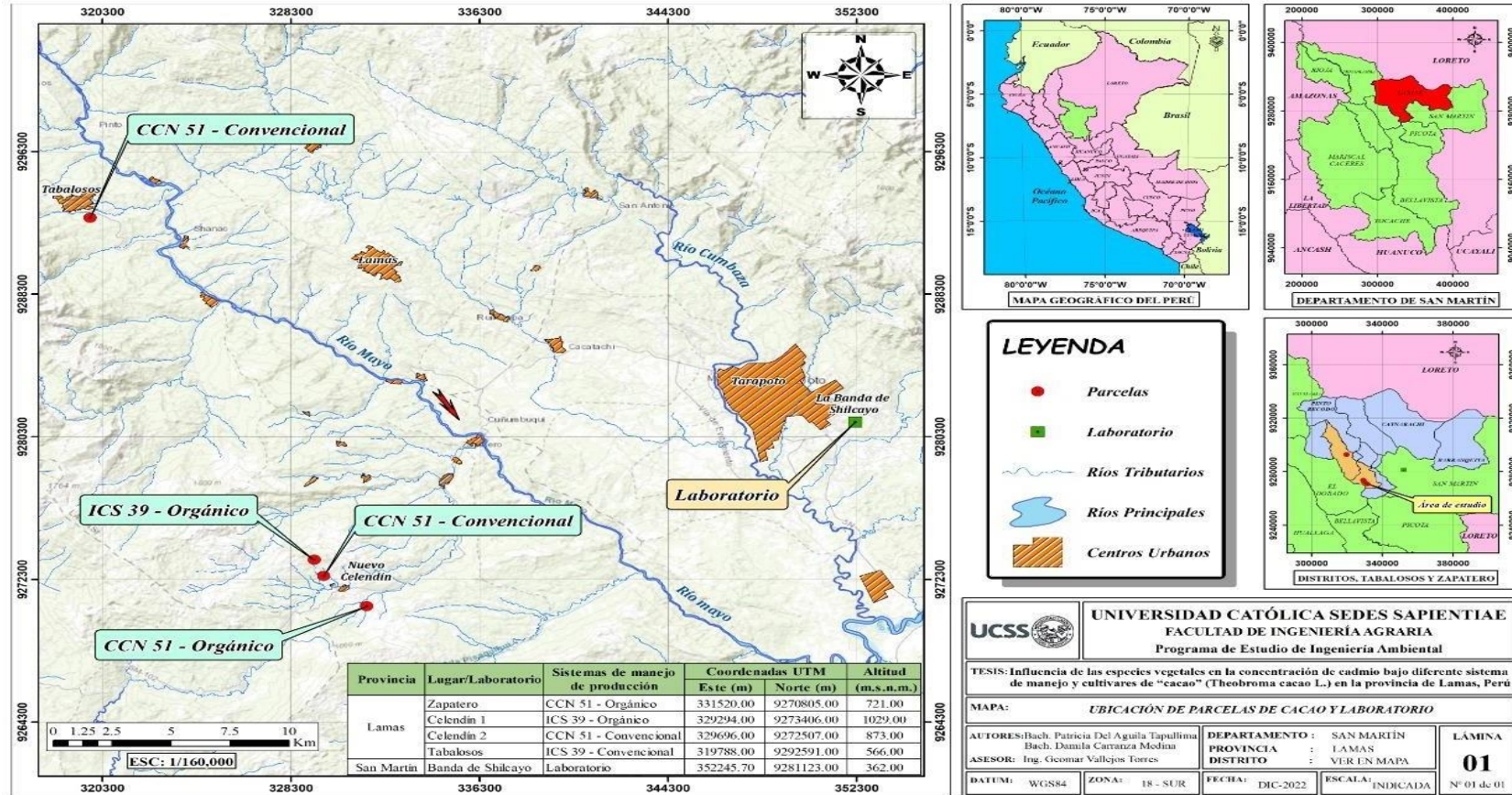
Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>Problema General</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín? <p>Problemas Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en los sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín? - ¿Cuál es la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en los sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín.? - ¿Cuál es la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en los sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín? 	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas, Perú. <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín. - Determinar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín. - Determinar la influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín. 	<p>Hipótesis general</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas, Perú. <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en el suelo en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín. - Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en las hojas del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín. - Existe una influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en los granos del cacao en dos sistemas de cultivares de “cacao” <i>Theobroma cacao</i> L. en la provincia de Lamas-San Martín. 	<p>V.1 Especies vegetales</p> <p>V.2 Concentración de cadmio</p> <p>V.3 Sistemas de cultivares de “cacao”</p>	<p>Especies vegetales</p> <p>Suelo Hoja Granos</p> <p>Manejo orgánico</p> <p>Manejo convencional</p>	<p>Fórmula del % abundancia relativa Relación de árboles.ha⁻¹ Índice de Shannon (H')</p> <p>EPA 3050B Método de Digestión HNO₃ y Espectrofotómetro de Absorción atómica</p> <p>Visual</p>	<p>Población: La población estuvo formada por cuatro parcelas dentro de la provincia de Lamas.</p> <p>Muestra: Estuvo conformada por muestras de suelo, hojas, granos del cacao, además de la diversidad vegetal en un área de 100 m².</p> <p>Técnica: Observacional</p> <p>Instrumentos: Cuaderno de campo Ficha de reporte de análisis</p>

Nota. Influencia de las especies vegetales en la concentración de cadmio en dos sistemas de cultivares de “cacao” *Theobroma cacao* L. en la provincia de Lamas, Perú

Apéndice 2

Plano de ubicación de las muestras de estudio



Apéndice 3

Análisis de cadmio de los suelos estudiados



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONÍA PERUANA

CERTIFICADO INDECOPI Nº 00072183

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELOS

Nº SOLICITUD : AS054-01-22
SOLICITANTE : GEOMAR VALLEJOS TORRES
PROCEDENCIA : SAN MARTIN - LAMAS - CEDROPAMPA
CULTIVO : CACAO

FECHA DE MUESTREO : 26/03/2022
FECHA DE RECEP. LAB : 30/03/2022
FECHA DE REPORTE : 01/04/2022

Item	Número de la muestra				Cd (ppm)
	Lab.		Campo		
01	22	03	0218	MUESTRA-1	0.44

METODOS :
CADMIO : EPA 3050B

Nota: El laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte.

La Banda de Shilcayo, 01 de Abril del 2022

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

Cesar O. Arvalo Hernandez, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

Activar Window
Ve a Configuración pa



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONÍA PERUANA

CERTIFICADO INDECOPI N° 00072183

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELOS

N° SOLICITUD : AS054-02-22
SOLICITANTE : GEOMAR VALLEJOS TORRES
PROCEDENCIA : SAN MARTIN - LAMAS - TABALOSOS
CULTIVO : CACAO

FECHA DE MUESTREO : 26/03/2022
FECHA DE RECEP. LAB : 30/03/2022
FECHA DE REPORTE : 01/04/2022

Item	Número de la muestra				Cd (ppm)
	Lab.		Campo		
01	22	03	0219	P-4	0.36

MÉTODOS :

CADMIO

: EPA 3050B

Nota: El laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte.

La Banda de Shilcayo, 01 de Abril del 2022

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

Cesar O. Arzola Hernandez, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

Activar Windows
Ve a Configuración para activa

Apéndice 4

Análisis de cadmio en hojas de las plantaciones de cacao



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONÍA PERUANA

CERTIFICADO INDECOPI N° 00072183

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS FOLIAR

N° SOLICITUD : AF007-01-22
SOLICITANTE : GEOMAR VALLEJOS TORRES
PROCEDENCIA : SAN MARTIN - LAMAS - CEDRO PAMPA
TEJIDO VEGETAL : HOJAS DE CACAO

FECHA DE MUESTREO : 26/03/2022
FECHA DE RECEP. LAB : 3/03/2022
FECHA DE REPORTE : 04/03/2022

ITEM	Número de Muestra			CADMIO	
	Laboratorio		Campo		ppm
01	22	03	0120	MUESTRA-1	1.01

METODOLOGIA:
CADMIO : Digestion HNO3 / Espectr. Absorción Atómica

La Banda de Shilcayo, 04 de Marzo del 2022

Nota: el laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte.
*Los Calculos estan en base a materia seca.

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

Cesar O. Arvalo Hernandez, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

Actival
Ve a Con



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONÍA PERUANA

CERTIFICADO INDECOPI N° 00072183

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS FOLIAR

N° SOLICITUD : AF007-02-22
SOLICITANTE : GEOMAR VALLEJOS TORRES
PROCEDENCIA : SAN MARTIN - SAN ANTONIO
TEJIDO VEGETAL : HOJAS DE CACAO

FECHA DE MUESTREO : 26/03/2022
FECHA DE RECEP. LAB : 3/03/2022
FECHA DE REPORTE : 04/03/2022

ITEM	Número de Muestra			CADMIO ppm	
	Laboratorio		Campo		
01	22	03	0121	MUESTRA-2	0.71

METODOLOGIA:
CADMIO : Digestion HNO₃ / Espectr. Absorción Atómica

La Banda de Shilcayo, 04 de Marzo del 2022

Nota: el laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte.
*Los Calculos estan en base a materia seca.

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TARAPOTO - PERU

Cesar O. Arevalo Hernandez, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

Activar |
Ve a Config

Apéndice 5

Análisis de cadmio en granos de las plantaciones de cacao



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMPLIAZONA PERUANA

CERTIFICADO ENEMCOPI Nº 90672183

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nº SOLICITUD : A4001-01-22
SOLICITANTE :
PROCEDENCIA : SECTOR CEDRO PAMPA - CELENDIN
ALIMENTO : GRANO DE CACAO SECO

FECHA DE MUESTREO : 08/12/2021
FECHA DE RECEP. LAB : 26/01/2022
FECHA DE REPORTE : 12/02/2022

Item	Número de Muestra			CADMIO ppm
	Laboratorio	Usuario		
01	22 01 0001	P1- A -CCN51- SAF-ORGA.	0.64	
02	22 01 0002	P1- B -CCN51- SAF-ORGA.	1.08	
03	22 01 0003	P1- C -CCN51- SAF-ORGA.	0.51	

MÉTODOS:

CADMIO : Digestión HNO₃H₂O₂ (2:1) / Espectr. Absorción Atómica

Nota: El laboratorio no se responsabiliza por la metodología utilizada en el muestreo.

La Banda de Shilcayo, 12 de Febrero del 2022

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
TAHUACOTO - PERU

Cesar O. Arzuola Mejía, MSc
JEFE DE DPTO. DE SUELOS

Apéndice 6

Formato para la toma de datos de cadmio en sistemas agroforestales con cacao

Nº PARC.	Bloq.	PARCELAS	Cadmio en suelo con cacao (ppm)	Cadmio en hojas de cacao (ppm)	Cadmio en granos de cacao (ppm)
1	BI	SAF orgánico (CCN-51)			
	BII				
	BIII				
2	BI	SAF orgánico (ICS-39)			
	BII				
	BIII				
3	BI	SAF convencional (CCN-51)			
	BII				
	BIII				
4	BI	SAF convencional (ICS-39)			
	BII				
	BIII				

Apéndice 7

Parámetros ecológicos evaluados para describir la estructura de la comunidad de especies agroforestales en cuatro sistemas de producción de cacao

N° PARC.	Bloq.	PARCELAS	Índice de diversidad (Shannon-Wiener)
1	BI	SAF orgánico_ CCN	
	BII		
	BIII		
2	BI	SAF orgánico_ ICS	
	BII		
	BIII		
3	BI	SAF convencional_ CCN	
	BII		
	BIII		
4	BI	SAF convencional_ ICS	
	BII		
	BIII		

Apéndice 8

Proceso de realización de la investigación



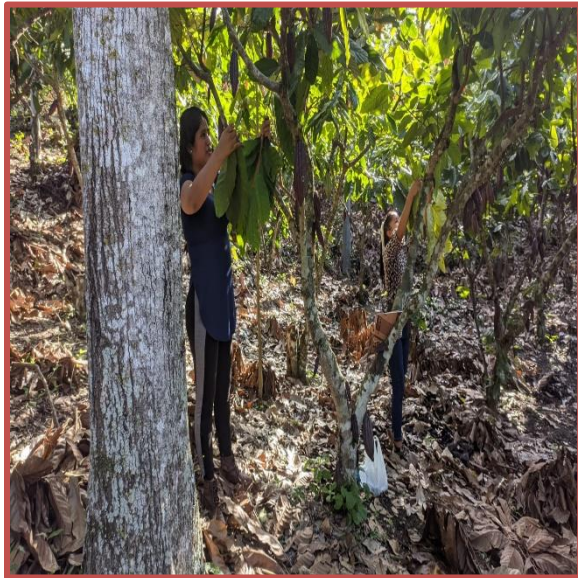
1.- Delimitación de las parcelas de investigación



2. Recolección de muestras de los granos de las plantaciones de cacao



3.- Recolección de muestras de los suelos de las plantaciones de cacao



4.- Recolección de muestras de las hojas de las plantaciones de cacao



5.- Recolección de las muestras de las plantaciones de cacao



6.- Medición de los DAP en las plantaciones de cacao



7.- Conteo e identificación de las especies vegetales del cacaotal



8.- Análisis y procesamiento de las muestras de la investigación.

Apéndice 9

Datos de recolectados de especies vegetales, cadmio en suelos, hojas y granos de cacao, abundancia relativa e índice de Shannon

Sistema de manejo de producción	Localidad	N. COMÚN	N. CIENTIFICO	Número promedio árboles.ha ⁻¹	Abundancia relativa (%)	Cadmio suelos (mg.kg ⁻¹)	Cadmio hojas (mg.kg ⁻¹)	Cadmio granos (mg.kg ⁻¹)	Índice de Shannon (H')
ORG-CCN-51	Zapatero	Palta	<i>Persea americana</i>	1	14,29	0,7	1,82	0,64	1,491
		Guaba	<i>Inga edulis</i>	3	42,86				
		Bolaina	<i>Guazuna crinita</i>	2	28,57				
		Zapote	<i>Pouteria sapota</i>	1	14,29				
CONV-CCN-51	Celendin 2	Laurel	<i>Cordia sp</i>	2	15,38	0,55	2,36	0,7	1,930
		Pucaquiro	<i>Aspidosperma cylindmcarpon</i>	3	23,08				
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	2	15,38				
		Hito	<i>Genipa americana</i>	3	23,08				
		Guaba	<i>Inga edulis</i>	2	15,38				
		Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	1	7,69				
ORG-ICS-39	Celendin 1	Cacapana	<i>Simarouba amara</i>	2	22,22	0,84	2,60	0,36	1,803
		Estoraque	<i>Myroxylon balsamum</i>	2	22,22				
		Teca	<i>Tectona grandis</i>	1	11,11				
		Pino chuncho	<i>Shizolobium amazonicum</i>	2	22,22				
		Paliperro	<i>Vitex sp</i>	2	22,22				
CONV-ICS-39	Tabalosos	Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	1	12,50	0,67	2,86	1,05	1,508
		Caimito	<i>Pouteria caimito</i>	2	25,00				
		Guaba	<i>Inga edulis</i>	3	37,50				
		Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	2	25,00				