

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**TESIS**

**“Evaluación del cadmio en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.  
*Var-ics 60*) con sistemas agroforestales en la provincia de  
Tahuamanu-Madre de Dios”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**AUTOR:**

Bach. QUISPE LLOCLLA, Diego  
Armando

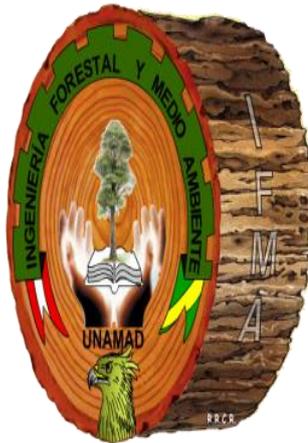
**ASESOR:**

Ph. D. PEÑA VALDEIGLESIAS, Joel

Puerto Maldonado, octubre 2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**TESIS**

**“Evaluación del cadmio en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.  
*Var-ics 60*) con sistemas agroforestales en la provincia de  
Tahuamanu-Madre de Dios”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**AUTOR:**

Bach. QUISPE LLOCLLA, Diego  
Armando

**ASESOR:**

Ph. D. PEÑA VALDEIGLESIAS, Joel

**Puerto Maldonado, octubre 2024**

## DEDICATORIA

Dios, con espíritu, llenó mi alma de suficiente esfuerzo e impulsó mi voluntad para lograr este logro.

A mis padres Vicente y Carmen, quienes, con su amor, consejos, confianza y apoyo, me ayudaron a lograr esta meta, por todo el apoyo moral y el afecto que, con el corazón paternal, me enseñaron que la perseverancia llega al éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haber sido mi compañero esencial para lograr cada uno de mis objetivos.

Al Ingeniero Joel Peña Valdeiglesias, quien ha sido el asesor principal de este proyecto, agradece su incondicional apoyo y conocimiento, lo que ha ayudado a desarrollar y completar esta investigación. Gracias por todo su apoyo a lo largo de la investigación, su tiempo, amistad y dedicación, por haber aceptado ser el asesor de la tesis y por su compromiso. Le deseo el mayor respeto y admiración hoy y siempre.

A mis padres por su gran e incondicional apoyo que me brindaron para lograr este logro tan anhelado tanto para mí como para ellos.

# TURNITIN\_DIEGO QUISPE LLOCLA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://repositorio.ucss.edu.pe">repositorio.ucss.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://repositorio.unu.edu.pe">repositorio.unu.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios Trabajo del estudiante	1%
7	<a href="http://www.oirsa.org">www.oirsa.org</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en los distritos de la provincia de Tahuamanu, con el propósito de evaluar el contenido de cadmio en el suelo y en los órganos vegetativos del cacao en 30 parcelas agrícolas de plantaciones de cacao con sistemas agroforestales (SAFs) con 5 años de edad a más y en producción, para lo cual se realizaron muestreos de suelos en tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm), se tomaron muestras de los órganos vegetativos de las plantas, y se colectaron 10 muestras de 500 ml de fuentes de agua de quebradas aledañas a las plantaciones de cacao muestreadas. Se encontró que las localidades de Bajo Madre de Dios, San Isidro y Tropezón tienen en promedio las mayores concentraciones de cadmio, (en el suelo, hojas, raíces, semillas o cascara) en cuanto a otras localidades de Alegría, Alerta, Acre, Putirija, Fray Martín, Mávila, Sudadero, Alto Loboyoc, Cafetal y Pampa Hermosa. Presentan menores cantidades de cadmio por debajo de 0.70 ppm.

**Palabras clave:** Cadmio, plantaciones, cacao, sistemas agroforestales, metales pesados, salud.

## SUMMARY

This study was carried out in the districts of the province of Tahuamanu, with the purpose of evaluating the cadmium content in the soil and in the vegetative organs of cocoa in 30 agricultural plots of cocoa plantations with agroforestry systems (SAFs) with 5 years of age or more and in production, for which soil samples were taken at three depths (0-30, 30-60 and 60-90 cm), samples were taken from the vegetative organs of the plants, and 10 samples of 500 ml were collected from water sources from streams adjacent to the sampled cocoa plantations. The localities of Bajo Madre de Dios, San Isidro and Tropezón were found to have on average the highest concentrations of cadmium (in soil, leaves, roots, seeds or shell) compared to other localities of Alegría, Alerta, Acre, Putirija, Fray Martín, Mávila, Sudadero, Alto Loboyoc, Cafetal and Pampa Hermosa, which present lower amounts of cadmium below 0.70 ppm.

**Key Words:** Cadmium, plantations, cocoa, agroforestry systems, heavy metals, health.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú la producción del cacao durante la campaña 2017-2018 llegó hasta 134000 toneladas, registrándose el pico más alto de producción, demostrándose la importancia del cultivo, sobre todo para nuestra amazonia (MINAGRI 2019). Para Madre de Dios se reporta un rendimiento de 597 kg/ha, el mismo que es inferior al promedio nacional, y según reportes de la DRAMDD (Dirección Regional Agricultura de Madre de Dios), el cultivo de cacao representa el 3% del área cultivada en la Región. La presencia de cadmio (Cd) en el suelo se debe a una combinación de procesos antropogénicos (debido actividades industriales o por prácticas agrícolas como aplicación de fertilizantes y pesticidas que contienen este elemento) y naturales (composición del material parental, sean estas rocas ígneas o metamórficas), que van liberando Cd en forma de  $Cd^{2+}$  absorbible por efecto de la meteorización (Llatance et al. 2018), y como lo sugiere (Velasquez 2017), en Madre de Dios el Cd está presente en el suelo de forma natural. Por otro lado (Velásquez et al. 2020), reporta niveles elevados de Cd en suelos agrícolas ubicados cerca de un Bosque húmedo sub tropical de nuestra región (originados a partir de Depósitos aluviales del cuaternario), los mismos que fluctúan entre 7.12 y 1.83 mg/kg, muy superiores al umbral de 1.40 mg/kg según Estándares de Calidad de Suelos para Perú y Canadá (Ccme 2007), siendo esta concentración de Cd uniforme hasta los 70 centímetros de profundidad en el perfil del suelo. Bajo condiciones ácidas el Cd se encontraría como  $Cd^{2+}$ ,  $CdSO_4$  y  $CdCl_2$ , y por un pH debajo de 4.0 - 4.5 su concentración aumentaría (Kabata y Pendias 2011). Los reportes de la presencia del Cd en forma natural en los suelos de Madre de Dios y en las partes vegetativas de algunos cultivos, nos alerta que este metal pesado se viene bioacumulando en los productos agropecuarios, los mismos que podrían superar los límites máximos permisibles nacionales e internacionales y causar serio daño a la salud de los consumidores. Por tal motivo, este presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido de Cd en plantaciones de cacao con SAFs, en la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios.

## INDICE

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
RESUMEN .....	vi
SUMMARY.....	vii
INTRODUCCIÓN .....	viii
INDICE.....	ix
Índice de tablas.....	xii
Índice de cuadros.....	xii
Índice de figuras.....	xiii
<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2. Formulación del problema .....	2
1.2.1. Problema general: .....	2
1.2.2. Problemas específicos: .....	2
1.3. Objetivo general.....	2
1.4. Objetivos específicos .....	2
1.5. Variables.....	2
1.5.1. Variables independientes .....	2
1.5.2. Variables dependientes.....	2
1.6. Operacionalización de variables .....	3
1.7. Hipótesis específicas .....	3
1.8. Justificación .....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes del estudio.....	5
2.1.1. Estudios Internacionales .....	5
2.1.2. Estudios Nacionales.....	7
2.2. Marco teórico .....	9
2.2.1. El cacao ( <i>Theobroma cacao L.</i> ) .....	9
2.2.2. Origen y distribución geográfica .....	9
2.2.3. Aspectos botánicos. ....	10
2.2.4. La Contaminación de Cadmio por Cacao.....	11

2.2.5.	Los Efectos del Cadmio en la Salud Humana.....	11
2.2.6.	Contenido de cadmio en suelo y en el cacao.....	11
2.2.7.	Límites máximos de cadmio.....	12
<b>CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....</b>		<b>13</b>
3.1.	Tipo de estudio .....	13
3.2.	Diseño de estudio .....	13
3.3.	Lugar de ejecución .....	13
3.4.	Población y muestra .....	14
3.5.	Métodos y técnicas .....	15
3.5.1.	Métodos de análisis.....	15
3.5.2.	Metodología experimental .....	15
3.5.3.	Toma de muestras .....	16
3.6.	Tratamiento de los datos .....	17
3.7.	Recursos.....	18
3.7.1.	Materiales de equipo .....	18
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION .....</b>		<b>19</b>
4.1.	Cadmio en el Suelos.....	19
4.1.1.	Influencia en las localidades y Profundidad de los suelos en los sistemas agroforestales con cacao. ....	19
4.1.2.	Influencia de las Especies y Profundidad de suelo .....	21
4.2.	Cadmio en partes vegetativas del cacao .....	23
4.2.1.	Acumulación de Cadmio en Hojas según sectores .....	23
4.2.2.	Acumulación de Cadmio en Hojas según Especies Asociadas al cultivo de Cacao.....	24
4.3.	Cadmio en Semillas de Cacao.....	27
4.3.1.	Análisis de Varianza (ANOVA) para localidades .....	27
4.3.2.	Prueba de Tukey para sectores .....	28
4.3.3.	Análisis de Varianza (ANOVA) para especies asociadas al cultivo de cacao.....	29
4.3.4.	Prueba de Tukey para especies asociadas al cultivo de cacao	29
4.4.	Cadmio en cascara de Cacao.....	30
4.4.1.	Análisis de Varianza (ANOVA) para Localidades.....	30
4.4.2.	Prueba de Tukey para sectores .....	31

4.4.3.	Análisis de Varianza (ANOVA) para especies asociadas.....	32
4.4.4.	Prueba de Tukey para Especies asociadas .....	32
4.5.	Acumulación de Cadmio en raíz de Cacao.....	33
4.5.1.	Análisis de Varianza (ANOVA) para sectores .....	33
4.5.2.	Prueba de Tukey para sectores .....	34
4.5.3.	Análisis de Varianza (ANOVA) para Especies Asociadas .....	35
4.5.4.	Prueba de Tukey para Especies Asociadas .....	35
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>36</b>
	<b>SUGERENCIAS</b> .....	<b>37</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>38</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>44</b>
	Anexo 1: Matriz de consistencia	
	Anexo 2: Imagen referente a las muestras obtenidas en campo	
	Anexo 3: Panel fotográfico	
	Anexo 4: Resultados de Análisis de agua	
	Anexo 5: Resultados de Análisis de suelos	
	Anexo 6: Resultados de Análisis de semilla se cacao	
	Anexo 7: Resultados de Análisis de cascacara de cacao	
	Anexo 8: Resultados de Análisis de raíz de cacao	
	Anexo 9: Resultados de Análisis de hojas de cacao	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables. ....	3
Tabla 2. concentraciones de Cd en el suelo clasificado por grupos, según las localidades de estudio. ....	20
Tabla 3. Concentraciones de Cd en las hojas de cacao, clasificado por grupo para las localidades estudiadas .....	26
Tabla 4. Concentraciones de Cd en las almendras de cacao, clasificado en grupos para las localidades estudiadas .....	27
Tabla 5. Acumulación de Cd en la cascara del fruto de cacao, clasificado por grupo para las localidades estudiadas .....	31
Tabla 6. Concentraciones de Cd en la raíz del cacao, clasificado en grupos para las localidades estudiadas. ....	34

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales y equipos .....	18
Cuadro 2. Especies asociadas al cultivo de cacao .....	25
Cuadro 3. Especies forestales asociadas al cultivo de cacao .....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de área a estudiar.....	14
Figura 2. Diagrama de metodología aplicada .....	15
Figura 3. Boxplot de los niveles de cadmio en el suelo en diferentes localidades.....	21
Figura 4. Boxplot de los niveles de cadmio en el suelo en diferentes localidades.....	21
Figura 5. Boxplot del análisis de la varianza entre la especie y la profundidad en los niveles de cadmio en el suelo .....	22
Figura 6. Boxplot del análisis de la varianza este las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio .....	23
Figura 7. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en las hojas por localidad .....	24
Figura 8. Boxplot del análisis de la varianza este las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de las hojas .....	26
Figura 9. Boxplot del análisis de la varianza este las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de las semillas.....	28
Figura 10. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en las semillas por localidad .....	29
Figura 11. Boxplot del análisis de la varianza este las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de la cascara .....	30
Figura 12. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en las cascara por localidad .....	32
Figura 13. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en la raíz por localidad.....	33
Figura 14. Boxplot del análisis de la varianza para las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de la raíz .....	35
Figura 15. Toma de muestras a profundidades de: 0 – 30 cm; 30 – 60 cm; 60 – 90 cm, para el análisis de cadmio.....	45
Figura 16. Toma de muestras de suelos con barreno para muestreo de suelo, en las plantaciones de cacao con sistemas agroforestales.....	47

Figura 17. Muestras de hojas, fruto, raíz y suelos de plantaciones de cacao con SAFs .....	47
Figura 20. Beneficiarios del estudio de Cadmio, Agricultores cacaoteros de la provincia de Tahuamanu, Madre de dios .....	49

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción del problema**

En departamento de Madre de Dios, los suelos son aluviales antiguos, originados a partir de materiales a partir de cordillera de los andes en los periodos terciario y cuaternario, y en forma natural estos suelos contienen cadmio (Cd), reportándose niveles entre 7.12 y 1.83 mg/kg en suelos agrícolas, que superan los estándares de Calidad de los suelos (Velásquez et al. 2020) , llegando a reportarse niveles de bioacumulación de Cd, superando los límites máximos permisibles de la FAO-OMS en las partes vegetativas de los cultivos de yuca y plátano (Soto, Rodríguez y Olivera 2020). Aunque no existen reportes de niveles de Cd en almendras de cacao (que es la parte comercializable), ni en las otras partes de la planta de cacao para Madre de Dios, se tiene información que estos niveles estarían en el umbral y superando los límites máximos permisibles por las condiciones del suelo donde se desarrollan. Resulta entonces de vital importancia conocer los niveles de bioacumulación de Cd en el cacao, para poder tomar decisiones respecto a las medidas correctivas urgentes que se deberán tomar. Por otro lado, en estos últimos años el cultivo de cacao se ha masificado en la agricultura de Madre de Dios, de tal manera que estos ya están organizados como asociación de productores de cacao y en cooperativas para producir y comercializar el cacao, y una gran parte de esta producción se comercializa como cacao orgánico, el mismo que tiene muchas exigencias en el mercado mundial, y una de ellas es que el nivel máximo permisible de Cd en el cacao esté entre 0.40 – 1.0 mg/kg (para EE.UU y Europa hasta el año 2025). Siendo el cacao un commodity, y que su precio depende del mercado internacional, las exigencias respecto a la inocuidad de este producto son cada vez más estrictas, de no cumplirlas, los agricultores serían castigados finalmente con el precio de venta, o quizás no

podrían comercializarlo, afectando gravemente la economía, no solo a los productores de cacao, sino también del Perú, que es un país productor y comercializador del cacao.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general:**

¿Existe Cd en las plantaciones de cacao con sistemas agroforestales en la provincia de Tahuamanu, en el departamento de Madre de Dios?

### **1.2.2. Problemas específicos:**

- ¿Cuáles son los niveles de Cd a lo largo del perfil del suelo en las plantaciones de cacao con SAFs?
- ¿Cuáles son los niveles de bioacumulación de Cd en las partes vegetativas del cacao con SAFs?

## **1.3. Objetivo general**

- Evaluar los niveles Cd en sistemas agroforestales en plantaciones de cacao en tres distritos de la provincia de Tahuamanu, región Madre de Dios.

## **1.4. Objetivos específicos**

- Evaluar los niveles de Cd en el suelo en SAFs con cacao.
- Evaluar la bioacumulación de cadmio en las diferentes partes vegetativas del cacao (raíz, hoja, semilla y cáscara) en SAFs en tres distritos de Tahuamanu, región Madre de Dios.

## **1.5. Variables**

### **1.5.1. Variables independientes**

- Niveles de cadmio en el suelo.

### **1.5.2. Variables dependientes**

- Niveles de cadmio en los órganos vegetativos del cacao

## 1.6. Operacionalización de variables

En la Tabla 1. Se detalla la operacionalización de variables para el presente estudio

Tabla 1. Operacionalización de variables.

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>		
Niveles de Cd en los suelos	N° de parcelas. Profundidad del suelo de 0-30, 30-60, 60-90 cm.	mg/kg
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
Contenido de Cd en los órganos vegetativos del cacao	Contenido de Cd en la raíz	mg/kg
	Contenido de Cd en la hoja	mg/kg
	Contenido de Cd en la semilla	mg/kg
	Contenido de Cd en la cascara	mg/kg

## 1.7. Hipótesis específicas

- H1: Los niveles de Cd en el suelo, en plantaciones de cacao en SAFs, estarán por debajo de los niveles máximos permisibles.
- H3: Los niveles de Cd en los órganos vegetativos (hoja, semillas, mazorca y raíz) del cultivo de cacao con SAFs, estarán por debajo de los niveles máximos permisibles.

## **1.8. Justificación**

El cacao del Perú es conocido a nivel mundial por su sabor y calidad, pero hay informes que indican que hay más cadmio en el cacao que lo permitido en el producto enviado, lo que preocupa a los agricultores y cooperativas de la región. Entonces para este estudio nos hacemos la gran pregunta, ¿Realmente existe Cadmio (Cd) presente en plantaciones de cacao con sistemas agroforestales en la provincia del Tahuamanu de la región de Madre de Dios? Al ser el cacao un producto de consumo humano, el cadmio un metal tóxico, y el cacao un commodity, cuyo precio es fijado por mercado internacional, existe el riesgo de que los agricultores sean castigados en el precio final del producto (cacao) por la presencia de Cd que supera los niveles máximos permisibles, por lo que es necesario conocer cuáles son los niveles de Cd en el cultivo de cacao, para tomar decisiones correctivas en caso se encuentren elevados niveles de Cd en el cacao.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del estudio**

#### **2.1.1. Estudios Internacionales**

Fernández P (2022), descubrió que el cadmio tiene efectos perjudiciales en la fisiología de las plantas, reduciendo la biomasa de las hojas, la biomasa de las raíces y la concentración de pigmentos fotosintéticos, reduciendo el uso eficiente del agua y la fotosíntesis, cambiando las concentraciones de nutrientes y reduciendo la concentración de proteínas solubles totales.

Para Cifuentes V y Alonso F (2021), Para determinar que existe una solución al problema de la acumulación de Cd en el suelo y en los granos vegetativos de cacao, primero se debe conocer las condiciones químicas del suelo, y también se deben identificar y validar las experiencias exitosas de otros países.

Según Rofner (2021), en su estudio, determino que Ecuador y Perú, Costa Rica y Venezuela han reportado los valores promedio más altos. El Reglamento UE N° 488/2014 establece un límite máximo de 0,8 g g<sup>-1</sup> para chocolates con un contenido de sólidos de cacao superior o igual a 50%, según este criterio, 70,59% de los informes corresponden a niveles elevados de Cd y solo el 29,4% están dentro de los límites permitidos por la UE.

Alvares, Guillin y Rodriguez A (2021), Analizaron los efectos del Cd en cultivos de cacao y descubrieron que el Cd sigue siendo expuesto a la población principalmente en ambientes urbanos. El uso de fertilizantes fosfatados también ha disminuido, lo que significa una menor contribución de cadmio al suelo, lo que significa niveles más bajos de metal en el suelo.

Según Villalaz P et al. (2021), en su estudio sobre los niveles de cd en las plantaciones de cacao orgánico en fincas de pequeños productores en la

república de Panamá, descubrieron que solo dos de las ocho fincas tuvieron niveles de cadmio por debajo de 0,5 mg kg<sup>-1</sup> en almendras de cacao. En cuanto al suelo, encontraron que los niveles máximos de Cd para suelos agrícolas eran de 0,8 mg kg<sup>-1</sup>.

Para Furcal y Torres M (2020), en su estudio, de 40 muestras de suelos analizadas, tres muestras de la Región Sur mostraron cadmio positivo, mientras que en las demás no se encontró Cd con un límite de detección de 1 mg/kg. Sin embargo, para muestras analizadas de 21 y 19, la presencia de cadmio en raíz fue del 28,57% y 84,21%, respectivamente. La presencia de cadmio en el órgano hoja fue 38,01% y 84,21% para las mismas muestras y regiones, la almendra de cacao seco y no fermentado presentó Cd al 33,33% y 89,47%.

Según el OIRSA (2020), en su estudio, establecieron una línea de base para los niveles de Cd en almendras de cacao, estimaron la probabilidad de cumplir con los niveles máximos en chocolate establecidos por la Unión Europea, tomaron 233 muestras, en el salvador, guatemala, nicaragua y república dominicana. Realizaron el análisis en seco y húmedo, y todas las muestras obtenidas, fueron analizadas mediante espectrometría de plasma acoplado inductivamente. Sin embargo, solo se tomaron resultados en seco para este estudio, por lo que se utilizaron como resultados de investigación. En su estudio, tomaron y analizaron 259 muestras; los valores más bajos fueron 0,00 mg/kg y los más altos fueron 0,73 mg/kg. La desviación estándar, la varianza media y la moda fueron de 0,03 mg/kg y 0,18 mg/kg, respectivamente. Sin embargo, la media, la mediana y la moda fueron de 0,15 mg/kg, 0,08 mg/kg y 0,00 mg/kg.

Meter, Atkinson y Labiberte (2019), en el estudio que realizaron propusieron una forma de calcular los niveles máximos de Cd en granos aplicando la relación de proporcionalidad a los límites establecidos por la Unión Europea y calcularon el valor máximo de Cd en almendras secas de cacao sin procesar, ya que sin procesar contiene Cd, similar a las almendras de cacao de origen.

Según Jimenez T. (2015), en su estudio. Solo el 22% de los países de la Comunidad Europea han establecido leyes sobre el Cd en el chocolate y sus derivados. Al ser el país con el mayor número de consumidores del mundo, Suiza carece de regulaciones para el Cd. Sin embargo, solo 11 países de la Unión Europea son los que mayormente consumen este producto, lo que explica por qué Europa, particularmente Alemania, lidera la regulación del Cd en chocolate y productos elaborados. El cadmio también se aplica al chocolate y sus derivados. Si Colombia quiere seguir ingresando al mercado europeo, debe realizar importantes trabajos de seguimiento y control en sus plantaciones y productos, aunque aún no ha adoptado ninguna ley al respecto.

Acosta y Pozo (2013), en su estudio, descubrió que, con la espectrofotometría de absorción atómica, el 92% de las muestras analizadas tenían una concentración de Cd que superaba el límite máximo permitido. Todas las muestras tenían una concentración de 0.35 mg/kg, lo que indica una concentración seis veces mayor de lo establecido.

### **2.1.2. Estudios Nacionales**

Rosales Huamani et al. (2021), en su investigación, confirmó que la concentración de Cd en suelos era promedio de 1,25 mg/kg, y se encontró por debajo de 1,4 mg/kg. Es necesario monitorear el área de estudio y medir periódicamente la movilidad de Cd, para así prevenir la absorción de Cd a través del cacao.

Santander Ruiz et al. (2021), en su estudio, Los suelos, indico que los frutos, los granos fermentados y secos, contienen cadmio en las zonas productoras de la región de San Martín. Se tomaron muestras de suelos, hojas y frutos (granos frescos y secos). Todas las parcelas de muestreadas tenían cantidades promedio de cadmio, la cantidad de ppm en el suelo es de 0.556, en las hojas de 0,522, en las hojas de 0,522, en los cotiledones de 0,063, en las pruebas de 0,030, en el grano fermentado seco de 0,041, en el licor de cacao y en las barras de chocolate con leche con una masa de cacao del

70%. Concluyeron que los niveles de grano, licor de cacao y barras se encuentran aceptables y que no superan los niveles máximos.

De acuerdo con Mendoza-López et al. (2021), en su estudio, encontraron niveles de Cd superiores a los límites máximos permitidos, que entre 800 y 600 msnm muestran concentraciones elevadas de Cd en granos, hojas y suelo, superando de 0,5 ppm del límite máximo permitido. Demostraron que los valores de Cd en cada nivel de elevación fue gracias a la prueba post hoc de Games-Howell el cual demuestra variaciones significativas. A los 800 msnm, muestra la media significativa más alta para granos y hojas.

Según Florida, Claudio y Gómez (2019), En su investigación, se analizaron los niveles de pH y la absorción de Cd en granos de cacao orgánico cultivados en la provincia de Huánuco. Se descubrió que el contenido de Cd en las almendras de cacao fue de 0,98 g/g-1.

Llatance et al. (2018), en su estudio, determino la bioacumulación de cadmio en plantas de cacao en la localidad indígena Pakun, en Perú. En su resultado indica que, de todas las especies de cacao, su estructura tiene la mayor acumulación de cadmio debido a la exposición directa a los metales. Además, es una planta perenne, algo que no ocurre en otras especies.

Para Garcia (2018), En su estudio, determino que la Los órganos vegetativos de las hojas de cacao acumulan 1,288 ppm de cadmio, almendras 0,894 ppm y fruto 0,710 ppm y muestra un paralelismo reductor entre junio y septiembre (menos precipitaciones) y un paralelismo adicional entre octubre y noviembre (más precipitaciones).

Arévalo et al. (2016), en su estudio, "Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao en tres regiones del Perú". Tomaron muestras de 70 parcelas de cacao con edades de 10 y 15 años en la zona central de la región del norte (tumbes, piura, cajamarca y el río amazonas). Las provincias de Huánuco, San Martín y Junín, así como la región del Cuzco en la región sur de Perú. Se descubrió que, para el cultivo de cacao, los suelos ofrecen condiciones físicas y químicas adecuadas. Mientras que, en la región norte, los valores promedio de cobre y cadmio fueron más altos.

Huauya y Huamani (2014), Durante su investigación, eligieron 22 parcelas de agricultores que cultivaban cacao orgánico y estaban afiliados a la cooperativa agraria, en la región de Huánuco. Se descubrió que la acumulación promedio de plomo disponible en el suelo eran de 3,02 ppm y 0,53 ppm de cadmio.

Para Thomas et al. (2023), en su estudio “The distribution of cadmium in soil and cacao beans in Peru”, En las zonas más al sur, desde Junín hasta Madre de Dios, la Cd se enfoca en el frijol y en los suelos suelen ser bajas a muy bajas. La CIC y el pH del suelo fueron los predictores más significativos del contenido de Cd del suelo.

De acuerdo con Arévalo et al. (2016), En su estudio, descubrieron que el suelo presenta condiciones fisicoquímicas adecuadas para el cacao. En tres áreas del Perú, donde ha encontrado metales pesados en los suelos de plantaciones de cacao. Los niveles de Fe, Cu, Zn, Mg, Cd, Ni y Pb en los suelos estudiados, encontrándose por debajo de los niveles que se consideraban fitotóxicos. En la región sur, los valores promedio de Fe, Zn, Mg, Ni y Pb fueron más altos, mientras que, en la región norte, los valores promedio de Cu y Cd fueron más altos.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. El cacao (*Theobroma cacao L.*)**

Es un árbol o arbusto semicaducifolio que puede alcanzar una altura de hasta 12 -20 metros. En cultivo, su altura típica es de 4 a 8 metros (Dostert et al. 2012).

### **2.2.2. Origen y distribución geográfica**

Para Dostert et al. (2012), El árbol del cacao es una planta silvestre que pudo haber surgido hace más de 4 mil años en la cuenca del Amazonas. La cultura maya de Mesoamérica lo domesticó y lo bebía como bebida amarga, según los registros históricos más antiguos.

El cultivo del cacao requiere altos niveles de altitud, latitud y humedad. Por lo tanto. Este árbol es adecuado para ser cultivado en climas cálidos y

húmedos, con temperaturas de crecimiento ideales de 18 a 32 °C y precipitaciones anuales de 1500 a 2000 mm (Ramirez Chujutalli 2018).

### **2.2.3. Aspectos botánicos.**

Se clasifica como una Magnoliopsida, un orden Malvales, una familia Malvaceae, un género Theobroma y una especie Cacao, con 22 especies en 6 familias (Dostert et al. 2012).

La clasificación tradicional de las formas de cacao se basa en tres grupos genéticos: Criollo, Forastero y Trinitario. Sin embargo, nuevas investigaciones han demostrado que esta clasificación no describe adecuadamente la variabilidad de la especie.

Criollo: actualmente de cultivo en México, en América central y América del Sur, los frutos son grandes de superficie arrugada, delgada o gruesa, de color roja o verde, las semillas son grandes y de color blanco o violeta pálida. El cacao criollo auténtico son susceptibles a las enfermedades y son raros en el mundo, por su parte, el cacao criollo híbrido es más común, esta variedad es de sabor medio que produce la mejor calidad de cacao (Beg et al. 2017).

Forastero: Las formas forasteras de cacao comprenden las formas de cacao que no son Criollos ni híbridos y se originan en la cuenca superior del Amazonas. Su fruto verde, la cubierta del fruto (pericarpo) gruesa, el mesocarpo fuertemente lignificado, las semillas redondeadas y ligeramente aplanadas y los cotiledones violetas son sus principales características (Al-Khayri, Jain y Johnson 2019).

Trinitario: es la combinación de las variedades Criollo y Forastero, los híbridos entre el cacao Criollo y Forastero se encuentran en el Caribe, América del Sur y Central, Papúa Nueva Guinea, y en cualquier lugar donde se dio en cruce del cacao Criollo y Forastero, es un grupo con mucha diversidad fenotípica y genética (Beg et al. 2017).

De Souza et al. (2018), describe una planta de cacao de la siguiente manera:

**Altura:** los árboles de cacao pueden alcanzar de 5 a 8 m de altura, con un diámetro de 4 a 6 m de diámetro de copa.

**Tallo:** es erecto, en los primeros años es liso y con el pasar del tiempo este va adquiriendo un tallo más áspero y rugoso.

**Hojas:** las hojas son oblongas, acuminadas y glabras con nervadura central prominente. Las hojas nuevas son de color verde, alguno más o menos rosadas, algunas tienden a violeta.

**Flores:** estas aparecen a partir de yemas de las axilas de hojas viejas, en los cojines florales en el tallo o ramas leñosos. Las flores hermafroditas están formadas por cinco sépalos, cinco pétalos, cinco estaminodios, cinco estambres y un pistilo con un ovario que contiene cinco óvulos.

**Fruto:** consta de un pericarpio compuesto de un epicarpio carnoso y grueso, el mesocarpio que es poco lignificado, fino y duro y el endocarpio que es carnoso y poco grueso. El fruto cuando es inmaduro podemos encontrar desde color verde y va madurando a amarillo, otros cultivares de color púrpura va madurando a color naranja.

#### **2.2.4. La Contaminación de Cadmio por Cacao.**

Naturalmente el cadmio se encuentra presente en el suelo y lo concentra en las almendras de cacao, la concentración de metales pesados varía según las regiones (Huamaní et al. 2012).

#### **2.2.5. Los Efectos del Cadmio en la Salud Humana.**

Los alimentos con Cd pueden aumentar significativamente las concentraciones de este metal en los humanos causa síntomas como diarreas, dolor de estómago y vómitos y daño al sistema nervioso central, debilita el sistema óseo, daño el sistema inmunológico, cáncer (García et al. 2012).

#### **2.2.6. Contenido de cadmio en suelo y en el cacao**

El contenido de Cadmio en los suelos varía de 0,01 a 1 mg/kg, en suelos no contaminados. La media mundial de cadmio es de 0,36 mg/kg, es de

entender que los valores varían entre continentes, países y tipos de suelo. La presencia elevada de este metal en el suelo está asociada con la abundancia de minerales arcillosos, carbonatos, materia orgánica y óxidos hidratados, y ciertas características fisicoquímicas como el pH elevado y/o condiciones anóxicas. La contaminación antropogénica de cadmio en el suelo y las aguas subterráneas son a través de emisiones de combustión, vertederos, tráfico, industria metalúrgica, minería entre otros, así como también el uso de fertilizantes de fosfato, que en composición contiene cadmio como impureza, aumentando el contenido en los suelos. Se cree que un suelo contaminado por cadmio está por encima de 3 ppm (Kubier, Wilkin y Pichler 2019).

#### **2.2.7. Límites máximos de cadmio**

La Unión europea (UE) estableció límites máximos tolerables de concentraciones de Cadmio para el cacao, indicando un valor entre 0,6 y 0,8 mg/kg. Sin embargo, este valor fue determinado para productos procesados de cacao. Al no haber un valor para productos sin procesar de cacao, muchos autores han usado esta clasificación para sus comparaciones (Florida Rofner 2021).

## **CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

### **3.1. Tipo de estudio**

El estudio fue cualitativo y descriptivo. La investigación cualitativa se utilizó para recopilar información a través de entrevistas y cuestionarios centrados en los ítems. Esto permitió obtener información sobre la situación del manejo del cultivo de cacao.

Para el estudio descriptivo, se realizaron entrevistas y encuestas a los agricultores para obtener información sobre cómo se manejan los agroquímicos.

### **3.2. Diseño de estudio**

De acuerdo con la investigación se enmarco dentro de un diseño de estudios completamente aleatorizado (DCA), analíticos, observacionales no experimentales, en donde el tratamiento lo constituyeron las parcelas de cacao.

### **3.3. Lugar de ejecución**

El estudio se llevó a cabo en los distritos de Tahuamanu, Iberia, Iñapari de la provincia de Tahuamanu en la región de Madre de Dios. La figura 1 muestra la ubicación de las áreas que se estudiaron.

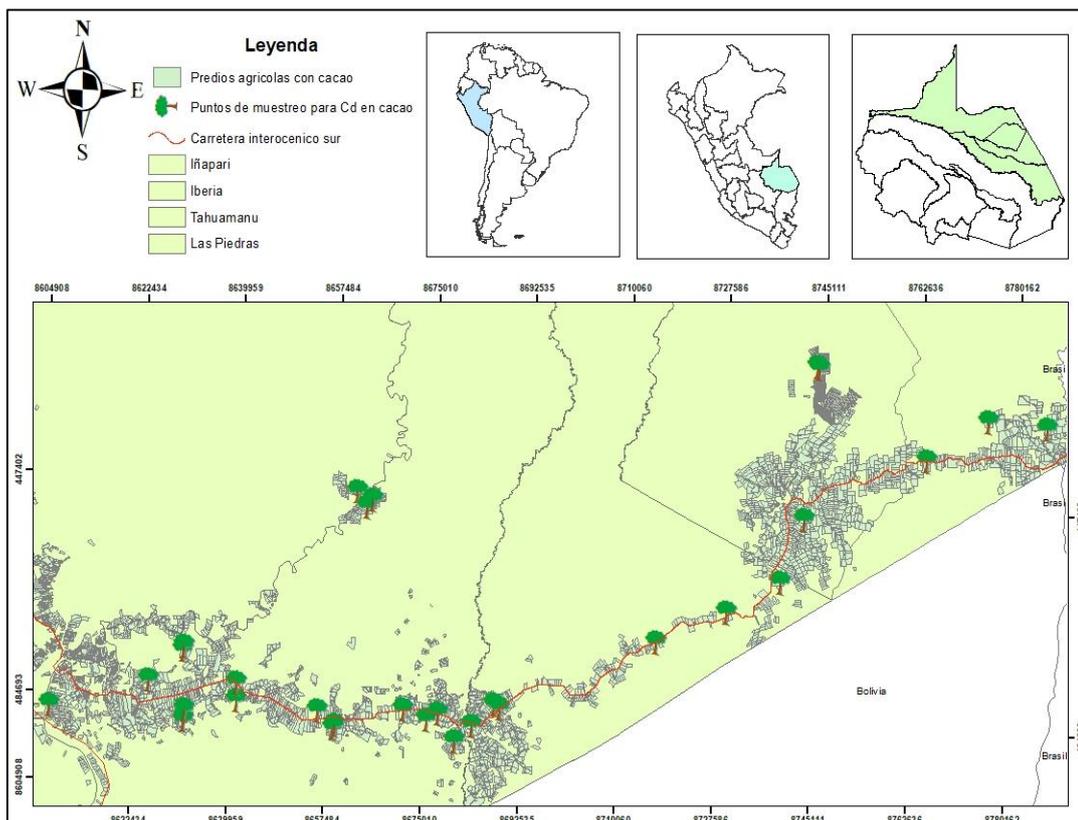


Figura 1. Mapa de ubicación de área a estudiar.

El área de las diferentes parcelas fue de una (01) ha. Las parcelas seleccionadas fueron aquellas que tuvieron sistemas agroforestales con cacao, frutales y especies forestales. Solo se consideraron parcelas con plantaciones de cacao mayores a 5 años

### 3.4. Población y muestra

#### 3.4.1. Población

Lo conformaron por la superficie total de predios agrícolas con plantaciones de cacao con sistemas agroforestales, en la provincia de Tahuamanu.

#### 3.4.2. Muestra

Las muestras tomadas para la investigación fueron compuestas por 30 parcelas de 1 ha cada una, abarcaron 30 predios agrícolas, es decir 1 parcela muestreada por cada predio agrícola. Se consideraron las

plantaciones de cacao instaladas mínimamente 5 años a más y fueron seleccionadas aleatoriamente en los distritos de Tahuamanu.

### 3.5. Métodos y técnicas

#### 3.5.1. Métodos de análisis

Se rotularon las muestras y se enviaron al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para analizar el contenido de cadmio, según el procedimiento utilizado por el laboratorio.

#### 3.5.2. Metodología experimental

En el siguiente (Figura 2), se muestra el diagrama de la metodología que se aplicó para el presente estudio. En la Figura 2, P1 representa a la parcela agrícola 1, P2 a la parcelada agrícola 2 y así sucesivamente hasta la Pn.

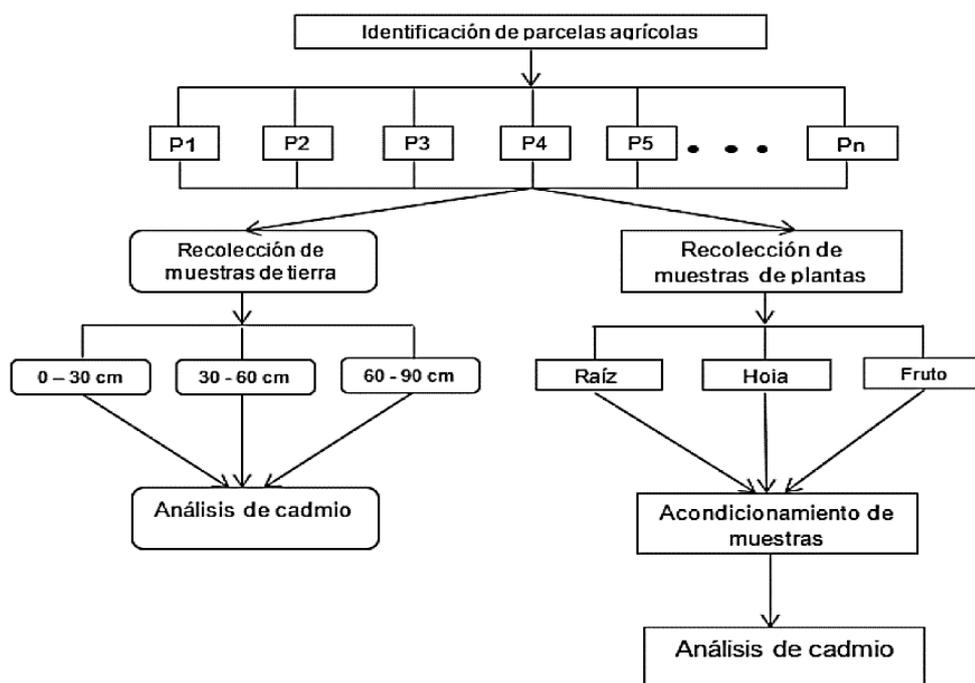


Figura 2. Diagrama de metodología aplicada

Para cada parcela agrícola, fueron de 1 hectárea, donde se realizaron las siguientes actividades:

### **3.5.3. Toma de muestras**

#### **a) Recolección de muestras de suelo**

Se colectaron a tres profundidades (0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm), con Barreno muestreador para suelo de 100 cm, de tal manera que de cada parcela de 1 ha, se obtuvieron tres muestras de suelo (cada una corresponde a una profundidad. El muestreo para cada caso se efectuó al azar, de acuerdo a la metodología planteada por Bazán (2017) y Hernández (2014), donde cada muestra estará conformada por 20 submuestras. Las muestras de suelo fueron secadas al aire con ventilador de techo Industrial, luego fueron molidas y tamizadas para finalmente obtener una muestra homogénea, posteriormente fueron etiquetadas y codificadas para su posterior análisis, todo el proceso se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

#### **b) Recolección de muestras de biológicas del cacao**

Para la colecta de muestras biológicas de cacao en el estudio se analizaron los niveles de cadmio en las hojas, en las almendras, en la mazorca y en las raíces del cacao. Donde en cada parcela se colectaron 50 hojas adultas, se utilizaron tijeras podadoras y bolsas de papel kraft de 24 x 8cm, se colectaron 4 frutos maduros de cacao, se recolectaron 500g de raíces en bolsitas de ziplock, debidamente codificadas, todas las muestras fueron obtenidas al azar. Todo el material biológico fue deshidratado a 60°C por 24 horas, de acuerdo a la metodología planteada por (García 2018). Posteriormente se procederá a etiquetarlas y codificarlas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

#### **c) Recolección de muestras de fuentes de agua**

Se colectaron 10 muestras de fuentes de agua de quebradas aledañas a las plantaciones de cacao muestreadas, de acuerdo a la metodología planteada por (Bazán 2017), para lo cual se colectó una muestra de 500 ml de agua en una botella de plástico, y posteriormente se procedió a

etiquetarlas y codificarlas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

#### **d) Acondicionamiento de las muestras**

Las muestras de suelo, agua, y las muestras biológicas, fueron procesadas y acondicionadas adecuadamente, con sus respectivas identificaciones en el laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Determinación de los niveles de Cadmio. Las muestras colectadas de hojas, raíz, mazorca y suelo fueron enviadas al Laboratorio de Suelos Plantas y Aguas (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se determinaron los niveles de cadmio existentes en cada muestra, empleándose el método de digestión ácida EPA-3050B ( $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2$ ) y Espectrofotometría de Absorción Atómica. De la misma manera, para la caracterización del suelo. Los análisis se efectuaron según los protocolos planteados por (Bazán 2017), (García 2018).

### **3.6. Tratamiento de los datos**

Se realizó el análisis descriptivo (medidas de tendencia central y de dispersión), para resumir valores de concentraciones de cadmio para los distritos, las piedras, Tahuamanu, Iberia, Iñapari de la provincia de Tahuamanu. Para comparar concentraciones de cadmio de los órganos vegetativos y suelos en cacao para los tres distritos de estudio se utilizaron métodos paramétricos (ANOVA). Se realizaron regresiones no lineales para modelar la relación de cadmio en suelos y los órganos vegetativos del cacao. Los análisis fueron realizados mediante el software R 4.03 y Sigmaplot 14.5. Del mismo modo los gráficos en caso de R fueron realizados mediante el paquete GGplot 2 y software Sigmaplot

### 3.7. Recursos

#### 3.7.1. Materiales de equipo

En el (cuadro 2). se muestran la lista de los materiales y equipos empleados durante la investigación.

Cuadro 1. Materiales y equipos

Campo	Laboratorio	Software
<ul style="list-style-type: none"> <li>- GPS GARMIN MAP 66s.</li> <li>- Barreno muestreador para suelo 100cm, marca Made in América.</li> <li>- Tijera de podar Truper.</li> <li>- Poncho de lluvia.</li> <li>- Botas de PVC Venus.</li> <li>- Pilas Duracell AA.</li> <li>- Marcadores permanentes Faber Castell.</li> <li>- Bolsas zickploc grande.</li> <li>- Bolsas de papel kraft de 24 x 8cm.</li> <li>- Tablero de madera.</li> <li>- Hojas boom (formato de datos de predios).</li> <li>- Lápiz 2b Faber Castell.</li> <li>- Cámara Digital Samsung WB110, 20mpx.</li> <li>- Guantes de trabajo de protección de agarre de seguridad tela.</li> <li>- Escobilla.</li> <li>- Botella de plástico de 500ml.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estufa/horno de laboratorio de mesa 30L Induster Perú.</li> <li>- Ventilador de techo. Industrial - 56".</li> <li>- Mortero con pilón.</li> <li>- Tamizador cernedor de laboratorio.</li> <li>- Balanza analítica digital de precisión de laboratorio, marca cas cau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microsoft Excel</li> <li>- Microsoft Word</li> <li>- ArcGIS versión 10.8.</li> <li>- R versión 4.2.2.</li> </ul>

## **CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION**

El presente estudio, se llevó a cabo una exhaustiva evaluación de los niveles de cadmio en sistemas agroforestales de plantaciones de *Theobroma cacao* L, en la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios. Los objetivos específicos se enfocaron en evaluar los niveles de cadmio a tres diferentes profundidades del suelo, cuantificar las concentraciones de cadmio en las fuentes de agua aledañas a las plantaciones de cacao, y determinar los niveles de acumulación de cadmio en las partes vegetativas del cultivo de cacao.

### **4.1. Cadmio en el Suelos**

#### **4.1.1. Influencia en las localidades y Profundidad de los suelos en los sistemas agroforestales con cacao.**

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para examinar la influencia de la localidad y la Profundidad en los niveles de cadmio en el suelo. Los resultados revelaron diferencias significativas entre las localidades ( $p < 0.001$ ), indicando variaciones en los niveles de cadmio (Figura 3). No obstante, la Profundidad no mostró una influencia significativa ( $p = 0.704$ ), este resultado está por debajo de los valores límites permisibles del MINAM, reportado por (Rosales Huamani et al. 2021). Sugiriendo que los niveles de cadmio no variaron sustancialmente con la profundidad del suelo. La interacción entre localidad y Profundidad tampoco fue significativa ( $p = 0.970$ ) (Figura 4).

En la (Tabla 2) se muestran las concentraciones de cadmio en el suelo, para las diferentes localidades que fueron clasificados por grupos, donde “a, ab, b, bc, c”.

Tabla 2. concentraciones de Cd en el suelo clasificado por grupos, según las localidades de estudio.

Localidad	Cd en suelo (ppm)	Grupos
Bajo Madre de Dios	1.55	a
San Isidro	1.07	ab
Tropezon	1.06	ab
La Novia	0.99	b
Lucerna	0.96	b
Pacahuara	0.94	bc
Planchón	0.93	bc
Shiringayoc	0.92	bc
Abeja	0.90	bc
Floresta	0.85	bc
San Francisco	0.84	bc
Alegria	0.79	bc
Alerta	0.79	bc
Acre	0.78	bc
Putirija	0.77	bc
Fray Martín	0.76	bc
Mavila	0.74	bc
Sudadero	0.72	bc
Alto Loboyoc	0.71	bc
Cafetal	0.71	bc
Pampa Hermsa	0.48	c

En la prueba de Tukey, se identificaron diferencias significativas entre las localidades. Bajo Madre de Dios destacó con el nivel más alto de cadmio, seguido por San Isidro y Tropezón en un grupo intermedio, y La Novia y Lucerna en otro grupo. Estos hallazgos sugieren que la ubicación geográfica influye significativamente en los niveles de cadmio en el suelo de los sistemas agroforestales con cacao, así mismo en la región San Martín (Perú) (Mendoza-López et al. 2021). Se reportaron altas concentraciones de cadmio en suelos.

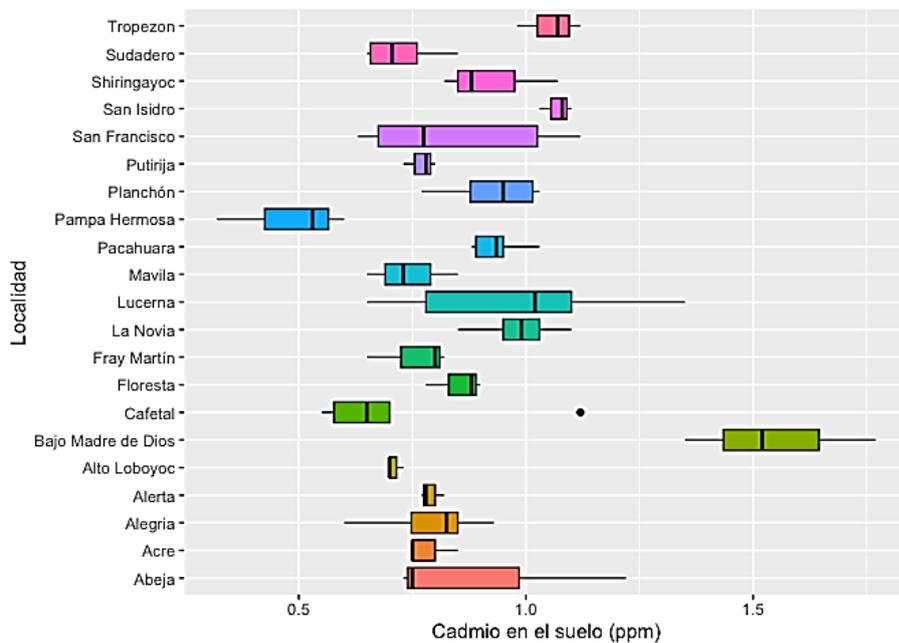


Figura 3. Boxplot de los niveles de cadmio en el suelo en diferentes localidades

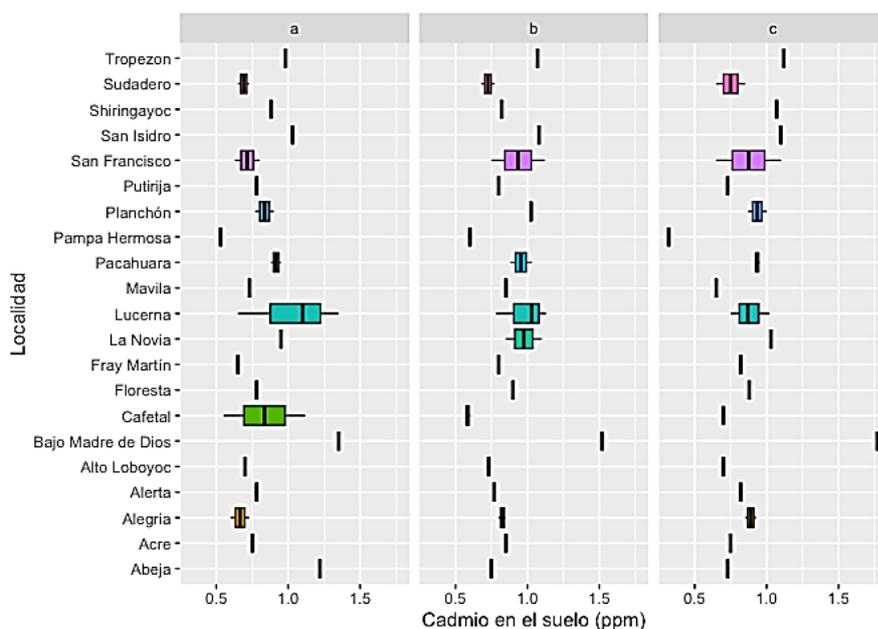


Figura 4. Boxplot de los niveles de cadmio en el suelo en diferentes localidades

#### 4.1.2. Influencia de las Especies y Profundidad de suelo

Otro análisis de varianza se llevó a cabo para evaluar la influencia de las Especies y la Profundidad en los niveles de cadmio en el suelo. Las Especies mostraron diferencias significativas ( $p = 0.033$ ), indicando variaciones entre ellas. Sin embargo, la Profundidad no tuvo una influencia

significativa ( $p = 0.791$ ), y la interacción Especies: Profundidad tampoco fue significativa ( $p = 0.375$ ) (Figura 5).

La prueba de Tukey para las especies reveló diferencias significativas entre algunas de ellas. La asociación con “iii” y “i” especie, destacaron como los grupos con los niveles más altos de cadmio, mientras que la asociación con “v” y “vi” especie, mostraron niveles más bajos. Este hallazgo resalta la importancia de la selección de especies en la gestión de los niveles de cadmio en el suelo de los sistemas agroforestales (Figura 6), Las altas concentraciones de cadmio en los suelos puede deberse a fuentes geológicas de contaminación o por actividades antropogénicas (Huamaní-Yupanqui et al. 2012). Esto es consistente con el presente estudio ya que los sistemas agroforestales de cacao se manejan con agroquímicos. Esto se debe a que muchas de las plantaciones de cacao utilizan fertilizantes a base de fosfatos

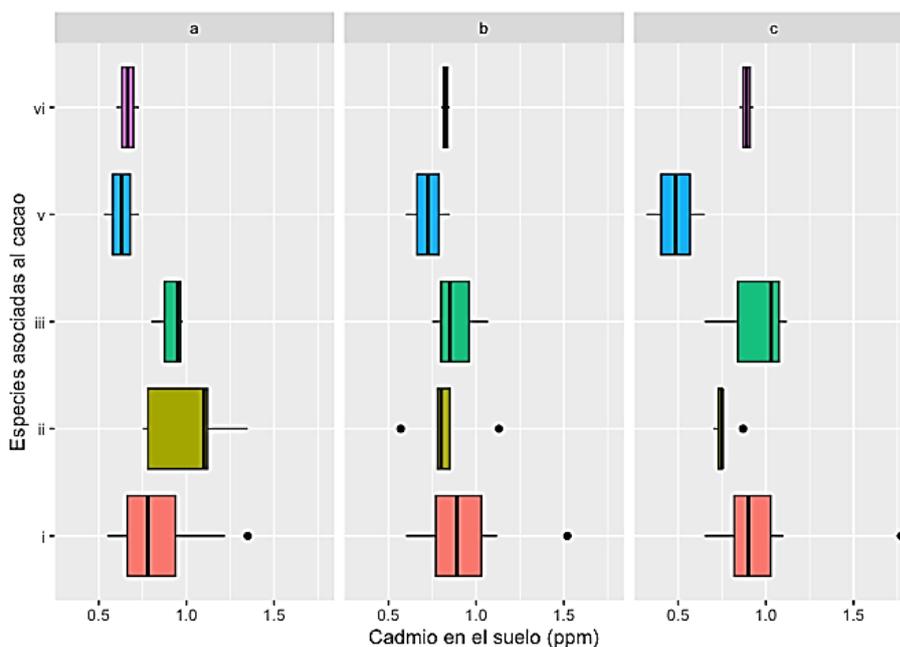


Figura 5. Boxplot del análisis de la varianza entre la especie y la profundidad en los niveles de cadmio en el suelo

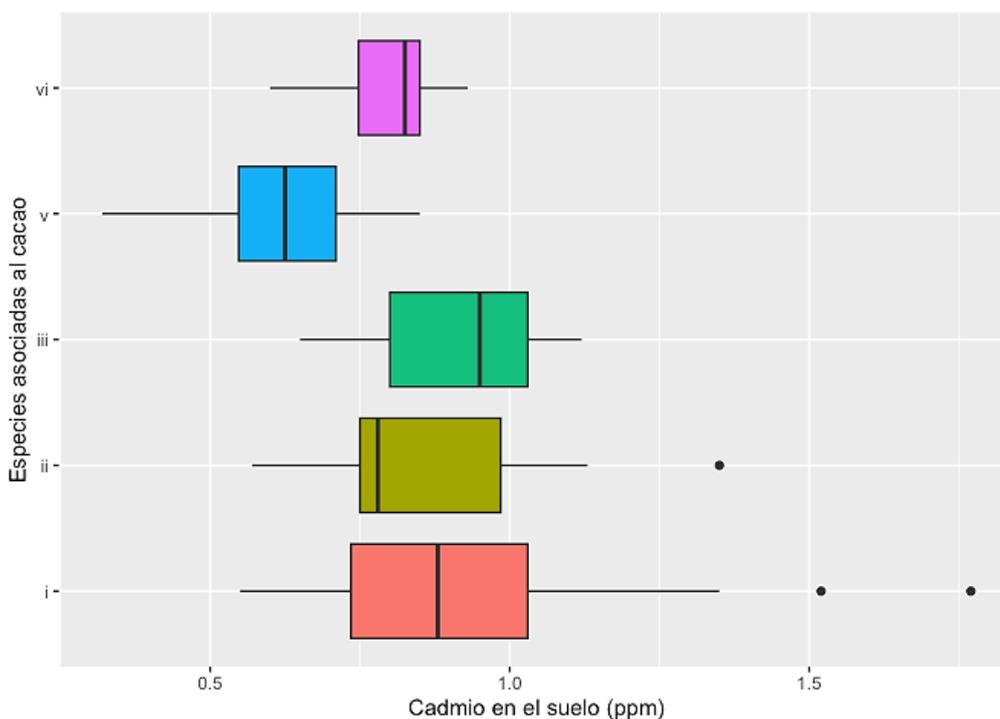


Figura 6. Boxplot del análisis de la varianza este las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio

## 4.2. Cadmio en partes vegetativas del cacao

### 4.2.1. Acumulación de Cadmio en Hojas según sectores

El análisis de varianza (ANOVA) reveló variaciones significativas en la acumulación de cadmio en las hojas del cacao entre las diferentes localidades. Esta variabilidad sugiere una influencia importante de factores geográficos y ambientales en la absorción y acumulación de cadmio por parte de las plantas de cacao. La prueba de Tukey identificó grupos de los sectores, con niveles similares de acumulación, destacando a los sectores de "Putirija" y "Bajo Madre de Dios" como los sectores con los niveles más altos de cadmio en las hojas, estos valores de Cd en las hojas son superiores a los reportados por (Mendoza-López et al. 2021). Asimismo, superan el límite máximo permitidos por la OMS de 0,5 ppm. Se encontró mayores valores de concentración de cd en hojas en comparación con los demás órganos vegetativos. (Figura 7). Esto se debe a la capacidad del cadmio para desplazarse y movilizarse hacia los distintos órganos vegetativos del cacao (Llatance et al. 2018). Esta variación puede atribuirse

a diferencias en las características del suelo, prácticas agrícolas locales y otros factores ambientales. La significativa acumulación de cadmio en los sectores de "Putirija" y "Bajo Madre de Dios" subraya la necesidad de un monitoreo específico en estas áreas para gestionar eficazmente el riesgo de contaminación por cadmio.

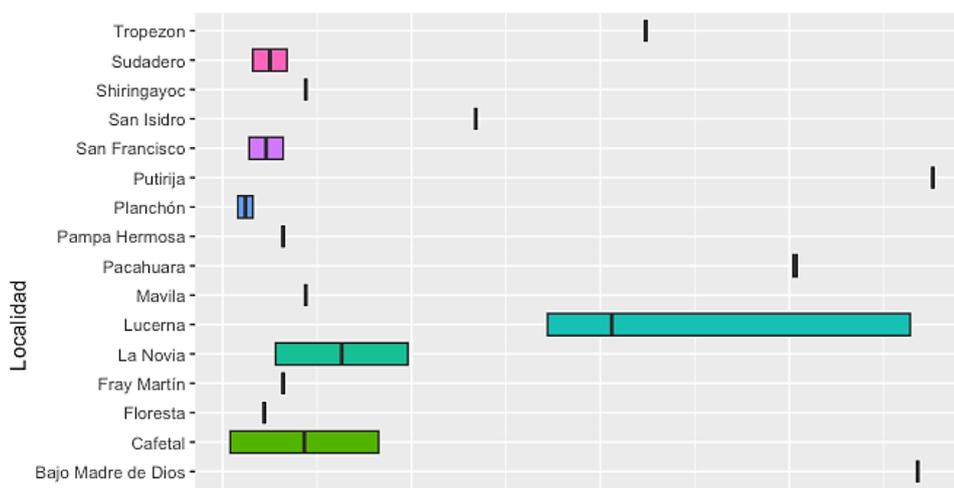


Figura 7. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en las hojas por localidad



#### 4.2.2. Acumulación de Cadmio en Hojas según Especies Asociadas al cultivo de Cacao

El análisis de la acumulación de cadmio en las hojas según las especies asociadas al cultivo de cacao también mostró diferencias significativas. La asociación con "iii" especies, se destacó al acumular significativamente más cadmio en las hojas en comparación con las demás. Este hallazgo sugiere que no todas las especies de cacao responden de la misma manera a la presencia de cadmio en el entorno.

En el (cuadro 3). Se muestran las especies asociadas I, II, III, V, VI

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
<i>Inga edulis</i>	Guaba
<i>Bertholletia excelsa</i>	Castaña
<i>Dipteryx micrantha</i>	Shihuahuaco
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Capirona
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro
<i>Schizolobium excelsum</i>	Pashaco
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Pumaquiro
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Quillabordon
<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Uvilla
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Ana caspi
<i>Ceiba pentrandia</i>	Lupuna

Cuadro 2. Especies asociadas al cultivo de cacao

ESPECIES ASOCIADAS	COMBINACIONES ENCONTRADAS		
I	Guaba	--	--
II	Guaba Castaña	Guaba Shihuahuaco	Guaba Capirona
III	Guaba Caoba Pashaco	Guaba Castaña Cedro	-- -- --
V	Guaba Caoba Castaña Shihuahuaco Pumaquiro	-- -- -- -- --	-- -- -- -- --
VI	Guaba Castaña Pashaco Caoba Cedro Quillabordon	Guaba Uvilla Quillabordon Cedro Caoba Castaña	Guaba Anacspi Shihuahuaco Lupuna Pumaquiro Cedro

Cuadro 3. Especies forestales asociadas al cultivo de cacao

La diversidad en las respuestas de las especies podría tener implicaciones importantes para la selección de variedades de especies asociadas al cultivo de cacao en la región. La recomendación sería evaluar con precaución la asociación con "ii" especies, en áreas propensas a la contaminación por cadmio y considerar otras especies que demuestren una menor tendencia a acumular este metal pesado (Figura 8).

En la (Tabla 3). Se muestran las concentraciones de cadmio en las hojas de cacao, para las diferentes localidades que fueron clasificados por grupos "a, ab, b, bc, c".

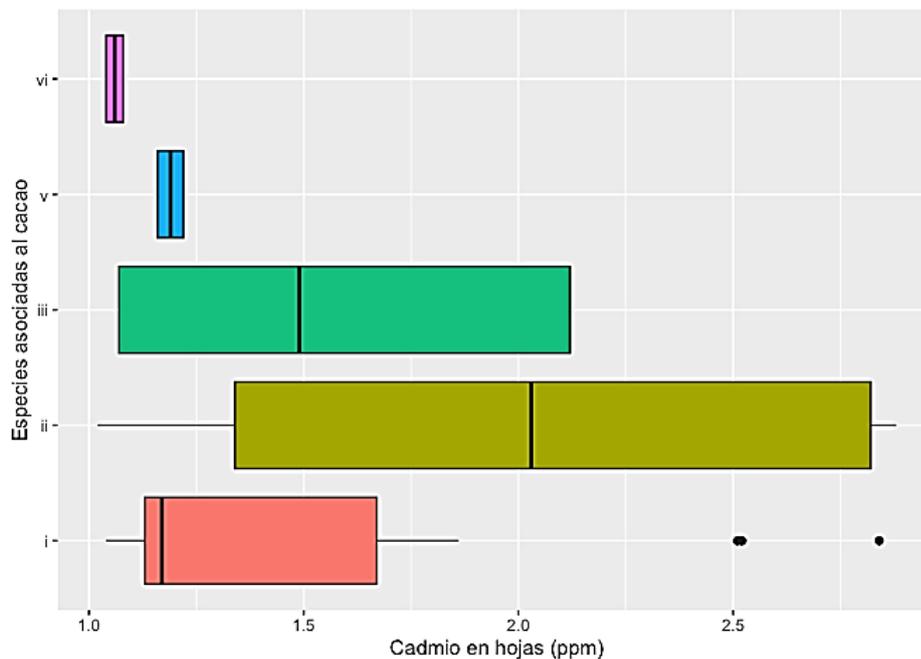


Figura 8. Boxplot del análisis de la varianza este las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de las hojas

Tabla 3. Concentraciones de Cd en las hojas de cacao, clasificado por grupo para las localidades estudiadas

Localidad	Cd en hojas (ppm)	Grupos
Putirija	2.88	a
Bajo Madre de Dios	2.84	a
Pacahuara	2.52	ab
Lucerna	2.24	b
Tropezon	2.12	bc
San Isidro	1.67	cd
Alerta	1.44	de
Acre	1.34	de
La Novia	1.32	de
Mavila	1.22	de
Shiringayoc	1.22	de
Cafetal	1.22	e
Abeja	1.17	e
Fray Martín	1.16	e
Pampa Hermsa	1.16	e
Alto Loboyoc	1.13	e
Sudadero	1.13	e
San francisco	1.12	e
Floresta	1.11	e
Alegria	1.06	e
Planchón	1.06	e

### 4.3. Cadmio en Semillas de Cacao

El análisis detallado de la acumulación de cadmio en las semillas de cacao reveló patrones significativos en función de la localidad y la especie. Se llevaron a cabo análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias en la acumulación de cadmio tanto entre localidades como entre especies asociadas al cultivo de cacao.

#### 4.3.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para localidades

El ANOVA realizado para evaluar la acumulación de cadmio en las semillas en función de la localidad mostró diferencias estadísticamente significativas ( $F = 4.932$ ,  $p < 0.001$ ). La prueba de Tukey reveló que en el sector "Lucerna" presentó la acumulación más alta, seguida de cerca por "Bajo Madre de Dios" y "Tropezon". Estas diferencias sugieren una variabilidad geográfica en la acumulación de cadmio en las semillas y destacan la importancia de considerar factores locales en las estrategias de gestión.

En la (Tabla 4). Se muestran las concentraciones de cadmio en la semilla de cacao, para las diferentes localidades que fueron clasificados por grupos "a, ab, b, bc, c".

Tabla 4. Concentraciones de Cd en las almendras de cacao, clasificado en grupos para las localidades estudiadas

Localidad	Cd en semillas (ppr)	Grupos
Lucerna	1.02	a
Bajo Madre de Dios	0.95	ab
Tropezon	0.52	abc
Pacahuara	0.47	bc
Putirija	0.42	bc
Pampa Hermsa	0.41	bc
Shiringayoc	0.38	bc
Mavila	0.33	bc
San Isidro	0.33	bc
Acre	0.32	bc
Floresta	0.32	bc
Planchón	0.32	c
Sudadero	0.31	c
Cafetal	0.31	c
Alegria	0.30	c
Alerta	0.29	c
Fray Martín	0.29	c
La Novia	0.29	c
San francisco	0.27	c
Alto Loboyoc	0.26	c
Abeja	0.22	c

### 4.3.2. Prueba de Tukey para sectores

La prueba de Tukey permitió identificar grupos de localidades con niveles de acumulación de cadmio no significativamente diferentes entre sí. "Lucerna" se destacó como un grupo con la acumulación más alta, seguido por "Bajo Madre de Dios" y "Tropezon". El nivel máximo permitido en granos crudos varía entre 0,5 y 1,1 ppm para América Latina y el Caribe (Meter, Atkinson y Labiberte 2019) . El resultado de concentración de cd promedio para las tres localidades están dentro de rango establecido. Este análisis detallado proporciona información crucial para la toma de decisiones a nivel local, permitiendo la implementación de estrategias de gestión adaptativas y específicas para cada región (figura 9).

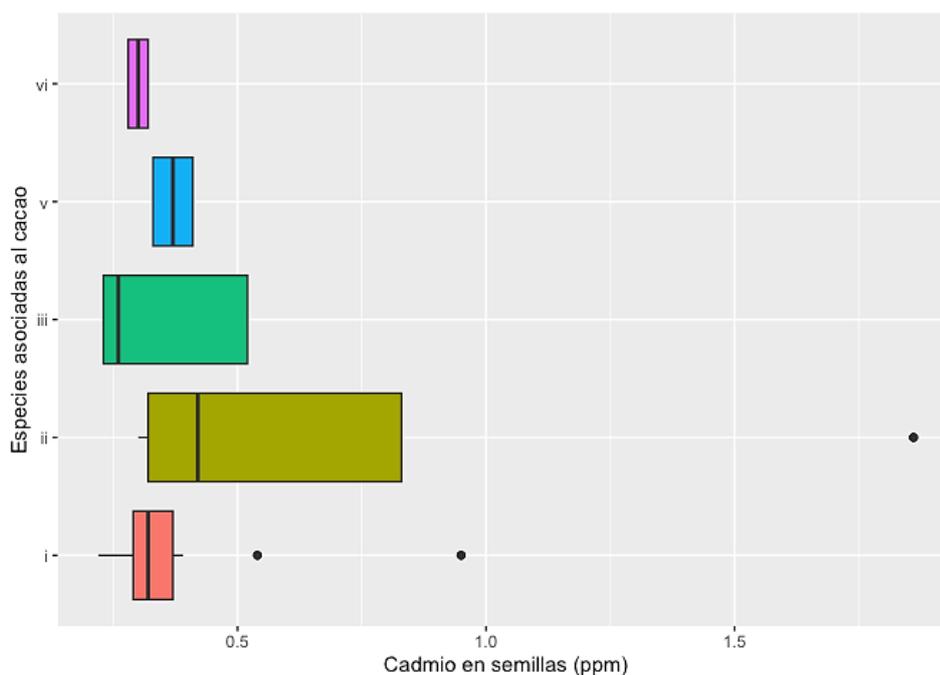


Figura 9. Boxplot del análisis de la varianza de las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de las semillas

### 4.3.3. Análisis de Varianza (ANOVA) para especies asociadas al cultivo de cacao de cacao

El ANOVA para evaluar la acumulación de cadmio en función de las especies asociadas al cultivo de cacao también reveló diferencias significativas ( $F = 6.14$ ,  $p < 0.001$ ). La asociación con "ii" especies, presentó la acumulación más alta, seguida por "v" y "i". Estas variaciones genéticas subrayan la importancia de la selección de especies en la gestión de la acumulación de cadmio en las semillas de cacao (figura 10).

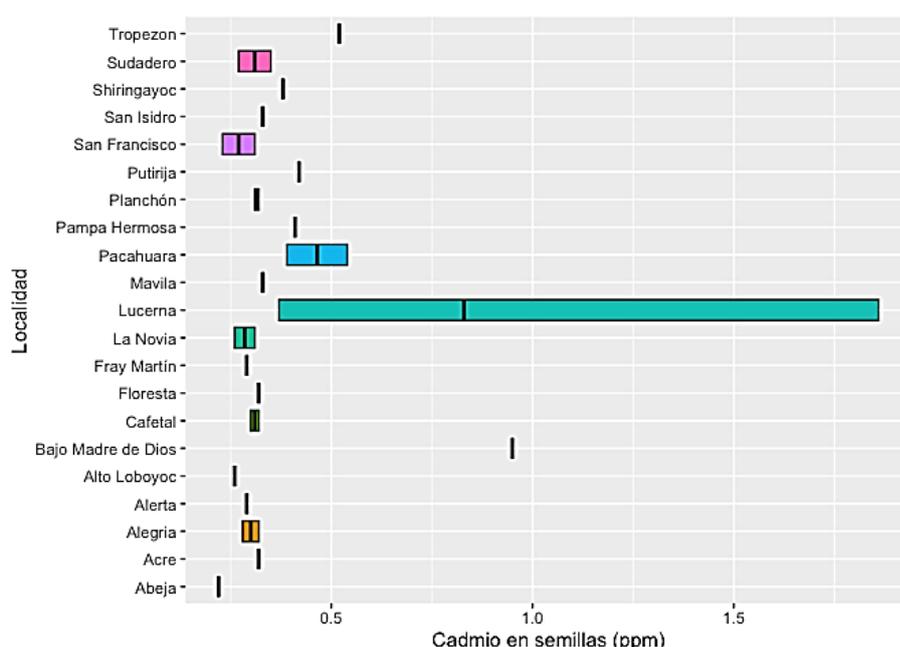


Figura 10. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en las semillas por localidad

### 4.3.4. Prueba de Tukey para especies asociadas al cultivo de cacao

La prueba de Tukey identificó grupos de especies con niveles de acumulación de cadmio significativamente diferentes. La especie "ii" se destacó con la acumulación más alta, seguida por "v" y "i". Este hallazgo tiene implicaciones importantes para los agricultores al seleccionar las variedades de cacao más adecuadas para minimizar la acumulación de cadmio en las semillas.

#### 4.4. Cadmio en cascara de Cacao

La evaluación de los niveles de acumulación de cadmio en cáscaras de cacao reveló patrones significativos, tanto a nivel local como entre diferentes especies asociadas al cultivo de cacao. Se llevaron a cabo análisis de varianza (ANOVA) para analizar las diferencias en la acumulación de cadmio en las cáscaras, considerando la localidad y la especie como factores clave.

##### 4.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para Localidades

El ANOVA aplicado para evaluar la acumulación de cadmio en cáscaras en función de la localidad mostró diferencias altamente significativas ( $F = 13.89$ ,  $p < 0.001$ ). La prueba de Tukey destacó que los sectores "Bajo Madre de Dios" y "Lucerna" presentaron los niveles más altos de acumulación de cadmio en las cáscaras, siendo estadísticamente diferentes del resto. Estos valores son superiores a los reportado por (Santander Ruiz et al. 2021). Estos resultados indican una variabilidad geográfica significativa en la contaminación por cadmio en las cáscaras de cacao (figura 11).

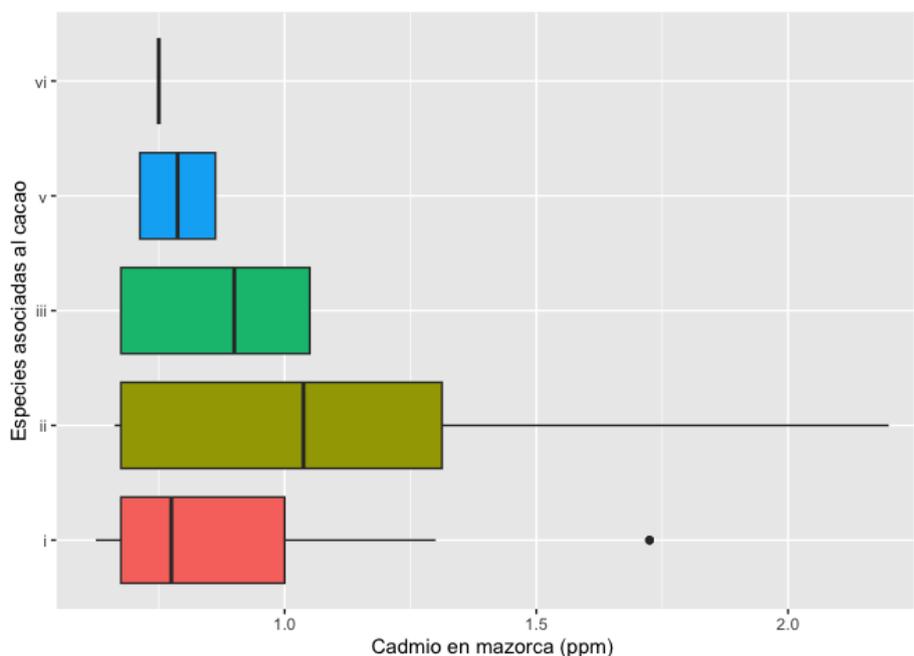


Figura 11. Boxplot del análisis de la varianza entre las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de la cascara

#### 4.4.2. Prueba de Tukey para sectores

La prueba de Tukey proporcionó una visión detallada de las diferencias entre los sectores de "Bajo Madre de Dios" y "Lucerna" se identificaron como grupos con la acumulación más alta de cadmio en cáscaras, mientras que otros sectores como "Pacahuara" y "San Francisco" formaron grupos con niveles más bajos, pero no significativamente diferentes entre sí. Estos hallazgos permiten una comprensión detallada de la variabilidad geográfica, crucial para la gestión local de la contaminación por cadmio.

En la (Tabla 5). Se muestran las concentraciones de cadmio en la cascara de cacao, para las diferentes localidades que fueron clasificados por grupos "a, ab, b, bc, c".

Tabla 5. Acumulación de Cd en la cascara del fruto de cacao, clasificado por grupo para las localidades estudiadas

Localidad	Cd en cascara (ppm)	Grupos
Bajo Madre de Dios	1.73	a
Lucerna	1.57	a
Pacahuara	1.15	b
San Isidro	1.11	bc
Tropezon	1.05	bc
Putirija	1.04	bc
Shiringayoc	0.89	bc
Mavila	0.86	bc
Alto Loboyoc	0.78	bc
La Novia	0.77	c
Alegria	0.75	c
Fray Martín	0.74	c
Cafetal	0.73	c
Sudadero	0.73	c
San francisco	0.73	c
Pampa Hermsa	0.71	c
Alerta	0.70	c
Planchón	0.70	c
Floresta	0.68	c
Acre	0.66	c
Abeja	0.63	c

#### 4.4.3. Análisis de Varianza (ANOVA) para especies asociadas

El ANOVA realizado para evaluar la acumulación de cadmio en cáscaras en función de las especies también reveló diferencias significativas ( $F = 3.162$ ,  $p = 0.0179$ ). La especie "ii" presentó la acumulación más alta, seguida por "i" y "iii". Estos resultados resaltan la influencia genética en la acumulación de cadmio en las cáscaras de cacao (figura 12).

#### 4.4.4. Prueba de Tukey para Especies asociadas

La prueba de Tukey identificó grupos de especies con niveles de acumulación de cadmio significativamente diferentes. La especie "ii" se destacó con la acumulación más alta, mientras que "i" y "iii" formaron un grupo con niveles intermedios. Este hallazgo destaca la importancia de la selección de especies en la gestión de la contaminación por cadmio en las cáscaras de cacao.

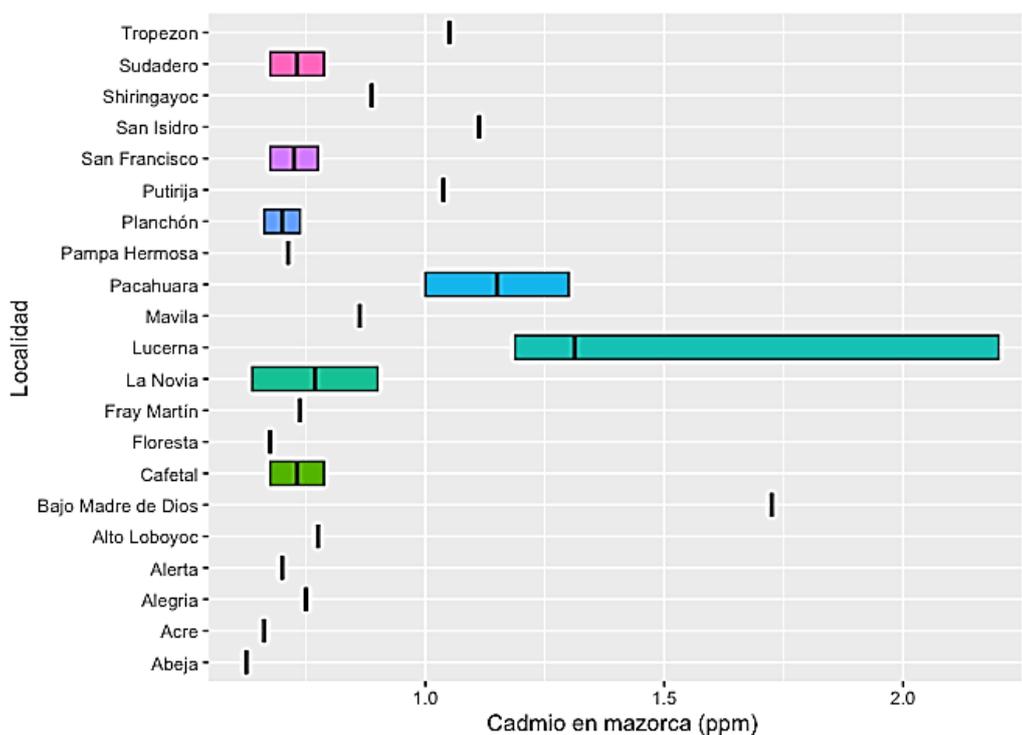


Figura 12. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en las cascara por localidad

#### 4.5. Acumulación de Cadmio en raíz de Cacao

La evaluación de los niveles de acumulación de cadmio en las raíces de cacao reveló patrones significativos, tanto a nivel local como entre diferentes especies de cacao. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para examinar las diferencias en la acumulación de cadmio en las raíces, considerando la localidad y la especie como factores clave.

##### 4.5.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para sectores

El ANOVA aplicado para evaluar la acumulación de cadmio en las raíces en función de la localidad mostró diferencias altamente significativas ( $F = 8.355$ ,  $p < 0.001$ ). La prueba de Tukey destacó que los sectores "Lucerna" y "Pacahuara" presentaron los niveles más altos de acumulación de cadmio en las raíces, siendo estadísticamente diferentes del resto. Estos resultados indican una variabilidad geográfica significativa en la contaminación por cadmio en las raíces de cacao (figura 13).

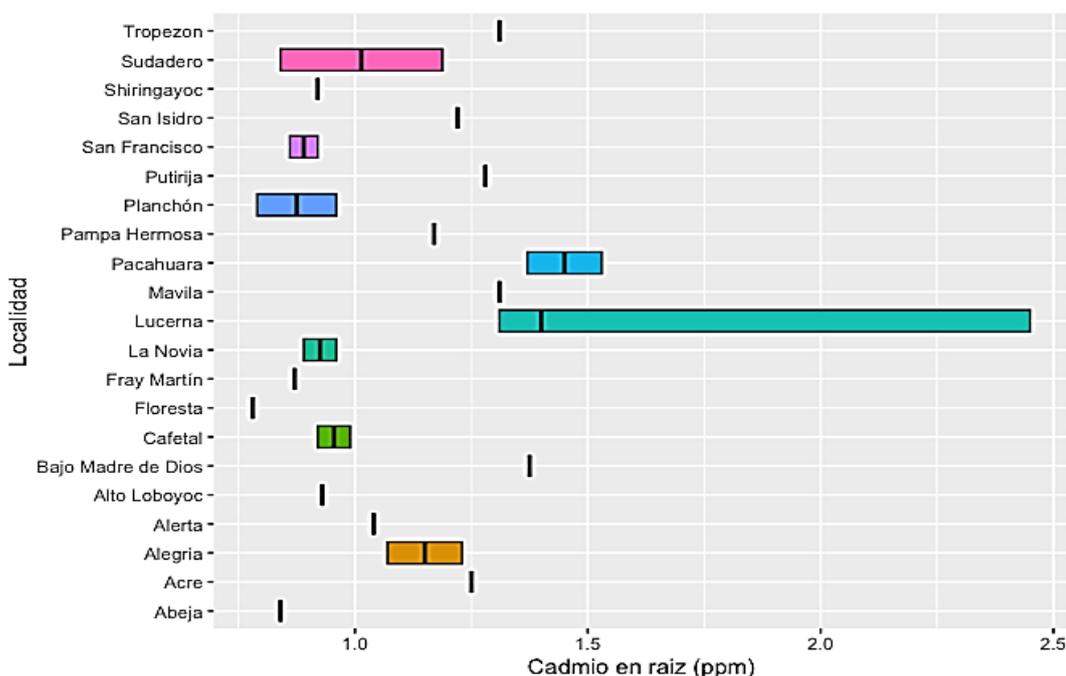


Figura 13. Boxplot del análisis de la varianza de la concentración de cadmio en la raíz por localidad

#### 4.5.2. Prueba de Tukey para sectores

La prueba de Tukey proporcionó una visión detallada de las diferencias entre las localidades. "Lucerna" y "Pacahuara" se identificaron como grupos con la acumulación más alta de cadmio en las raíces, mientras que otras localidades como "Bajo Madre de Dios" y "Mavila" formaron grupos con niveles más bajos, pero no significativamente diferentes entre sí. Estos hallazgos permiten una comprensión detallada de la variabilidad geográfica, crucial para la gestión local de la contaminación por cadmio en las raíces de cacao.

En la (Tabla 6). Se muestran las concentraciones de cadmio en la cascara de cacao, para las diferentes localidades que fueron clasificados por grupos "a, ab, b, bc, c".

Tabla 6. Concentraciones de Cd en la raíz del cacao, clasificado en grupos para las localidades estudiadas.

Localidad	Cd en raíz (ppm)	Grupos
Lucerna	1.72	a
Pacahuara	1.45	ab
Bajo Madre de Dios	1.38	abc
Mavila	1.31	abc
Tropezon	1.31	abc
Putirija	1.28	abc
Acre	1.25	abc
San Isidro	1.22	bc
Pampa Hermsa	1.17	bc
Alegria	1.15	bc
Alerta	1.04	bc
Sudadero	1.01	c
Cafetal	0.96	c
Alto Loboyoc	0.93	c
La Novia	0.93	c
Shiringayoc	0.92	c
San francisco	0.89	c
Planchón	0.88	c
Fray Martín	0.87	c
Abeja	0.84	c
Floresta	0.78	c

#### 4.5.3. Análisis de Varianza (ANOVA) para Especies Asociadas

El ANOVA realizado para evaluar la acumulación de cadmio en las raíces en función de las especies también reveló diferencias significativas ( $F = 6.524$ ,  $p = 0.0001$ ). La especie "ii" presentó la acumulación más alta, seguida por "v" y "vi". Estos resultados resaltan la influencia genética en la acumulación de cadmio en las raíces de cacao (figura 14).

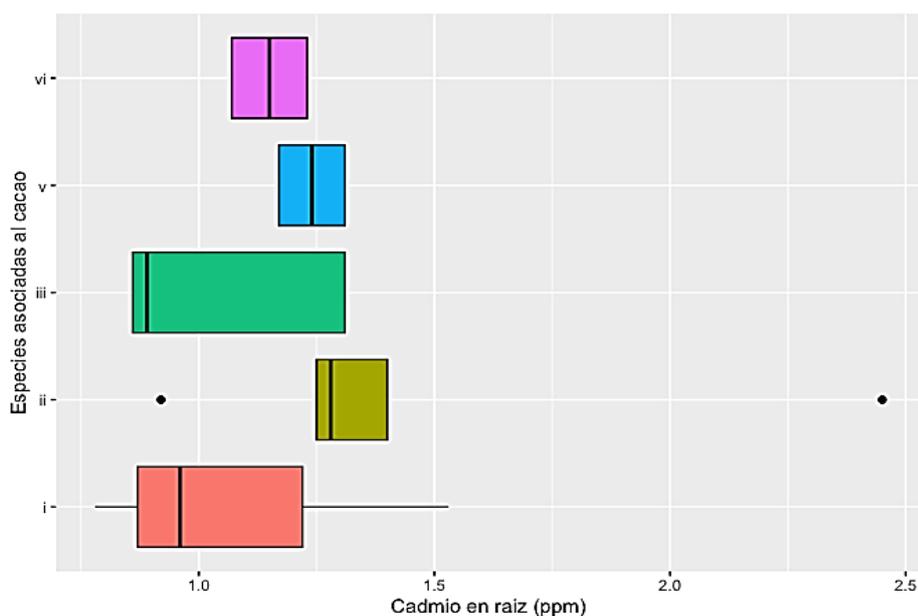


Figura 14. Boxplot del análisis de la varianza para las especies asociadas al cacao en los niveles de cadmio de la raíz

#### 4.5.4. Prueba de Tukey para Especies Asociadas

La prueba de Tukey identificó grupos de especies con niveles de acumulación de cadmio significativamente diferentes. La especie "ii" se destacó con la acumulación más alta, mientras que "v" y "vi" formaron un grupo con niveles intermedios. Este hallazgo destaca la importancia de la selección de especies en la gestión de la contaminación por cadmio en las raíces de cacao.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo al trabajo realizado se concluye que los niveles de cadmio a diferentes profundidades del suelo, el sector de Bajo Madre de Dios destacó con el nivel más alto de cadmio, seguido por San Isidro y Tropezón se identificaron como un grupo intermedio, La Novia y Lucerna en otro grupo.
- Por otra parte, la acumulación de cadmio en las hojas del cacao entre las diferentes localidades, encontrándose con niveles similares de acumulación, destacando así los sectores de "Putirija" y "Bajo Madre de Dios" como los sectores con los niveles más altos de cadmio en las hojas, esta variación puede atribuirse a diferencias en las características del suelo.
- En cuanto la acumulación de cadmio en las semillas de cacao, en el sector "Lucerna" se encontró la acumulación más alta, seguida por el sector "Bajo Madre de Dios" y "Tropezon". Estas diferencias sugieren una variabilidad geográfica en la acumulación de cadmio en las semillas y destacan la importancia de considerar factores locales en las estrategias de gestión.
- Para la acumulación de cadmio en cáscaras (mazorca), por localidad se mostraron diferencias altamente significativas encontrándose a los sectores de "Bajo Madre de Dios" y "Lucerna" con los niveles más altos de acumulación de cadmio en las cáscaras. Se proporcionó una visión detallada de las diferencias entre los sectores de "Bajo Madre de Dios" y "Lucerna" como grupos con la acumulación más alta de cadmio en cáscaras, mientras que otros sectores como "Pacahuara" y "San Francisco" formaron grupos con niveles más bajos.
- Se concluye que se encontraron diferencias significativas entre localidades, con un 95% de certeza, las localidades de Bajo Madre de Dios, San Isidro y Tropezón, se encuentran las mayores concentraciones de cadmio, y así mismo se encuentran en menor cantidad de cadmio, por debajo de 0.70 ppm, en las localidades de Alegría, Alerta, Acre, Putirija, Fray Martin, Mavila, Sudadero, Alto Loboyoc, Cafetal y Pampa Hermosa.

## **SUGERENCIAS**

De acuerdo con el trabajo de investigación se sugiere lo siguiente:

1. Debido a la gran importancia que ha generado el cultivo de cacao no solo a nivel local, nacional e internacional se deben de realizar investigaciones referentes al tema de este metal pesado para así prevenir futuras pérdidas en su comercialización.
2. Para reducir el contenido de cadmio en el suelo y también en las partes vegetativas del cacao, se sugiere realizar correcciones de suelo mediante el uso de enmiendas, para así evitar suelos muy ácidos, es una alternativa agronómica para reducir la absorción de cadmio y otros metales pesados.
3. Para futuras investigaciones del cultivo de cacao con sistemas agroforestales, se recomienda que los sitios evaluados obtén por asociar más especies forestales en el cultivo de cacao.
4. En el futuro, se deberán tomar importancia sobre el contenido de este metal en diferentes capas de la planta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACOSTA, S. y POZO, P., 2013. DETERMINACIÓN DE CADMIO EN LA ALMENDRA DE CACAO (*Theobroma cacao*) DE CINCO FINCAS UBICADAS EN LA VÍA SANTO DOMINGO-ESMERALDAS, MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO DETERMINATION OF CADMIUM IN THE COCOA (*Theobroma cacao*) ALMONDCROP OF FIVE FARMS ON THE ROAD SANTO DOMINGO-ESMERALDAS, BY ATOMIC ABSORPTIONSPECTROPHOTOMETRY WITH GRAPHITE FURNACE. . Quito, Ecuador:
- AL-KHAYRI, J.M., JAIN, S.M. y JOHNSON, D. V., 2019. Advances in plant breeding strategies: Industrial and food crops. S.l.: Springer International Publishing. vol. 6. ISBN 9783030232658.
- ALVARES MORALES, E.L., GUILLIN LLANOS, X.M. y RODRIGUEZ ANGULO, D.E., 2021. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE LA PRESENCIA DEL CADMIO EN EL CULTIVO DE CACAO (*theobroma cacao*). Classic And Intelligent Temperature Control In A Hydroponic Greenhouse Prototype,
- ARÉVALO, gardini E., OBANDO, cerpa M.E., ZÚÑIGA, cernades L.B. y ARÉVALO, hernández C.O., 2016. METALES PESADOS EN SUELOS DE PLANTACIONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN TRES REGIONES DEL PERÚ. , vol. 15, no. 2,
- BAZÁN, R., 2017. Manual De Procedimientos De Los Análisis De Suelos Y Agua Con Fines De Riego. Manual De Procedimientos De Los Análisis De Suelos Y Agua Con Fines De Riego [en línea], Disponible en: [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual\\_de\\_procedimientos\\_de\\_los.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf).
- BEG, M.S., AHMAD, S., JAN, K. y BASHIR, K., 2017. Status, supply chain and processing of cocoa - A review. Trends in Food Science

& Technology, vol. 66, ISSN 0924-2244. DOI 10.1016/J.TIFS.2017.06.007.

CCME, 2007. Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health - Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans (PCDD/Fs). ,

CIFUENTES V, Rolando. y ALONSO F, Isabel., 2021. ACUMULACION DE CADMIO EN CACAO: UNA BARRERA A SUPERAR PARA LA EXPORTACION DEL GRANO Y SUS DERIVADOS. Centro de Estudios Agrícolas y alimentarios - CEAA,

DE SOUZA, P.A., MOREIRA, L.F., SARMENTO, D.H.A. y DA COSTA, F.B., 2018. Cacao—Theobroma cacao. Exotic Fruits Reference Guide, DOI 10.1016/B978-0-12-803138-4.00010-1.

DOSTERT, N., ROQUE, J., CANO, A., LA TORRE, M.I. y WEIGEND, M., 2012. Hoja botánica : Cacao Theobroma cacao L . , no. June, DOI 10.13140/RG.2.2.31228.44165.

FERNÁNDEZ P, J.A., 2022. Efecto fisiológico de la absorción de cadmio (Cd 2+ ) sobre accesiones de cacao (Theobroma cacao L.). . S.I.:

FLORIDA, R.N., CLAUDIO, M.S.L. y GÓMEZ, B.Raúl., 2019. EL pH Y LA ABSORCIÓN DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO ORGÁNICO (Theobroma cacao L.) EN LEONCIO PRADO, HUÁNUCO, PERU. Folia Amazónica, vol. 27, no. 1, ISSN 1018-5674. DOI 10.24841/fa.v27i1.438.

FLORIDA ROFNER, N., 2021. Cadmium in soil and cacao beans of peruvian and south american origin. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, vol. 74, no. 2, ISSN 22487026. DOI 10.15446/rfnam.v74n2.91107.

FURCAL BERIGUETE, P. y TORRES MORALES, J.L., 2020. Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de Theobroma cacao L. en Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha, ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v33i1.5027.

- GARCÍA, P., ESMERALDA, P., CRUZ, A. y ISABEL, M., 2012. Los efectos del cadmio en la salud. ,
- GARCIA, R.J.J., 2018. SELECCIÓN POR HIPOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN ÓRGANOS VEGETATIVOS Y REPRODUCTIVOS DE CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ESTACIÓN TULUMAYO. ,
- HUAMANÍ, Y.H.A., HUAUYA, R.M.Á., MANSILLA, M.L.G., FLORIDA, R.N. y NEIRA, T.G.M., 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronomica*, vol. 61, no. 4, ISSN 01202812.
- HUAMANÍ-YUPANQUI, H.A., HUAUYA-ROJAS, M.Á., MANSILLA-MINAYA, L.G., FLORIDA-ROFNER, N. y NEIRA-TRUJILLO, G.M., 2012. Presence of heavy metals in organic cacao [*Theobroma cacao* L.] crop. *Acta Agronómica*, vol. 61, no. 4, ISSN 0120-2812.
- HUAUYA, Miguel. y HUAMANI, Hugo., 2014. MACROFAUNA EDÁFICA Y METALES PESADOS EN EL CULTIVO DE CACAO, *THEOBROMA CACAO* L. (MALVACEAE). *The Biologist* (Lima),
- JIMENEZ T, C.S., 2015. Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. Junio de 2015. Colombia:
- KABATA, A. y PENDIAS, H., 2011. Trace Elements In soils and plants. ,
- KUBIER, A., WILKIN, R.T. y PICHLER, T., 2019. Cadmium in soils and groundwater: A review. 1 septiembre 2019. S.l.: Elsevier Ltd.
- LLATANCE, W.O., GONZA SAAVEDRA, C.J., GUZMÁN CASTILLO, W. y PARIENTE MONDRAGÓN, E., 2018. Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, vol. 33, no. 1, ISSN 0556-6592. DOI 10.21704/rfp.v33i1.1156.
- MENDOZA-LÓPEZ, K.L., MOSTACERO-LEÓN, J., LÓPEZ-MEDINA, S.E., EFRAÍN GIL-RIVERO, A., DE LA CRUZ-CASTILLO, A.J. y

- VILLENA-ZAPATA, L., 2021. Cadmium in *Theobroma cacao* L. "cacao" plantations in the San Martin region (Lamas), Peru. *Manglar*, vol. 18, no. 2, DOI 10.17268/manglar.2021.022.
- METER, A., ATKINSON, R. y LABIBERTE, B., 2019. Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe: Análisis de la Investigación y Soluciones Potenciales para la Mitigación [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796. Disponible en: [http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/20662/RETROALIMENTACION\\_FORMATIVA\\_ORTIZ\\_GUTIERREZ\\_AMANDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1505/Cadmio\\_en\\_el\\_cacao\\_de\\_America\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe.pdf](http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/20662/RETROALIMENTACION_FORMATIVA_ORTIZ_GUTIERREZ_AMANDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1505/Cadmio_en_el_cacao_de_America_Latina_y_el_Caribe.pdf).
- MINAGRI, M. de A. y R., 2019. Observatorio de Commodities: Cacao 2019. Observatorio De Commodities: Cacao [en línea], Disponible en: [http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/economia/e71/commodities\\_cacao\\_ene19.pdf](http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/economia/e71/commodities_cacao_ene19.pdf).
- ORGANISMO INTERNACIONAL REGIONAL DE SANIDAD AGROPECUARIA., 2020. Determinación de niveles de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao*), en Centro América y República Dominicana. Direccion Regional de Inocuidad de los Alimentos,
- RAMIREZ CHUJUTALLI, D.E., 2018. Determinación de niveles de concentración de cadmio (Cd) en hojas de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro - distrito de Irazola - provincia de Padre Abad - departamento de Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali, no. Cd,
- ROFNER, N.F., 2021. Review on maximum limits of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao* l.). *Granja*, vol. 34, no. 2, ISSN 13908596. DOI 10.17163/LGR.N34.2021.08.

ROSALES HUAMANI, J.A., CENTENO ROJAS, L., CAJACURI PEREZ, J.R., BREÑA ORE, J. y CHÁVEZ CHAPANA, C., 2021. Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de Cacao ubicados en la zona de Satipo - Junín. *TECNIA*, vol. 31, no. 2, ISSN 0375-7765. DOI 10.21754/tecnia.v21i2.1062.

SANTANDER RUIZ, Wilson., GARAY MONTES, Richer., VERDE GIRBAU, Carlos. y MENDIETA TABOADA, Oscar., 2021. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO EN SUELOS , FRUTOS, GRANOS FERMENTADOS Y SECOS, LICOR DE CACAO Y CHOCOLATE EN ZONAS PRODUCTORAS DE LA REGION SAN MARTIN. , vol. 87, no. 1, DOI 10.37761/rsqp.v87i1.321.

SOTO, benavente M., RODRIGUEZ, achata L. y OLIVERA, M., 2020. Scientia Agropecuaria Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in a. , vol. 11, no. 1, DOI 10.17268/sci.agropecu.2020.01.06.

THOMAS, E., ATKINSON, R., ZAVALETA, D., RODRIGUEZ, C., LASTRA, S., YOVERA, F., ARANGO, K., PEZO, A., AGUILAR, J., TAMES, M., RAMOS, A., CRUZ, W., COSME, R., ESPINOZA, E., CHAVEZ, C.R. y LADD, B., 2023. The distribution of cadmium in soil and cacao beans in Peru. *Science of the Total Environment*, vol. 881, ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.163372.

VELASQUEZ, R.M.G., 2017. METALES EN SUELOS EXPLOTADOS POR LA PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL EN MADRE DE DIOS, PERÚ. ,

VELÁSQUEZ, R.M.G., BARRANTES, J.A.G., THOMAS, E., GAMARRA, M.L.A., PILLACA, M., TELL, P.L.D. y BAZÁN, T.L.R., 2020. Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. *Catena* [en línea], vol. 189, no. May 2019, ISSN 03418162. DOI

10.1016/j.catena.2020.104454. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104454>.

VILLALAZ P, J.A., VILLARREAL N, J.E., MERINO G, Agustin. y  
SANTOS P, Adolfo., 2021. Cd en suelos cacaoteros Panama.  
Instituto de investigacion agropecuaria de panama / Escuela  
politecnica superior - usc. campus univertitario,

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

Título	Problemas	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Unidad de medida
<p>Evaluación de los niveles de cadmio en sistemas agroforestales con plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en tres distritos de la Provincia de Tahuamanu - Madre de Dios 2024</p>	<p><b>Problema general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Evaluar los niveles de cadmio en plantaciones de cacao con sistemas agroforestales en tres distritos de la Provincia de Tahuamanu en la región Madre de Dios 2024.</li> </ul>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Evaluar los niveles de Cadmio en sistemas agroforestales con cacao en tres distritos de la provincia de Tahuamanu en la región Madre de Dios.</li> </ul>	<p><b>Hipotesis general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Los niveles de cadmio en el suelo no influyen en los niveles de cadmio en el cacao en sistemas agroforestales en tres distritos de la provincia Tahuamanu en la región Madre de Dios.</li> </ul>	Parcelas agrícolas	30 parcelas agrícolas	ha
	<p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ ¿Cuáles son los niveles de cadmio en las plantaciones de cacao, en sistemas agroforestales?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Evaluar la bioacumulación de cadmio en las diferentes partes vegetativas del cacao (raíz, hoja, semilla y cáscara) establecido en sistemas agroforestales en tres distritos de Tahuamanu en la región Madre de Dios.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Los niveles de cadmio en el suelo con cultivo de cacao se encontrarán por debajo de los niveles máximos permisibles.</li> </ul>	Profundidad del suelo	0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm	cm
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ ¿Cuáles es el nivel de cadmio en los diferentes órganos vegetativos del cacao (hoja, semilla, mazorca y raíz) de los cultivos agroforestales?</li> </ul>	<p>Evaluar los niveles cadmio en los suelos con sistemas agroforestales de cacao en tres distritos de Tahuamanu en la región Madre de Dios.</p>	<p>Los niveles de cadmio en las partes vegetativas del cultivo de cacao se encontrarán por debajo de los niveles máximos permisibles.</p>	fuentes de agua cercanas a las parcelas agrícolas	10 muestras de agua de 500 ml de quebradas aledañas a las plantaciones de cacao muestreadas	ml
				Contenido de cadmio en cacao	Contenido de cadmio en la raíz	mg/kg
					Contenido de cadmio en la hoja	mg/kg
					Contenido de cadmio en la semilla	mg/kg
					Contenido de cadmio en la cascara	mg/kg

**Anexo 2:** Imagen referente a las muestras obtenidas en campo.

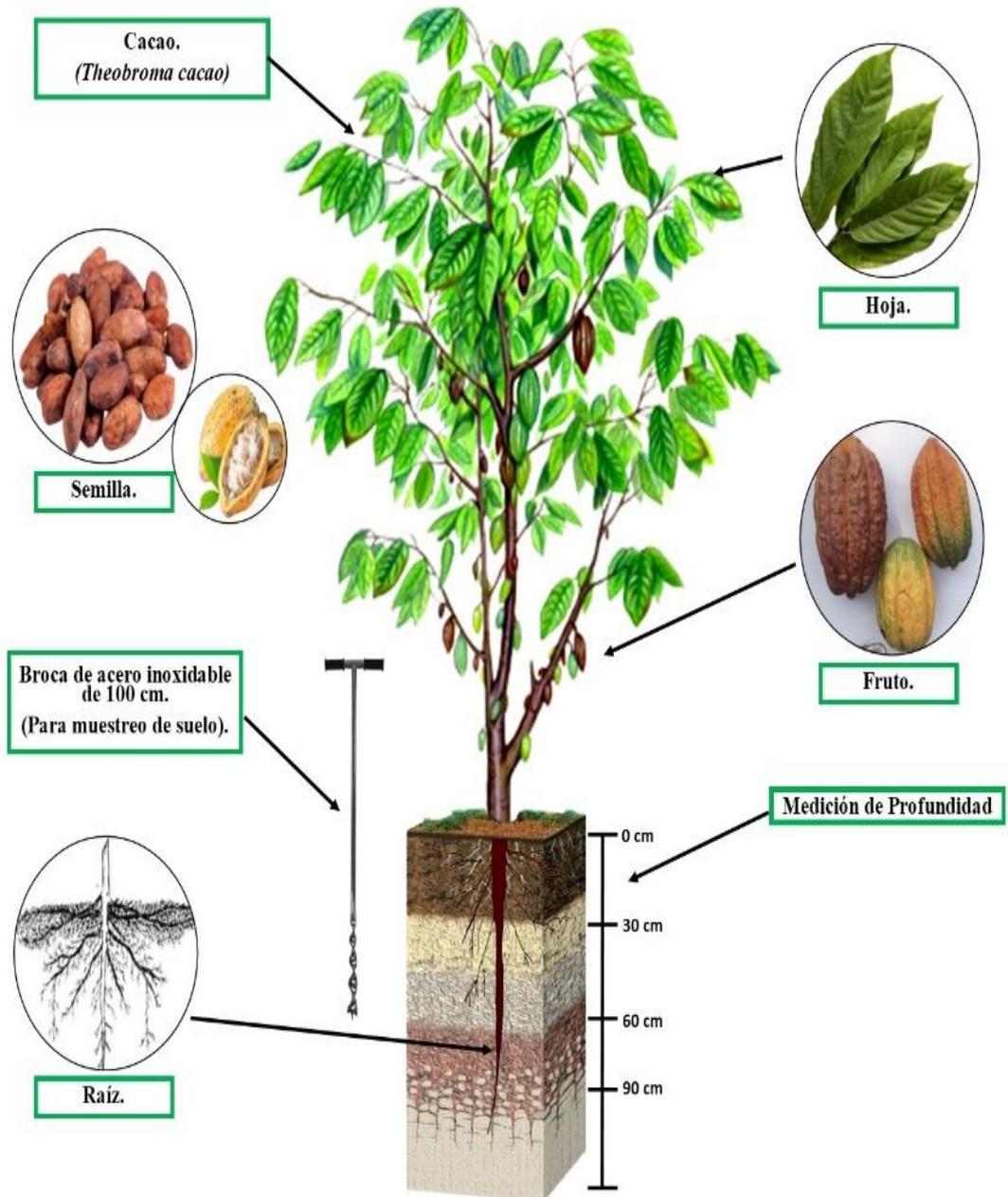


Figura 15. Toma de muestras a profundidades de: 0 – 30 cm; 30 – 60 cm; 60 – 90 cm, para el análisis de cadmio



### Anexo 3. Panel fotográfico



Figura 16. Toma de muestras de suelos con barreno para muestreo de suelo, en las plantaciones de cacao con sistemas agroforestales.



Figura 17. Muestras de hojas, fruto, raíz y suelos de plantaciones de cacao con SAFs



Figura 18. Procesamiento de muestras en el laboratorio de suelos de la universidad nacional amazónica de madre de dios.



Figura 19. Empaquetado de muestras para el envío al laboratorio de suelos plantas y agua de la UNALM.



Figura 20. Beneficiarios del estudio de Cadmio, Agricultores cacaoteros de la provincia de Tahuamanu, Madre de dios

## Anexo 4: Resultados de Análisis de agua.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA - TAHUAMANU/ TAMBOPATA/  
PUERTO MALDONADO  
REFERENCIA : H.R. 75917  
FECHA : 09/12/2021

Nº LAB	CLAVES	Cd ppm
4463	Agua 1	< 0.01
4464	Agua 2	< 0.01
4465	Agua 3	< 0.01
4466	Agua 4	< 0.01
4467	Agua 5	< 0.01
4468	Agua 6	< 0.01
4469	Agua 7	< 0.01
4470	Agua 8	< 0.01
4471	Agua 9	< 0.01
4472	Agua 10	< 0.01
4473	Agua 11	< 0.01
4474	Agua 12	< 0.01
4475	Agua 13	< 0.01
4476	Agua 14	< 0.01
4477	Agua 15	< 0.01
4478	Agua 16	< 0.01
4479	Agua 17	< 0.01
4480	Agua 18	< 0.01
4481	Agua 19	< 0.01
4482	Agua 20	< 0.01



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio

## Anexo 5: Resultados de Análisis de suelos



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA - TAHUAMANU/ TAMBOPATA/  
PUERTO MALDONADO  
REFERENCIA : H.R. 75919  
FACTURA : 4947  
FECHA : 07/01/2022

Número Muestra		Cd ppm
Lab	Claves	
4573	A1a	0.90
4574	A1b	1.03
4575	A1c	1.00
4576	A2a	0.77
4577	A2b	1.02
4578	A2c	0.87
4579	A3a	0.53
4580	A3b	0.60
4581	A3c	0.32
4582	A4a	0.60
4583	A4b	0.80
4584	A4c	0.85
4585	A5a	0.73
4586	A5b	0.85
4587	A5c	0.93
4588	A6a	0.65
4589	A6b	0.80
4590	A6c	0.82
4591	A7a	0.55
4592	A7b	0.60
4593	A7c	0.70
4594	A8a	1.12
4595	A8b	0.57
4596	A8c	0.70

Número Muestra		Cd ppm
Lab	Claves	
4597	A9a	0.73
4598	A9b	0.85
4599	A9c	0.65
4600	A10a	0.73
4601	A10b	0.77
4602	A10c	0.85
4603	A11a	0.65
4604	A11b	0.68
4605	A11c	0.65
4606	A12a	0.70
4607	A12b	0.73
4608	A12c	0.70
4609	A13a	0.80
4610	A13b	0.75
4611	A13c	0.65
4612	A14a	0.63
4613	A14b	1.12
4614	A14c	1.10
4615	A15a	1.35
4616	A15b	1.52
4617	A15c	1.77
4618	A16a	1.35
4619	A16b	1.13
4620	A16c	0.87



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA - TAHUAMANU/ TAMBOPATA/  
PUERTO MALDONADO  
REFERENCIA : H.R. 75919  
FACTURA : 4947  
FECHA : 07/01/2022

Lab	Número Muestra		Cd ppm
	Claves		
4621	A17a		1.10
4622	A17b		0.78
4623	A17c		0.75
4624	A18a		0.65
4625	A18b		1.03
4626	A18c		1.02
4627	A19a		0.95
4628	A19b		0.85
4629	A19c		1.03
4630	A20a		0.95
4631	A20b		1.10
4632	A20c		1.03
4633	A21a		0.88
4634	A21b		0.82
4635	A21c		1.07
4636	A22a		0.98
4637	A22b		1.07
4638	A22c		1.12
4639	A23a		1.03
4640	A23b		1.08
4641	A23c		1.10

Lab	Número Muestra		Cd ppm
	Claves		
4642	A24a		1.22
4643	A24b		0.75
4644	A24c		0.73
4645	A25a		0.88
4646	A25b		1.03
4647	A25c		0.95
4648	A26a		0.95
4649	A26b		0.88
4650	A26c		0.92
4651	A27a		0.75
4652	A27b		0.85
4653	A27c		0.75
4654	A28a		0.78
4655	A28b		0.80
4656	A28c		0.73
4657	A29a		0.78
4658	A29b		0.90
4659	A29c		0.88
4660	A30a		0.78
4661	A30b		0.77
4662	A30c		0.82



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA - TAHUAMANU/ TAMBOPATA/  
PUERTO MALDONADO  
REFERENCIA : H.R. 75918  
FACTURA : 4947  
FECHA : 07/01/2022

Número Muestra		Cd ppm
Lab	Claves	
4483	B1a	1.48
4484	B1b	1.53
4485	B1c	1.38
4486	B2a	1.60
4487	B2b	1.43
4488	B2c	1.73
4489	B3a	1.62
4490	B3b	1.80
4491	B3c	1.75
4492	B4a	1.62
4493	B4b	1.75
4494	B4c	1.62
4495	B5a	1.23
4496	B5b	1.42
4497	B5c	1.48
4498	B6a	1.35
4499	B6b	1.43
4500	B6c	1.38
4501	B7a	1.73
4502	B7b	1.75
4503	B7c	1.68
4504	B8a	1.37
4505	B8b	1.32
4506	B8c	1.37

Número Muestra		Cd ppm
Lab	Claves	
4507	B9a	1.12
4508	B9b	1.08
4509	B9c	1.20
4510	B10a	1.12
4511	B10b	1.02
4512	B10c	1.13
4513	B11a	1.20
4514	B11b	1.37
4515	B11c	1.42
4516	B12a	1.35
4517	B12b	1.25
4518	B12c	1.43
4519	B13a	1.33
4520	B13b	1.37
4521	B13c	1.28
4522	B14a	1.27
4523	B14b	1.25
4524	B14c	1.38
4525	B15a	1.23
4526	B15b	1.57
4527	B15c	1.37
4528	B16a	1.20
4529	B16b	1.43
4530	B16c	1.62



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe del Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA - TAHUAMANU/ TAMBOPATA/  
PUERTO MALDONADO  
REFERENCIA : H.R. 75918  
FACTURA : 4947  
FECHA : 07/01/2022

Número Muestra		Cd ppm
Lab	Claves	
4531	B17a	1.35
4532	B17b	1.52
4533	B17c	1.68
4534	B18a	1.25
4535	B18b	1.23
4536	B18c	1.20
4537	B19a	1.42
4538	B19b	1.27
4539	B19c	1.40
4540	B20a	1.38
4541	B20b	1.35
4542	B20c	1.55
4543	B21a	1.22
4544	B21b	1.43
4545	B21c	1.30
4546	B22a	1.32
4547	B22b	1.43
4548	B22c	1.47
4549	B23a	1.22
4550	B23b	1.42
4551	B23c	1.47

Número Muestra		Cd ppm
Lab	Claves	
4552	B24a	0.55
4553	B24b	0.80
4554	B24c	0.67
4555	B25a	0.83
4556	B25b	0.90
4557	B25c	1.42
4558	B26a	1.35
4559	B26b	1.32
4560	B26c	1.30
4561	B27a	0.62
4562	B27b	0.85
4563	B27c	0.95
4564	B28a	0.72
4565	B28b	0.92
4566	B28c	1.03
4567	B29a	1.05
4568	B29b	1.08
4569	B29c	1.32
4570	B30a	0.95
4571	B30b	1.08
4572	B30c	1.18



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe del Laboratorio

## Anexo 6: Resultados de Análisis de semilla se cacao.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMANU/TAMBOPATA  
MUESTRA DE : SEMILLA DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA : 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2735	Semilla 1	0.32
2736	Semilla 2	0.31
2737	Semilla 3	0.41
2738	Semilla 4	0.32
2739	Semilla 5	0.28
2740	Semilla 6	0.29
2741	Semilla 7	0.32
2742	Semilla 8	0.3
2743	Semilla 9	0.33
2744	Semilla 10	0.27
2745	Semilla 11	0.35
2746	Semilla 12	0.26
2747	Semilla 13	0.23
2748	Semilla 14	0.31
2749	Semilla 15	0.95
2750	Semilla 16	1.86
2751	Semilla 17	0.83
2752	Semilla 18	0.37
2753	Semilla 19	0.26
2754	Semilla 20	0.31



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMANU/ TAMBOPATA  
MUESTRA DE : SEMILLA DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2755	A semilla 21	0.38
2756	A semilla 22	0.52
2757	A semilla 23	0.33
2758	A semilla 24	0.22
2759	A semilla 25	0.39
2760	A semilla 26	0.54
2761	A semilla 27	0.32
2762	A semilla 28	0.42
2763	A semilla 29	0.32
2764	A semilla 30	0.29



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA-TAHUAMANU/ TAMBOPATA  
MUESTRA : SEMILLAS DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75921  
BOLETA : 4947  
FECHA : 13/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2855	B semilla 1	0.62
2856	B semilla 2	0.59
2857	B semilla 3	0.96
2858	B semilla 4	0.74
2859	B semilla 5	0.72
2860	B semilla 6	1.19
2861	B semilla 7	0.93
2862	B semilla 8	0.54
2863	B semilla 9	0.50
2864	B semilla 10	0.48
2865	B semilla 11	0.57
2866	B semilla 12	0.60
2867	B semilla 13	0.48
2868	B semilla 14	0.48
2869	B semilla 15	0.63

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2870	B semilla 16	0.47
2871	B semilla 17	0.59
2872	B semilla 18	0.62
2873	B semilla 19	0.54
2874	B semilla 20	0.48
2875	B semilla 21	0.47
2876	B semilla 22	0.57
2877	B semilla 23	0.54
2878	B semilla 24	0.50
2879	B semilla 25	0.84
2880	B semilla 26	0.92
2881	B semilla 27	0.80
2882	B semilla 28	0.62
2883	B semilla 29	0.63
2884	B semilla 30	0.50



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio

## Anexo 7: Resultados de Análisis de cascara de cacao.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMANU/TAMBOPATA  
MUESTRA DE : CASCARA DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA : 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2765	Cascara 1	0.66
2766	Cascara 2	0.74
2767	Cascara 3	0.71
2768	Cascara 4	0.75
2769	Cascara 5	0.75
2770	Cascara 6	0.74
2771	Cascara 7	0.79
2772	Cascara 8	0.68
2773	Cascara 9	0.86
2774	Cascara 10	0.68
2775	Cascara 11	0.79
2776	Cascara 12	0.78
2777	Cascara 13	0.68
2778	Cascara 14	0.78
2779	Cascara 15	1.73
2780	Cascara 16	2.20
2781	Cascara 17	1.31
2782	Cascara 18	1.19
2783	Cascara 19	0.90
2784	Cascara 20	0.64



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMANU/ TAMBOPATA  
MUESTRA DE : CASCARA DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA : 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2785	A cascara 21	0.89
2786	A cascara 22	1.05
2787	A cascara 23	1.11
2788	A cascara 24	0.63
2789	A cascara 25	1.00
2790	A cascara 26	1.30
2791	A cascara 27	0.66
2792	A cascara 28	1.04
2793	A cascara 29	0.68
2794	A cascara 30	0.70



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA-TAHUAMANU/ TAMBOPATA  
MUESTRA : CÁSCARA DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75921  
BOLETA : 4947  
FECHA : 13/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2885	B cáscara 1	0.75
2886	B cáscara 2	0.74
2887	B cáscara 3	0.88
2888	B cáscara 4	0.83
2889	B cáscara 5	0.83
2890	B cáscara 6	1.06
2891	B cáscara 7	1.23
2892	B cáscara 8	0.98
2893	B cáscara 9	1.10
2894	B cáscara 10	0.91
2895	B cáscara 11	0.86
2896	B cáscara 12	0.79
2897	B cáscara 13	0.70
2898	B cáscara 14	0.65
2899	B cáscara 15	0.75

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2900	B cáscara 16	0.75
2901	B cáscara 17	0.88
2902	B cáscara 18	0.70
2903	B cáscara 19	0.69
2904	B cáscara 20	0.71
2905	B cáscara 21	0.79
2906	B cáscara 22	0.79
2907	B cáscara 23	0.81
2908	B cáscara 24	0.66
2909	B cáscara 25	0.71
2910	B cáscara 26	0.96
2911	B cáscara 27	1.08
2912	B cáscara 28	0.96
2913	B cáscara 29	1.01
2914	B cáscara 30	0.74



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio

## Anexo 8: Resultados de Análisis de raíz de cacao.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMANU/TAMBOPATA  
MUESTRA DE : RAIZ DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA : 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2705	Raiz 1	0.79
2706	Raiz 2	0.96
2707	Raiz 3	1.17
2708	Raiz 4	1.23
2709	Raiz 5	1.07
2710	Raiz 6	0.87
2711	Raiz 7	0.99
2712	Raiz 8	0.92
2713	Raiz 9	1.31
2714	Raiz 10	0.84
2715	Raiz 11	1.1875
2716	Raiz 12	0.93
2717	Raiz 13	0.86
2718	Raiz 14	0.92
2719	Raiz 15	1.375
2720	Raiz 16	2.45
2721	Raiz 17	1.4
2722	Raiz 18	1.31
2723	Raiz 19	0.89
2724	Raiz 20	0.96



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMANU/TAMBOPATA  
MUESTRA DE : RAIZ DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA : 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2725	Raiz 21	0.92
2726	Raiz 22	1.31
2727	Raiz 23	1.22
2728	Raiz 24	0.84
2729	Raiz 25	1.37
2730	Raiz 26	1.53
2731	Raiz 27	1.25
2732	Raiz 28	1.28
2733	Raiz 29	0.78
2734	Raiz 30	1.04



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA-TAHUAMANU/ TAMBOPATA  
MUESTRA : RAÍZ DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75921  
BOLETA : 4947  
FECHA : 13/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2825	B raiz 1	1.06
2826	B raiz 2	0.68
2827	B raiz 3	1.01
2828	B raiz 4	1.33
2829	B raiz 5	1.44
2830	B raiz 6	1.28
2831	B raiz 7	1.76
2832	B raiz 8	0.65
2833	B raiz 9	0.61
2834	B raiz 10	0.76
2835	B raiz 11	0.58
2836	B raiz 12	0.86
2837	B raiz 13	0.61
2838	B raiz 14	0.53
2839	B raiz 15	0.86

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2840	B raiz 16	0.64
2841	B raiz 17	0.90
2842	B raiz 18	0.71
2843	B raiz 19	1.03
2844	B raiz 20	0.68
2845	B raiz 21	0.58
2846	B raiz 22	0.71
2847	B raiz 23	0.90
2848	B raiz 24	0.55
2849	B raiz 25	0.73
2850	B raiz 26	1.46
2851	B raiz 27	1.16
2852	B raiz 28	1.20
2853	B raiz 29	1.09
2854	B raiz 30	0.83



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio

## Anexo 9: Resultados de Análisis de hojas de cacao.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMAN/TAMBOPATA  
MUESTRA DE : HOJAS DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2675	Hoja 1	1.08
2676	Hoja 2	1.04
2677	Hoja 3	1.16
2678	Hoja 4	1.08
2679	Hoja 5	1.04
2680	Hoja 6	1.16
2681	Hoja 7	1.41
2682	Hoja 8	1.02
2683	Hoja 9	1.22
2684	Hoja 10	1.17
2685	Hoja 11	1.08
2686	Hoja 12	1.13
2687	Hoja 13	1.07
2688	Hoja 14	1.16
2689	Hoja 15	2.84
2690	Hoja 16	2.82
2691	Hoja 17	2.03
2692	Hoja 18	1.86
2693	Hoja 19	1.49
2694	Hoja 20	1.14



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/TAMBOPATA-TAHUAMAN/TAMBOPATA  
MUESTRA DE : HOJAS DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75920  
BOLETA : 4947  
FECHA : 7/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2695	Hoja 21	1.22
2696	Hoja 22	2.12
2697	Hoja 23	1.67
2698	Hoja 24	1.17
2699	Hoja 25	2.52
2700	Hoja 26	2.51
2701	Hoja 27	1.34
2702	Hoja 28	2.88
2703	Hoja 29	1.11
2704	Hoja 30	1.44



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS  
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS/ TAMBOPATA-TAHUAMANU/ TAMBOPATA  
MUESTRA : HOJAS DE CACAO  
REFERENCIA : H.R. 75921  
BOLETA : 4947  
FECHA : 13/01/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2795	B hoja 1	1.33
2796	B hoja 2	1.59
2797	B hoja 3	2.64
2798	B hoja 4	1.99
2799	B hoja 5	2.30
2800	B hoja 6	2.84
2801	B hoja 7	2.20
2802	B hoja 8	1.20
2803	B hoja 9	0.99
2804	B hoja 10	1.14
2805	B hoja 11	1.08
2806	B hoja 12	1.46
2807	B hoja 13	0.93
2808	B hoja 14	1.03
2809	B hoja 15	0.99

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
2810	A hoja 16	1.40
2811	A hoja 17	1.41
2812	A hoja 18	0.95
2813	A hoja 19	1.00
2814	A hoja 20	0.89
2815	B hoja 21	0.94
2816	B hoja 22	0.89
2817	B hoja 23	1.09
2818	B hoja 24	0.65
2819	B hoja 25	0.89
2820	B hoja 26	1.45
2821	B hoja 27	1.01
2822	B hoja 28	0.76
2823	B hoja 29	1.44
2824	B hoja 30	1.51



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio