



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

# **Implicancias de los metales pesados en grano de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**Autora:**

Cesi Yesenia Jacobo Varela  
<https://orcid.org/0000-0003-2207-912X>

**Asesor:**

Ing. M. Sc. Harry Saavedra Alva  
<https://orcid.org/0000-0001-7059-1983>

**Tarapoto, Perú**

**2023**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

Tesis

# **Implicancias de los metales pesados en grano de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**Autora:**

Cesi Yesenia Jacobo Varela

Sustentada y aprobada el 18 de abril del 2023, por los jurados:

\_\_\_\_\_  
**Presidente de Jurado**  
Dra. Ana Noemi Sandoval Vergara

\_\_\_\_\_  
**Secretario de Jurado**  
Dr. Carlos Rengifo Saavedra

\_\_\_\_\_  
**Vocal de Jurado**  
Dr. Jaime Walter Alvarado Ramirez

\_\_\_\_\_  
**Asesor:**  
Ing. M. Sc. Harry Saavedra Alva

**Tarapoto, Perú**

**2023**



## Declaratoria de autenticidad

Cesi Yesenia Jacobo Varela, con DNI N° 40715678, egresado de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, autora de la tesis titulada: Implicancias de metales pesados en grano de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022.

Declarajo bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 18 de abril del 2023



---

Cesi Yesenia Jacobo Varela  
D.N.I. 40715678.

## Ficha de identificación

<p><b>Título del proyecto</b></p> <p>Implicancias de los metales pesados en grano de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022</p>	<p><b>Área de investigación:</b> Ciencias Agrícolas y Forestales</p> <p><b>Línea de investigación:</b> Silvicultura y manejo forestal sostenible.</p> <p><b>Sublínea de investigación:</b> Estudios de carbono y metales pesados.</p> <p><b>Grupo de investigación:</b> Investigaciones en biotecnología agroforestal, (Resolución N°102-2022-UNSM/FCA/CF)</p> <p><b>Tipo de investigación:</b>          Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Autor:</b></p> <p>Cesi Yesenia Jacobo Varela</p>	<p>Facultad de Ciencias Agrarias          Escuela Profesional de Agronomía  <a href="https://orcid.org/0000-0003-2207-912X">https://orcid.org/0000-0003-2207-912X</a></p>
<p><b>Asesor:</b></p> <p>Ing. M. Sc. Harry Saavedra Alva</p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b>          Facultad de Ciencias Agrarias          Escuela Profesional de Agronomía          Unidad o Laboratorio Agronomía  <a href="https://orcid.org/0000-0001-7059-1983">https://orcid.org/0000-0001-7059-1983</a></p>

## **Dedicatoria**

El siguiente trabajo de tesis está dedicado especialmente a mis padres, Sergio Augusto Jacobo Chávez y Hernestina Varela García, por dotarme de un núcleo de principios y virtudes que han sido mi guía en las situaciones más arduas, por acompañarme de manera incondicional en el proceso de mi formación profesional, a pesar de mis defectos y virtudes, va dedicado para ustedes.

## **Agradecimientos**

Principalmente a mis padres que fueron la fortaleza y los guías para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

A mi asesor Ing.M.Sc. Harry Saavedra Alva, quien me apoyo con sus conocimientos para poder terminar la redacción del informe final.

La Universidad Nacional De San Martín; en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias; Escuela Profesional de Agronomía, por haberme transmitido sus conocimientos durante mi formación profesional y a todos los docentes que me brindaron sus enseñanzas.

Mis jurados: Dra. Ana Noemi Sandoval Vergara; Dr. Carlos Rengifo Saavedra y Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez, por las sugerencias y correcciones en el informe final de tesis.

## Índice general

Ficha de identificación .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras .....	12
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
CAPÍTULO I .....	15
INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN .....	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes de la investigación .....	18
2.2. Fundamentos teóricos .....	22
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
3.1. Ámbito de la investigación .....	38
3.1.2. Ubicación geográfica.....	38
3.1.3. Condiciones climáticas.....	38
3.1.4. Periodo de ejecución.....	38
3.1.5. Autorizaciones y permisos .....	38
3.1.6. Control ambiental y protocolos de bioseguridad .....	39
3.1.7. Aplicación de principios éticos internacionales .....	39
3.2. Sistema de variables .....	39
3.2.1. Variable de estudio .....	39
3.3. Procedimientos de la investigación.....	40
3.3.1. Objetivo específico 1 .....	40
3.3.2. Objetivo específico 2.....	41
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1. Resultado del objetivo específico 1.....	42
4.2. Resultado del objetivo específico 2.....	47
CONCLUSIONES.....	59



RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS .....	70

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Descripción de variables por objetivos específicos</i> .....	39
Tabla 2 <i>Contenido de metales pesados en granos de cacao</i> .....	42
Tabla 3 <i>Contenido de Cadmio, pH y CE en granos de Cacao en Juanjuí y Pucacaca</i> 44	
Tabla 4 <i>Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (Theobroma cacao L.)</i> 46	
Tabla 5 <i>Medidas de mitigación para reducir el Cadmio en cacao en el distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín</i> .....	48
Tabla 6 <i>Datos Meteorológicos del cacao en el distrito de Juanjuí, y su relación con el cadmio provincia de Mariscal Cáceres, San Martín</i> .....	55
Tabla 7 <i>Valores de metales pesados totales en suelos de plantaciones de cacao por Departamento y Provincias</i> .....	70
Tabla 8 <i>Cuadrados medios del análisis de variancia (<math>\alpha = 0.05</math>) para el contenido de microelementos (cobre, zinc, hierro y cadmio) totales analizados en el cotiledón de los granos de cacao</i> .....	72
Tabla 9 <i>Valores del contenido de cadmio (ppm) en la testa y cotiledón en el grano de cacao fresco</i> .....	76
Tabla 10 <i>Cadmio disponible en el suelo de diferentes zonas productoras de cacao en Perú</i> .....	76

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Concentraciones de metales pesados en granos de cacao, por departamento muestreado en las regiones productoras de cacao en el Perú.....</i>	71
Figura 2 <i>Concentraciones de metales pesados en hojas y granos de cacao, por genotipo muestreado, en las regiones productoras de cacao en el Perú.....</i>	71
Figura 3 <i>medidas de mitigación de cadmio 1 .....</i>	72
Figura 4 <i>medidas de mitigación de cadmio 2 .....</i>	73
Figura 5 <i>Recolección de muestras en parcelas de cacao .....</i>	73
Figura 6 <i>Practica de campo recolección de muestras de suelos.....</i>	74
Figura 7 <i>Lectura de Ph en suelos de productores cacaoteros .....</i>	74
Figura 8 <i>Producción promedio de cacao en grano a nivel mundial 2006 al 2016.....</i>	75
Figura 9 <i>Producción promedio de cacao en grano en América Latina 2006 al 2016 ..</i>	75
Figura 10 <i>Normales climatológicas, estación Campanilla .....</i>	77
Figura 11 <i>Normales climatológicas, estación Huayabamba.....</i>	77

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo recopilar información bibliográfica sobre la implicancia de los metales pesados en granos de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022. Respecto a la metodología el estudio fue de tipo descriptivo y exploratorio, se utilizó fuentes y antecedentes bibliográficos confiables de los últimos 5 años, para ello se recopiló información de metales pesados en granos de cacao. También se analizó los efectos de los metales pesados y las medidas de mitigación para reducir el cadmio en granos de cacao. se llegó a las conclusiones, los efectos de las implicancias de los metales pesados en granos de cacao, en los estudios realizados no se encontró la presencia de metales como plomo ni arsénico, pero si se encontró la presencia de cadmio en 0,39 ppm lo que significa que para el derivado llega a 8 ppm, sobrepasando los límites permisibles, en los análisis de clones se encontró el nivel más alto en el híbrido con 0,067 ppm siendo los de menor contenido el ICS-95 Y CCN-51, en suelo se encontró la presencia de varios metales pesados en como Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Ni, Pb. Siendo los resultados considerados no tóxicos ya que estuvieron dentro de los límites permisibles. Las medidas de mitigación para reducir el Cadmio en cacao, permiten instalar en zonas con menos de 1,4 mg/kg de cd, realizar análisis de caracterización, cadmio al suelo y granos, fertilización adecuada, con zinc, reducen la aplicación de productos fosforados, en suelos con pH bajo aplican enmiendas de preferencia dolomita, la materia orgánica esta de 3% a 4% ya que estas precipitan, secuestran a este metal, usan clones de baja acumulación como el IMC-67, siembran especies que absorben y acumulan cadmio como la cocona, sachá culantro, incorporan microorganismos estos descomponen rápido sustancias y realizar el drenado del mucilago. El distrito presenta datos meteorológicos adecuados para el cultivo de cacao sin embargo estas condiciones climáticas son muy importantes ya que el cadmio se encuentra en el suelo y aire, en áreas de fuertes lluvias, la lixiviación aumenta el desplazamiento del cadmio en el suelo, el pH del terreno y la acidez de la lluvia impactan en cómo se absorbe el cadmio. En temperaturas altas afectan cómo procesa metales, como cadmio.

**Palabras claves:** Metales pesados, Plomo, Arsenio, Cadmio, Unión Europea.

## ABSTRACT

The objective of this study was to compile bibliographic information on the implication of heavy metals in cocoa beans of the producers of Juanjuí, San Martín 2022. The methodology of the study was descriptive and exploratory, using reliable sources and bibliographic antecedents of the last few years, for which information on heavy metals in cocoa beans was collected. The effects of heavy metals and mitigation measures to reduce cadmium in cocoa beans were also analyzed. The conclusions reached were that the effects of the implications of heavy metals in cocoa beans in the studies carried out did not find the presence of metals such as lead or arsenic, but they did find the presence of cadmium at 0.39 ppm, which means that for the derivative it reaches 8 ppm, exceeding the permissible limits. In the clone analysis, the highest level was found in the hybrid with 0.067 ppm, and the lowest levels were found in ICS-95 and CCN-51. In soil, the presence of several heavy metals such as Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Ni, Pb was found, the results being considered non-toxic since they were within the permissible limits. Mitigation measures to reduce cadmium in cocoa allow installation in areas with less than 1.4 mg/kg of cadmium, perform characterization analysis, soil and grain cadmium, adequate fertilization with zinc, reduce the application of phosphorus products. In soils with low pH, apply amendments, preferably dolomite, organic matter is from 3% to 4% since this precipitate, sequester this metal, use low accumulation clones such as IMC-67, plant species that absorb and accumulate cadmium such as cocona, sachaculantro, incorporate microorganisms that decompose substances quickly and drain the mucilage. The district presents suitable meteorological data for cocoa cultivation; however, these climatic conditions are very important because cadmium is found in the soil and air, and in areas of heavy rainfall, leaching increases the displacement of cadmium in the soil, the pH of the soil and the acidity of the rain impact on how cadmium is absorbed. At high temperatures they affect how it processes metals, such as cadmium.

**Keywords:** Heavy metals, Lead, Arsenium, Cadmium, European Union.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El cacao desempeña un rol fundamental a escala global como ingrediente clave para hacer chocolate y otros alimentos. Su cultivo se lleva a cabo en áreas tropicales de distintos continentes como América, África y Asia, y tiene una importancia económica significativa para varios países.

Quintero y Diaz (2004), menciona que cerca del 68% del cacao que se produce a nivel mundial tiene su origen en África, con Costa de Marfil a la cabeza, y seguido por otras naciones como Ghana, Nigeria y Camerún. Por otro lado, la región de América Central y del Sur suma aproximadamente el 15% de la producción global, donde Brasil y Ecuador son los actores clave. El saldo de la producción se encuentra principalmente en Asia y Oceanía, siendo Indonesia y Malasia los líderes en esa área geográfica.

Quiroz (2022), en su estudio sostiene que:

El Perú se mantiene como el noveno productor mundial de este grano y segundo productor mundial de cacao orgánico, donde de más de 100,000 núcleos familiares se dedican a la producción de este cultivo en 16 regiones del país. Al cierre del 2020 la producción cacaotera a nivel nacional ascendió a 151,622 toneladas producidas en 160,000 hectáreas de donde se destacan las regiones de San Martín (39,6%), Junín (18,2%), Ucayali (14,3%), Huánuco (9,5%), Cusco (4,9%) y otros (13,5%) (Ministerio de agricultura y riego [MIDAGRI], s.f.). Este crecimiento se sostiene por la gran demanda de las empresas chocolateras en los mercados americanos, europeos y asiáticos, en la búsqueda de sabores y aromas de carácter diferenciado (p.11).

En nuestra región, los países de América Central y del Sur tienen al cacao como uno de sus cultivos emblemáticos, aportando aproximadamente el 15% de la producción mundial. Sin embargo, este cultivo enfrenta un problema que afecta a toda la cadena de producción, así como a consumidores, importadores y exportadores. Este problema radica en la presencia de metales pesados en los granos de cacao, los cuales pueden transmitirse directamente a través del chocolate consumido por los seres humanos. Estos elementos metálicos pesados tienen la tendencia de acumularse en el cuerpo y podrían provocar condiciones de salud serias.

Venturo (2017), menciona que en las áreas de Juanjuí y Pucacaca, debido a la presencia de metales pesados, la contaminación del suelo es un problema grave que afecta negativamente la calidad de los cultivos y la salud humana. En los suelos de la región se encontraron cantidades importantes de metales pesados como plomo, cadmio y mercurio, lo que puede afectar la presencia de estos elementos en las plantaciones de cacao.

De acuerdo con Sánchez (2016), refiere que la existencia de elementos metálicos pesados en las semillas del cacao puede resultar en consecuencias graves para la salud humana, especialmente en el caso de una ingesta elevada de chocolate. El cacao es una fuente frecuente de plomo, cadmio y mercurio, elementos que pueden entrar al grano a través de la polución en el agua y en la tierra, así como durante el proceso de fabricación. El consumo prolongado de dichos metales puede provocar daños en varios órganos del cuerpo, como el sistema nervioso, los riñones, el hígado, los pulmones, así como también alteraciones en el desarrollo cognitivo y reproductivo.

Por otro lado, Batallas-Valarezo et al. (2021), argumentan que la existencia de elementos metálicos pesados en los granos de cacao, puede tener consecuencias económicas y sociales significativas. Estos contaminantes pueden provocar una disminución en la calidad del cacao, reducir el rendimiento y afectar el valor de mercado del producto. Además, la aparición de metales de alta densidad en el cacao puede dar lugar a regulaciones más estrictas en la industria alimentaria, lo que limitaría aún más la cantidad de metales pesados permitidos en el producto final. Esto podría resultar en un aumento de los costos de producción y dificultar la comercialización del cacao para los agricultores y las empresas productoras. En última instancia, esto podría tener un impacto negativo en el bienestar económico local y en el nivel de vida de los productores agrícolas y sus comunidades respectivas.

Es por ello que en el trabajo presente explicaremos las implicancias que trae los elementos metálicos pesados en las plantaciones de cacao ya que como se menciona es uno de los cultivos bandera del país y del mundo por lo que debemos asegurar el bienestar de las personas al consumir su derivado final que es el chocolate tomando como prioridad el análisis previo antes de su exportación.

En consecuencia, se plantea como objetivo principal: Recopilar información bibliográfica sobre la Implicancia de los metales pesados en granos de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022, cuyos objetivos específicos son:

- a. Analizar y determinar los efectos de la implicancia de los metales pesados en granos de cacao de productores de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín.
- b. Analizar y determinar las medidas de mitigación para reducir el Cadmio en cacao en el distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Castebianco (2018), en el estudio "Potential of Heavy Metal Remediation Technology in Cocoa Cultivation", los autores pretenden resumir las tecnologías de remediación, especialmente fitorremediación y biorremediación, que se han implementado en todo el mundo en los últimos tres años para la aplicación de metales pesados en la agricultura del cacao, según algunas investigaciones. Terreno con concentraciones de plomo y cadmio. Los autores recopilaron datos confiables durante este período y concluyeron que se necesita un programa integral de restauración del cacao, que incluya la fitorremediación utilizando especies como el cacao. *Rapstro*, *M. sativa* o *E. sativa. camaldulensis*, así como el uso de micorrizas arbusculares y bacterias del género *Glomus* (por ejemplo, *M. oleivorans* y *B. fibrina* vegetal).

Díaz-Ubilla et al. (2018), el equipo de investigación llevó a cabo el estudio " Identificación de plomo y cadmio en semillas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en las granjas orgánicas de Vince State ". El principal objetivo de este estudio fue analizar la cantidad de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en semillas de cacao obtenidas de agricultores orgánicos en el estado Vince de Ecuador. Se seleccionaron un total de 25 fincas como unidades de muestra para llevar a cabo el proyecto, y se utilizó un enfoque estadístico no paramétrico para analizar los resultados obtenidos. Los hallazgos revelaron que la finca APOVincesNN10, ubicada en la parroquia Antonio Sotomayor, presentó la concentración más alta de Cd en las almendras, con un valor de 0,98 ppm, mientras que la finca APOVinces-115 en la vía a Poza-Seca registró la concentración más baja de 0,099 ppm. En cuanto a los niveles de Cd en la testa de las almendras, se encontró que la finca APOVinces-NN9, también en la parroquia Antonio Sotomayor, tenía la concentración más alta de 6,14 ppm, mientras que la concentración más baja de 0,081 ppm se encontró en la finca APOVinces-21.

Lino (2019), en su trabajo titulado "Determinación de Concentraciones de Elementos Metálicos en Semillas de Cacao de la Cooperativa Beira en la Provincia de Leoncio Prado, Zona de Huánuco y Potenciales Consecuencias para la Salud", el autor tuvo como objetivo principal mejorar la producción de cacao en esa área y consolidar su posición en el mercado internacional.

El estudio adoptó un enfoque exploratorio y, una vez que se recopilaron los datos, se llegó a la conclusión de que el nivel de cadmio en las almendras resultó ser de 3,91 ppm (miligramos por kg). Esto indica la necesidad de mejorar el producto y tomar precauciones adicionales para continuar comercializándose en la UE, China y otros países para evitar posibles riesgos para la salud del consumidor en el futuro.

Chávez (2020), en el trabajo "Evaluación de Concentración de cadmio en suelo y fruto (*Theobroma cacao L.*) en plantaciones de cacao José Crespo y Castillo, región Castillo-Huánuco, 2020", el objetivo principal de los autores fue evaluar la presencia de cadmio en la tierra y de fruto (grano de cacao), en una plantación de cacao en la región Okayaku. Para ello se realizaron muestreos en las zonas antes mencionadas. Los resultados mostraron que el valor de pH del suelo de Aucayacu fue de 5.19, el cual pertenece a suelo ácido. La densidad de cadmio en la tierra se registró en 0,21 ppm. A partir de esto, se concluyó que el cadmio estaba claramente presente en la tierra de las plantaciones de cacao, aunque la cantidad de este no excedía el valor límite prescrito (ECA 1,4 ppm). Sin embargo, los granos de cacao de la plantación Aucayacu contenían cadmio en 0,638 ppm, superando el límite máximo permisible (MLP) de 0,50 ppm.

Batallas-Valarezo et al. (2021), en un estudio titulado "Estimación de determinación de cadmio y plomo en granos de cacao mediante espectrometría de absorción atómica", los autores decidieron evaluar la cantidad de cadmio y plomo en mazorcas y cotiledones de cacao para resolver en qué parte del grano de cacao se acumulaba más de estos metales. Para ello, utilizaron espectroscopia de absorción atómica en un horno de grafito. Adicionalmente, se examinaron muestras de cacao obtenidas de cinco propiedades agrícolas situadas en la región de la Adelina, estado Balao, para determinar parámetros fisicoquímicos como humedad, pH y acidez. Los resultados mostraron que todas las muestras de cacao tenían un contenido de humedad inferior al 2%. En cuanto al pH y la acidez, se observó que el pH de la testa fue superior a 3,34 y el porcentaje de acidez fue inferior a 2,4% en la finca 1. En relación con la medición de elementos metálicos pesados, la cáscara del cacao mostró niveles bajos de cadmio y plomo, los cuales se mantienen dentro de los parámetros aceptables dictados por el Codex Alimentarius. Sin embargo, se hizo hincapié en la necesidad de seguimiento continuado, ya que la acumulación futura de estos metales podría cambiar los resultados previamente observados.

Fonseca (2021), en el estudio titulado "Sustancias Metálicas Pesadas (Cd, Pb) en Granos de Cacao (*Theobroma cacao L.*) y Extracción Vegetal en Plantaciones Adyacentes a Carreteras en el Valle del Alto Huallaga, Perú", los investigadores



buscaban exponer el desarrollo de extracción de metales pesados a través de las plantas de cacao situadas cerca de rutas viales. En granos de cacao, especialmente cadmio (Cd) y plomo (Pb). El estudio fue un experimento realizado usando un esquema estadístico de bloques al azar completamente distribuidos (BCA) con un total de seis intervenciones y tres iteraciones (nueve ejemplares de plantas por cada subdivisión de terreno). Los resultados obtenidos permiten concluir que los cultivos intercalados, es decir, las plantas cultivadas en callejones, tienen la capacidad de acumular metales pesados en sus tejidos. Se observó que tres especies en particular, *Colocasia esculenta*, *Solanum topiro* (llamada cocona) y *Eryngium foetidum* (también conocida como sacha culantro) exhibieron una alta eficiencia en la fitoextracción debido a su rendimiento y movilidad, además de factores edáficos como la presencia de material orgánico, el nivel de pH y la habilidad del suelo para realizar intercambios catiónicos. Asimismo, se identificó una conexión entre la existencia de micro y macronutrientes en el suelo y su calidad general, lo cual repercute en el bienestar de las plantas y en su habilidad para generar producción.

Rankins et al. (2015), los investigadores estudiaron los grados de plomo en el cacao y en los artículos elaborados a partir de éste, así como la magnitud global de la problemática. Para ello, utilizaron análisis isotópicos para identificar la fuente del plomo y determinar si procedía de la contaminación local o de la contaminación atmosférica global. Los resultados obtenidos muestran que la aparición de plomo en el cacao y sus subproductos es una consecuencia de la polución atmosférica global y no de la contaminación local en las regiones productoras de cacao. Estos hallazgos sugieren que es necesario tomar medidas para aminorar la contaminación de plomo en el cacao y en los artículos elaborados a partir de él, ya que esto repercute y genera gastos para los productores de cacao internacionalmente.

Castebianco (2018), indica que la concentración de estos metales, específicamente Cd y Pb, en el grano es igual o superior al 50%, siendo estas cantidades grave en la alimentación y produce enfermedades, experimentos realizados en diferentes lugares del país.

Donkor et al. (2016), los investigadores realizaron un estudio para analizar niveles de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en los granos de cacao en el Área de Martín. Los datos obtenidos indican que las concentraciones de plomo y cadmio en las muestras cumplen con las directrices establecidas por la Comisión Europea.

Ackah et al. (2015), los investigadores analizaron la cantidad de metales pesados en el terreno y en los granos de cacao de las principales zonas cacaoteras de Perú. Los datos recopilados indican que la cantidad de cadmio y plomo en el suelo sobrepasan las recomendaciones establecidas, y también se observaron altas cantidades de estos en los granos de cacao.

Romic y Romic (2013) citado de Clemente et al. (2005), los investigadores en su estudio sobre los metales pesados en el cacao concluyeron que el empleo de caliza y la incorporación de material orgánico disminuían la disposición de metales pesados en los granos de cacao. Además, observaron mejores propiedades del suelo y niveles reducidos de cadmio.

Arévalo-Gardini et al. (2017), los investigadores del análisis determinaron que la posible absorción de cadmio por las plantas se puede reducir adoptando prácticas agronómicas apropiadas, como el control de la erosión, la rotación de cultivos y la fertilización, como lo sugieren los análisis del suelo.

## 2.2. Fundamentos teóricos

### 2.2.1. Cacao

#### 2.2.1.1. Origen

Quiroz (2022) menciona que, el género *Theobroma*, al cual pertenece el cacao, es originario del continente americano, específicamente de la cuenca del Amazonas, abarcando desde México hasta Perú. Además, se sugiere que existen dos subespecies del cacao: Criollo y Forastero. Se cree que el Criollo es originario de América Central, mientras que el Forastero proviene de la región del bajo Amazonas. Se ha observado que cada una de estas subespecies ha evolucionado de forma independiente.

Pérez et al. (2021) apuntan que:” El área de inicio del cacao se ubica probablemente en la parte nororiental de América del Sur, en las altitudes amazónicas” (p. 147).

#### 2.2.1.2. Taxonomía

Sosa (2021), expone al cacao según la siguiente tipología:

División: Fanerógamas.

Clase: Angiospermas.

Subclase: Dicotiledónea.

Orden: Malvales.

Familia: Sterculioideae.

Género: *Theobroma*.

Especie: *Theobroma cacao* L. (p.25).

#### 2.2.1.3. Caracterización botánica

De hecho, “El cacao se caracteriza por tener 20 cromosomas es por ello que es diploide, puede llegar a medir hasta 20 metros o menor tamaño a 8 metros, su producción es anual y se le considera perenne, se presenta en los bosques de América del Sur” (Venturo, 2017, pág. 20).

Cubas (2019), menciona que los frutos de la especie *Theobroma cacao* L varían en tamaño y forma y pueden tener con una longitud de hasta treinta cm y un diámetro de hasta diez cm. Además de tener forma ovalada o ligeramente oblonga, están recubiertas de una piel gruesa y coriácea que se vuelve roja, amarilla, morada o marrón cuando madura, según la variedad.

#### **2.2.1.4. Variedad de cacao**

González (2016), indica que el cacao se presenta en 3 variedades, de las cuales son, el cacao Criollo, originario de la parte norte de la selva y considera una de las variedades más antiguas, el cacao Forastero, esta variedad tiene mayor índice de presencia es por ello que representa el 90% del cacao en grano a nivel mundial y el cacao Trinitario, es una especie híbrida de la variedad criolla y forastero, su origen es la isla de Trinidad.

#### **2.2.1.5. Aplicaciones del cacao**

González (2016), refiere que los principales usos son: cacao en polvo, utilizado para la industria alimentaria en la fabricación de chocolate, esencia de bebidas, pulpa de cacao, comúnmente usada para la producción de licores, bebidas, cremas y manteca de cacao, esta es materia prima para cosméticos, jabones.

#### **2.2.2. Metales pesados**

Los metales de alta densidad y toxicidad en la agricultura se hallan en la tierra, el agua y el aire empleados para cultivar. Entre estos metales se encuentran el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg), el cromo (Cr), el níquel (Ni) y el arsénico (As). Estos elementos tienen la capacidad de ser asimilados por las plantas desde el suelo a través de sus raíces, y pueden acumularse en distintas partes de la planta, incluyendo aquellos productos que serán consumidos por humanos y animales. La existencia de estos metales en el suelo y en los cultivos agrícolas plantea un riesgo para la salud y el medio ambiente, por lo que es crucial supervisar y gestionar su presencia en la actividad agrícola (Bricio, 2021).

Florida-Rofner et al. (2018) mencionan que, la aparición de estos metales en suelos y plantaciones constituye un peligro para la salud humana y la sostenibilidad ecológica en el cuerpo humano es cada vez mayor, lo que ha superado el límite máximo fijado por el mundo y muchos países. A través de la exposición, el consumo y la inhalación, estos metales se acumulan en procesos conocidos como toxicocinética y toxicocinética. Se encuentran niveles elevados de estos metales en masas de agua contaminadas de forma antropogénica y natural (por ejemplo, agua geotérmica), en alimentos tratados con agroquímicos (fertilizantes y pesticidas) durante la agricultura y en el aire y el suelo debido a las emisiones de partículas de diversas fuentes, como las centrales eléctricas. Tráfico vehicular, minería, metalurgia y otras industrias.

### **2.2.3. Inicio de contaminación de la tierra con metales.**

“La actividad humana, incluyendo el uso de productos químicos y la explotación intensiva del suelo, constituye la razón principal de la existencia de metales tóxicos en distintas plantaciones. Estas acciones contribuyen a la contaminación ambiental” (Cárdenas, 2012, pág. 18).

Wong (2017) indica que, se hallan de forma natural en nuestro entorno, y que en niveles elevados pueden volverse tóxicos. Además, se menciona que las actividades humanas, como la minería, fundición e industria, Colaboran en elevar los niveles de estos metales en el entorno.

Reyes et al. (2016), informan que:

Específicamente, la presencia de metales pesados en el agua generada por actividades humanas en su mayoría, afecta directamente la sanidad salud pública. Estudios recientes dieron a conocer que mediante el riego distintas hortalizas presentaron contaminación directa de metales pesados tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) (p. 22).

Mendoza-Escalona et al. (2021), indicaron que la concentración de metales pesados en la tierra puede aumentar a causa de diferentes interacciones, tales como la formación de complejos con sustancias orgánicas o la adherencia a partículas coloidales. En principio, se espera que los suelos actúen como filtros ambientales eficaces. No obstante, las prácticas agrícolas que modifican la acidez del suelo pueden liberar estos metales, elevando así la probabilidad de que sean absorbidos por las plantas. Además, los metales en suelos arenosos pueden filtrarse y contaminar las aguas subterráneas.

Muñoz (2017), mencionó que, según el reglamento, se observó que la mayoría de casos, la cantidad de cadmio en la tierra superaba los niveles permitidos, y se encontraron concentraciones biodisponibles en todas las estaciones. El estudio descubrió que la cantidad media de cadmio en la tierra de cada nación superaba tanto los límites nacionales como internacionales establecidos. No obstante, los niveles en granos de cacao no rebasaron el límite establecido a nivel internacional.



#### **2.2.4. Clasificación de metales pesados**

Londoño et al. (2016), argumentan que son elementos químicos con una densidad significativa que existen de forma natural. Se dividen en tres grupos en su capacidad para combinar con otros componentes. La clase A incluye elementos que son altamente reactivos la clase A contiene elementos como Al, Ca, Sr y Ba que suelen interactuar con oxígeno. La clase B está compuesta por elementos como Cu(I), Hg y Ag, que reaccionan más con azufre. La clase C incluye metales como Fe, Co, Ni, Zn, As, Cd, Pb y Cu (II), que tienen una afinidad media con otros componentes.

##### **2.2.4.1. Generalidades del cadmio y plomo**

Muñoz (2017), manifiesta que, según la normativa, en la mayoría de veces el Cadmio sobrepasa los límites permisibles, y se puede encontrar en distintas formas en el ambiente. La media obtenida de cadmio en distintos ecosistemas, en su mayoría sobrepasa el límite permisible por entidades nacionales e internacionales.

El cadmio (Cd) es un elemento pesado que no es imprescindible para el desarrollo vegetal. Su presencia puede estar relacionada con el uso de fertilizantes fosforados y la extracción de zinc y cobre, ya que es un subproducto de estas actividades, puede ser absorbido por las plantas y acumularse en diversas partes, como raíces, tallos, hojas, frutos y semillas. La concentración de cadmio en las plantas depende de factores como el tipo de planta y la edad. La existencia de cadmio en las plantas tiene un impacto en su desarrollo y en su habilidad para llevar a cabo la fotosíntesis. Además, provoca una disminución de la concentración de nitratos, lo que provoca un desequilibrio en el metabolismo de los cloroplastos, lo que conduce a la aparición de clorosis. (Llatance et al., 2018).

Wong (2017), refiere que se han observado diferentes factores que afectan la absorción de Cd, en diferentes cultivos. Por ejemplo, el pH del suelo es de gran importancia, ya que se ha observado que las plantas son más capaces de absorber cadmio en suelos ácidos. Además, cuando aumenta el nivel de cadmio en la tierra, también aumenta la posibilidad de que las plantas absorban más cantidad de este metal. Otro factor importante es la temperatura, ya que se ha observado que las plantas absorben mayor cantidad de cadmio en condiciones de temperatura más altas. Por otro lado, La existencia de compuestos orgánicos en la tierra, generalmente disminuye asimilación de cadmio por las plantas, lo que puede estar relacionado con un aumento en la habilidad del suelo para intercambiar cationes (CIC).

Guerrero et al. (2020), subrayan que el plomo, cadmio, cromo, zinc y mercurio se distribuyen en el entorno, contaminando tanto el agua como la tierra, en gran parte debido a actividades antropogénicas. Estos metales plantean una amenaza considerable para la flora, la fauna y los seres humanos a causa de su longevidad en el medio ambiente, su habilidad para bioacumularse, su resistencia a la biodegradación y su toxicidad incluso a bajas concentraciones.

Robledo y Castaño (2012), mencionan que el (Cd) es una sustancia peligrosa que se añade a los contaminantes que afectan negativamente al medio ambiente. Su toxicidad se evidencia a través de sus efectos adversos en el bienestar humano y el medio ambiente natural, su tendencia a bioacumularse en organismos vivos, su longevidad en el medio ambiente y su capacidad para desplazarse a extensas áreas mediante el viento y cuerpos de agua.

### **2.2.5. Metales pesados en el grano de cacao**

Se detectan en los granos de cacao no se incorporan intencionalmente, sino que emergen a lo largo de diversas fases como la cultivación, manufactura, tratamiento, embalaje, traslado y conservación, así como por contaminación del entorno. Su existencia en el cacao puede suponer una amenaza para la salud, ya que las plantas pueden asimilar estos elementos del terreno, almacenarlos en sus frutos y, eventualmente, ser consumidos por humanos. Es relevante subrayar que estos metales pueden originarse tanto naturalmente en la tierra como a raíz de intervenciones humanas (Bricio, 2021).

### **2.2.6. Metales pesados en suelos agrícolas**

Mendoza-Escalona et al. (2021), indican que la existencia de estos en la tierra representa un riesgo para la salud como para la variedad biológica de plantas y animales. Estudios han demostrado que la exposición a estos elementos está relacionada con afecciones como el cáncer, así como daños en órganos como el hígado y los riñones. La contaminación del suelo por estos metales se asocia principalmente con procesos industriales como la minería y la perforación petrolera. Las aguas desechadas por la industria podrían ser un origen potencial de contaminación, desechos de plantas cerveceras y papeleras, y compost no purificado, entre otros factores. Es más frecuente encontrar suelos afectados por estos contaminantes en áreas urbanas y en las proximidades de ciudades que en regiones agrícolas.

Lázaro (2015), señala que en el suelo se realizan actividades enzimáticas que se encargan de descomponer materia orgánica y del reciclaje de nutrientes, los microorganismos presentes en este mediante su ciclo metabólico procesan estos elementos con la ayuda de enzimas como las oxidorreductasas e hidrolasas.

Trujillo et al. (2020), indican que:

La presencia de Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn), es causa de actividades antropogénicas, ejemplo el uso de fertilizantes químicos, pesticidas, biocidas, etc. Sin embargo, se observa que existen metales pesados que son necesarios para el desarrollo de distintas plantas estos son el Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y el Zinc (Zn). La mayoría de metales pesados ingresan a los alimentos eventualmente al cuerpo humano acumulándose (p.9).

### **2.2.7. Asimilación de metales pesados por plantas**

La captación de metales pesados por la planta de cacao es mínima y generalmente se origina de la presencia endógena de estos elementos en la tierra. Los metales se acumulan más en las semillas ricas en grasa de la planta, y las concentraciones pueden variar de una región a otra (Wong, 2017).

Venturo (2017), el texto destaca que, la integración en la cadena alimentaria empieza con su absorción por el sistema vegetal. La habilidad de las plantas para captar y guardar estos metales está regulada por distintas etapas, que incluyen su transición desde el suelo a las raíces, su paso a través de las células de la corteza radicular, su traslado por la xilema hasta los tallos, y finalmente, su potencial reubicación a depósitos de almacenamiento como semillas o frutos mediante el floema. Este fenómeno es crucial, ya que la presencia de estos en los productos vegetales constituye un riesgo para el bienestar humano como animal cuando estos alimentos son consumidos.

Castebianco (2018), la fuente apunta que, elementos como el plomo y el cadmio pueden hallarse en la tierra tanto de manera innata como a consecuencia de acciones humanas. Las plantas tienen la habilidad de tomar y retener estos metales en distintas secciones y en proporciones variables. En lo que respecta al cacao, se ha registrado una notable concentración de estos metales en las semillas y en las hojas de la planta. Considerando que alimentos derivados del cacao son especialmente populares entre los niños, es esencial que se reduzcan los niveles de estos metales en los productos finales para proteger la salud.

Cartagena (2018), refiere que la fuente destaca que las plantas cuentan con procesos altamente sofisticados para la absorción, transporte y almacenamiento de nutrientes. A pesar de esto, hay metales y metaloides que no son fundamentales para la planta pero que pueden ser asimilados y retenidos debido a su comportamiento electroquímico parecido a elementos vitales para la planta. El procedimiento es guiado por múltiples factores, incluida la transferencia de los metales desde la matriz del suelo hasta las raíces vegetales, su paso a través de las barreras celulares en la corteza de la raíz, su movimiento desde la corteza al conducto de la xilema, y su potencial redistribución desde el follaje a depósitos orgánicos como frutos, tubérculos y semillas a través del canal del floema. Tras ser absorbidos por la planta, estos metales pueden entrar en la dieta de animales y seres humanos, ya que se integran en la cadena alimentaria.

Se indica que las plantas pueden absorber elementos dañinos como estos, no solo a través de sus raíces sino también mediante sus hojas. La existencia de trazas de ciertos elementos provenientes de fuentes atmosféricas puede contribuir de manera considerable a la contaminación vegetal, en particular cuando se aplican abonos foliares. El proceso de absorción foliar de metales pesados implica una etapa de traspaso a través de la capa cuticular seguida de un proceso metabólico que resulta en la acumulación de estos elementos en los tejidos vegetales. Existen plantas específicas, incluidas algunas especies de cultivos, que son capaces de acumular grandes cantidades de metales en sus sistemas. Estas plantas son conocidas como hiperacumuladoras y generalmente se encuentran en suelos con altos niveles de metales, ya sea debido a factores naturales o contaminación antropogénica (Lázaro, 2015).

### **2.2.8. Metales pesados que afectan el suelo**

#### **Cadmio**

Sánchez (2016), indica que:

El cadmio es metal pesado altamente tóxico en el estado de oxidación. Existe en una corteza terrestre junto con otros metales pesados como el zinc. Su movilidad en el suelo depende de varios parámetros, así como: pH, potencial redox, cantidad de materia orgánica y presencia de arcilla y óxidos de hierro. Encontramos cadmio en el medio ambiente causado por humanos a través del trabajo industrial. Puede causar daños a la salud, como problemas renales, óseos y cancerosos. Es importante cumplir con la normativa sobre cadmio y controlar los diferentes alimentos que consumimos, como las verduras (p. 3).

## Níquel

Hassan et al. (2019), enfatiza que:

El Ni es un elemento que no se encuentra de manera natural en el agua ni en el suelo, se trata de un micronutriente vital para el bienestar y crecimiento de las plantas; sin embargo, altas cantidades pueden ser dañinas para ellas. En la naturaleza, el Ni generalmente se muestra como  $Ni^{2+}$ , pero en la tierra se encuentra principalmente como  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ . Los principales efectos tóxicos que afectan al cultivo son:

- Producción de radicales libres que dañan las células.
- Bloqueo del proceso de germinación.
- Reducción de la capacidad de realizar fotosíntesis.

## Arsénico

Albán (2023), indica que:

el arsénico es el contaminante más extendido en el ambiente, el arsénico se puede hallar en modalidades tanto orgánicas como inorgánicas. Las formas inorgánicas como arsenito ( $As^{III}$ ) y arseniato ( $As^{V}$ ) son más prevalentes en la composición del suelo, mientras que las formas orgánicas son menos abundantes. Los efectos perjudiciales relacionados con este elemento químico son:

- Detención del desarrollo en las plantas.
- Disminución en la producción de clorofila.

### 2.2.9. Metales pesados que afectan los cultivos del *Theobroma cacao L.*

#### Cadmio

Wong (2017), refiere que la actualidad existe una gran preocupación a nivel global por la contaminación de Cd en suelos, plantas especialmente en el cacao y a su vez en el chocolate. Este metal pesado, tiene la característica acumularse en el organismo humano y causar enfermedades crónicas, como problemas renales, osteoporosis, enfermedades cardiovasculares y cáncer.

González (2016), indica que los pequeños productores de cacao enfrentan diversos desafíos relacionados con la calidad y seguridad alimentaria la presencia de sustancias contaminantes de origen natural en los granos de cacao tiene un efecto adverso en su venta en el ámbito internacional.



Por lo tanto, es esencial que los pequeños productores cumplan con ciertos estándares de calidad para poder vender sus productos en el mercado internacional, ya que la calidad del cacao es muy importante para los países importadores.

Oumenskou et al. (2018), citado por Albán (2023), menciona los efectos tóxicos en el cultivo de cacao:

- Movilidad de nutrientes y agua a través de la planta.
- Incremento del daño ocasionado por la oxidación.
- Alteración del proceso metabólico.
- Detención del desarrollo morfológico y fisiológico

### **Plomo**

Lan (2020) se hace hincapié en que:

El plomo, un metal pesado no biodegradable, compone una fracción muy pequeña de la corteza terrestre, específicamente el 0.002%. Este elemento puede existir en estados líquido o gaseoso y tiene la capacidad de unirse al agua de lluvia, depositándose posteriormente en el suelo. Además, los efectos tóxicos que produce al cultivo del grano de cacao son:

- El estrés oxidativo puede ocasionar daño en el ADN.
- Reducción en la cantidad de clorofila presente.
- Retraso en el crecimiento de las hojas.

#### **2.2.10. Métodos analíticos para determinar cadmio en almendras cacao**

De acuerdo a Tantalean (2017), indica en su análisis del suelo utilizando la metodología por vía seca, consistió en:

Determinar la materia seca de la muestra, para ello se coloca 2 gr de muestra n una estufa a 105°C por 24 horas, se procede al pesado, después, la muestra se coloca en una mufla a 450 °C por 8 horas. Al finalizar se agrega ácido clorhídrico concentrado, evaporar el ácido y diluir con agua en fiola de 100 ml, la solución se lleva al Espectrofotómetro de absorción atómica para determinar el resultado final (p. 36).

### **Espectrometría de absorción atómica**

Facilita la detección y el análisis cuantitativo de la mayoría de los metales pesados en muestras. Esta técnica utiliza dos métodos para convertir la muestra en átomos sueltos: este método implica el uso de una fuente de llama y un proceso de calentamiento utilizando un horno de grafito calentado eléctricamente. Mediante esto se pueden obtener datos precisos sobre el contenido de metales pesados de una muestra. Esta capacidad es útil en una variedad de campos, incluida la industria alimentaria, la investigación ambiental y la salud pública (Albán, 2023).

### **Espectrometría de emisión atómica**

Es una técnica espectroscópica que se utiliza para analizar la longitud de onda de los fotones emitidos cuando los átomos o moléculas pasan de un estado excitado a un estado de menor energía. Cada elemento tiene una estructura electrónica única y, por lo tanto, emite un conjunto específico de longitudes de onda únicas. Al analizar estas longitudes de onda, se puede determinar la composición elemental de la muestra. El procedimiento más común es calentar la muestra a altas temperaturas, lo que crea excitaciones debido a las colisiones de átomos en la muestra (Venturo, 2017).

### **Espectrometría de masas acoplada a plasma inducido**

En los veinte años más recientes, las técnicas de análisis elemental e isotópico han captado interés creciente por su capacidad para discriminar isótopos y detectar concentraciones sumamente bajas, incluso por debajo de  $10^{-6}$  mg L<sup>-1</sup>. Estas particularidades las hacen más eficaces que otros métodos analíticos convencionales, tales como la fluorescencia de rayos X o la técnica de espectrometría de captación atómica. En consecuencia, la espectrometría de masas a través de plasma inducido por acoplamiento (ICP-MS) se ha vuelto especialmente apta para diversas aplicaciones (Venturo, 2017).

#### **2.2.11. Remediación en suelo afectado por Cadmio**

Es esencial cuantificar cuán amenazantes son los metales pesados para diversas formas de vida en los ecosistemas terrenales y se puede lograr mediante la realización de bioensayos eco-toxicológicos. La fitorremediación se utiliza para tratar suelos contaminados con sustancias inorgánicas, y se compone de tres mecanismos principales:

### **Fitorrestauración**

La técnica de fitorrestauración consiste en emplear plantas para tratar in situ suelos contaminados, sedimentos y agua, con el fin de eliminar compuestos orgánicos, nutrientes y contaminantes metálicos. Esta técnica resulta más efectiva en zonas con contaminación superficial (a menos de 3 metros de profundidad, dependiendo de la capacidad de enraizamiento de las plantas) (Fiallos, 2017).

### **Fitoextracción**

La técnica de fitoextracción implica emplear plantas con la capacidad de acumular sustancias tóxicas o compuestos orgánicos en partes que pueden ser cosechadas, con el objetivo de eliminar estos elementos del suelo al absorberlos y concentrarlos. Este método se fundamenta en procesos fisiológicos que permiten a la planta funcionar como un "aspirador", extrayendo los metales del suelo mediante sus raíces y almacenándolos en sus tejidos aéreos gracias al proceso de fotosíntesis. Las especies metalofitas son especialmente adecuadas para esta técnica, ya que demuestran una notable capacidad para sobrevivir en suelos con niveles elevados de metales (Fiallos, 2017).

### **Fitorremediación**

Fonseca (2021), menciona los distintos métodos que se encuentra:

**Fitotransformación:** es una técnica que emplea plantas para procesar sustancias, tanto internas como externas, a través de enzimas catalíticas, con el fin de degradarlas y reducir su toxicidad.

**Fitoestimulación:** "Consiste en el estímulo de la región de la rizosfera y las raíces vegetales a través de la descomposición de contaminantes por microorganismos".

**Rizofiltración:** es una técnica donde las raíces vegetales captan y asimilan contaminantes y sustancias tóxicas que están presentes en el agua.

**Fitoestabilización:** se refiere a la capacidad de las plantas emplean vegetales que son capaces de resistir los efectos de los metales pesados para atraparlos en el suelo, lo que disminuye su capacidad de desplazamiento y reduce la probabilidad de que sean incorporados a la cadena alimentaria.

**Fitoacumulación:** es una técnica que utiliza recurren a plantas capaces de soportar los efectos de los metales con el fin de limitar la movilidad de estos elementos, evitando su migración hacia las capas subterráneas de agua.

### **2.2.12. Reglamento y límites permisibles de cadmio en el cacao**

Jiménez (2015), señala que:

A partir del 1 de enero de 2019, la Unión Europea ha establecido intervalos permitidos para la concentración de cadmio en diferentes productos obtenidos a partir del cacao de 0,10-0,60 mg/kg (OMC). En Canadá para que un chocolate de más 50% de sólidos de cacao tiene que tener un rango de 0,02 a 0,86mg/kg y en Ecuador un rango de 0,03 a 1,56 mg/kg; con un promedio de 0,378mg/kg mientras en Mercosur para un chocolate y productos de cacao menor al 40% de cacao tiene un límite recomendado de 0,2mg/kg (p. 35).

Diferentes naciones, en conjunto con la Comisión del Codex Alimentarius, han alcanzado un acuerdo para establecer valores máximos permitidos con el objetivo de resguardar la salud de los consumidores y garantizar la integridad del medio ambiente y sus habitantes, contra los efectos perjudiciales de los contaminantes orgánicos y los metales tóxicos (Guanoliqún, 2021).

Mientras en Perú no hay un rango considerable de cadmio en el chocolate, Por otra parte, se determinó que “Se puede presentar distintas concentraciones de Cd, en varias áreas, principalmente en los cultivos de cacao muestran una propensión a absorber el cadmio” (Huamaní-Yupanqui et al., 2019, pág. 340).

### **2.2.13. Dificultades en la salud por la presencia de metales pesados**

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2017), la exposición al plomo puede causar daño cerebral, reducir la capacidad de aprendizaje y la función renal, y aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, la exposición al cadmio puede causar daño renal, enfermedad pulmonar, osteoporosis y cáncer.

Moon et al. (2018), argumentan que el contacto con metales pesados tales como el arsénico y el cromo puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes. Los sistemas biológicos requieren de Determinados metales, tales como el hierro, el cobre, el zinc y el manganeso, son indispensables para un funcionamiento óptimo. No obstante, ciertos metales pesados, como el plomo, resultan tóxicos para el organismo humano, incluso a niveles de exposición bajos, lo que es frecuente en ambientes ocupacionales y ambientales.

“Además, se ha demostrado que metales como el plomo, el cadmio y el arsénico están asociados con diversas enfermedades orgánicas, destacando entre ellas las nefropatías y las alteraciones vasculares” (Chávez-Gómez et al., 2017).

La salud del consumidor se encuentra en riesgo debido a que los alimentos son ingeridos por vía oral, lo que genera preocupación ante la presencia de microcontaminantes y oligoelementos en los cultivos. Estos elementos son elementos integrantes de las formulaciones de alimentos balanceados, piensos y otros productos alimenticios para uso humano y animal, lo que incrementa la preocupación respecto a la eventualidad de su ingestión (Guanoliquín, 2021).

#### **2.2.14. Investigación sobre los metales pesados**

Condezo y Huaraca (2018), indicaron que existió una concentración de 0,11-08 de Arsénico, 0,11-0,07 cadmio, 1,18-0,10 plomo estos fueron tanto en café y cacao, que los rangos obtenidos de estos metales pesados son permisibles para el consumo humano según la Codex Alimentarius.

Florida-Rofner et al., (2018), reporta que en el suelo de la plantación de cacao de la variedad CCN-51 se registró un pH de 5,68, y la presencia de cadmio en el suelo resultó en un valor de 0,32. En las almendras, se identificó un valor de 0,98 para el contenido de cadmio. Esto indica que los niveles de cadmio encontrados en los granos de cacao superan los límites aceptados por la Unión Europea.

Cortez y Marín (2020), refieren que se deben a causas antropogénicas y naturales como también se afirman que el cadmio y el plomo con el paso del tiempo fueron aumentando debido a la actividad humana ya que son ellos quienes mineralizan, utilizan agroquímicos, queman basura, exponen al grano de cacao contaminarse con petróleo, ya que muchos productos utilizan los pavimentos de las calles como forma de secar sus granos, la explotación forestal y la drástica actividad agrícola también es uno de los muchos factores de la presencia de metales pesados. Es por ello que es de suma importancia realizar un análisis previo del producto antes de ser comercializados y así se evitar perjudicar la salud de los consumidores.

Fonseca (2021), menciona que la presencia de estos en los granos de cacao es resultado de la práctica de la agricultura de cultivos combinados, el contacto con metales pesados tales como. Las plantas de pituca, cocona y sachá culantro exhiben una mayor capacidad para extraer metales pesados de la tierra debido a su dinamismo y movilidad, especialmente en su capacidad para intercambiar cationes presentes.

según Bricio (2021), refiere que la contaminación de estos metales pesados causa problemas ambientales y sobre todo daña a la salud provocando enfermedades, el cadmio es identificado como el metal pesado con la toxicidad más alta y una amplia distribución en todo el mundo, este metal es común en los suelos ácidos ya que se

intercambia de manera fácil y disponible en la planta provocando así una contaminación en las áreas, generando así la contaminación en los granos, hojas y la planta en general del cacao que al consumido por los humanos trae consecuencias como también pérdidas económicas al agricultor porque ese grano contaminado ya no será comprado.

Mendoza-López et al. (2021) indican que: “En las zonas que se encuentran a 600 y 800 msnm presentan valores muy altos de cadmio de las cuales no se sitúan dentro de los rangos permitidos según las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS)”.

Furcal y Torres (2020), concluyeron que, a pesar de la detección de una cantidad reducida de muestras de suelo con cadmio, se confirmó la presencia de este metal en los componentes del árbol de cacao, especialmente en la Región Sur. Esto evidencia la acumulación biológica de Cd en las estructuras celulares de los árboles de cacao.

Matos-Moya et al. (2022), en sus resultados demostraron que: “Dos de las muestras de cacao analizadas excedieron el límite máximo de plomo y otras dos muestras de cacao tenían niveles de cadmio por encima de los límites, por lo que concluyo que el contenido de plomo y cadmio en los productos de cacao puede diferir”.

Rosales-Huamaní et al. (2021), concluyeron que: “En el caso de los suelos, la concentración media de cadmio fue de 1,25 mg/kg, lo cual se encuentra por debajo del umbral permitido establecido por el MINAM, que es de 1,4 mg/kg”.

### **2.2.15. Opciones de mitigación.**

Vanderschueren et al. (2021) refiere las siguientes prácticas:

#### **Enmiendas del suelo**

La absorción de cadmio de la tierra por las plantas de cacao se ve influida por tres cualidades primordiales de la tierra: la cantidad total de cadmio presente en la tierra, el nivel de acidez (pH) y la proporción de materia orgánica. Por lo general, la capacidad de movilidad aumenta a medida que disminuye el pH y se reduce el contenido de materia orgánica. Cuando es menos móvil en la tierra, también disminuye su disponibilidad para ser tomado por las raíces de las plantas de cacao.

#### **Manejo de fertilizantes**

La adición de zinc (Zn) o manganeso (Mn) como suplemento reduce la asimilación de cadmio, ya que estos elementos ingresan a la planta por el mismo proceso de

transporte. Sin embargo, esta corrección sólo tendrá un efecto positivo si la planta del cacao tiene deficiencia de zinc o manganeso.

### **Compost u otras enmiendas orgánicas**

reflexionar sobre el impacto de la materia orgánica en la traslación del cadmio es esencial. Incorporar aditivos que elevan el nivel de materia orgánica en el terreno, como el compost, disminuye la captación por las plantas. Además, emplear compost junto con cal potencia el efecto de la cal en niveles subterráneos de la tierra.

### **La selección de cultivares**

Aunque esta táctica muestra un gran potencial a futuro, las investigaciones al respecto aún están en etapas iniciales. Hasta ahora, no existen estudios que comparen los efectos entre patrones y variedades injertadas. Utilizar patrones que acumulen mínimas cantidades de Cd para realizar injertos podría ser una técnica con futuro.

### **Mitigación postcosecha**

La concentración de cadmio en la parte céntrica del grano de cacao (llamadas semillas) se puede reducir durante el proceso de fermentación, siempre y cuando alcance un nivel suficiente de acidez. Estudios recientes han proporcionado resultados alentadores sobre el efecto de las condiciones de fermentación sobre el contenido de cadmio de los cereales.

### **Cacao**

Ramírez y Sánchez (2021), afirma que: “El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una planta de la familia de los bosques tropicales sudamericanos, centrada en la región de origen, que comprende las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo, afluentes del río Amazonas”.

Cayetano (2021), cabe destacar que es una especie que forma parte de la familia botánica Malvaceae y es un cultivo que prospera en zonas tropicales de América del Sur, África occidental y el sudeste asiático. Los granos de cacao se exportan principalmente a América del Norte y Europa, donde se utilizan para elaborar chocolate y confitería.

### **Costo de producción**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016), señalan que los costos de producción son los desembolsos requeridos para mantener en operación un proyecto, una línea de procesamiento o un equipo.

Areas (2021), subraya que se trata de la suma de los gastos y pagos esenciales para la producción de un bien o servicio durante un período específico.

### **Patógeno**

Clara (2013) se refiere a cualquier organismo o agente biológico externo que ingresa en un organismo vivo específico y causa daño a su estructura o provoca enfermedades, ya sean evidentes o no.

Rivera y Wright (2020), se refieren a sustancias u organismos que tienen la capacidad de causar daño o enfermedad en un organismo huésped. Estos patógenos pueden ser microorganismos como bacterias, virus, hongos, protozoos, priones y toxinas.

### **Plaga**

González et al. (2021), una plaga es un conjunto de organismos que, en determinadas circunstancias, pueden causar daños significativos a la salud, el medio ambiente o la economía, y que requieren medidas de control para prevenir su propagación.

Instituto de Investigación para el Desarrollo Rural Sostenible y la Autonomía Alimentaria (CEDRSSA, 2020), indica que se entiende como plaga a todo ser vivo que genere perjuicio o daño a seres humanos, animales o cultivos. Entre estos organismos se incluyen insectos, ácaros, nematodos, roedores, aves, microorganismos, entre otros.

### **Producción de cacao:**

Arévalo et al. (2017), citado de Ramírez y Sánchez (2021), señalan que se refiere a la cantidad de toneladas métricas de almendras de cacao que se obtienen, ya sea en forma entera o partida, crudas o tostadas y que se usan como materias primas para la elaboración de distintos productos derivados.

Ramos (2022) refiere a todas las labores agrícolas relacionadas con la siembra del *Theobroma cacao L.*, también conocido como árbol de cacao y recolección de granos de cacao para su procesamiento industrial.



## **CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Ámbito de la investigación**

#### **3.1.1. Contexto de la investigación**

La provincia de Mariscal Cáceres, se ubica en la Región San Martín, con una población Provincial es de 64626 habitantes.

Los límites de la Provincia son:

Norte: Con la provincia de Huallaga.

Sur: Con la Provincia de Tocache.

Este: Con el Departamento de Bellavista.

Oeste: Con el Departamento de La Libertad.

#### **3.1.2. Ubicación geográfica**

Latitud sur : -07° 28 56"

Longitud oeste : -76°39'09"

Altitud : 285 m.s.n.m.m

#### **3.1.3. Condiciones climáticas**

Ecosistema : Bosque seco tropical

Precipitación : 1 731,2 mm./año

Temperatura : Máx = 32,6°C; Mín = 22°C; Prom = 27,3°C

Altitud : 285 m.s.n.m.m.

Humedad relativa : 80%.

#### **3.1.4. Periodo de ejecución**

El presente trabajo de tesis se ejecutó entre enero a marzo del 2023.

#### **3.1.5. Autorizaciones y permisos**

Para este informe de investigación no se realizó ninguna autorización ya que no afecta por ningún motivo al medio ambiente.

### 3.1.6. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

La Investigación presente no generó impactos negativos al medio ambiente.

### 3.1.7. Aplicación de principios éticos internacionales

La investigación presentada respetó los principios éticos generales de la investigación, entre los que cabe destacar: integridad, respeto a las personas, al ecosistema y justicia.

## 3.2. Sistema de variables

### 3.2.1. Variable de estudio

- Información de Metales pesados en granos de cacao.
- Medidas de mitigación.

**Tabla 1**

*Descripción de variables por objetivos específicos*

<b>Objetivo específico 1:</b> Analizar los efectos de la implicancia de los metales pesados en granos de cacao de productores de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Implicancia de Metales pesados Grano de cacao	Cadmio (Cd) en grano de cacao	- Registros de análisis	ppm
	Plomo (Pb) en la planta de cacao	- Registros de análisis	ppm
	Arsénico (As) en el grano de cacao	- Registros de análisis	ppm
<b>Objetivo específico 2:</b> Analizar y determinar las medidas de mitigación para reducir el Cadmio en cacao en el distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Medidas de mitigación de cadmio	Cadmio (Cd) en el suelo	- Registros de análisis	ppm
	Cadmio (Cd) en la planta	- Registros de análisis	ppm
	Cadmio (Cd) en el grano de cacao	- Registros de análisis	ppm

### **3.3. Procedimientos de la investigación**

El presente trabajo se caracterizó por ser un estudio de tipo descriptivo, referida a la revisión y análisis de fuentes bibliográficas confiables, sobre la presencia de metales pesados en el grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la provincia de Mariscal de Cáceres, región San Martín año 2022.

#### **3.3.1. Objetivo específico 1**

Analizar y determinar los efectos de la implicancia de los metales pesados en granos de cacao de productores de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín.

Búsqueda de la Información: Se realizó la búsqueda referente a la variable del problema considerando contenidos de cadmio en granos y suelos de trabajos de la selva peruana en diferentes repositorios autorizados, como Springler, Scielo, Redalyc, Google Académico, Scopus, tesis y artículos científicos, citando a los autores de cada investigación.

Análisis de la Información: se procedió a analizar y seleccionar la información adecuada para enriquecer la Tesis.

Sistematización: Se procedió a ordenar la información de acuerdo a las Normas APA séptima edición utilizando ordenadores como Mendeley y Zotero, aplicando la técnica del parafraseo.

Redacción de la Información: se procedió a redactar la presente tesis de acuerdo a la estructura y el reglamento de la universidad, siguiendo los lineamientos, directivas y el manual de estructura y redacción del informe final de la UNSM 2022.

### **3.3.2. Objetivo específico 2**

Analizar y determinar las medidas de mitigación para reducir el Cadmio en cacao en el distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín.

Búsqueda de la Información: Se realizó la búsqueda referente a la variable del problema considerando contenidos de cadmio en granos y suelos de trabajos de la selva peruana en diferentes repositorios autorizados, como Springler, Scielo, Redalyc, Google Académico, Scopus, tesis y artículos científicos, citando a los autores de cada investigación.

Análisis de la Información: se procedió a analizar y seleccionar la información adecuada para enriquecer la Tesis.

Sistematización: Se procedió a ordenar la información de acuerdo a las Normas APA séptima edición utilizando ordenadores como Mendeley y Zotero, aplicando la técnica del parafraseo.

Redacción de la Información: se procedió a redactar la presente tesis de acuerdo a la estructura y el reglamento de la universidad, siguiendo los lineamientos, directivas y el manual de estructura y redacción del informe final de la UNSM 2022.

.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.1. Resultado del objetivo específico 1

En la tabla 2 se presenta los resultados de contenidos de metales pesados en granos de cacao en diversas regiones.

**Tabla 2**

*Contenido de metales pesados en granos de cacao*

Muestras		Cadmio (Cd)	Máximo Admisible (ppm)		Plomo (Pb)	Máximo Admisible (ppm)		Arsénico (As)	Máximo Admisible (ppm)	
		(ppm)	Comisión de Códex Alimentario (CAC)	Unión Europea (UE)	(ppm)	Comisión de Códex Alimentario (CAC)	Unión Europea (UE)	(ppm)	Comisión de Códex Alimentario (CAC)	Unión Europea (UE)
Región	Lugar									
Cajamarca	Jaén	0,07			0.1			0,08		
Huánuco	Tingo María	0,07			6,52			0,11		
Huánuco	Tingo María	1,55			3,42			0,09		
Huánuco	Leoncio Prado	3,91			2,14			0,07		
Huánuco	Aucayacu	0,63			2,11			0,05		
San Martín	Huallaga	1,15			0,02			0,92		
San Martín	Lamas	0,07	0,05	0,5	----	2	2	0,04	0,1	----
San Martín	Lamas	0,28			----			----		
San Martín	Lamas	0,88			----			----		
San Martín	Pucacaca	0,64			----			----		
San Martín	Juanjuí	0,39			----			----		
Ucayali	Ucayali	0,74			1,77					

*Nota: adaptado de Condezo y Huaraca (2018)*

Para el contenido de metales pesados en granos de cacao, en la tabla 2, los resultados reflejan la presencia de cadmio, plomo y arsénico, en las regiones de Huánuco, San Martín y Ucayali, la región de Huánuco en donde se encontró el nivel más alto, Leoncio Prado con 3,91 ppm, seguido de Tingo María con 1,55 ppm y Huallaga Central. Los lugares con menos contenidos, Tingo María – Huánuco, Jaén – Cajamarca, Lamas – San Martín Juanjuí con 0,39 ppm. Este resultado convertido en derivado llega a 0,8 ppm, siendo la restricción para derivados del cacao en cadmio el código alimentario y la unión europea solo permite el 0,6 ppm. Para plomo solo permiten 2,0 ppm y para arsénico el código alimentario permite el 1,0 ppm, la unión europea no estima rango en este metal pesado, esto quiere decir que la contaminación por metales en estas regiones está muy por alto de los rangos permitidos. Lo que tuvo como consecuencia la devolución de los granos de cacao exportados.

Estos datos son respaldados por, Rankins et al. (2015), quienes en este estudio investigaron la presencia de plomo en el cacao y los productos derivados del cacao y cómo esto representa un problema global. Utilizaron análisis isotópicos para identificar la fuente del plomo y determinar si provenía de la contaminación local o global. Los hallazgos indicaron que el plomo presente en el cacao y sus derivados era el resultado de la contaminación atmosférica global en lugar de la contaminación local en las áreas de producción de cacao es evidente. Esto resalta la importancia de implementar acciones para reducir la contaminación de plomo en el cacao y sus derivados, ya que esta situación resulta en pérdidas para los productores de cacao en todo el mundo.

Además, estos resultados están en línea con los descubrimientos de Castebianco (2018), quien concluye que la presencia de metales como el Cd y Pb en los granos es un hecho significativo, es mayor e igual al 50%, siendo estas cantidades grave en la alimentación y produce enfermedades.

De igual manera Arévalo (2016), muestra la correlación existente que tiene la presencia de metales pesados en plantaciones de cacao, teniendo el comportamiento dañino y fitotóxico.

Finalmente, los rangos aceptables establecidos para los granos de cacao, en relación a los metales pesados pueden variar según la legislación de cada país o región y las normas de las organizaciones internacionales.

**Tabla 3**

*Contenido de Cadmio, pH y CE en granos de Cacao en Juanjuí y Pucacaca*

Aspectos			Promedio		
Zonas	Clones	Partes del Grano	Contenido de Cadmio ppm	pH	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )
Juanjuí	ICS - 95	Evalúa	0,036	3,67	768,00
		Cotiledón	0,051	6,59	1660,30
	CCN - 51	Evalúa	0,037	3,63	714,30
		Cotiledón	0,037	6,42	1745,70
	Híbrido	Evalúa	0,054	3,87	778,00
		Cotiledón	0,067	6,64	1650,00
Pucacaca	ICS - 95	Evalúa	0,055	3,88	703,30
		Cotiledón	0,056	6,45	1805,70
	CCN - 51	Evalúa	0,028	3,59	652,30
		Cotiledón	0,032	6,51	1738,30
	Híbrido	Evalúa	0,042	4,01	682,00
		Cotiledón	0,053	6,52	1739,00

*Nota: adaptada de Venturo (2017).*

En la concentración de cadmio, pH y CE en granos de Cacao en Juanjuí y Pucacaca, la tabla 3 refleja que los granos de cacao de los clones ICS – 95, CCN – 51 y el híbrido, en las zonas de Juanjuí y Pucacaca, a pH de 3.63 hasta 6,52 y la conductividad eléctrica es relativamente baja por lo que no acumula sales, poca cantidad de metales pesados que están los límites están dentro del rango permitido tanto por el código alimentario como de la Unión europea.

Estos resultados son respaldados por Donkor et al. (2016,) analizaron los niveles de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en granos de cacao en la zona de San Martín, los resultados revelaron que las concentraciones de plomo y cadmio en las muestras no superaron los límites establecidos por la Comisión de la Unión Europea.

asimismo, estos resultados son similares a lo encontrado por Caporale et al. (2016), los investigadores examinaron las proporciones de metales pesados en granos de cacao y derivados de chocolate en Perú, descubriendo que los niveles eran en su mayoría reducidos y seguros para el consumo. A pesar de esto, se subraya la relevancia de vigilar el contenido de cadmio para asegurar la inocuidad de los alimentos.



### Metales pesados en suelos de la región San Martín.

**Tabla 4**

*Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (Theobroma cacao L.)*

Provincia	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Ni	Pb
Bellavista	166 $\neq$ 0,07	15,44 $\neq$ 0,07	52,85 $\neq$ 1,85	486,64 $\neq$ 19,89	0,20 $\neq$ 0,06	13,69 $\neq$ 2,17	7,18 $\neq$ 0,41
El Dorado	0,21 $\neq$ 0,07	2,43 $\neq$ 0,07	3,76 $\neq$ 1,85	82,63 $\neq$ 19,89	0,00 $\neq$ 0,00	1,64 $\neq$ 2,17	5,52 $\neq$ 0,41
Huallaga	1,56 $\neq$ 0,07	14,44 $\neq$ 0,07	43,56 $\neq$ 0,07	482,68 $\neq$ 0,07	0,13 $\neq$ 0,07	10,89 $\neq$ 0,07	5,76 $\neq$ 0,07
Mariscal Cáceres	1,58 $\neq$ 0,01	14,44 $\neq$ 0,4	49,00 $\neq$ 0,37	517,56 $\neq$ 4,00	0,21 $\neq$ 0,01	11,63 $\neq$ 0,44	9,36 $\neq$ 0,08
Tocache	1,26 $\neq$ 0,07	6,86 $\neq$ 0,32	35,16 $\neq$ 0,30	477,42 $\neq$ 3,31	0,00 $\neq$ 0,00	3,50 $\neq$ 0,36	6,71 $\neq$ 0,07

*Nota: adaptada de Arévalo-Gardini et al. (2016).*

En relación a la detección de metales pesados en los suelos de las plantaciones, los resultados presentados en la Tabla 4 señalan que, en la provincia, los niveles de estos elementos pesados en el suelo se encuentran dentro de los límites permitidos. Esta conclusión se respalda con la investigación de Ofori y colaboradores (2018), quienes llevaron a cabo un estudio que evaluó Los niveles de concentración de metales con un peso elevado en los granos de cacao en la región selvática peruana. Sus hallazgos indicaron que las proporciones estaban en línea con los niveles autorizados, y además destacaron que el uso de enmiendas orgánicas en el suelo, como el estiércol de gallinaza y el compost, resultaba en una reducción significativa de la cantidad de metales pesados en los granos de cacao. Por lo tanto, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles podría tener un impacto positivo en la disminución de la presencia de metales pesados en el cacao, mejorando la seguridad alimentaria en consecuencia. En contraste, Ackah y su equipo (2015). realizaron un análisis en el cual evaluaron los niveles de metales pesados tanto en el suelo como en las principales áreas productoras de cacao en Perú, los granos de cacao mostraron altas concentraciones de cadmio y plomo. Los hallazgos indicaron que estas cantidades en el terreno excedían las pautas recomendadas, y también se detectaron niveles significativos de estos metales en los granos del cacao.

#### **4.2. Resultado del objetivo específico 2**

El proceso de reducción de Cd en los granos de cacao en Juanjuí se trata de la aplicación de medidas de mitigación destinadas a disminuir los niveles de este metal pesado en los granos de *Theobroma cacao L.*, en la ciudad de Juanjuí, ubicada en la región de San Martín, en Perú.

Las medidas de mitigación representan pasos adoptados con el objetivo de disminuir o evitar las consecuencias perjudiciales de un problema específico. En el contexto del cacao, se pueden implementar diversas estrategias de mitigación para reducir los riesgos y los efectos negativos asociados. En la tabla 5, se exponen las acciones de mitigación diseñadas para minimizar la presencia de Cadmio en los cultivos de cacao en la localidad de Juanjuí, perteneciente a la provincia de Mariscal Cáceres, ubicada en la región de San Martín.

**Tabla 5**

*Medidas de mitigación para reducir el Cadmio en cacao en el distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres, San Martín*

<b>Medidas de Mitigación</b>	<b>Descripción</b>
Plantaciones Nuevas	El área debe estar ubicada en zonas donde el contenido de cd no sea alto menos de 1,4 mg/kg de cd, alejadas de la carretera mínimo 200 m, también de rellenos sanitarios, zonas mineras y ex cicales. No sembrar en suelos que inundan. El diseño de la plantación debe ser mixta agroforestería, diversas variedades de cacao y tipos de sombra. Sembrar cultivos de cobertura para mejorar la materia orgánica del suelo, evitar la erosión y pérdida de nutrientes.
Análisis de Laboratorio	Los análisis demostraron relación entre los niveles altos de cd en el suelo y los granos de cacao. En plantaciones nuevas es necesario realizar el análisis de suelo con muestreos de caracterización completa y de metales pesados. Esto permite evaluar y conocer que nutrientes tiene, pH, conductividad eléctrica, textura, cantidad de cadmio presente y tomar decisiones en costos para la instalación y mitigación. En plantaciones ya instaladas es necesario realizar el análisis de suelo con muestreos de caracterización completa y de metales pesados en tierra y granos de cacao. para implementar un plan de manejo y reducir la cantidad de este metal en grano.
Fertilización	Es muy importante, de acuerdo a los análisis de caracterización permiten saber con exactitud que nutrientes faltan para la producción. Los fertilizantes fosfatados contienen cadmio con la constante aplicación ocasionan niveles elevados de Cd en las capas de las tierras. Por tal motivo es necesario realizar una adecuada aplicación de P, para evitar la acumulación de este en las plantas y no retrasen su crecimiento. Utilizar productos fosforados y otros con límites de cd, para obtener granos dentro de los límites permisibles. Se utiliza productos nitrogenados y potásicos debido a que son bajos en contenido de cd y de preferencia 20-20-20 (N-P2O5-K2O, con su respectivo análisis de metales pesados.

*Nota: Jacobo (2022) (Experiencia propia no publicada).*

Medidas de Mitigación	Descripción
Enmiendas en el suelo	<p>Tiene como objetivo fijar el cadmio en el suelo o disminuir su captación a través de las raíces de las plantas. La aplicación de estas al suelo depende de las propiedades de las tierras. En suelos ácidos y en pH, bajos el cd es más móvil y puede ingresar hasta en 24 horas a la planta. Las enmiendas mediante la capacidad de intercambio catiónico corrigen el pH de la tierra incrementándolo, lo que a su vez conlleva un aumento en las cargas negativas en el suelo. Este aumento lleva mejor adsorción y formación de complejos entre el cadmio y suelo, lo que disminuye su disponibilidad para las plantas. Las más utilizadas en este distrito son carbonato de magnesio, vinaza, zeolita; carbón vegetal; Sulfato de calcio, cal, dolomita (carbonato de calcio y magnesio). Siendo un tipo de dolomita formulada, por su contenido de carbonato doble de calcio y magnesio y microelementos como silicio, zinc, ha disminuido en mayor cantidad el cd en el grano de cacao en este distrito.</p>
Aplicación de materia orgánica (compost, gallinaza, humus, estiércol, etc.)	<p>Los grupos funcionales presentes en la materia orgánica como OH, COOH, NH<sub>2</sub>, CONH<sub>2</sub>, CO, quinona, etc. forman complejos o quelatos con el cadmio, impidiendo así la fácil utilización de este por las plantas. Además, la materia orgánica proporciona carbono a los microorganismos del suelo, estimula la actividad y cantidad de sus enzimas, por tanto, promueve procesos como la precipitación, el secuestro, la volatilización y la complejación con cadmio. También aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo y promueve la adsorción de cadmio. En este distrito se utiliza compost, estiércol de pollo, humus y estiércol, la cantidad por hectárea depende del contenido de materia orgánica del suelo. En general, se debe mantener un promedio de 3% a 4% de materia orgánica en el suelo para mantener sus propiedades físicas, químicas y biológicas.</p>

*Nota: Jacobo (2022) (Experiencia propia no publicada).*

Medidas de Mitigación	Descripción
Utilización del sulfato de zinc en las composiciones de fertilización	A la falta de zinc en las plantas de cacao, absorben al cd confundiéndolos ya que tienen características similares son del mismo grupo de metales pesados, la aplicación del sulfato de zinc ayuda a disminuir el contenido de cd en los granos de cacao. La aplicación de este debe ser de acuerdo a lo que necesita el cultivo y la tierra determinadas en los análisis de caracterización completa.
Selección de cultivares y/o patrones	La utilización de clones con baja acumulación de cadmio como IMC-67 portainjertos es un método para minimizar la absorción de este elemento metálico en las plantas de cacao. así mismo seleccionar especies apropiadas, se debe considerar tanto la calidad, como la adaptación a plagas y enfermedades y sequías. Es crucial esta práctica para disminuir los riesgos de contaminación de los granos.
Fitorremediación	Es una técnica muy buena para recuperar y restaurar la tierra aprovechando la capacidad que tienen varias especies para absorber, acumular y transformar contaminantes en formas menos tóxicas en forma natural. En este distrito, se siembra dentro de la plantación, especies como la <i>Colocacia esculenta</i> (pituca); <i>Centrocema macrocarpum</i> ; <i>Hibiscos sabdariffa</i> (flor de Jamaica); <i>Solanum topiro</i> (cocona) y <i>Eryngium foetidum</i> (sacha culantro), Bromelias.

Nota: Jacobo (2022) (Experiencia propia no publicada).

Medidas de Mitigación	Descripción
Biorremediación	<p>Se emplea una variedad de entidades biológicas con el objetivo de atenuar o minimizar el impacto negativo de sustancias contaminantes en el entorno, a través de un proceso denominado bioaumentación. Esta práctica implica la introducción de microorganismos con el fin de impulsar la descomposición rápida de sustancias contaminantes para reducir su presencia en el entorno ecológico. Entre los géneros de microorganismos utilizados en la biorremediación se encuentran:</p> <p>Género <i>Bacillus</i>: Esta categoría bacteriana posee un potencial significativo para llevar a cabo la biorremediación, siendo empleada especialmente con el objetivo de optimizar la remoción de metales tóxicos presentes en el terreno, así como para la descomposición de hidrocarburos. Género <i>Streptomyces</i>: En relación con el cadmio, se ha constatado que ciertas cepas de <i>Streptomyces</i> pueden absorber o adsorber este metal, contribuyendo de esta manera a su reducción en el medio ambiente.</p>
Tratamiento postcosecha del grano de cacao	<p>La reducción del contenido de cadmio en los granos de cacao de la variedad CCN-51 se realiza un proceso de fermentación en el cual el mucílago es drenado durante un lapso de 12 horas. Para evitar posibles problemas, es fundamental que los granos de cacao sean secados en plataformas elevadas, de manera que no entren en contacto directo con la tierra, el suelo, el asfalto o el cemento, y que también queden inaccesibles para los animales. Además, es de vital importancia garantizar la ausencia de contaminantes en los almacenes, evitando derrames de combustible, emisiones de gases de escape o la presencia de humos.</p>

*Nota: Jacobo (2022) (Experiencia propia no publicada).*

En relación a las medidas de mitigación para reducir los niveles de cadmio en el cacao en el distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres en San Martín, los datos en la tabla 5 demuestran que en plantaciones nuevas es muy importante realizar las siguientes consideraciones: el área debe estar ubicada en zonas donde el contenido de cd sea bajo menos de 1,4 mg/kg, alejadas de la carretera, rellenos sanitarios, zonas mineras y ex cicales. El diseño de la plantación debe ser mixta agroforestería, diversas variedades de cacao. Sembrar cultivos de cobertura para mejorar la materia orgánica.

Análisis de laboratorio, se debe realizar los análisis de caracterización de macro y microelementos y de metales pesados de cadmio esto permite tomar decisiones concretas si es muy alto el contenido de cadmio en la tierra no se realiza nuevas instalaciones así mismo la fertilización es muy importante, de acuerdo a los análisis de caracterización permiten saber con exactitud que nutrientes faltan para la producción. Es necesario realizar la aplicación de P solo lo necesario ya que estos contienen cadmio, para evitar la acumulación de este en las plantas y no retrasen su crecimiento. Utilizar productos nitrogenados y potásicos debido a que son bajos en contenido de Cd y de preferencia 20-20-20.

La aplicación de enmiendas desempeña una función crucial al proporcionar calcio al suelo, el encalado actúa en oposición al cadmio al elevar el pH del suelo. Este aumento del pH fomenta la adsorción y la formación de complejos con el cadmio, restringiendo su disponibilidad para las plantas. Materiales como la cal agrícola, cal apagada, dolomita y vinaza son utilizados en esta estrategia. Además, la aplicación de materia orgánica también contribuye a la formación de complejos de cadmio no absorbibles por las plantas y mejora la adsorción del cadmio en el suelo. En esta estrategia, se emplean materiales como compost, gallinaza, humus y estiércol como enmiendas orgánicas en el suelo. Además, se incorpora el sulfato de zinc en las mezclas de fertilizantes, ya que su presencia en el suelo tiene la capacidad de inmovilizar el cadmio.

También se lleva a cabo la selección cuidadosa de variedades y patrones de cacao, optando por aquellas opciones que presenten bajos niveles de cadmio y que sean capaces de resistir tanto a tensiones bióticas como abióticas. Este enfoque forma parte de la estrategia de fitorremediación, se utiliza plantas que absorben, acumulan y transforman contaminantes en formas menos tóxicas para recuperar suelos contaminados, en la Biorremediación, se emplea microorganismos, como géneros Bacillus y Streptomyces, Con el fin de contrarrestar o reducir los efectos adversos de sustancias contaminantes.

Además, se realiza el tratamiento posterior a la cosecha de los granos de cacao en donde se drenar el mucílago durante la fermentación, secando los granos en plataformas elevadas y garantizar almacenes libres de contaminación, lo que quiere decir que utilizar estos procesos de mitigación, hacen posible la disminución los metales pesados en la planta de cacao. Esto quiere decir que el cadmio es un metal pesado peligroso para la salud humana y hay una serie de medidas correctivas y criterios integrados que se aplica en este distrito van desde la elección del terreno, instalación de plantaciones nuevas análisis de laboratorio uso de enmiendas uso de abonos o fertilizantes sin contenido de metales pesados, fitorremediación, biorremediación, manejo de postcosecha.

Estos datos son respaldados por Nelino, (2021), quien en su estudio concluye que existen varias estrategias para reducir el contenido de cadmio de los granos de cacao antes o después de la cosecha. Algunas medidas para reducir los niveles, incluyen la selección de variedades que acumulen menos cadmio, el uso de fertilizantes orgánicos y enmiendas del suelo, y el control de la calidad del agua de riego y los productos químicos utilizados. Monitorear periódicamente los niveles de cadmio en el suelo y los granos de cacao y desarrollar un programa educativo para los agricultores sobre medidas para reducir las emisiones de cadmio del cacao.

Así mismo Rajkumar et al. (2010), estos autores en su investigación concluyeron que, el uso de microorganismos es una de las soluciones más viables para la biorremediación de suelos contaminados con cadmio.

Ese mismo contexto, Romic y Romic (2013) citado por Clemente et al. (2005), quienes investigaron sobre a la presencia de metales pesados en el cacao, los autores de este estudio llegaron a la conclusión de que la aplicación de técnicas como el encalado y el uso de materia orgánica conlleva a una disminución en la cantidad de metales pesados. Además de esta reducción en los niveles de cadmio, esta práctica también contribuye a mejorar las propiedades del suelo en general.

Del mismo modo, estos resultados son similares a lo encontrado por, Arévalo-Gardini et al. (2017), quienes en su investigación sobre el metal pesado cadmio, en el cultivo de cacao, estos autores concluyeron que la adopción de prácticas agronómicas adecuadas, como el control de la erosión, la rotación de cultivos y la aplicación de fertilizantes de acuerdo con las recomendaciones del análisis de suelos, reducen la posibilidad de que la planta absorba el cadmio.



De la misma manera, Różycka y Oracz (2020), estos autores analizaron los metales pesados en granos de cacao crudo y productos de chocolate, los autores concluyeron que el uso de enmiendas orgánicas y el uso de buenas prácticas agrícolas reducen el contenido de metales pesados, recomiendan realizar análisis de suelos con el objetivo de hacer un plan de fertilización.

Así mismo, Zhou y Yang (2009), los expertos que realizaron la investigación enfocada en los efectos derivados de la aplicación de dolomita para contrarrestar la absorción de cadmio en las plantas de cacao llegaron a la conclusión de que la dolomita incide en la toma de cadmio dentro del ámbito de la flora de manera general. Los resultados sugieren que la aplicación de dolomita en los campos de cacao podría generar efectos similares.

No obstante, es esencial destacar que, al igual que sucede con otras técnicas de mejora del suelo, la efectividad de la dolomita para minimizar la captación de Cd podría variar en función de las particularidades del suelo y las condiciones específicas del cultivo.

De igual forma, Li et al. (2012), quienes llevaron a cabo la investigación centrada en la utilización de dolomita en presencia de cadmio llegaron a la conclusión de que la dolomita demuestra ser efectiva en la reducción de la cantidad de cadmio presente en las plantas.

Asimismo, Fageria y Clark, (2012), los autores de este estudio llegaron a la conclusión de que la aplicación de dolomita en suelos caracterizados por su acidez conlleva una mejora significativa en la disponibilidad de micronutrientes esenciales como el zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B). La dolomita desempeña un papel clave al neutralizar la acidez del suelo, lo que a su vez reduce la solubilidad de los óxidos de aluminio y hierro y, en consecuencia, disminuye la disponibilidad de metales pesados.

De la misma manera, Brady y Weil (2018), los autores llegan a la conclusión de que la aplicación de dolomita tiene un efecto significativo en la solubilidad de nutrientes y metales pesados, logrando elevar el pH del suelo. Este aumento en el pH tiene el potencial de mejorar la disponibilidad y solubilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, como el fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y zinc, elementos vitales para su crecimiento. Además, la dolomita tiene la capacidad de inactivar los metales pesados presentes en el suelo, limitando su movilidad.

Al mismo tiempo, Guevara et al. (2019), este estudio analizó la presencia de elementos traza en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes regiones de Ecuador. Los resultados mostraron variaciones en las concentraciones de elementos traza en función

de la región de cultivo y las condiciones edáficas, los autores recomiendan utilizar medidas preventivas con el fin de evitar estos problemas como el uso de enmiendas y microorganismos para disminuir la acidez del suelo, para evitar la disponibilidad de los metales pesados presentes en el suelo.

De tal forma, Casteblanco (2018), en su artículo de investigación titulado "Avances en Técnicas de Mitigación de Metales Pesados con Posible Aplicación en el Cultivo de Cacao", el autor se propuso el objetivo de examinar los desarrollos más recientes en los últimos tres años a nivel mundial en relación con las técnicas de fitorremediación y biorremediación para abordar la presencia de metales pesados, con un enfoque particular en plomo y cadmio, en el suelo. Para llevar a cabo este propósito, recopiló información confiable de los últimos tres años acerca de estas técnicas, destacando aquellas que han demostrado ser eficaces en la mitigación de metales pesados en el suelo. Al concluir su estudio, resaltó la importancia de implementar enfoques holísticos de remediación en el cultivo de cacao, enfocándose en técnicas específicas como la fitorremediación mediante plantas como *B. campestris*, *M. sativa* o *E. camaldulensis*, y la biorremediación utilizando micorrizas arbusculares del género *Glomus* y bacterias como *M. oleivorans* y *B. phytofirmans*.

Analizando estos resultados podemos ver que el cadmio es un metal pesado peligroso y hay varias medidas correctivas que se realiza en este distrito siendo lo más factible un manejo integrado de estas medidas y así mitigar la concentración de cadmio en los granos de cacao y cumplir con los límites permisibles de acuerdo a las restricciones establecidas en el código Alimentarius, sin mucha diferencia con lo que mencionan los autores.

### Tabla 6

*Datos Meteorológicos del cacao en el distrito de Juanjuí, y su relación con el cadmio provincia de Mariscal Cáceres, San Martín*

Textura	Suelo pH	T° X	Precipitación Mm/año	Altitud m.s.s.m.m	Zona de vida	Humedad relativa mm/año
Francos arcilloso, arenoso, limoso	5,18 a 7,82	27,3°C a 32,6 °C	1731,2	285	Bosque seco tropical	80%

*Nota: Adaptado de SENAMHI (2023) y Alvarado (2018).*

Para las condiciones climáticas la tabla 6 refleja que el distrito de Juanjuí presenta suelos de textura franco arcillosos, francos limosos, franco arenoso, francos arcillosos, franco areno arcillosos, con pH de 5,18 a 7,82, temperatura 27,3°C a 32,6 °C precipitación anual de 1731,2, altitud de 285 m.s.n.m y humedad relativa de 80%, estas condiciones edafoclimáticas son muy importantes para el cultivo de cacao ya que permiten buen desarrollo vegetativo y mayor rendimiento. Esto quiere decir que en el distrito de Juanjuí tiene las condiciones edafoclimáticas adecuadas para el cultivo considerándose una zona altamente productiva.

Así mismo estos resultados son corroborados por Gonzales (2018), quien concluye que la temperatura es un factor muy importante en este cultivo en floración y fructificación. Las temperaturas para este cultivo de cacao deben ser: Mínima de 23 °C – Máxima de 32° C – Óptima de 25°C. La Precipitación óptima para el cacao es de 1 600 a 2 500 mm., tiene un buen desarrollo cuando el cacao tiene el pH de 6,0 a 6,5; obteniendo mejor rendimiento. Se adapta a rangos extremos desde los muy ácidos hasta muy alcalinos cuyos valores oscilan de pH 4,5 a pH de 8,5.

En cultivos c3 como el cacao a fluctuaciones extremas de temperatura afecta la productividad de la planta, asimismo reducen la fotosíntesis, causan estrés hídrico, daño celular, desnaturalización de proteínas y muerte celular, así mismo estas altas temperaturas están relacionadas con el cadmio ya que este se encuentra en el aire, y es más móvil a estas temperaturas, al ser absorbido por la raíz y transportado, interfiere en los cloroplastos reduciendo la eficiencia fotosintética afectando el crecimiento y desarrollo, generando estrés, alterando las propiedades físicas y químicas del cacao.

Así mismo Bear y Rintoul (2016), concluyen que una temperatura alta afecta a una planta de tipo C3 de varias maneras. Las plantas C3 son aquellas que realizan el ciclo de Calvin-Benson para la fotosíntesis térmico en las plantas C3, afectando negativamente su crecimiento y desarrollo, provoca daño en las estructuras celulares y enzimas, así como altera los procesos metabólicos, reducen la eficiencia de la fotosíntesis en las plantas C3. Esto se debe a que las altas temperaturas pueden desnaturalizar las enzimas clave involucradas en la fotosíntesis, lo que afecta la capacidad de la planta para capturar y utilizar la energía solar. Aumentan la tasa de transpiración en las plantas C3, lo que resulta en una mayor pérdida de agua a través de las estomas. Llevando a la deshidratación de la planta y afectar su capacidad para realizar la fotosíntesis de manera eficiente. Es importante tener en cuenta que los efectos de una temperatura alta pueden variar dependiendo de otros factores, como la humedad y la disponibilidad de agua.

Algunas plantas C3 pueden tener cierta capacidad de adaptación a temperaturas altas a través de mecanismos de protección y regulación interna.

En suelos con pH bajos áreas de fuertes lluvias, la lixiviación aumenta el desplazamiento del cadmio en el suelo hacia niveles más bajos. El pH del terreno y la acidez de la lluvia impactan en cómo el cacao absorbe el cadmio. En zonas propensas a inundaciones, hay riesgo de que el cacao contacte sedimentos ricos en cadmio. Factores como la naturaleza del suelo y métodos de cultivo también determinan la interacción entre cadmio y cacao. Ante estos factores se realiza estrategias de sistemas agroforestales y adaptación al cambio climático para mitigar este metal como cadmio. Esto quiere decir que en el distrito de Juanjuí tiene las condiciones climáticas adecuadas para el cultivo por eso no se encuentra este metal pesado en cantidades mayores.

De igual manera la FAO (2014), concluye que se ha encontrado que el aumento de la contaminación por cadmio en el cacao es resultado de un desequilibrado proceso de fertilización. Además, la presencia de cadmio en el suelo puede depender de factores como el pH y la cantidad de materia orgánica. Los factores determinantes en el cultivo de cacao son edáficos y climáticos, como la temperatura, la humedad, la precipitación y el viento

Romero (2022), en su estudio concluye que la presencia de elementos en el terreno puede influir en cómo el cacao asimila el Cd. Estudios sobre variables no alterables mostraron que un incremento en temperatura o salinidad del suelo eleva la asimilación de Cd por el cacao. Además, los suelos Leptosol tienden a tener más Cd que los Gleysol. En cuanto a factores ajustables, se observó que una mayor presencia de Cd en fertilizantes y terreno lleva a una mayor absorción del metal por la planta. El pH es el atributo del suelo más examinado, y se ha visto que niveles ácidos potencian la disponibilidad de Cd, facilitando su asimilación por el cacao.

Así mismo Meter et. Al (2019), concluyen que el cacao se desarrolla bajo diversos sistemas de cultivo y técnicas agrícolas, que abarcan desde monocultivos expuestos directamente al sol hasta configuraciones agroforestales. Las estrategias de irrigación varían desde la simple precipitación hasta sistemas de riego dependientes. Estos elementos inciden en las propiedades del suelo, como la gestión del agua, el contenido orgánico, la presencia de nutrientes y las variaciones térmicas, los cuales, a su vez, influyen en la presencia de cadmio. Además, la elección de distintas especies arbóreas para dar sombra puede impactar en la captación de cadmio por el cacao. La cantidad de cadmio en los granos de cacao se vincula a las diferencias naturales de las características edáficas según la región.

De Igual Manera (Beltrán 2023) en su estudio concluye que, el cambio climático ya está perjudicando la producción de cacao y su consistencia debido a sequías más extensas e intensas, aumentos en plagas y enfermedades, y precipitaciones menos predecibles, aunque esto varía según la región.

Es esencial que los cultivadores de cacao transiten hacia métodos adaptados al clima actual. Así, crear y compartir información relevante y adaptada a la situación sobre las repercusiones del cambio climático en las zonas de cultivo y desarrollo del cacao es crucial para guiar políticas y acciones hacia una industria cacaotera sostenible.

## CONCLUSIONES

1. Para los efectos de las implicancias de los metales pesados en granos de cacao de productores de Juanjuí, en los estudios realizados no se encontró la presencia de metales como plomo ni arsénico, pero si se encontró la presencia de cadmio en 0,39 ppm lo que significa que para el derivado llega a 8 ppm, sobrepasando los límites permisibles, en los análisis de clones se encontró el nivel más alto en el híbrido con 0,067 ppm siendo los de menor contenido el ICS-95 Y CCN-51, en suelo se encontró la presencia de varios metales pesados en como Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Ni, Pb. Siendo los resultados considerados no tóxicos ya que estuvieron dentro de los límites permisibles.
2. Las medidas de mitigación para reducir el Cadmio en cacao en el distrito de Juanjuí, permiten instalar en zonas con menos de 1,4 mg/kg de cd, realizar análisis de caracterización, cadmio al suelo y granos, fertilización adecuada, con zinc, reducen la aplicación de productos fosforados, en suelos con pH bajo aplican enmiendas de preferencia dolomita, la materia orgánica esta de 3% a 4% ya que estas precipitan, secuestran a este metal, usan clones de baja acumulación como el IMC-67, siembran especies que absorben y acumulan cadmio como la cocona, sachá culantro, incorporan microorganismos estos descomponen rápido sustancias y realizar el drenado del mucilago.

## RECOMENDACIONES

1. Al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), realizar proyectos de mapeo en este distrito sobre metales pesados mediante análisis de suelos, en las parcelas y en granos de cacao y difundirlos sociabilizando estos datos de mucha importancia para el productor conozca para mejorar la oferta a los compradores ya que este cultivo genera puestos de trabajo en este distrito y la región.
2. A la Universidad Nacional de San Martín, realizar estudios más detallados sobre las medidas de mitigación específicamente con un tipo de dolomita y condiciones meteorológicas sobre el cadmio en este distrito y difundirlos a los productores, así mismo recomendar la implementación de todas estas medidas de manera integrada ya que todas están relacionadas con la mitigación del cadmio y así obtener granos de cacao dentro de los límites permisibles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán- Ávila, O. G. (2023). *Determinación de metales pesados en suelos de cultivo y en granos de plantaciones de cacao (Theobroma cacao L.) pertenecientes a la zona litoral central del Ecuador*. [Tesis de Pregrado Universidad Técnica de Ambato Ecuador]. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37932>.
- Areas-Gutierrez, H. A. (2021). *Costos de producción. Análisis punto de equilibrio. Análisis costo-volumen -utilidad. Limitaciones del análisis del punto de equilibrio y el costo-volumen- utilidad*. Tesis. Obtenido de <https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14039/6655/costo%20de%20producci%c3%b3n%20an%c3%a1lisis%20punto%20de%20equilibrio..pdf?sequence=6&isallowed=y>.
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñeiga-Cernades, L., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V., y He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2). Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162016000200003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000200003).
- Arévalo-Hernández, C., Arévalo-Gardini, E., Farfán-Pinedo, A., V, B., 7 Z, H. (2017). *Metales pesados en suelos, hojas y granos de zonas cacaoteras del Perú. 7International Symposium on Cocoa Research*. Obtenido de <https://www.icco.org/wp-content/uploads/t6.72.-metales-pesados-en-suelos-hojas-y-granos-de-zonas-cacaoteras-del-peru-.pdf>.
- Batallas-Valarezo, M., Preciado-Alvarado, M., y Pesantez- Franco, F. (2021). Evaluación de cadmio y plomo en almendras de cacao por espectroscopia de absorción atómica. *Revista Ciencia UNEMI*, 14(37). Obtenido de <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/ cienciaunemi/article/view/1304/1329>.
- Bear, R. y Rintoul. D. (2016) *Plantas C3, C4 y CAM*. Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-inplants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-and-cam-plants-agriculture>.
- Beltran(2023) *Suelos y Clima. Alliance of Bioversity International and International Center for Tropical Agriculture (CIAT)* <https://climaloca.org/es/suelos-clima/>.
- Bricio, M. L. (2021). *El cadmio como metal pesado: problemas y efectos en el suelo y las plantas*. [Tesis de Pregrado Universidad Técnica de Babahoyo]. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9279>.



- Cárdenas, A. (2012). *Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico en la cooperativa agraria industrial naranjillo - Tingo María - Perú*. [Tesis de Pregrado Universidad Nacional Agraria de La Selva]. Obtenido de <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/153>.
- Cartagena, T. G. (2018). *Determinación de niveles de concentración de cadmio(Cd) y plomo(Pb) en el suelo, hojas y almendras de ocho clones de cacao (Theobroma cacao L.) en el jardín inter clonal de la Universidad Nacional de Ucayali*. [Tesis de pregrado Universidad Nacional de Ucayali]. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/unu/3677?show=full>.
- Castebianco, J. A. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 21-35. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/lgr/v27n1/1390-3799-lgr-27-01-00021.pdf>
- Cayetano-Terrel, P. (2021). *Estudio de Vigilancia Tecnológica en el Cultivo del Cacao*. Obtenido de <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1548>.
- CCA. (2019). *Programa conjunto FAO/OMS de normas alimentarias comite codex sobre contaminantes en los alimentos*. Obtenido de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/home/es/>.
- CEDRSSA. (2020). *Manejo integrado de plagas, una alternativa ante el uso de los plaguicidas*. Obtenido de [http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/3manejo\\_integrado\\_plagas.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/3manejo_integrado_plagas.pdf).
- Chavez, Y. R. (2020). *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y frutos de una plantación de cacao (Theobroma cacao L.) en Aucayacu, distrito de José Crespo y Castillo - Huánuco 2020*. [Tesis de pregrado Universidad de Huanuco]. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2517>.
- Chávez-Gómez, N. L., Cabello-López, A., Gopar-Nieto, R., Aguilar-Madrid, G., Marin-López, K. S., Aceves-Valdez, M., y Jiménez-Ramírez, C. (2017). Enfermedad renal crónica en México y su relación con los metales pesados. *Revista medica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 725-737. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4577/457753402014/457753402014.pdf>.
- Chupillon, J. W. (2017). *Determinación de la absorción de cadmio y plomo en genotipos de cacao (Theobroma Cacao L.), para el establecimiento de plantaciones*

- comerciales*. [Tesis de pregrado Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto]. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2473>.
- Clara, T. (Julio de 2013). *Enciclopedia.net*. Obtenido de <https://enciclopedia.net/patogeno/>
- Condezo, S., y Huaraca, C. V. (2018). *Cuantificación de plomo, cadmio y arsénico en granos de Cacao theobroma cacao L. y Café coffea arábica L. de la zona de Jaen-Cajamarca durante el periodo Febrero-Julio 2018*. [Tesis de pregrado Universidad Norbert Wiener Lima]. Obtenido de <https://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/20.500.13053/2571?locale-attribute=es>.
- Cortez, M. L., y Marín, M. Y. (2020). *Conocer las causas de la concentración de metales pesados en Theobroma cacao L. (Cacao) 2010-2020*. [Trabajo de pregrado Universidad Privada del Norte]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/26214>.
- Cubas, F. M. (2019). *La productividad y el nivel socioeconómico de los productores de la Cooperativa Agraria Allima Cacao en el distrito de Chazuta, provincia de San Martín, departamento de San Martín, período 2011 – 2015*. [Tesis de pregrado Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto]. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3433>.
- Del Aguila, E. A. (2017). *Determinación de cadmio y plomo en granos de cacao, frescos, secos y en licor de cacao (Theobroma cacao L.)*. [Tesis de Pregrado Universidad Nacional Agraria de La Selva]. Tingo María. Obtenido de <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1269>.
- Díaz-Ubilla, L. E., Mendoza-Hidalgo, E., Bravo-Bustamante, M., y Domínguez-Vergara, N. (2018). Determinación de cadmio y plomo en almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón Vinces. *Revistas multidisciplinaria de investigación*, 2(15). Obtenido de 213-630-1-PB.pdf
- EPA. (2017). *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*. Obtenido de Basic information about lead in drinking water: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/basic-information-about-lead-drinking-water>.
- Falcón-Paredes, G. (2019). *Cadmio y polifenoles totales en la fermentación de los granos de cacao (Theobroma cacao L.) clon CCN-53*. [Tesis de Postgrado Universidad Nacional Agraria De La Selva]. Tingo María. Obtenido de <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1627>.

- FAO. (2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Costo de producción*. <https://www.fao.org/home/es#:~:text=la%20fao%20y%20los%20objetivos,personas%20en%20todo%20el%20mundo>.
- FAO. (2014) *Codex Alimentarius*. Obtenido de <https://www.fao.org/fao-who-codex-alimentarius/about-codex/es/>.
- Fiallos, M. C. (2017). *Cuantificación de metales pesados y calidad microbiológica de frutas y vegetales que se expendan en el mercado mayorista de la ciudad de Ambato*. [Tesis de Pregrado Universidad Técnica de Ambato Ecuador]. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25296/1/bq%20111.pdf>.
- Florida, N. (2021). *Cadmio en suelos y granos de cacao de origen peruano y sudamericano*. *UNAL*, 74(2), 9499-9515. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=s0304-28472021000209499](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=s0304-28472021000209499).
- Florida-Rofner, N., Claudio Melchor, S. L., y Gómez Bernal, R. (2018). El pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en Leoncio Prado, Huánuco, Perú. *Folia Amazónica-Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*, 27(1), 1-8. <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/fovia-amazonica/article/view/438>.
- Fonseca, J. A. (2021). *Metales pesados (Cd<sup>++</sup>, Pb<sup>++</sup>) en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) y la fitoextracción de cultivos en callejones, Valle del Alto Huallaga-Perú*. [Tesis de Postgrado Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6885>.
- Furcal, P., y Torres, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(1), 122-137. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=s0379-39822020000100122&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=s0379-39822020000100122&script=sci_arttext).
- González, C. (2016). *"Evaluación de la concentración mínima aceptable e identificación de metales pesados presentes en el grano de cacao del Ecuador"*. Universidad Técnica de Machala. [Tesis de Pregrado Universidad Técnica de Machala]. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7789>.
- Guanoliqúin, C. D. (2021). *Estudio bibliográfico sobre la presencia de metales pesados arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en pollos de engorde (Gallus gallus)*. [Tesis de Pregrado Universidad Central del Ecuador] Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24718/1/fcq-cqaguanoliquin%20christian.pdf>

Guerrero, R., Cevallos, O., Eguez, E., y Peñaherrera, S. (2020). El potencial del uso de microorganismos endofíticos como agentes de control de enfermedades en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *CentroSur*, 1(7), 1-18. Obtenido de <https://www.uteq.edu.ec/investigacion/articulo/135>.

Gonzales. A.(2018) *Condiciones Edafoclimáticas para el cultivo del Cacao*. [https://www.academia.edu/7602272/condiciones\\_edafoclim%C3%A1ticas\\_para\\_el\\_cultivo\\_del\\_cacao](https://www.academia.edu/7602272/condiciones_edafoclim%C3%A1ticas_para_el_cultivo_del_cacao).

Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., y Chattha, M. B. (2019). *Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities—a review*. *Environmental Science and Pollution Research*. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/22f0856c086b9fe067f4d261046c4855/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54208>.

Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. á., Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., y Neira-Trujillo, G. M. (2019). Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation. *Acta Agronómica*, 61(4), 339-344. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-019-4109-x>

Jiménez, C. S. (2015). *Estado legal mundial del cadmio en cacao (Theobroma cacao L.): fantasía o realidad Estado legal mundial do cádmio em cacau (Theobroma cacao): fantasia ou realidade*. *Producción + Limpia*, 10(1), 89-104. obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s190904552015000100009&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s190904552015000100009&script=sci_abstract&tlng=es).

Lan, M. M., Liu, C., Liu, S. J., Qiu, R. L., y Tang, y. t. (2020). *Phytostabilization of Cd and Pb in Highly Polluted Farmland Soils Using Ramie and Amendments*. *Revista Internacional de Investigación*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1661>.

Lázaro Cebas, J. (2015). *Actividad enzimática en suelos contaminados por metales pesados y sus implicaciones como indicadores de calidad*. [Tesis de Pregrado Universidad Complutense de Madrid]. Obtenido de <https://docta.ucm.es/entities/publication/751992d6-c0df-4b52-8d2d-8ac51848ba6c>.

- Lino, F. F. (2019). *Determinación de la concentración de metales en la almendra de cacao en la Cooperativa Agropecuaria Bella en la Provincia de Leoncio Prado-Huánuco y posibles consecuencias de riesgos a la salud*. [Tesis de Pregrado Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Cerro de Pasco Obtenido de [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1665/1/t026\\_70143355\\_t.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1665/1/t026_70143355_t.pdf).
- Llatance, W., Gonza Saavedra, C., Guzmán, W., y Mondragón, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1), 63 - 75. Obtenido de <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1156>.
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., y Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2). Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>.
- Matos-Moya, V. R., Garcia-de la Rosa, R.D, Valdés-Gonzales, A. C, Fernández Triana, I, y Hernández-Acuña, A. (2022). Sobre la presencia de metales pesados en productos derivados del cacao. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 32(1), 128-138. Obtenido de <https://revalnutricion.sld.cu/index.php/rcan/article/view/1349/1833>.
- Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Merú-Marcó, L., Gómez, C., Estanga-Barrios M y García-Orellana, Y. (2021). *Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. Tecnológicas, Revista Instituto Tecnológico Metropolitano* 24(51), 1-12. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0123-77992021000200004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0123-77992021000200004).
- Mendoza-López, K. L., Mostacero León, J., López-Medina, S. E., Gil-Rivero, A.E., De La Cruz-Castillo, A. J., y Villena-Zapata, L. (2021). Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. "cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. *Manglar*, 18(2), 169-173. [file:///c:/users/downloads/239-1280-1-pb%20\(2\).pdf](file:///c:/users/downloads/239-1280-1-pb%20(2).pdf).
- Meter A., Atkinson R.J. y Laliberte B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. *Bioersity International, Roma*, octubre 2019. [https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1505/cadmio\\_en\\_el\\_cacao\\_de\\_america\\_latina\\_y\\_el\\_caribe.pdf?sequence=1](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1505/cadmio_en_el_cacao_de_america_latina_y_el_caribe.pdf?sequence=1).

- MIDAGRI. (2022). *Ministerio de Agricultura y Riego*. Obtenido de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrijoinezntu2mmuty2ezzc00yjg2ltg5yzutyziidrhzjg5ngy5iividci6ijdmmdg0nji3ltdmndatndg3os04ote3ltk0yjg2zmqznwyzij9>.
- Moon, K., Guallar, E., y Navas-Acien, A. (2018). *Arsenic exposure and cardiovascular disease: An updated systematic review*. *Current Atherosclerosis Reports*, 20(5), 1-20. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11883-012-0280-x>
- Muñoz, J. D. (2017). *Determinación de Cadmio en fertilizantes, plantas de Oryza sativa L. y suelos de la provincia del Guayas: Propuesta de saneamiento*. [Tesis de Pregrado Universidad de Guayaquil]. Ecuador Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17569>.
- Nelino, F.F (2021). "Cadmium in soil and cacao beans of Peruvian and South American origin" *Revista facultad nacional de Agronomía vol.74 (2)*. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91107>.
- Pérez, E., Guzmán, R., Álvarez, C., Lares, M., y Pavani, A. (2021). Cacao, cultura y patrimonio: un hábitat de aroma fino en Venezuela. *RIVAR (Santiago)*, 8(22), 146-162. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/rivar/v8n22/0719-4994-rivar-8-22-146.pdf>
- Quintero-R, M. L., y Díaz-Morales, K. M. (2004). *El mercado mundial del cacao. Agroalimentaria*. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1316-03542004000100004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1316-03542004000100004).
- Quiroz, J. (2022). *Caracterización molecular y morfológica de variedades superiores con características de Cacao Nacional (Theobroma cacao L.) de Ecuador*. [Tesis de Postgrado Centro Agronomico tropical de Investigacion y Enseñanza - Costa Rica]. Obtenido de <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5349>.
- Ramírez-Ynca, J. C., y Sánchez-Sandoval, A. (2021). *Producción de cacao y la generación de empleo en la provincia El Dorado-Región San Martín, año 2020*. [Tesis,de Pregrado Universidad Nacional de San Martín -Tarapoto]. Obtenido de <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/4282>
- Ramoz-Mejía, C. E. (2022). *Sostenibilidad del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el distrito minero de Ponce Enríquez*. [Tesis de Pregrado Universidad Andina Simón Bolívar - Ecuador]. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8953/1/t3904-mccsd-ramos-sustentabilidad.pdf>.

- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz-Lagos, M., y González-Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados. Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria, *16(2)*, 66-77. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*[https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/5447](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447).
- Rivera, M. C., y Wright, E. R. (2020). *Apuntes de Patología vegetal: Fundamentos y prácticas para la salud de las plantas*. (1ª ed). Obtenido de [https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/apuntes\\_de\\_patologia\\_vegetal\\_0.pdf](https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/apuntes_de_patologia_vegetal_0.pdf)
- Robledo, L. M., y Castaño, A. (2012). *Validación de la metodología para el análisis de los metales cadmio y plomo en agua tratada por absorción atómica con horno de grafito en el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira*. [Tesis de Pregrado Universidad Tecnológica de Pereira]. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/items/bad5e812-bfa0-435e-b456-b1ad84ef324d>.
- Romero, Y. V (2022). *Estudio de la concentración de cadmio en diferentes variedades de cacao y su impacto en la inocuidad alimentaria* [Tesis de Pregrado Universidad Central del Ecuador]. [http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/26163/1/uce-fcq-cqa-romero% 20 valeria.pdf](http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/26163/1/uce-fcq-cqa-romero%20valeria.pdf).
- Rosales-Huamaní, J., Centeno-Rojas, L., Cajacuri-Perez, J., Luis-Breña, J., y Chávez-Chapana, C. (2021). Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de Cacao ubicados en la zona de Satipo-Junín. *Revista Tecnia*, *31(2)*, 83-89. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s230904132021000200083&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s230904132021000200083&script=sci_abstract).
- Sánchez, G. (2016). *Ecotoxicología del cadmio riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio*. [Tesis de Pregrado Universidad Complutense de Madrid] Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/50902/>
- Sosa, M. D. (2021). *Mejoramiento del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) con la implementación de manejo técnico enfocado a la producción y empresarización en el municipio de Landázuri- Santander como cultivo sostenible*.
- Tantalean, E. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *Agroproducción sustentable*, *1(2)*. Obtenido de <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/indesdos/article/view/365>.

- Trujillo-Torrente, A., Calderón-Manchola, L. V., y Joven-Santofimio, E. M. (2020). Metales en suelos productores de arroz del distrito Juncal, Huila, Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 50(1-2), 1-12. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7831539>.
- Vanderschueren R; Pulleman M. 2021. *Cadmio en cacao: lo que sabemos sobre prácticas de mitigación. Resumen Informativo de Clima-LoCa No. 2. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 10*. Obtenido de <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/121926>.
- Venturo, G. K. (2017). *Determinación del contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (Theobroma cacao L.) y del suelo y su relación con el pH y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca*. [ Tesis de Pregrado Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. Obtenido de <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/3621>.
- Wong, A. F. (2017). *Determinación de cadmio (Cd) en suelo de cultivo para cacao CCN-51 mediante análisis de espectroscopía de absorción atómica*. [ Tesis de Pregrado Universidad de Guayaquil]. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/23213>.



## ANEXOS

Tabla 7

Valores de metales pesados totales en suelos de plantaciones de cacao por Departamento y Provincias

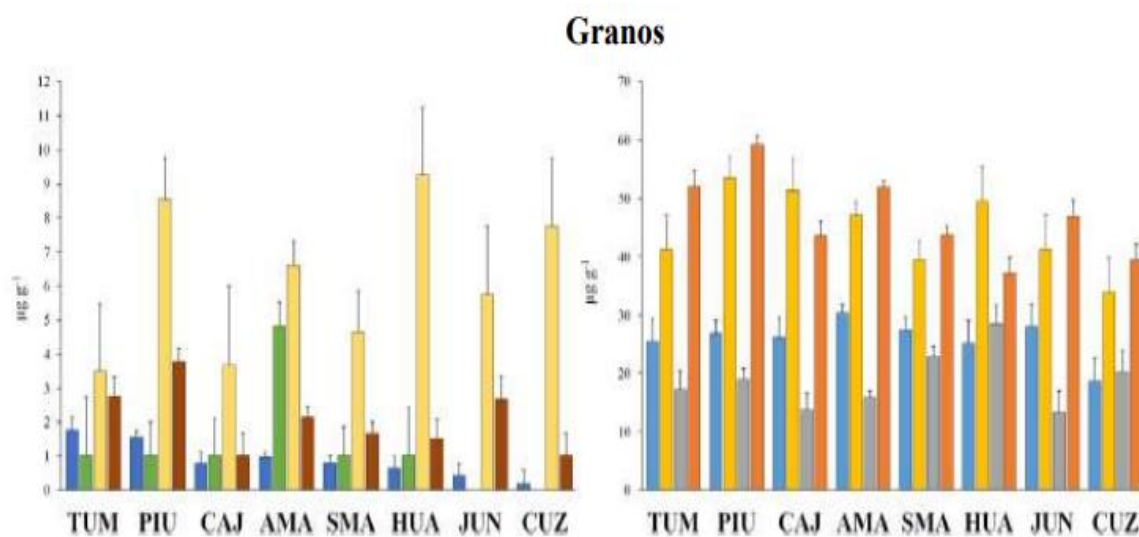
<u>Departamento</u>	<u>Fe*</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Mn</u>	<u>Cd</u>	<u>Ni</u>	<u>Pb</u>
Provincia	<u>(<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>)</u>						
<b><u>Tumbes</u></b>							
Tumbes	3.31 ± 0.03a**	43.16 ± 0.98a	111.72 ± 0.92a	419.84 ± 9.99c	0.50 ± 0.03a	27.67 ± 1.08a	15.84 ± 0.20a
Zarumilla	1.55 ± 0.03b	16.48 ± 0.98b	45.83 ± 0.92b	379.86 ± 9.99c	0.05 ± 0.03c	13.54 ± 1.08b	9.67 ± 0.20b
<b><u>Piura</u></b>							
Huamcabamba	3.04 ± 0.02a	49.42 ± 0.66a	72.42 ± 0.61a	725.76 ± 6.66b	0.14 ± 0.02b	42.12 ± 0.72a	7.95 ± 0.14b
Morropón	2.11 ± 0.02a	27.46 ± 0.66b	64.80 ± 0.61a	429.73 ± 6.66c	0.53 ± 0.02a	10.05 ± 0.72b	9.18 ± 0.14b
Piura	3.32 ± 0.01a	49.14 ± 0.28a	85.93 ± 0.26a	671.85 ± 2.86b	0.48 ± 0.01a	25.30 ± 0.30a	12.67 ± 0.06a
<b><u>Cajamarca</u></b>							
Jaen	2.9 ± 0.02a	53.58 ± 0.66a	70.56 ± 0.61a	795.8 ± 6.66b	0.01 ± 0.02c	6.25 ± 0.72b	11.09 ± 0.14b
San Ignacio	2.21 ± 0.03a	29.59 ± 0.98b	61.00 ± 0.92a	553.19 ± 9.99c	BLD	8.29 ± 1.08b	8.47 ± 0.20b
<b><u>Amazonas</u></b>							
Bagua	2.50 ± 0.00a	25.5 ± 0.13b	75.34 ± 0.12a	524.87 ± 1.32c	0.11 ± 0.00b	16.56 ± 0.14a	10.05 ± 0.03b
Condorcanqui	3.06 ± 0.01a	43.56 ± 0.32a	81.54 ± 0.30a	739.84 ± 3.31b	0.01 ± 0.01c	22.75 ± 0.36a	15.92 ± 0.07a
<b><u>San Martín</u></b>							
Bellavista	1.66 ± 0.07b	15.44 ± 1.96b	52.85 ± 1.85b	486.64 ± 19.89c	0.20 ± 0.06b	13.69 ± 2.13b	7.18 ± 0.41b
El Dorado	0.21 ± 0.07b	2.43 ± 1.96b	3.76 ± 1.85b	82.63 ± 19.89c	BLD	1.64 ± 2.13b	5.52 ± 0.41b
Huallaga	1.56 ± 0.07b	14.44 ± 1.96b	43.56 ± 1.85b	482.68 ± 19.89c	0.13 ± 0.06b	10.89 ± 2.13b	5.76 ± 0.41b
Mariscal Cáceres	1.58 ± 0.01b	14.44 ± 0.4b	49.00 ± 0.37b	517.56 ± 4.00c	0.21 ± 0.01b	11.63 ± 0.44b	9.36 ± 0.08b
Tocache	1.26 ± 0.01b	6.86 ± 0.32b	35.16 ± 0.30b	477.42 ± 3.31c	BLD	3.50 ± 0.36b	6.71 ± 0.07b
<b><u>Huánuco</u></b>							
Huamalies	4.11 ± 0.07a	49 ± 1.96a	87.24 ± 1.85a	919.3 ± 19.89b	BLD	43.03 ± 2.13a	15.37 ± 0.41a
Leoncio Prado	2.34 ± 0.02a	21.34 ± 0.66b	55.06 ± 0.61b	876.16 ± 6.66b	BLD	17.22 ± 0.72a	6.50 ± 0.14b
<b><u>Junín</u></b>							
Satipo	2.32 ± 0.02a	21.53 ± 0.49b	73.10 ± 0.46a	615.04 ± 4.97c	0.10 ± 0.01b	19.10 ± 0.53a	12.89 ± 0.10a
<b><u>Cuzco</u></b>							
La Convención	4.28 ± 0.01a	34.46 ± 0.4a	96.83 ± 0.37a	1275.20 ± 4.00a	BLD	24.70 ± 0.44a	21.81 ± 0.08a
<b><i>Pv</i></b>	<b><i>&lt;0.0001</i></b>	<b><i>0.0035</i></b>	<b><i>&lt;0.0001</i></b>	<b><i>0.0001</i></b>	<b><i>0.0001</i></b>	<b><i>0.005</i></b>	<b><i>0.0005</i></b>

\*, Los valores de Fe están expresados en  $10^4$  miles de  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

Nota: Arévalo-Hernández et al. (2017)

**Figura 1**

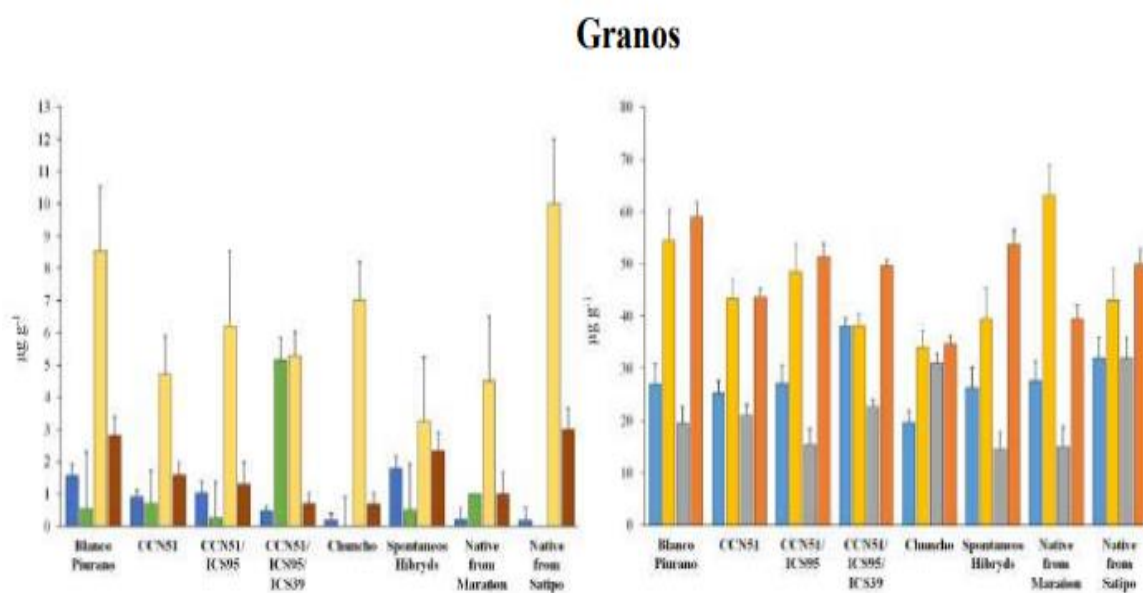
Concentraciones de metales pesados en granos de cacao, por departamento muestreado en las regiones productoras de cacao en el Perú



Nota: Arévalo-Hernández et al. (2017)

**Figura 2**

Concentraciones de metales pesados en hojas y granos de cacao, por genotipo muestreado, en las regiones productoras de cacao en el Perú



Nota: Arévalo-Hernández et al. (2017)

**Tabla 8**

*Cuadrados medios del análisis de variancia ( $\alpha = 0.05$ ) para el contenido de microelementos (cobre, zinc, hierro y cadmio) totales analizados en el cotiledón de los granos de cacao*

Fuente de variación	GL	Cu-Total		Zn-Total		Fe-Total		Cd-Total	
		CM		CM		CM		CM	
Tratamientos	3	8.45	NS	20.83	NS	0.83	NS	0.26	AS
Error experimental	8	6.25		9.50		0.49		0.02	
Total	11								
C.V. (%)		12.66		6.71		4.31		17.97	

Leyenda:

- S = Significativo
- AS = Altamente significativo
- NS = No significativo

*Nota: Falcón (2019)*

**Figura 3**

*medidas de mitigación de cadmio 1*



*Nota: Experiencia Propia no publicada.*



**Figura 4**

*Medidas de mitigación de cadmio 2*



*Nota: Experiencia Propia no publicada.*

**Figura 5**

*Recolección de muestras en parcelas de cacao*



*Nota: Experiencia Propia no publicada.*

**Figura 6**

*Practica de campo recolección de muestras de suelos*



*Nota: Experiencia Propia no publicada.*

**Figura 7**

*Lectura de Ph en suelos de productores cacaoteros*

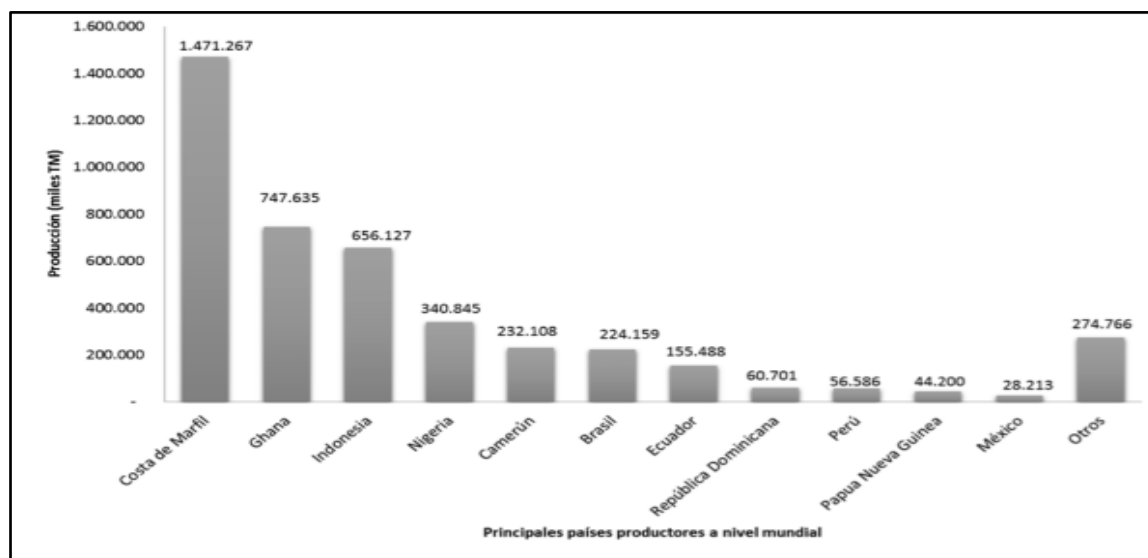


*Nota: Experiencia Propia no publicada.*



**Figura 8**

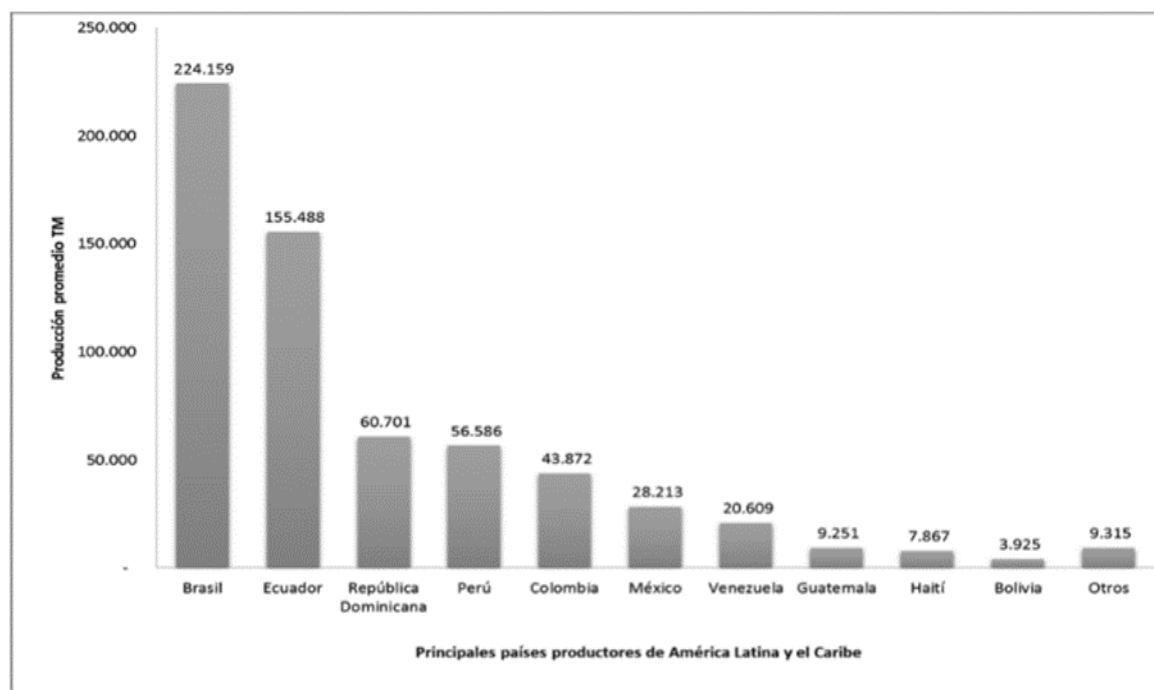
*Producción promedio de cacao en grano a nivel mundial 2006 al 2016*



*Nota: Datos de la FAO, 2016 y de SAGARPA, 2016. Nota: incluye los años del 2006 al 2011 y pronósticos de ICCO, 2016. Además, incluye los años del 2012 al 2016 y recupera toda la información para México.*

**Figura 9**

*Producción promedio de cacao en grano en América Latina 2006 al 2016*



*Nota: Datos de la FAO, 2016 y de pronósticos de ICCO, 2016. Nota: incluye los años del 2006 al 2011 y del 2012 al 2014.*

**Tabla 9**

Valores del contenido de cadmio (ppm) en la testa y cotiledón en el grano de cacao fresco

Contenido de cadmio en el fruto					
Zonas / Variedades	Partes del grano				Media
	Testa (ppm)		Cotiledón (ppm)		
Juanjui / ICS-95	0,036	± 0,015	0,051	± 0,007	0,044
Juanjui / CCN51	0,027	± 0,020	0,037	± 0,005	0,032
Juanjui / HIBRIDO	0,054	± 0,021	0,067	± 0,004	0,061
Pucacaca / ICS-95	0,055	± 0,037	0,056	± 0,027	0,056
Pucacaca / CCN51	0,023	± 0,016	0,032	± 0,008	0,027
Pucacaca / HIBRIDO	0,042	± 0,012	0,053	± 0,006	0,048
Mínimo	0,023		0,032		0,027
Máximo	0,055		0,067		0,061
Media	0,040		0,050		0,045
Desviación estándar	0,014		0,013		0,013
Coefficiente de variación	34,28%		26,08%		29,24%
ANOVA Test Tuckey (p<0,05)	0,5286		0,0391*		0,2016

Nota: Ventura, (2017)

**Tabla 10**

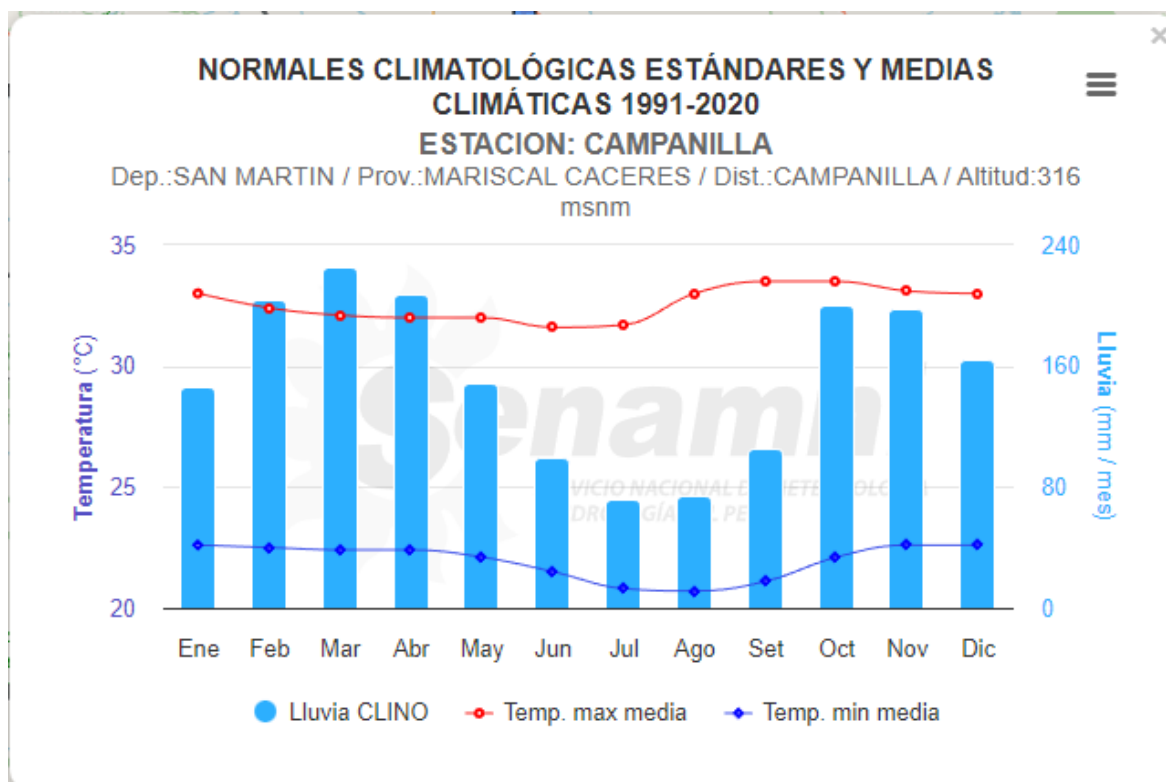
Cadmio disponible en el suelo de diferentes zonas productoras de cacao en Perú

Zone	Region	Province	References	Cd Level ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	UTM Coordinates		
	Tumbes	Tumbes	4	0.50	562379E-9606058N		
			4	0.26	556998E-9604790N		
	Piura	Piura	Huancabamba	4	0.48	538295E-9427857N	
			Morropón	4	0.14	672373E-9422057N	
			Morropón	4	0.53	592923E-9436422N	
			San Ignacio	4	0.01	720769E-9431431N	
	Amazonas	Amazonas	Bagua	4	0.11	773547E-9376440N	
			Bagua	7	1.46	--	
			Condorcanqui	4	0.01	783829E-9364136N	
	North	North	San Martín	1	0.27	354517E-9278816N	
Bellavista			4	0.20	324522E-9219718N		
North		North	El Dorado	1	0.32	326533E-9215295N	
			Lamas	1	0.27	313538E-9268407N	
			Lamas	1	0.22	332615E-9290811N	
			Hualaga	4	0.29	304650E-9231329N	
San Martín		San Martín	Mariscal Cáceres	1	0.28	312023E-9205915N	
			San Martín	4	0.21	300970E-9192099N	
			Moyobamba	1	0.16	286619E-9329588N	
			Picota	1	0.33	352976E-9235603N	
	Rioja		1	0.22	261893E-9329417N		
	Tocache		1	0.23	332630E-9092486N		
Junin	Junin	Bambamarca-Tocache	5	0.24	647657E-9097795N		
		Tananta-Tocache	5	0.16	326325E-9102289N		
		Nvo. Progreso-Tocache	5	0.19	354326E-9065466N		
		Satipo	4	0.10	539354E-8755739N		
		Junin	Junin	Rupa Rupa	6	0.53	394588E-8978855N
				Rupa Rupa	3	0.63	391952E-8966760N
				Supte San Jorge	5	0.45	395116E-8982497N
				Pueblo Nuevo	5	0.54	393951E-8971537N
				Pueblo Nuevo	3	0.41	383134E-8994796N
				Puerto Ángel	5	0.18	382690E-8996783N
Center	Center	Castillo Grande	3	0.29	386765E-8978110N		
		Castillo Grande	3	0.82	388995E-8976876N		
		Huánuco	3	0.41	383134E-8994796N		
		Huánuco	3	0.16	389956E-8988252N		
		San José Pucate	5	0.26	374175E-9014524N		
		Marona	3	0.26	396097E-8979819N		
		Dámaso Beraun	3	0.40	395359E-8959585N		
		Aalto Sanjuan	5	0.30	411020E-8961339N		
		Bella-Monzón	5	0.29	385888E-8969250N		
		Paraiso	5	0.32	347572E-9059513N		
Ucayali	Ucayali	Venenillo	5	0.22	379875E-8993949N		
		Ucayali	5	0.37	546513E-9071823N		
		Irazola	5	0.86	444682E-9001025N		
		A. Bon Humbolt	5	0.29	498145E-9027812N		
		Padre Abad	2	0.23	445791E-9015463N		
		Nuevo Horizonte	5	0.28	470854E-9022059N		
South	Cusco	Cusco	4	0.01	459718E-9013764N		
Average				0.33±0.18	747811E-8577789N		

Nota: Florida, (2021)

Figura 10

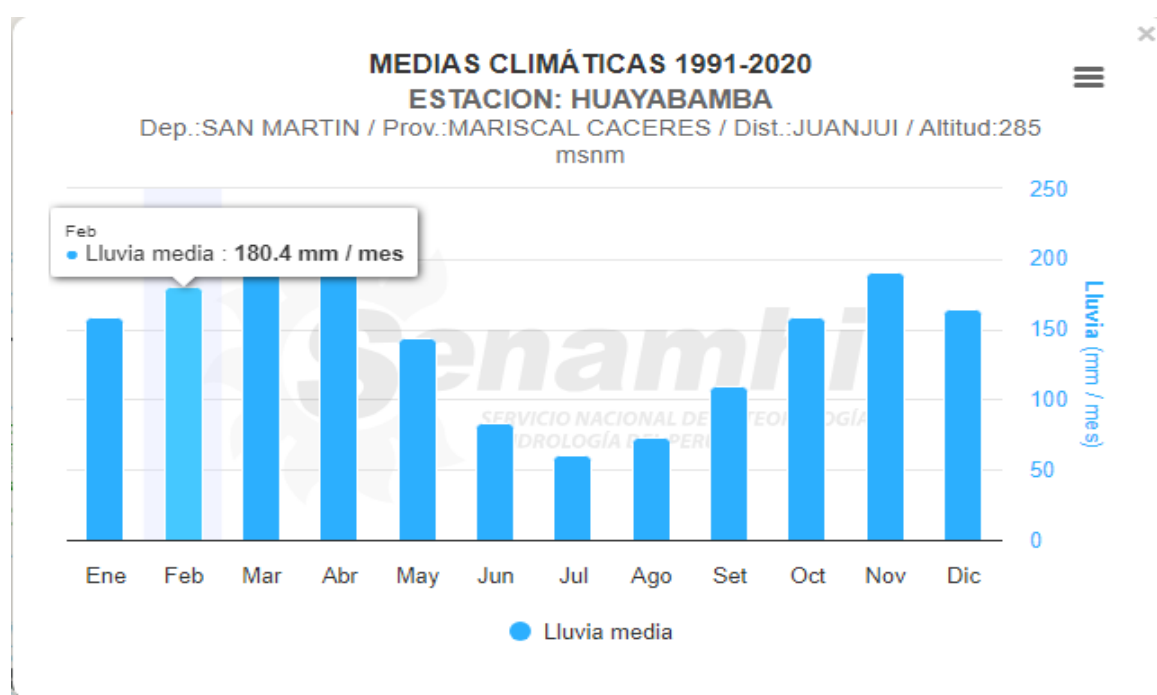
Normales climatológicas, estación Campanilla



Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI 2023

Figura 11

Normales climatológicas, estación Huayabamba



Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI 2023



# Implicancias de los metales pesados en grano de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022

*por* Cesi Yesenia Jacobo Varela

---

**Fecha de entrega:** 22-ene-2024 11:59a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2275998886

**Nombre del archivo:** Tesis\_Cesi\_Yesenia\_Jacobo\_Varela\_ok.docx (4.87M)

**Total de palabras:** 18389

**Total de caracteres:** 102483

# Implicancias de los metales pesados en grano de cacao de los productores de Juanjuí, San Martín 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.unsm.edu.pe](https://repositorio.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

6%

2

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

2%

3

[tesis.unsm.edu.pe](https://tesis.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

[repositorio.iica.int](https://repositorio.iica.int)

Fuente de Internet

1%

5

[repositorio.ucss.edu.pe](https://repositorio.ucss.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

6

[repository.usta.edu.co](https://repository.usta.edu.co)

Fuente de Internet

1%

7

[repositorio.unp.edu.pe](https://repositorio.unp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

8

[repositorio.unheval.edu.pe](https://repositorio.unheval.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

9

[repositorio.unas.edu.pe](https://repositorio.unas.edu.pe)

Fuente de Internet