



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a
la obtención del Título de
Ingeniera Ambiental

Título del Proyecto de Investigación:

“ACUMULACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO (*Theobroma cacao L.*)
BAJO LA INFLUENCIA DE PLANTACIONES DE BANANO EN EL CANTÓN EL
EMPALME”.

Autor:

Valencia López Naomy Eloísa

Docente Auspiciante:

Ing. Gonzales Ozorio Betty Beatriz PhD.

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Naomy Eloísa Valencia López**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

f. 

Naomy Eloísa Valencia López

C.C. # 0927048876



CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita **Ing. Betty Beatriz González Ozorio. PhD.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Naomy Eloísa Valencia López**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Acumulación de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*) Bajo la influencia de plantaciones de banano en el cantón el Empalme**”, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.



Firmado electrónicamente por:
**BETTY BEATRIZ
GONZALEZ
OZORIO**

Ing. Betty Beatriz González Ozorio. PhD.

DIRECTORA DE TESIS



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

La suscrita **Ing. Betty Beatriz González Ozorio. PhD.**, mediante el presente cumpro en presentar a usted, el informe del Proyecto de Investigación titulado “**Acumulación de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*) Bajo la influencia de plantaciones de banano en el cantón el Empalme**”, presentado por la Srta. Naomy Eloísa Valencia López, estudiante de la carrera de Ingeniera Ambiental, que fue revisado bajo mi dirección según la Resolución Nonagésima Séptima del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, fecha del 31 de enero del 2022 desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de URKUND, el cual mostro 1% de similitud.



Document Information

Analyzed document	Acumulación de cadmio en almendras de cacao (Theobroma cacao L.) bajo la influencia de plantaciones bananeras en el cantón El Empalme.pdf (D146740649)
Submitted	10/18/2022 2:38:00 AM
Submitted by	
Submitter email	bgonzalez@uteq.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	bgonzalez.uteq@analysis.urkund.com



Firmado electrónicamente por:
**BETTY BEATRIZ
GONZALEZ
OZORIO**

Ing. Betty Beatriz González Ozorio. PhD.

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO:

“Acumulación de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*) Bajo la influencia de plantaciones de banano en el cantón el Empalme”.

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental.

Aprobado por:



Firmado electrónicamente por:
**XIMENA PAOLA
CERVANTES
MOLINA**

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Ximena Cervantes Molina. MSc.



Firmado electrónicamente por:
**NORMA MARIA
GUERRERO CHUEZ**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Norma Guerrero Chuez. MSc.



Firmado electrónicamente por:
**ANA NOEMI
MORENO VERA**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Blga. Ana Moreno Vera. MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, por permitirme vivir estos momentos y poder finalizar una de las tantas metas propuestas a lo largo y corto de esta vida estudiantil; a mis padres quienes siempre me han apoyado en mis proyectos y han sido pilares fundamentales para poder salir adelante, en especial a mi madre quien siempre se ha esforzado por darnos lo mejor a mí y a mi hermano, que sin importar como siempre ha estado ahí a pesar de las diferencias que se suele encontrar en la familia, su apoyo a sido esencial para poder seguir adelante.

Agradezco también a mi esposo Miguel quien me ha apoyado en todo momento, para mis estudios y siempre seguir adelante, gracias a él pudo decir que he crecido bastante como ser humano porque ha sido un excelente compañero, quien ha sabido sobrellevar mis momentos de crisis y darme los consejos para no desfallecer, a mi hijo que se ha convertido en un motor fundamental en mi vida.

Agradezco a mis compañeros y amigos de clases y de vida; que a pesar de todo se han encontrado conmigo siempre para seguirnos apoyando mutuamente.

Y culmino agradeciendo a todos mis docentes quienes me motivaron también a seguir adelante y fueron a parte de docentes amigos que siempre estuvieron dispuestos a ayudar; a la institución Universidad Técnica Estatal de Quevedo quien en un pre abrió un gran mundo y amor a esta carrera de Ingeniería Ambiental.

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo quiero dedicárselo principalmente a Dios quien siempre ha estado conmigo en espíritu, a mis padres Sixto Valencia y Editha López quienes se muestran muy orgullosos de esta culminación de carrera.

A mi pequeña familia: mi esposo Miguel Quintero quien ha estado conmigo a lo largo de estos años, mi pequeño hijo Teo Quintero que es la alegría en mi vida, mi angelito que está en el cielo, a quien nunca pude conocer pero que fue y es el motor de mi vida, donde solo su presencia en mi corazón me ha ayudado a salir adelante y afrontar los problemas de la vida.

A mi hermano Jackson Valencia a quien quiero mucho y demostrarle que nada es imposible, los límites solo se encuentran en nuestra propia mente.

Por último a mis estimados y apreciados amigos del alma quienes me han apoyado en todo lo largo y corto de los semestres mi querida Ana Cristina y Darko Alejandro.

RESUMEN EJECUTIVO

En la cadena de comercialización del cacao, las concentraciones de cadmio están siendo una problemática por deterioro de la calidad de los suelos y del producto, especialmente por los límites permisibles establecidos por la Unión Europea establecidos en la legislación del país. Esta investigación determinó la acumulación de cadmio en las almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*) bajo la influencia de plantaciones de banano del cantón el Empalme. La medición se efectuó con espectrometría de masas, estableciendo una encuesta para conocer la realidad de los agricultores de cacao. Para el análisis de las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao se aplicó un análisis multivariado, regresión lineal múltiple; para medir el efecto entre variable, contenido de cadmio y sitios, se aplicó un diseño completo al azar (DCA) en arreglo factorial (fincas) (fermentación) x (variables de respuesta), se utilizó la Prueba de Tuckey ($P=0,05$). Para los tratamientos se aplicaron 3 tipos diferentes de fermentación: sacos de yute, hojas de bijao y cajas de madera, lo que demostró que los fermentados con hojas de bijao (*Calathea lutea*) tenían baja concentración, siendo 0,20 Cd ppm en F5 y F6 del tratamiento T2 las más bajas, y el contenido de cadmio más altos los presento el tratamiento T1 con 1,18 Cd ppm en F4 valores que se encuentran fuera de los límites permisibles. También existen correlaciones directas para los parámetros de pH y acidez en cuanto mayor sea su concentración mayor cantidad de cadmio habrá en la almendra del cacao, al contrastar los sitios se estableció que, en la zona norte del área de estudio, existen mayor presencia de cadmio, posiblemente a la mayor concentración de plantaciones de banano y plátano, por lo que se realizó la propuesta aplicando la fermentación con prácticas de manejo agroecológicas por el lapso de tres días.

Palabras claves: Cadmio, fermentación, almendras de cacao, tratamientos, bijao

ABSTRACT

In the cocoa marketing chain, cadmium concentrations are becoming a problem due to the deterioration of the quality of the soil and the product, especially due to the permissible limits established by the European Union established in the country's legislation. This research determined the accumulation of cadmium in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) under the influence of banana plantations in the Empalme canton. The measurement presents itself out with mass spectrometry, establishing a survey to know the reality of the cocoa farmers. For the analysis of cadmium concentrations in cocoa beans, a multivariate analysis, multiple linear regression was applied; To measure the effect between the cadmium content variable and sites, a completely randomized design (DCA) was applied in a factorial arrangement (farms) (fermentation) x (response variables), the Tuckey test ($P=0.05$) was used. For the treatments, 3 different types of fermentation were applied: jute bags, bijao leaves and wooden boxes, which showed that those fermented with bijao leaves (*Calathea lutea*) had a low concentration, being 0.20 Cd ppm in F5 and F6. of the T2 treatment. The lowest and highest content of cadmium presents itself by treatment T1 with 1.18 Cd ppm in F4, values that are outside the permissible limits. There are also direct correlations for the parameters of pH and acidity, the higher their concentration, the greater amount of cadmium there will be in the cocoa almond, when contrasting the sites it was established that, in the northern part of the study area, there is a greater presence of cadmium, possibly to the highest concentration of banana and plantain plantations, for which the proposal was made by applying fermentation with agroecological management practices for a period of three days.

Keywords: Cadmium, fermentation, cocoa beans, treatments, bijao.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	v
RESUMEN EJECUTIVO.....	viii
ABSTRACT	ix
CÓDIGO DUBLIN.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1. Problema de investigación	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Diagnostico.....	4
1.1.3. Pronostico	5
1.1.4. Formulación del problema.....	5
1.1.5. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. Justificación	6
CAPITULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓ	7
2.1. Marco Teórico	8
2.1.1. Cacao (Theobroma cacao L.).....	8

2.1.2.	Variedad y especies de cacao	8
2.1.3.	Composición física de la almendra de cacao.....	9
2.1.4.	Composición química del mucilago del cacao	9
2.1.5.	Composición química del grano de cacao	10
2.1.6.	pH del cacao	10
2.1.7.	Macro y micro nutrientes.....	11
2.1.8.	Biorremediación	11
2.1.9.	Fitorremediación.....	11
2.1.10.	Biorremediación en fase sólida (composteo).....	12
2.1.11.	Manejo agroecológico	12
2.1.12.	Fermentación del cacao	13
2.1.13.	Secados del cacao	13
2.1.14.	Metales pesados.....	14
2.1.15.	El Cadmio	14
2.1.16.	Características del cadmio	15
2.1.17.	Cadmio en granos de cacao	15
2.1.18.	Problemas de la salud por el cadmio en el cacao	15
2.1.19.	Límites permisibles del cadmio en las plantas de cacao	15
2.1.20.	Cadmio en cacao en el Ecuador y sus normativas.....	17
2.1.21.	La norma INEN 620: 1989	17
2.1.22.	NTE INEN 621:2010.....	17
2.1.23.	Reglamento 488/2014 UE	18
2.2.	Marco Referencial.....	18
CAPITULO III		20
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		20
3.1.	Localización.....	21
3.2.	Tipo de investigación.....	22

3.3. Métodos de Investigación	23
3.3.1. Método de observación.....	23
3.3.2. Método analítico	23
3.3.3. Método experimental.....	23
3.3.4. Estadística descriptiva	23
3.3.5. Análisis de varianza.....	23
3.3.6. Análisis correlacional	23
3.4. Fuentes de recopilación de la información	24
3.4.1. Primarias.....	24
3.4.2. Secundarias.....	24
3.5. Diseño de la investigación	24
3.5.1. Manejo que realizan los agricultores en el cantón Empalme en las plantaciones de cacao ²⁴	
3.5.2. Concentración de Cadmio en almendras de cacao	25
3.5.3. Propuesta de manejo agroecológico para plantaciones de cacao	29
3.6. Instrumentos de Investigación	30
3.7. Tratamiento de datos.....	30
3.8. Recursos humanos y materiales	31
3.8.1. Recursos humanos	31
3.8.2. Materiales	31
CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Resultados.....	33
4.1.1. Manejo que realizan los agricultores en el cantón Empalme en las plantaciones de cacao ³³	
4.1.2. Concentración de Cadmio en almendras de cacao	36
4.1.3. Propuesta manejo agroecológico para plantaciones de cacao	41
CAPÍTULO V.....	44

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1. Conclusiones.....	45
5.2. Recomendaciones.....	46
CAPÍTULO VI.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	47
6.1. Bibliografía.....	48
CAPITULO VII.....	55
ANEXOS.....	55

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición física del grano de cacao.....	9
Tabla 2. Composición química del mucílago de cacao.....	9
Tabla 3. Composición química del grano de cacao.....	10
Tabla 4. Niveles de cadmio en cacao según el reglamento (CE) no 1881/2006.....	16
Tabla 5. Niveles máximos permitidos de cadmio según la Proposición 65 del Acuerdo Industrial (San Pin 2.2-1078-01).....	16
Tabla 6. Tratamientos pos cosecha.....	26
Tabla 7. Anova.....	26
Tabla 8. Procesos y procedimientos para la obtención de almendras de cacao previo a su análisis.....	26
Tabla 9. Clasificación y característica del grano.....	28
Tabla 10. Sabores básicos de la pasta de cacao.....	29
Tabla 11. Practicas agroecológicas resultantes en la cosecha y pos cosecha del cacao.....	30
Tabla 12. Materiales usados en la investigación.....	31
Tabla 13. Prueba de corte de propiedades físicas de almendras de cacao en plantaciones bananeras del cantón El Empalme.....	36
Tabla 14. Propiedades químicas de las almendras de cacao cercanas a plantaciones bananeras.....	37

Tabla 15. Correlación de Pearson por la fermentación de la almendra de cacao y las concentraciones de cadmio.....	39
Tabla 16. Correlación de Pearson por los parámetros de ph, acidez y las concentraciones de cadmio	40
Tabla 17. Correlación de Pearson por sabor, color y concentraciones de cadmio en la almendra de cacao	40
Tabla18. Plan de manejo de almendras de cacao en pos cosecha	42

Índice de Figuras

Figura 1. Localización del área de estudio, 2022	21
Figura 2. Localización de fincas del área de estudio, 2022.....	22
Figura 3. Factores que favorecen el aumento de cadmio en el cacao.....	25
Figura 3. Edad de las plantaciones de cacao	33
Figura 4. Tipo de fertilizantes que aplican los agricultores a los cultivos de cacao.....	34
Figura 5. Uso de técnicas convencionales en agricultores	35
Figura 6. Concentraciones de cadmio en almendras de cacao	38

Índice de Anexos

Anexo1. Tabla de preguntas realizadas a los agricultores.....	56
Anexo 2. Coordenadas de las fincas.....	56
Anexo 3. Análisis en el programa SPSS.....	57
Anexo 4. Matriz de resultados de laboratorio.....	58
Anexo 5. Gráfico de tratamiento de sabor y color.....	59
Anexo 6. Recolección de la muestra	59
Anexo 7. Plantaciones de banano y cacao	60

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Acumulación de cadmio en almendras de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) bajo la influencia de plantaciones de banano en el cantón El Empalme”.				
Autor:	<u>Valencia López, Naomy Eloísa</u>				
Palabras claves:	Cadmio	Concentraciones	Almendras de cacao	Correlación	Bijao
Fecha de publicación:	Diciembre 2022				
Editorial:	Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2022				
Resumen:	<p>Resumen: El cacao es uno de los principales productos de exportación del país, por tanto las concentraciones de cadmio en el mismo se ha vuelto una problemática, en la presente investigación se evaluaron las concentraciones de cadmio de 7 fincas del cantón El Empalme donde se aplicaron tres tratamientos para contemplar factores, correlaciones y cuales salían de los límites permisibles establecidos por la Unión Europea, así mismo como establecer un plan de remediación sustentable para los agricultores (...)</p> <p>Abstract: Cocoa is one of the main export products of the country, there fore the concentrations of cadmium in it have become a problem, in the present investigation the concentrations of cadmium of 7 farms of the El Empalme canton where they were applied three treatments contemplate factors, correlations and that were outside the permissible limits established by the European Union, as well as establish a sustainable remediation plan for farmers (...)</p>				
Descripción:	75 hojas : dimensiones, 21cm x 29,7 cm + CD-ROM 6162				
URI:					

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es uno de los principales frutos consumido a nivel mundial, por su presentación en chocolate. Su tasa de consumo alrededor del mundo fue de 3,6 millones de toneladas para el 2010 y en el último periodo (2018-2019) el rango de producción fue de casi 5 millones de toneladas métricas (Tm) (1)(2).

Hoy en día la producción de cacao sirve como uno de los principales ingresos para los agricultores de los países tropicales del mundo, como no existen cultivos alternativos o productos sintéticos para hacer chocolate se estima que esta producción siga aumentando (3)(4). Según las estadísticas de Trade Map (ITC, 2022), casi el 66% de las exportaciones mundiales de cacao fueron granos de cacao enteros o partidos, crudos o tostados, seguidos de manteca de cacao (grasa y aceite) 16,3%, cacao en polvo sin azúcar 14,8% y cáscaras, cascarillas, hollejos y otros desechos de cacao 2,9%.

El cacao de Ecuador es famoso por su fino sabor que se encuentra en varias variedades, siendo las dos más importantes “Nacional de Sabor Fino”, que es muy demandada en Europa para producir los chocolates más finos, y la “variedad CCN-51”, que es muy productiva y más resistente a enfermedades tropicales (5)(6). Ecuador es productor mundial del 75% de Cacao Nacional Fino de Aroma según la Organización Internacional del Cacao y posee una amplia producción de CCN-51, cuya superficie es 454.257 ha y una producción de 177.551 Tm/año, entre ambas variedades de cacao (7).

En el Ecuador las provincias más productivas en el sembrío de cacao son: Los Ríos, Guayas, Manabí y Esmeraldas; siendo la provincia del Guayas el productor del 33% del cacao, considerando estos valores se desprende al cantón el Empalme como un productor principal de los cultivos de cacao (8).

Dentro del cultivo de cacao se ha presentado la absorción de metales pesados y elementos propios de la planta, presentándose mayor interés en aquellos elementos tóxicos como el cadmio y el plomo que son contraproducentes para la salud humana. El cadmio tiende a bioacumularse en diferentes partes de la planta de cacao y su consumo puede provocar graves complicaciones de salud (9). Debido a esto, la Unión Europea (UE) estableció límites para concentraciones tolerables de cadmio en productos de cacao como medida preventiva (10), algunos de los estudios científicos revelan que en algunas zonas los niveles de cadmio del suelo y los granos de cacao superan los niveles establecido haciendo de esta problemática una afección que perjudica a los exportadores y agricultores de cacao (11).

Se ha encontrado que los productos de cacao de América Latina generalmente contienen concentraciones más altas de Cd que los de África Occidental (12), donde se ha obtenido una variación considerable en los contenidos de Cd en los granos de cacao dentro de los países Latino Americanos (12)(13)(14). La variabilidad en las concentraciones de Cd en granos de cacao se ve atribuidos a diferentes factores que favorecen el aumento de este metal pesado (15).

Bajo esta premisa se busca realizar una evaluación de cadmio en las plantaciones de cacao y cuan estrechamente está relacionado las plantaciones de banano en el aumento de cadmio en el suelo.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

El cadmio (Cd) ha sido ampliamente estudiado en las últimas décadas y ha sido identificado como un contaminante ambiental que presenta riesgos para la salud humana (16)(17)(18). Casi todos en la población general están expuestos al cadmio a través del suministro de alimentos (19). El cadmio se encuentra altamente en el suelo y entra en la cadena alimenticia a través de la absorción de plantas principalmente vegetales de hoja , tubérculos, cereales y granos (19) (20).

El cadmio constituye uno de los metales que ha tomado importancia en las últimas décadas por los efectos nocivos en la salud humana ya que puede ocasionar enfermedades crónicas en varios órganos del cuerpo humano como pulmonar, disfunción renal tubular, degeneración ósea relacionada con alteraciones en el metabolismo del calcio, osteoporosis y osteomalacia, es decir está considerado como carcinógeno para los seres humanos (21) (22).

Por otra parte, en la cadena de comercialización del cacao, desde los productores, exportadores, importadores y consumidores, existe preocupación debido a que cadmio está poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de los derivados del cacao, por el deterioro de la calidad de los suelos y del producto(23).

Por lo que es bien sabido que muchos cultivos llevan sus propias propiedades para su desarrollo, eliminación de plagas y mantención del mismo, por esto, se establece que los cultivos de banano que están cerca a los cultivos de cacao favorecen a través de los suelos la absorción de cadmio a las almendras de cacao.

1.1.2. Diagnostico

En estos últimos años el aumento de cadmio en los cultivos de cacao se ha convertido en una preocupación global, esto debido a los problemas de salud humana que se presentan por el consumo de sus derivados como el chocolate; este creciente problema se da por los altos contenidos de cadmio presentes en el suelo y son absorbidos por la planta encontrándose en los granos de cacao y hojas, el mal manejo de este cultivo también es un factor que aumenta dicha problemática dejando como resultado que con el paso del tiempo estas concentraciones de cadmio sigan elevandose, poniendo en riesgo la productividad en la exportación de los agricultores.

1.1.3. Pronostico

Las altas concentraciones de cadmio en las plantaciones de cacao pueden producir repercusiones a la salud humana y las exportaciones en el país, debido a que se han establecido límites permisibles para el consumo de dicho metal pesado; dentro de este pronóstico se establece que las plantaciones de banano pueden ser agentes que aporten al aumento de este metal, puesto que el uso de fertilizantes y el método de mitigación de plagas para las plantaciones bananeras favorecen al aumento de cadmio en el suelo, y estas dirigirse a las plantaciones cercas debido al de los compuestos y ser absorbidos por los suelos y llegar a las almendras de cacao incrementando la problemática.

1.1.4. Formulación del problema

- ¿Serán las plantaciones de banano influyentes al aumento de cadmio en las almendras de cacao?

1.1.5. Sistematización del problema

- ¿Qué actividades se relacionan en el manejo del cultivo de cacao por los agricultores que está provocando un aumento significativo a la presencia de cadmio?
- ¿Cuáles son las propiedades físico químicos que se inter relacionan al aumento de cadmio en las almendras de cacao?
- ¿Qué factor o factores producen que los sembríos de banano cercanos aumenten las concentraciones de cadmio a las almendras de cacao?
- ¿Qué propuesta puede ser ejecutada para mejorar y mitigar las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar la acumulación de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*) bajo la influencia de plantaciones bananeras en el cantón El Empalme.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Establecer el manejo que realizan los agricultores del cantón El Empalme en las plantaciones de cacao.
- Determinar las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao.
- Establecer una propuesta de manejo agroecológico para plantaciones de cacao.

1.3. Justificación

Dentro de lo establecido en varios estudios importantes sobre las concentraciones cadmio en productos de consumo humano, se reportan varias problemáticas para este metal pesado, por las afectaciones severas que tiene en la salud, esto da como resultado la necesidad de saber que favorece el aumento de cadmio en la naturaleza, debido a la carencia de estudios solo se puede decir que algunos factores que contribuyentes al incremento del mismo son: la zona del clima donde se da las plantaciones, las concentraciones de pH, las concentraciones acidez, el tipo de genotipo de la planta, el tiempo de sembrío que tiene el cultivo, uso de fertilizantes fosfatados, entre otros factores.

Por otro lado, las plantaciones de cacao son muy susceptibles a la absorción de metales tranzas como el plomo y el cadmio, esto debido a que las plantas a través de sus raíces captan la mayor cantidad de cadmio encontrada en el suelo y son asimiladas en el organismo de la misma y repartidas tanto en sus hojas como en las almendras de cacao.

En este contexto, la presente investigación servirá para corroborar dichas premisas de los factores que aumentan las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao y el mal manejo que están llevando los agricultores en la mantención del cultivo de cacao, como también identificar si los cultivos cercanos, en este caso si el banano es agente del aumento de cadmio encontradas en dichos cultivos.

Para esto se busca determinar las concentraciones de cadmio que estén fuera de los límites permisibles para dar soluciones a través de un plan de manejo agroecológicos con el fin de buscar medidas sustentables y aplicables para los agricultores, que puedan ser ejecutadas sin perjudicar o dañar las plantaciones de cacao, teniendo en consideración que conforme sean los tratamientos aplicados se tendrán resultados a corto plazo.

Esto como aporte investigativo y beneficiario para nuevas investigaciones que puedan profundizar de mejor manera a los factores de estudio como la influencia de los cultivos de banano cercano a las plantaciones de cacao, así como también los tratamientos aplicados dentro de la investigación.

CAPITULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao se cultiva en los trópicos húmedos y es una fuente importante de divisas para los pequeños agricultores, así como el principal cultivo comercial de varios países de África occidental. Sus frutos (vainas) contienen las semillas (frijoles) que luego son procesadas por la industria multimillonaria del chocolate. Los rendimientos promedio son de alrededor de 300 kg por hectárea, pero a menudo se reportan 3.000 kg / ha a partir de ensayos de campo(24). Tradicionalmente existen dos grupos genéticos principales, "Criollo" y "Forastero", se han definido dentro del cacao con base en rasgos morfológicos y orígenes geográficos (25).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) fue clasificado botánicamente por Carlos Linneo, es un árbol de 4-8 m de alto de la familia Esterculiácea, nativo de las regiones tropicales de América, con semillas que contienen una cantidad significativa de grasas (40-50%) y polifenoles (alrededor del 10% del peso del grano seco) (26). En la actualidad se siembra el Clon CCN-51, el cual tiene excelente comportamiento agronómico, productivo y tolerancia a las enfermedades; sin embargo, es cuestionado en su calidad, ya que la industria demanda cacao de origen Nacional (27)

2.1.2. Variedad y especies de cacao

Los tipos de cacao se clasifican en tres grupos principales: criollo, forastero y trinitario. El cacao criollo desarrollado en el norte de América del Sur y América Central, son frutos de finas paredes, de color rojo o amarillo. Las semillas son grandes, redondas, de color blanco o púrpura pálido, no astringente, y son los que producen el chocolate más alta calidad. Por desgracia, los tipos criollo son de bajo rendimiento y susceptibles a muchas enfermedades, y son raramente cultivados. El cacao tipo forastero son de la cuenca del Amazonas, y tienen una pared gruesa, fruta suave, generalmente de color amarillo, las semillas son aplanadas y de color púrpura. El tipo de cacao trinitario surgió en Trinidad, como un híbrido de los tipos criollo y forastero (28).

Existen aproximadamente 22 especies de *Theobroma*, y cerca de 15 son utilizados por su pulpa comestible o semillas. El cacao es la especie más importante. *Theobroma grandiflorum*

(cupuaçu), *Theobroma gileri* (cacao de montaña), *T. bicolor* (Macambo) y *subincanum* T. (cacao silvestre) son otras especies utilizadas por su pulpa dulce, comestibles y semillas comestibles (28).

2.1.3. Composición física de la almendra de cacao

Dentro de la composición de las almendras de cacao se tiene que estas son diferentes por cada genotipo de la planta estos en peso, largo, ancho, espesor y el porcentaje de testa que tiene la almendra esto presentado en la tabla 1.

Tabla 1. Composición física del grano de cacao

Código del genotipo	Peso(g)	Largo(cm)	Ancho(cm)	Espesor (cm)	Testa(%)
MAR-4	1,20 ± 0,02ab	2,12 ± 0,01b	1,33 ± 0,02cd	0,84 ± 0,01a	15,00 ± 0,23a
CMR-5	1,42 ± 0,03c	2,31 ± 0,01d	1,31 ± 0,00bc	0,96 ± 0,00c	15,02 ± 0,62a
CRP-1	1,42 ± 0,01c	2,32 ± 0,00d	1,35 ± 0,00d	0,97 ± 0,01c	15,12 ± 0,20a
CRP-2	1,38 ± 0,02c	2,16 ± 0,01b	1,30 ± 0,02bc	1,00 ± 0,03d	14,92 ± 0,14a
MCP-1	1,24 ± 0,02b	2,06 ± 0,02a	1,28 ± 0,02a	0,95 ± 0,01c	14,81 ± 0,08a
Comercial	1,19 ± 0,05a	2,24 ± 0,07c	1,30 ± 0,03ab	0,86 ± 0,00b	14,81 ± 0,53a

Fuente: Agronomía Tropical 2007 (29)

2.1.4. Composición química del mucilago del cacao

El mucilago del cacao es lo que rodea la almendra de cacao en su parte externa que es comestible con un sabor dulce y ácido característico y único, es de color blanco, carnoso blando cuando está madura la mazorca y dura cuando esta está verde, su composición se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química del mucilago de cacao

Componentes	% p/p (base húmeda)
-------------	---------------------

Agua	79,2-84,2
Proteína	0,09-0,11
Azúcares	12,50-15,9
Celulosa	11,6-15,32
Pectinas	0,9-1,19
Ácido cítrico	0,77-1,52
Cenizas	0,40-0,50

Fuente: (Mejía Flórez & Argüello Catellanos, 2000) Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao

2.1.5. Composición química del grano de cacao

Los granos de cacao tienen como características su color café cuando están completamente fermentados y secos para su proceso en convertirse en chocolate, para esto la composición química que deben tener se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química del grano de cacao

Componentes	Fermentado y seco % p/p
Manteca de cacao	54
Proteína	11,5
Ácidos orgánicos y aromas	9,5
Celulosa	9
Ácidos tánicos y color	6
Agua	5
Sales minerales	2,6
Teobromina	1,2
Azúcares	1
Cafeína	0,2

Fuente: (Mejía Flórez & Argüello Catellanos, 2000) Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao.

2.1.6. pH del cacao

El cacao natural tiene un pH ligeramente ácido que oscila entre 5.0 y 5.6. Además, contiene gran número de pigmentos de origen natural (flavonoides) que le confieren su típico color marrón claro y tienen un sabor amargo. Los responsables de este gusto tan amargo son los

polifenoles, unos compuestos naturales activos con propiedades antioxidantes que ayudan a proteger el organismo frente a los radicales libres que oxidan las células (30). De hecho, el cacao natural es uno de los alimentos con mayor contenido en polifenoles, entre 10 mg y 50 mg por gramo. Pero estos polifenoles se pueden reducir drásticamente si el cacao es sometido a un proceso químico llamado alcalinización (30).

2.1.7. Macro y micro nutrientes

Los nutrientes vegetales pueden dividirse en macronutrientes y micronutrientes. Las plantas necesitan los macronutrientes en cantidades relativamente elevadas. El contenido del N como macronutriente en los tejidos de las plantas, por ejemplo, es superior en varios miles de veces al contenido del micronutriente Zinc. Bajo esta clasificación, basada en la cantidad del contenido de los elementos en el material vegetal pueden definirse como macronutrientes los siguientes elementos: C, N, H, O, S, P, K, Ca, Mg, Na y Si. Los micronutrientes son: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl (31).

2.1.8. Biorremediación

La biorremediación es una técnica para limpiar suelos contaminados de una forma muy práctica ya que se usan a los mismos microorganismos que viven en el suelo y el subsuelo. Esta usa a los microorganismos para que degraden los compuestos. Esto quiere decir que a los microorganismos que viven en el suelo les gusta comer algunos compuestos químicos que son tóxicos para la naturaleza, por ejemplo, hidrocarburos (gasolina, petróleo, etc). Cuando se da la degradación completa el hidrocarburo se convierte en agua y bióxido de carbono (32).

Para que estos principios se cumplan debe haber las siguientes condiciones:

- La temperatura debe ser la adecuada
- Agua suficiente
- Debe existir una cantidad adecuada de nutrientes
- Cantidad de oxígeno suficiente (para microorganismos aerobios)

2.1.9. Fitorremediación

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en

relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. En esta revisión se presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas (33).

2.1.10. Biorremediación en fase sólida (composteo)

El compostaje es un proceso biológico controlado mediante el cual pueden tratarse suelos y sedimentos contaminados con contaminantes orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos poli cíclicos), a través de la estimulación de la actividad biodegradadora de las poblaciones microbianas presentes en el medio, bajo condiciones aeróbicas y/o anaeróbicas, transformándolos en subproductos inocuos estables. El material contaminado se mezcla con agentes de volumen como por ejemplo paja, aserrín, estiércol, desechos agrícolas y/u otras sustancias orgánicas sólidas biodegradables adicionadas para mejorar el balance de nutrientes, así como para asegurar una mejor aireación y la generación del calor durante el proceso. Es necesario mantener las condiciones termófilas (54 a 65 °C) para un correcto proceso de compostaje. La degradación máxima se alcanza a través de la oxigenación, el riego, según sea necesario, y el monitoreo constante de la humedad y la temperatura en el sistema (34)

2.1.11. Manejo agroecológico

El manejo agroecológico se lleva desde los procesos para llevar buenas prácticas ambientales y el desarrollo de metodologías agrónomas que vallan de la mano al cuidado del medio ambiente, de esta manera desde la permacultura la integración sostenible de los pequeños y medianos productores (35), que van de la mano con los siguientes principios:

- **Aumento de la productividad:** Este punto es fundamental mantener el interés individual de la familia productora, porque la motiva a seguir produciendo y conservando sus recursos para satisfacer a sí misma y contribuir con la sociedad en sus necesidades de productos y servicios ambientales sanos.
- **Aumento de la cobertura vegetal del suelo:** Reconstrucción/conservación de alta calidad del suelo, la captación y protección del agua, como elementos vitales que contribuyen con la productividad agropecuaria y los servicios ambientales.
- **Evitar y reducir la contaminación:** La producción de las fincas agroecológicas integrales, orientada tanto al consumo familiar como al mercado, garantizando la oferta de productos inocuos y el continuo mejoramiento ambiental.

- **El uso eficiente de la energía:** Las fincas agroecológicas maximizan el uso de las energías existentes en el sistema de producción (35).

2.1.12. Fermentación del cacao

Es uno de los procesos que más incide en la calidad del grano, ya que es en este que se logra obtener el sabor y aroma característico del cacao. La fermentación se debe hacer en cajones de madera, con orificios que permitan el lixiviado del mucílago, debe estar ubicado bajo techo y protegido de corrientes de viento fuertes y de animales. En general, la fermentación tarda de cinco a seis días con volteos de la masa al segundo, cuarto y quinto día, para oxigenar la masa y homogenizar la fermentación. Durante el proceso fermentativo el mucílago se desprende, la temperatura aumenta, el embrión de la semilla muere y se logra liberar los precursores de sabor y aroma del grano. Terminada la fermentación, los granos deben estar hinchados y la cáscara con una coloración más oscura. Nunca se debe lavar el grano antes de iniciar la fermentación ni realizar una fermentación excesiva ya que se puede generar una putrefacción del grano que genera acidez y malos sabores, difíciles de remover en el proceso industrial (36).

2.1.13. Secados del cacao

El secado del cacao es el proceso durante el cual se consigue pasar de almendras con un 55 % de humedad hasta almendras con un 6 - 8 %. Durante este tiempo las almendras de cacao terminan los cambios para obtener el sabor y aroma a chocolate. También se producen cambios en el color, apareciendo el color típico marrón del cacao fermentado y secado correctamente. Existen distintos métodos de secado pudiendo ser natural, aprovechando la temperatura de los rayos solares y obteniéndose almendras con mayor aroma, o un secado artificial mediante el empleo de estufas o secadoras mecánicas haciendo pasar una corriente de aire seco y caliente por la masa del cacao (37).

2.1.13.1. Secado Natural

El secado se realiza normalmente al sol sobre plataformas de madera. Para que el proceso sea uniforme, el primer día los granos se deben revolver con poca frecuencia y en los días siguientes con mayor frecuencia hasta terminar el proceso. La mejor señal de que el secado ha terminado es el resquebrajamiento o crujido que se siente al apretar un puñado de los granos en las primeras horas de la mañana. Al terminar el secado, en el interior de los granos se desarrolla la estructura arrañada y el color pardo típico del cacao bien beneficiado (38)

2.1.13.2. Secado Artificial

Para este tipo de secado se emplea aire caliente. El secador artificial más simple es básicamente una plataforma permeable (de madera, metálica o una lámina de aluminio perforada) empotrada horizontalmente sobre una cámara provista de un quemador de carbón o combustible acoplada a un tubo metálico con su extremo posterior unido a una chimenea cuyo diámetro debe ser mínimo el 10% del diámetro del tubo. En la lámina perforada los huecos deben tener una separación de 3 centímetros y su diámetro o longitud no debe pasar de 1 centímetro (38).

2.1.14. Metales pesados

Según la tabla periódica, es un elemento químico con alta densidad (mayor a 4 g/cm³), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn) (39).

En general se considera, que los metales son perjudiciales, pero muchos resultan esenciales en la dieta y en algunos casos, su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc(40).

Se encuentran de manera natural en el ambiente en concentraciones que, por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida. Los metales pesados no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados. Algunos forman complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas (41)

2.1.15. El Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal pesado biológicamente no esencial que puede causar efectos tóxicos en plantas, animales y humanos ya en concentraciones bajas en comparación con otros metales. (42). La disponibilidad del cadmio (Cd) en el suelo está relacionada con la movilidad, transporte y distribución del metal en este sistema. La dinámica del Cd se describe mediante procesos de adsorción y desorción que dependen de la forma química del metal y de las características del suelo (43).

2.1.16. Características del cadmio

El cadmio es un metal traza con tonalidad blanquecina plateada, de textura blanda, dúctil y maleable en su estado natural. Este es insoluble en agua y en los disolventes orgánicos corrientes (alcoholes, éteres, cetonas, etc.) Suele presentarse en forma de polvo, con un color grisáceo. Se utilizan también para usos industriales los siguientes compuestos: óxidos de cloruros, sulfatos y carbonatos. Es bastante volátil, emitiendo vapores a temperaturas inferiores al punto de ebullición (44).

2.1.17. Cadmio en granos de cacao

El cadmio es absorbido por las plantas de cacao del suelo. Su presencia en el suelo es el resultado de una combinación de procesos naturales y antropogénicos. Los procesos naturales incluyen la meteorización de las rocas, la actividad volcánica, los incendios forestales, la erosión y la deposición en los sedimentos de los ríos, mientras que los procesos antropogénicos incluyen actividades mineras e industriales, así como prácticas agrícolas como la irrigación y la fertilización. En los suelos de cultivo de cacao de ALC, es probable que tanto las fuentes naturales como las antropogénicas participen en el aumento de su contenido de cadmio, con la importancia relativa de diferentes fuentes según el área (44).

2.1.18. Problemas de la salud por el cadmio en el cacao

El cadmio es un metal pesado de origen natural, que no tiene una función conocida en los seres humanos. Se acumula en el cuerpo y afecta principalmente a los riñones, pero también puede causar desmineralización ósea. Los niveles se basan en el consumo estimado de chocolate por diferentes grupos de edad (44). El cadmio tiende a bioacumularse en diferentes partes de la planta de cacao y su consumo puede provocar graves complicaciones de salud; Debido a esto, la Unión Europea (UE) estableció límites para concentraciones tolerables de cadmio en productos de cacao como medida preventiva, la cual entró en vigencia a partir de enero de 2019 (11)

2.1.19. Límites permisibles del cadmio en las plantas de cacao

La UE con el Reglamento n. ° 488/2014, estableció límites tolerables para el cacao y los derivados del chocolate: para chocolate con leche con sólidos de cacao inferiores al 30%, 0,1 $\mu\text{g g}^{-1}$; para el chocolate con un contenido de sólidos de cacao inferior al 50% y chocolates con leche con un contenido de sólidos de cacao superior o igual al 30%, 0,3 $\mu\text{g g}^{-1}$; para chocolates con sólidos de cacao superiores o iguales al 50%, 0,8 $\mu\text{g g}^{-1}$; y para el cacao en polvo, 0,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ (45).

En este contexto, los reportes científicos han tomado como norma de referencia para determinar los niveles de cadmio al Reglamento N° 488/2014 (45), que rige desde enero del 2019 y establece límites tolerables entre 0,1 a 0,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ a productos derivados del chocolate y no dispone límite máximo para granos sin procesar (46). Por esta razón, debe consignarse o regularse un límite máximo de cadmio en granos secos como los que se establecen en la tabla 4 (44).

Tabla 4. Niveles de cadmio en cacao según el reglamento (CE) no 1881/2006

Cadmio	Valores
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30 %	0,10 a partir del 1 de enero de 2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao \geq 30 %	0,30 a partir del 1 de enero de 2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao \geq 50 %	0,80 a partir del 1 de enero de 2019
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0,60 a partir del 1 de enero de 2019

Fuente: Reglamento de la Comisión Europea (UE) 488/2014 del 12 de mayo de 2014 (47).

También En Estados Unidos, el estado de California aprobó el Industry Agreement 65. (19 de febrero de 2018) Tabla 6 configuración del nivel máximo de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en productos de chocolate. Este acuerdo establece que puede vender productos que excedan los límites de Cd y Pb, pero con etiquetas de advertencia (Tabla 5).

Tabla 5. Niveles máximos permitidos de cadmio según la Proposición 65 del Acuerdo Industrial (San Pin 2.2-1078-01)

Porcentaje del contenido total de cacao en la composición del producto de chocolate	Nivel máximo de cadmio (mg kg-1)	
	2018-2025	2025
< 65%	0,400	0,320
65 - 95%	0,450	0,400
≥ 95%	0,960	0,800

Fuente: (Meter, Atkinson , & Laliberte, 2019) Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe: Análisis de la Investigación y Soluciones Potenciales para la Mitigación.

2.1.20. Cadmio en cacao en el Ecuador y sus normativas

Los productos derivados del cacao se consumen generalmente en pequeñas cantidades en comparación con los alimentos básicos, pero pueden ser consumidos de forma cotidiana por los niños (cacao en polvo) y ser una fuente importante de cadmio dietético. Para reducir la bioacumulación y la exposición, la Unión Europea estableció niveles máximos permitidos de cadmio en diferentes productos derivados de cacao que se aplica desde el primero de enero del año 2019 (48), los cuales son establecidos en el Ecuador que están establecidas en la tabla 4 y que también se adapta a los límites permisibles establecidos en la tabla 5.

2.1.21. La norma INEN 620: 1989

Esta norma establece los requisitos para el cacao en polvo y las mezclas de cacao en polvo con azúcares o edulcorantes destinado al consumo directo. Se aplica al cacao en polvo proveniente de la pulverización de la torta de cacao, entre otros derivadas de los productos de cacao aceptados por la normativa ecuatoriana (49).

2.1.22. NTE INEN 621:2010

Esta norma establece definiciones y características de los diversos tipos de chocolate preparado a partir de cacao sin cáscara ni germen, cacao en pasta, torta del prensado de cacao y cacao en polvo, con la adición de sustancias tales como azúcares, manteca de cacao, productos lácteos e ingredientes facultativos previstos en esta norma, según el tipo de chocolate deseado, y al cual se adicionan ingredientes o sustancias aromatizantes con el objeto de modificar en forma característica las propiedades organolépticas del producto final (50).

2.1.23. Reglamento 488/2014 UE

El Reglamento (CE) no 1881/2006 de la Comisión establece el contenido máximo de cadmio en una serie de productos alimenticios. El 30 de enero de 2009, la Comisión Técnica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria (Contar) de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) adoptó un dictamen sobre el cadmio en los alimentos. En dicho dictamen, la EFSA estableció una ingesta semanal tolerable (IST) de 2,5 µg/kg de peso corporal para el cadmio. En su «Declaración sobre la ingesta semanal tolerable de cadmio», la EFSA tuvo en cuenta la reciente evaluación del riesgo llevada a cabo por el Comité mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) y confirmó la ingesta semanal tolerable de 2,5 µg/kg de peso corporal (51).

2.2. Marco Referencial

Para Maddela et al., 2020 (52) con respecto a su investigación de “El cadmio cargado de cacao amenaza la salud humana y la economía del cacao: una visión crítica” describen que los altos contenidos de cadmio en los productos de cacao amenaza la alimentación mundial, la salud humana y las chocolateras. Para su resolución se habla del desarrollo de clones de cacao con capacidad de absorber en bajas cantidades las concentraciones de cadmio en los suelos, lo que contribuirá a limitar la transferencia trópica del cadmio. Esta revisión destaca las posibles rutas para la absorción de cadmio en las plantas de cacao y analiza las medidas para rescatar las chocolaterías de la contaminación por cadmio para promover el cultivo de cacao "saludable". También se presentan los riesgos potenciales para la salud humana del cadmio cargado de chocolate y las estrategias de mitigación para minimizar la carga de cadmio en el cuerpo humano.

En el trabajo de Romero et al., 2019 (53) del “Contenido y relación entre las concentraciones de cadmio, níquel y plomo en granos de cacao ecuatoriano de nueve provincias” dicen que los metales pesados como cadmio, plomo y níquel son de preocupación mundial, por lo cual no hay investigaciones que contribuyan a la relación de estos metales pesados, sin embargo este estudio utilizó un enfoque general para examinar dichas concentraciones en granos de cacao de nueve provincias ecuatorianas. Teniendo como resultados para el cadmio entre 0,267 y 1,715 mg kg⁻¹ (m(54) media 0,753 mg kg⁻¹) lo que está casi limitado a lo permitido.

También Lewis et al., 2018 (54) en su investigación de “Variación genética en bioacumulación y partición de cadmio en *Theobroma cacao* L.” indican que el cadmio es tóxico tanto para plantas como para los animales, por tanto, se da la ingesta en el consumo humano por las dietas diarias; en la evaluación realizada en los grupos genéticos y poblaciones híbridas en *Theobroma cacao* L. se realizó en hojas y frijoles con tres repeticiones de árboles. Entre los resultados a pesar de que el cadmio en el suelo era uniforme se encontró variación en el cadmio encontrado en el frijol y el cadmio de las hojas. En las diferencias significativas encontradas se establece que los frijoles tienden a acumular una mayor cantidad de cadmio y que entre las hojas y los frijoles se encuentran concentraciones acumuladas de cadmio del 15 al 52%.

Por otra parte en una recopilación de varias fuentes de alto impacto Oliveira et al., 2022 (55) en su trabajo de “Estrategias de tolerancia y factores que influyen en la absorción de cadmio por el árbol del cacao” establecen que los principales factores relacionados con la absorción del cadmio en el suelo son la disponibilidad de cadmio en el suelo, el pH, el genotipo, la ubicación geográfica, las condiciones del clima, factores agronómicos incluyendo los fertilizantes fosfatados y la interacción que el cadmio tiene con otros nutrientes o elementos. Por tanto, establecen medidas de mitigación estableciendo sistemas de tolerancia como la absorción de cadmio a través de raíces tolerables al cadmio.

CAPITULO III

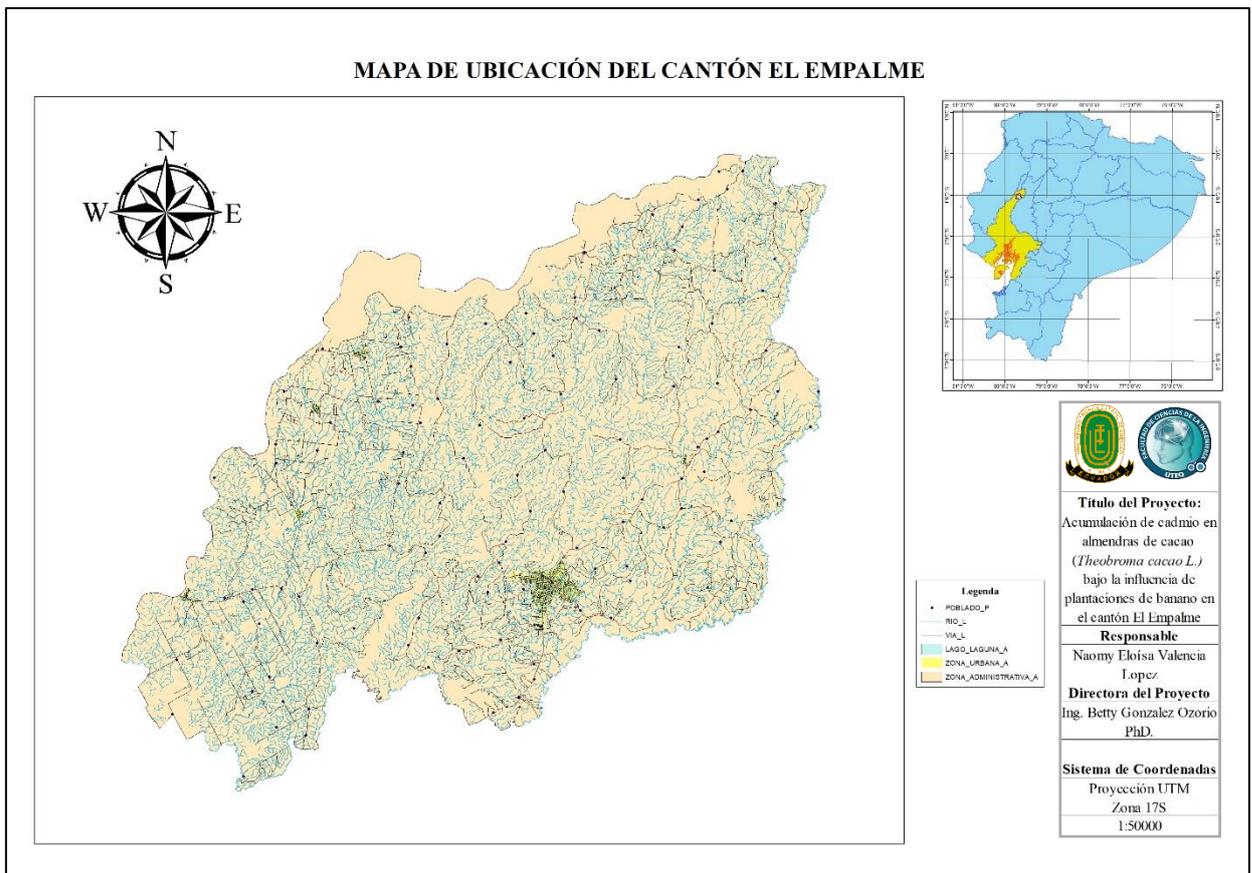
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. Localización

La zona de estudio se encuentra localizado en el Cantón El Empalme, en la zona rural en la que destacan sembríos de cacao, banano, plátano, entre otros. Se establecen las condiciones climáticas de la provincia con temperatura máximo de 31 grados centígrados, teniendo altas humedades que hacen el clima agradable, y húmedo en el trópico presentado en la figura 1.

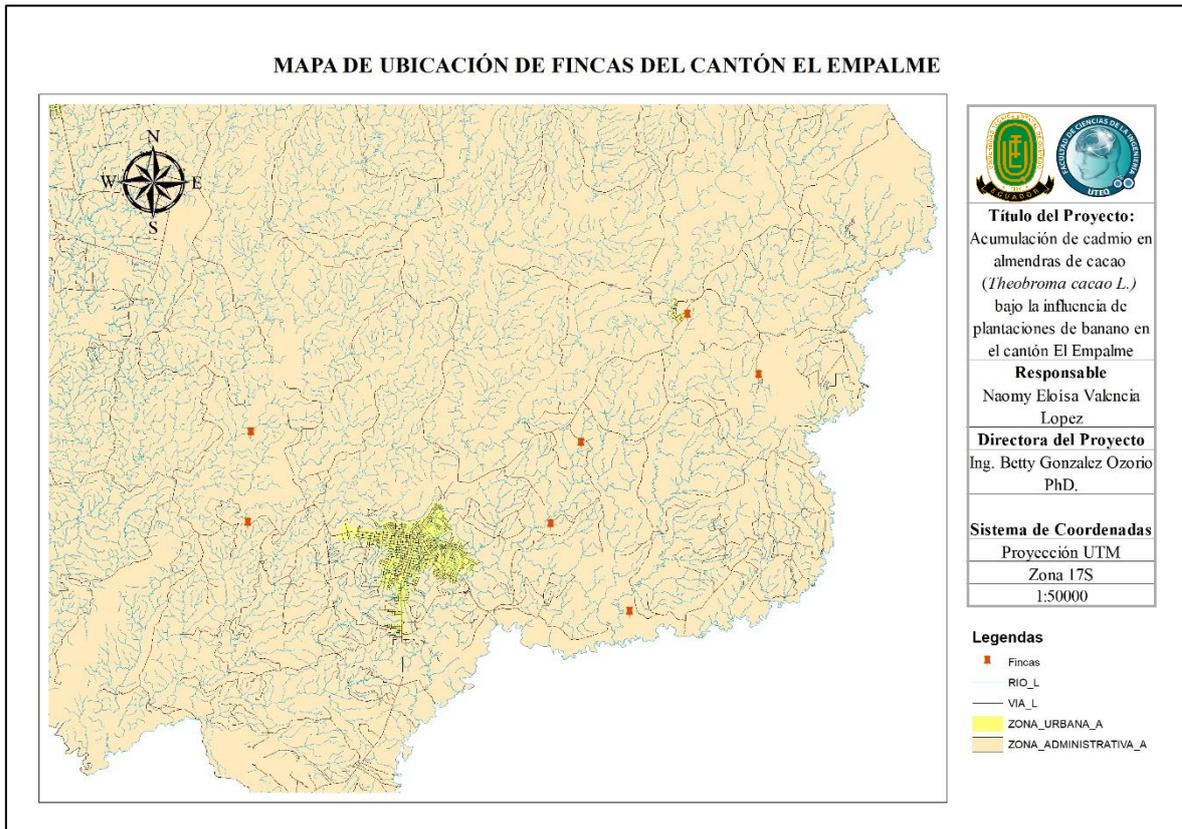
Se tiene en consideración según lo establecido en la metodología la obtención de 7 puntos específicos que cumplen con el formato establecido, en las que se encuentran las plantaciones de banano cercanas a 2 metros de distancia a los sembríos de cacao mostrados en la figura 2.

Figura 1. Localización del área de estudio, 2022



Elaborado por Autora

Figura 2. Localización de fincas del área de estudio, 2022



Elaborado por Autora

3.2. Tipo de investigación

La presente investigación es tipo exploratoria, ya que al ser un problema reciente existen muy pocas investigaciones que ayuden a establecer los factores que están afectando a la absorción de cadmio en las almendras de cacao, existiendo muy pocos tratamientos que ayuden a disminuir dicho metal; por otra parte la investigación usando como factor de influencia las plantaciones de banano se da de forma novedosa ya que no hay investigaciones que hayan utilizado este factor específico para el aumento de cadmio en el suelo y por ende en la planta de cacao; teniendo así el estudio reciente, el cual podría servir como base fundamental de partida para poder dar solución a la problemática, o el establecimiento para nuevas investigaciones un punto de partida fiable.

3.3. Métodos de Investigación

Para la metodología que se desarrolló para la presente investigación se toman en cuenta los siguientes métodos:

3.3.1. Método de observación

Por el método de observación se identificó la calidad de la muestra, para este caso se necesita estableció las fases que van dentro del secado y prueba de corte, donde se necesita visualizar el cambio del color de la almendra y su forma ovalada, esto para obtener los datos de propiedades físicas y químicas de las almendras de cacao

3.3.2. Método analítico

Dentro de este método se mantuvo el análisis de la muestra referente a las variables ya dispuestas como: la ubicación, tipo de almendra, fertilizantes, influencia del banano, las concentraciones de cadmio en el suelo, entre otros; para esto es imprescindible la segmentación de la muestra, ordenamiento y clasificación de esta, para proceder a dar un buen análisis de la misma.

3.3.3. Método experimental

En este caso el método experimental sirvió para la manipulación de la muestra y las variables a considerar, en este caso tomando en consideración todas aquellas que tengan una fluencia significativa para obtener los resultados deseados dentro de la investigación.

3.3.4. Estadística descriptiva

Se establece este método para la elaboración de gráficos y tablas que contienen los datos numéricos que serán necesarios para el estudio de las variables en los tratamientos que se van a realizar en la investigación.

3.3.5. Análisis de varianza

A través del análisis de varianza se estableció la ANOVA a través de un ADEBA para determinar la existencia o ausencia de diferencias en los resultados que se obtendrán de los tratamientos.

3.3.6. Análisis correlacional

Con el análisis correlacional de Pearson bilateral se obtuvieron las relaciones que tienen los resultados de las concentraciones de cadmio con los otros factores o variables analizadas.

3.4. Fuentes de recopilación de la información

3.4.1. Primarias

Se usaron fuentes de información a través de las entrevistas aplicadas a los agricultores dueños de las fincas, como también la observación directa de las distintas áreas de estudios, esto para dar validez a la información obtenida.

3.4.2. Secundarias

Para la obtención de información bibliográfica, se obtuvieron a través de revistas indexadas en bases de datos de alto impacto y de validez científica, como también información de otros artículos, revistas y documentos con la información necesaria y de gran aporte para la complementación de investigación.

3.5. Diseño de la investigación

Para elaborar la investigación se aplicó diversas técnicas y métodos con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, a continuación, se describen los métodos que se utilizarán en el desarrollo de cada objetivo planteado.

Para esto se estableció métodos de análisis descriptivo, comparativo y experimental con los datos obtenidos en la acumulación de cadmio en las almendras de cacao, donde se vio la aplicación de una base de preguntas de forma de entrevista (encuesta), y las correlaciones aplicadas para el análisis de las concentraciones de cadmio.

3.5.1. Manejo que realizan los agricultores en el cantón Empalme en las plantaciones de cacao

Para establecer el manejo que tienen los agricultores con las plantaciones de cacao se realizó una encuesta donde se evidencio la realidad que tienen las fincas entre estas preguntas que ayudaron a identificar parámetros dentro de la cosecha como: uso de fertilizantes, tiempo de permanencia del cultivo y el uso de prácticas que tienen los agricultores.

Para la temática de las preguntas se abordaron temas con respecto al tipo de cacao que se cultiva si en este caso es cacao nacional o de exportación, anexado los tipos de fertilizantes que se ocupa dentro del cultivo, el tiempo de permanecía del cacao en este caso si son plantaciones jóvenes dentro de los 0 a 3 años o si tenían más tiempo, y por último el tipo de prácticas que usan para mantener la cosecha del cacao.

Así se realizó la revisión literaria con respecto a los problemas que se plantean en diferentes artículos elaborados con respecto a los factores que podrían contribuir al aumento de cadmio los que se muestran en la figura 3.

Figura 3. Factores que favorecen el aumento de cadmio en el cacao.



Elaborado por Autora

Estos factores fueron determinados a la recopilación frecuente en las menciones de los artículos de factores que favorecen las concentraciones de cadmio en el cacao (42)(56)(57) autores que citaron las correspondientes variables donde se estableció las preguntas

3.5.2. Concentración de Cadmio en almendras de cacao

Para establecer las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao, se recogió una muestra respectiva de modo aleatorio cumpliendo con la premisa de que debe de encontrarse cercana a sembríos de banano a una distancia aproximada a 2 metros, teniendo así el valor de 7 fincas.

3.5.2.1. Diseño del tratamiento

Dentro del diseño se tomó en consideración 3 tratamientos los cuales serán los tipos de fermentaciones teniendo Tratamiento 1: en sacos de yute, Tratamiento 2: en hojas de bijao, Tratamiento 3: en cajas de madera; donde se llevaron a cabo 7 repeticiones que son las fincas donde se obtuvieron las muestras demostradas en la tabla 6 el ADEBA en la tabla 7.

Tabla 6. Tratamientos pos cosecha

Tratamientos	Fermentación	Fincas
T1	En saco	Repeticiones (7)
T2	En hoja de bijao	
T3	En cajón de madera	

Tabla 7. Anova

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Tratamiento	$t-1=3-1=2$
Total	$t*(r-1)=3*6=18$
Error	$t*r-1=(3*7)-1=20$

Para determinar las concentraciones de cadmio se establecieron los siguientes procesos para tratar las muestras recogidas de 10 mazorcas maduras según lo plantea en la tabla 8.

Tabla 8. Procesos y procedimientos para la obtención de almendras de cacao previo a su análisis

Proceso	Procedimiento
Cosecha	Obtención de mazorcas de <i>Theobroma cacao L.</i> en estado maduro
Fermentación	Se utilizó 3 fermentaciones durante 3 días, (1) fermentación en saco de yute (2) fermentación en hojas de bijao y (3) fermentación en cajón de madera.
Secado	Se utilizó tendal, plástico y secado artificial (maquina) hasta que la almendra alcance el 7% de humedad requerido
Registro de variables	Contenido de Cadmio Análisis físicos y químicos Calidad organoléptica

Fuente: (Cedeño W, 2020) Remoción de Cadmio en almendras de cacao en proceso pos cosecha con agentes quelantes, medios ácidos, lavado y pre secado (Cedeño Guzman , 2020).

3.5.2.2. Variables bajo estudio

3.5.2.2.1. Determinación de pH

La determinación de pH, se realizó mediante el método descrito en (Atlas del cacao, 2006) como referencia para la determinación de pH. Para ello se coloca en un vaso de precipitación de 250 mL, a continuación, son pesados 5 g de polvo de cacao, luego serán añadidos 45 mL de agua destilada hirviendo, se deja enfriar y filtrar por papel filtro de 9 µm. En el filtrado será sumergido el electrodo, mismo que previamente está calibrado el pH metro. Luego de obtener estabilidad en la lectura del pH se anota el resultado. Se repite este proceso tres veces. (Ciencias Ambientales, 2004).

3.5.2.2.2. Acidez

Se calculó acidez titulable en base a la norma AOAC 942.15 que indica que se mezcla 5 g de muestra con 10 ml de etanol y 90 ml de agua hervida, se agita durante 10 minutos y se agrega 3 gotas de fenolftaleína. Se tituló con NaOH 0,1 N con agitación constante. La acidez se determinó con la ecuación (Egas, 2015).

$$A = \frac{fa * V * N * f}{V_0}$$

Donde:

A = acidez de muestra (%p/p)

Fa = factor de acidez

V = volumen de NaOH usado en la titulación (ml)

N = factor de NaOH

3.5.2.2.3. Cadmio

La cuantificación de Cd se realizó por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica de llama, utilizando un espectrofotómetro modelo Analyst 100 (Perkin Elmer). Para el control de calidad el equipo fue calibrado con estándares certificados (Accustandard). Se utilizó material de referencia para sedimentos (CRM-016 Trace metals/Fresh water sediment) como control de calidad y las lecturas de las muestras se realizaron por triplicado para verificar su repetibilidad (Pernía Santos, y otros, 2018).

El análisis se realizó en el laboratorio MARCOS, mediante Espectroscopía de Emisión Óptica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), la cual se basa en un plasma altamente energético y eléctricamente neutro, mismas que ayudan a determinar la composición elemental de una muestra examinada, el espectro electromagnético o espectro de masas (Jiménez Heinert, Grijalva Endara, & Ponce Solórzano, 2020).

3.5.2.3. Análisis físico

La IOCCC (International Office of Cocoa Chocolate and sugar Confectionery) recomienda realizar esta prueba, donde el analista realiza un corte transversal al grano dejando ver el cotiledón (Aguilar, 2016) Esta prueba se hace para observar el interior del grano, determinar el grado de fermentación del lote e identificar defectos como moho interno e infestación de insectos, entre otros (Usboko, 2018)

Cuanto mayor sea el porcentaje de granos fermentados y menor el porcentaje de granos morados, pizarra y granos fermentados, mayor será la calidad y el sabor del cacao, menos agrio, menos ácido y menos amargo o indeseable. Los granos se examinan a plena luz diurna o de una lámpara con iluminación equivalente y se cuentan separadamente cada tipo de grano de acuerdo con la clasificación, descrita en la tabla 9.

Tabla 9. Clasificación y característica del grano

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Bien fermentado	Coloración marrón o marrón oscuro. Apariencia hinchada, no compacto. Estrías profundas, grietas o cavidades. Testa o cascarilla suelta.
Ligeramente violeta	Coloración marrón violeta indicativo de fermentación parcial.
Violeta	No fermentado. Totalmente violeta. No hinchados, compactos. Fuerte sabor amargo y sensación de astringencia. Ausencia de aroma
Sobre fermentado	Coloración marrón oscuro. Sabor indeseable. Defecto serio
Mohoso	Moho visible a simple vista (diversos colores). Sabor indeseable. Causa: geminación, daño mecánico o por insectos almacenado con alta humedad y secado deficiente.
Pizarroso	Ningún efecto de fermentación. Color pizarra (gris). Compacto, sin agrietamiento. Defecto serio.
Daño por insectos y roedores	Perforaciones o picados por insectos o roedores.

Fuente: Manual para la Evaluación de la Calidad del Grano de Cacao, 2016

La prueba de corte determino la calidad de cacao que se encuentran en las fincas analizadas y la estructura que tiene el cotiledón si ha tenido una buena fermentación, color y olor.

De este modo para determinar los tanto atributos del sabor, el aroma, acidez, amargor, posibles sabores aromas y sabores desagradables del cacao, todos estos determinantes de la calidad del cacao (58).

Para esto también se establece las propiedades de los sabores obtenidos después de la prueba de corte para obtener la información relevante referente a la acidez mostradas en la tabla 10.

Tabla 10. Sabores básicos de la pasta de cacao.

Tributo	Descripción
Acidez	Percibido a los lados y en el centro de la lengua, se lo puede relacionar con las frutas cítricas y vinagre.
Astringencia	Es una sensación fuerte de sequedad en la boca; se detecta en toda la boca, lengua, garganta y hasta en los dientes.
Amargor	Se detecta en la parte posterior de la lengua y la garganta, su sabor es fuerte, característico del café.
Dulce	Se percibe en la punta de la lengua, parecido al agua azucarada

Fuente: (Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador, 2015)

3.5.3. Propuesta de manejo agroecológico para plantaciones de cacao

Esta propuesta partio desde las buenas prácticas ambientales en el sembrío de las plantaciones de cacao, así como la utilización de métodos asociados a la biorremediación de los suelos y a la adsorción de la concentración de cadmio a través de la fermentación con enzimas.

La agroecología surge como resultado de la crisis ambiental, donde al fin nos damos cuenta de que los recursos que tiene el planeta son finitos, por lo que no se puede crecer en forma infinita, si no que se debe mantener la capacidad del ecosistema de satisfacer las necesidades. Entra el concepto de sostenibilidad con de respeto de las generaciones futuras. La problemática de la crisis ambiental presiona a los diferentes sectores para tomar acciones inmediatas a fin de reducir el daño medio ambiental al mínimo (59).

Para el uso de prácticas agroecológicas se establecieron métodos factibles para obtener mejores resultados en la disminución de cadmio en las almendras de cacao, para esto se establecieron parámetros y principios presentados en la tabla 11.

Tabla 11. Practicas agroecológicas resultantes en la cosecha y pos cosecha del cacao

Parámetro	Principio
Abono	Se ha demostrado que los usos de fertilizantes con concentraciones altas de fosforo influyen en el aumento de cadmio, por lo que se establece la realización de abonos tipos Bocashi que se basa en la descomposición de residuos orgánicos y son usados como abonos para los suelos
Fermentación	En muchas investigaciones se ha establecido que el uso de enzimas, bacterias y microorganismos en la fermentación disminuyen las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao
Secado	Se ha demostrado que el secado con activos acidificantes disminuyen las concentraciones de cadmio en el cacao.

Elaborado por Autora

3.6. Instrumentos de Investigación

Para la validez de la investigación como antes se mencionó se utilizaron instrumentos que van dentro de las encuesta para los agricultores, observación directa de la realidad de las fincas, información bibliográfica para la redacción y la aplicación del diseño experimental.

3.7. Tratamiento de datos

En la tabulación de encuestas se trabajó con una base de datos en Excel para establecer los promedios, en la prueba estadística se usó la correlación de Pearson bilateral con el programa de SPSS V25 para ver las correlaciones que se encontraban en los resultados, de este modo también se trabajaron los datos obtenidos en las concentraciones de cadmio para determinar que tratamiento tuvo mejores resultados previo al secado de las almendras de cacao, como también corroborar a través del testigo las concentraciones de cadmio

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Recursos humanos

En este proyecto se contó con un equipo de trabajo multidisciplinario aplicado para la recolección de datos de laboratorio y análisis de los mismos.

3.8.2. Materiales

Los materiales usados en la investigación fueron los presentados en la tabla 12.

Tabla 12. Materiales usados en la investigación.

Materiales tecnológicos	Material de oficina	Materiales de campo	Softwares
GPS	Lapiceros	Recipientes	ArcGis
Computadora	Hojas	Reactivos	IBM SPSS V21
Cámara		Equipos de protección	

Elaborado por Autora

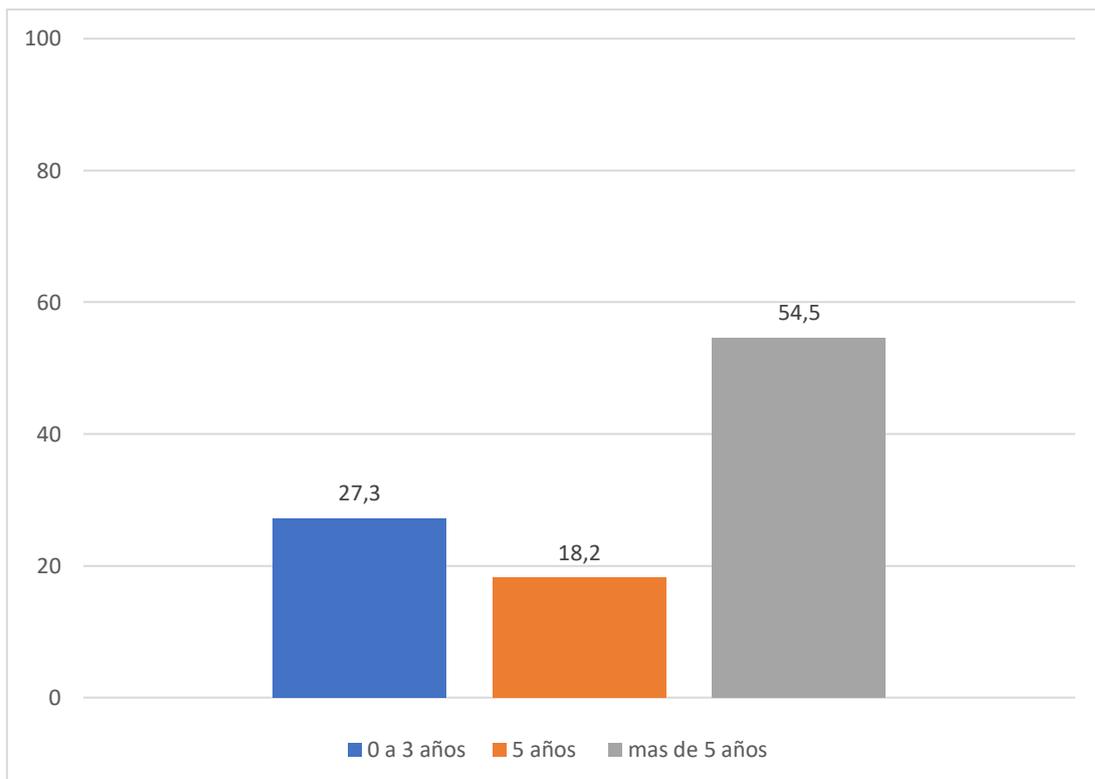
CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Manejo que realizan los agricultores en el cantón Empalme en las plantaciones de cacao

Referente a la edad de los cultivos de cacao, se estableció que el 54% de plantaciones tiene más de 5 años de edad. Esto debido a que los agricultores optaron hace ya varios años mantener la producción de cacao de exportación por los ingresos económicos que tiene el mismo.

Figura 3. Edad de las plantaciones de cacao

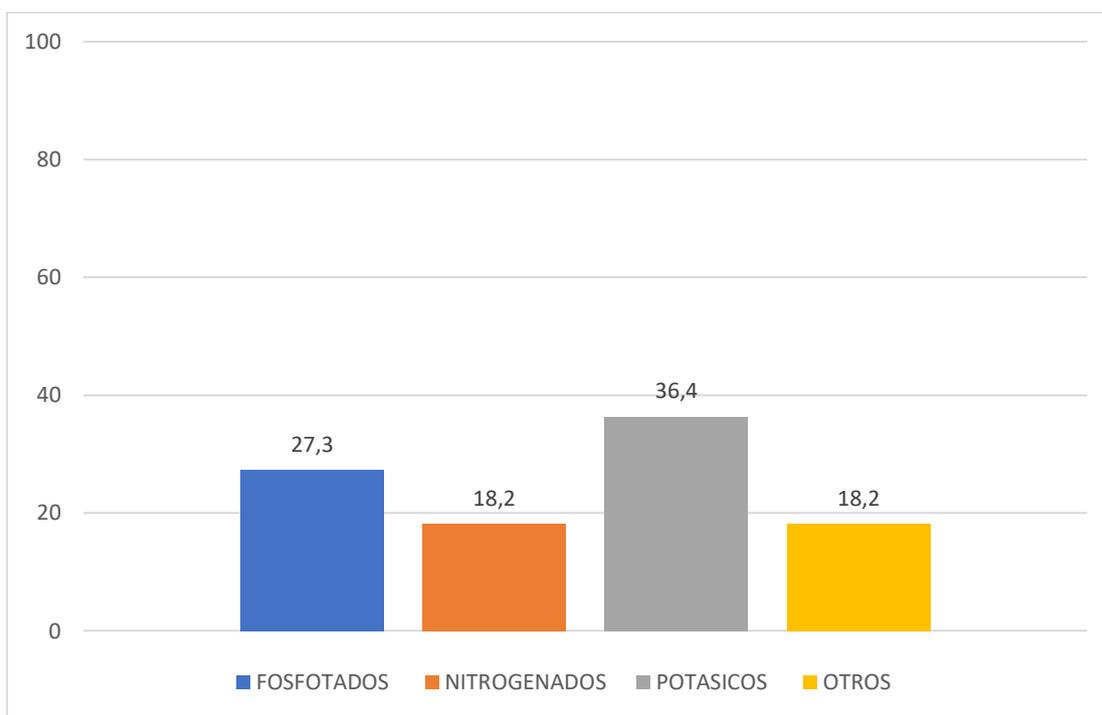


Elaborado por Autora

Estos resultados demuestran según lo reportado por Engbersen N. et al., (2019), en Latinoamérica que uno de los factores que contribuyen el aumento de cadmio en el cacao es debido a aquellos cultivos que tienen más de 5 años de permanecía, puesto que, cuando mayor sea el uso del suelo mayores serán las concentraciones de metales pesados y contaminantes en el mismo, esto acoplado con lo obtenido con la respuesta de los agricultores un porcentaje de las fincas analizadas deben de tener un aumento significativo en las concentraciones de cadmio encontradas en las almendras de cacao.

El 36% de agricultores manejan fertilizantes con concentraciones de potasio, mientras que el 27% con fosforo y el restante utilizan otros tipos de fertilizantes en concentraciones de nitrógeno, abono orgánico y hormonas, debido a que son los fertilizantes más accesibles y recomendados por las agropecuarias en la zona, ya que han tenido buenos resultados en el sembrío, esto en su crecimiento y rendimiento de la planta.

Figura 4. Tipo de fertilizantes que aplican los agricultores a los cultivos de cacao

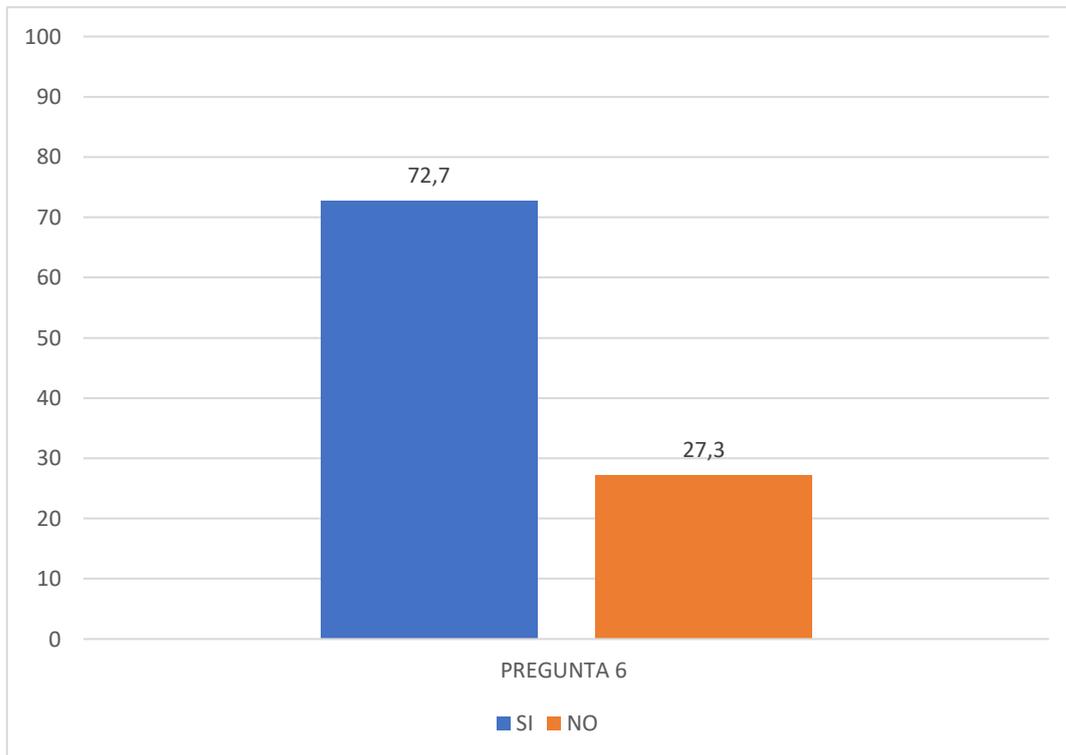


Elaborado por Autora

Dentro de lo que sostiene Argüello D.et al., (2020), en su trabajo investigativo que el tipo de fertilizantes usados en el sembrío afectan de manera significativa al aumento de cadmio en el cacao estos siendo los que tengan altos contenidos de fosforo, ya que estas sustancias producen que el suelo sea más susceptible a cambiar el pH del suelo, afectando de cierto modo a la estructura del mismo lo que provoca que la planta llegue a captar metales pesados como el cadmio, esto relacionando con los resultados obtenidos un porcentaje significativo de los agricultores encuestados del 27 usan este tipo de fertilizantes.

El 73% de los agricultores afirmaron usar técnicas de cultivo convencional, siendo técnicas aprendidas por antepasados y empíricas, mientras que el 27% de agricultores utilizan técnicas dotadas por organizaciones en el manejo del cultivo de cacao.

Figura 5. Uso de técnicas convencionales en agricultores



Elaborado por Autora

De este modo Paramati S. et al., (2022), refutan en su trabajo en Colombia que factores como las practicas convencionales son de influencia para el aumento de cadmio debido al mal manejo del sembrío del cacao, lo cual produce el aumento de metales que se pueden encontrar en el suelo, esto es de notable ya que gran parte de los agricultores usan las técnicas que mejor se han adaptado a lo largo de los años para sus cultivos, sin tener un principio básico esto con los resultados el 73% de los agricultores han usado técnicas que se han heredados por sus antepasados y que han dado resultados favorables.

4.1.2 Concentración de Cadmio en almendras de cacao

4.1.2.1. Propiedades físicas del cacao por prueba de corte.

Las propiedades físicas del cacao se las establecido por una prueba de corte con 100 almendras como lo estable la norma de calidad de cacao que se presenta en la tabla 13, en la cual se describe las almendras bien fermentadas (BF), ligeramente Fermentadas (LF), color violeta (CL), sobre fermentado (SF), mohosas (M), pizarrosas (P) y daños por insectos (DI).

Dentro de los valores analizados BF con una media del 42,3% obtuvo la mayor cantidad de almendras de excelente calidad, seguido por el valor medio de CL con el 15,5% de almendras de las fincas con una mediana calidad y de menor valor M con el 3,9% que representa una mala calidad de las almendras.

Tabla 13. Prueba de corte de propiedades físicas de almendras de cacao en plantaciones bananeras del cantón El Empalme

Mtr.	BF		LF		CL		SF		M		P		DI	
		%		%		%		%		%		%		%
F1	157	52,3	80	26,7	40	13,3	23	7,7	-	-	-	-	-	-
F2	140	46,7	78	26,0	52	17,3	30	10,0	-	-	-	-	-	-
F3	109	36,3	95	31,7	88	29,3	-	-	-	-	8	2,7	-	-
F4	113	37,7	120	40,0	10	3,3	-	-	12	4,0	45	15,0	-	-
F5	94	31,3	63	21,0	102	34,0	-	-	11	3,7	5	1,7	25	8,3
F6	120	40,0	151	50,3	10	3,3	-	-	-	-	-	-	19	6,3
F7	155	51,7	105	35,0	24	8,0	-	-	-	-	6	2,0	10	3,3
Media		42,3		33,0		15,5		8,9		3,9		5,4		6,0
D. Est		7,5		9,2		11,3		1,2		0,2		5,6		2,1

Elaborado por autora

En relación a la obtenido por Streule S. et al., (2022), en su investigación aplicada en 5 fincas en el Ecuador , con 100 granos de cacao los bien fermentados obtuvieron un porcentaje del 44%, el 3% mohosas y en ninguna de las muestras se encontró granos dañados por insectos (60), teniendo relación con los porcentajes obtenidos en el estudio con los granos bien fermentados con el 42% y una varianza relacionada a que casi no se encontraron muestras dañadas por insectos , esto porque las muestras que se tuvieron de dichas fincas no presentaron daños por monilla que es un factor que indica la decadencia de la calidad del cacao, lo que por lo contrario se encontró en las fincas de esta investigación.

4.1.2.2. Propiedades fisicoquímicas del cacao

Las propiedades químicas del cacao se obtuvieron los valores de pH, acidez, amargor y color de la almendra mostrados en la tabla 14, por medio de laboratorio donde se analizaron las muestras ya con los tratamientos que serán indicativos en las correlaciones que tendrán estos resultados y las concentraciones de cadmio obtenidas en las fincas cercanas a las plantaciones de banano.

En el pH se obtiene una media baja en el T1 de 6,02 y alta en T2 de 6,18, según lo establecido un pH óptimo se encuentra entre 6 y 7 estando dentro de estos rangos; una acidez baja en T2 de 0,02 y altas en T1 y T3 de 0,03.

En el sabor de amargo de la pasta se encontró una media baja en T2 de 4,86 y alta en T3 de 8,43; en el color de la pasta se obtuvo una media baja en T2 de 6,29 y alta en T3 de 7,71.

Tabla 14. Propiedades químicas de las almendras de cacao cercanas a plantaciones bananeras

Compuesto	Tratamiento	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	Media
pH	T1	6,06	5,93	6,13	6,25	6,25	5,43	6,12	6,02
	T2	5,91	5,97	6,03	6,08	6,20	5,63	6,45	6,04
	T3	6,12	6,28	6,16	6,28	5,82	6,20	6,40	6,18
acidez	T1	0,026	0,026	0,026	0,030	0,032	0,028	0,028	0,03
	T2	0,022	0,024	0,024	0,022	0,022	0,024	0,025	0,02
	T3	0,028	0,028	0,026	0,032	0,032	0,030	0,030	0,03
amargo	T1	8	9	9	7	8	7	6	7,71
	T2	4	6	4	6	6	4	4	4,86
	T3	8	9	9	9	9	9	6	8,43
café oscuro	T1	7	8	9	8	7	6	7	7,43
	T2	7	7	7	7	6	4	6	6,29
	T3	7	6	9	9	8	8	7	7,71

Elaborado por Autora

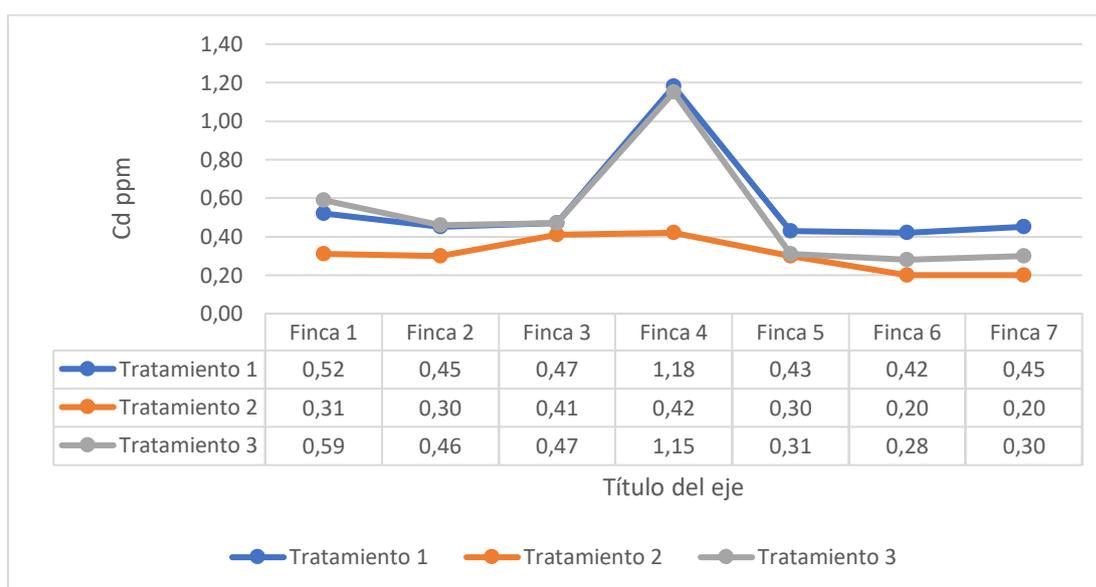
Comparando los resultados obtenidos con las propiedades físico químicas, el pH encontrado en el trabajo de Bobiles et al., (2021), en Filipinas fue de 5,14 y 6,76 (61) teniendo resultados que van acorde a los parámetros encontrados para los tratamientos; por otro lado Raluca et al., (2022) se obtuvieron valores de 6,07 a 7,23 (62) que están relacionados con los obtenidos en la investigación teniendo así que los resultados obtenidos están dentro de los parámetros normales para cada tratamiento.

En lo obtenido en la figura 6 las concentraciones de cadmio en ppm, se determina que el tratamiento de fermentación y secado en hojas de bijao disminuyen significativamente las

concentraciones de cadmio, esto debido a las propiedades de la hoja en la absorción de metales pesados.

Dentro de lo relevante la finca con mayor concentración de cadmio y que esta fuera de los límites permisibles establecidos por la Unión Europea es la Finca 4 con valores de T1 y T3 de 1,18 Cd ppm, esto debido a que el tipo de fumigación que se lleva en las plantaciones de banano se hacen por avionetas llegando estos componentes a los cultivos de cacao de esta finca. Los demás resultados demostraron que están dentro de los límites permisibles establecidos.

Figura 6. Concentraciones de cadmio en almendras de cacao



Elaborado por Autora

Según lo establecido en las concentraciones de cadmio en las almendras, Arévalo et al., (2018) indican las concentraciones medias de Cd en frijol oscilaron entre $0,17 \pm 0,41 \mu\text{g g}^{-1}$ en Cuzco y $1,78 \pm 0,35 \mu\text{g g}^{-1}$ en Tumbes, esto debido a que las muestras encontradas en el suelo estuvieron dentro de los límites permisibles (63), comparados con los análisis de cadmio encontradas estas están por debajo de las encontradas. Asi mismo Chávez et al., (2019) en su estudio en Ecuador en la zona sur el cadmio que se encuentra disponible en la cercanía del suelo y que está relacionada con las almendras de cacao es de $0,88\text{--}2,45 \text{ mg kg}^{-1}$ y $0,52\text{--}2,39 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, establecidas en zonas similares a la del estudio, dado que algunos de los resultados indicaron que están por encima de los límites permisibles establecidos(64). Mientras que, para Mohamed et al., (2020) indican que las concentraciones de cadmio para los granos de cacao

de diferentes regiones de Malasia se encontraron en el rango de 0,01 a 0,27 mg/kg, 0,01 a 1,27 mg/kg, 0,01 a 0,05 mg/kg y 0,01 a 1,60 mg/kg. mg/kg (65), esto porque en algunas zonas estudiadas se cumplieron con buenas prácticas de cosecha, mientras que en otras zonas en las que se encontraron datos que van por encima de los límites los agricultores llevaban sus cosechas con métodos empíricos. Los cuales van de la mano a los rangos encontrados en esta investigación.

En las correlaciones de Pearson nos demostraron que existen relaciones positivas y negativas referentes a la concentración de cadmio en las almendras de cacao, con el tipo de fermentación, teniendo que 0,568 demuestra una correlación negativa cuando disminuye las concentraciones de cadmio aumenta una buena fermentación demostrado en la tabla 15.

Tabla 15. *Correlación de Pearson por la fermentación de la almendra de cacao y las concentraciones de cadmio*

		Correlaciones			
		Fermentación moderada	Fermentación buena	Fermentación mala	Concentración de cadmio
Fermentación moderada	Correlación de Pearson	1	,580**	-,747**	,553**
	Sig. (bilateral)		,006	,000	,009
	N	21	21	21	21
Fermentación buena	Correlación de Pearson	,580**	1	-,975**	,568**
	Sig. (bilateral)	,006		,000	,007
	N	21	21	21	21
Fermentación mala	Correlación de Pearson	-,747**	-,975**	1	-,615**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,003
	N	21	21	21	21
Concentración de cadmio	Correlación de Pearson	,553**	,568**	-,615**	1
	Sig. (bilateral)	,009	,007	,003	
	N	21	21	21	21

Mientras que las correlaciones con pH y acidez nos muestran una relación directa que mientras estos aumentan estos parámetros de acidez y pH aumentan las concentraciones de cadmio encontradas en las almendras de cacao demostradas en la tabla 16.

Tabla 16. Correlación de Pearson por los parámetros de ph, acidez y las concentraciones de cadmio

		Correlaciones		
		Ph de la almendra	Acidez de la almendra	Concentraciones de cadmio en almendra
Ph de la almendra	Correlación de Pearson	1	,213	,247
	Sig. (bilateral)		,353	,280
	N	21	21	21
Acidez de la almendra	Correlación de Pearson	,213	1	,409
	Sig. (bilateral)	,353		,066
	N	21	21	21
Concentraciones de cadmio en almendra	Correlación de Pearson	,247	,409	1
	Sig. (bilateral)	,280	,066	
	N	21	21	21

Por otro lado, en las correlaciones por sabor y color demostraron correlaciones positivas con el color de la pasta y el sabor amargo que mientras estos aumentan, menor será la concentración de cadmio en las almendras establecidos en la tabla 17.

Tabla 17. Correlación de Pearson por sabor, color y concentraciones de cadmio en la almendra de cacao

		Correlaciones		
		Sabor amargo de la pasta de cacao	Color de la pasta de cacao	Concentraciones de cadmio en la almendra
Sabor amargo de la pasta de cacao	Correlación de Pearson	1	,639**	,349
	Sig. (bilateral)		,002	,121
	N	21	21	21
Color de la pasta de cacao	Correlación de Pearson	,639**	1	,481*
	Sig. (bilateral)	,002		,027
	N	21	21	21

Concentraciones de cadmio en la almendra	Correlación de Pearson	,349	,481*	1
	Sig. (bilateral)	,121	,027	
	N	21	21	21

Dentro de las correlaciones encontradas las más importante son las correlaciones de pH y acidez encontrados en otras investigaciones se concuerda que mientras estos valores aumenten las concentraciones de cadmio encontradas en la almendra también aumentarían como lo encontrado por Valarezo et al., (2021) (66); mientras que una realidad presentada es que la calidad de cacao también se relaciona con las concentraciones de cadmio puesta que mientras mejor sea la fermentación menos concentraciones de cadmio habrá en la almendra que concuerda con García (2021) (67).

4.1.3. Propuesta manejo agroecológico para plantaciones de cacao

4.1.4.1. Introducción

En la actualidad existen muchos problemas relacionados a la acumulación de metales pesados en el suelo y que llegan a los cultivos de diferentes sembríos debido a la fácil absorción que los mismo tienen a través de las raíces. Para esto muchas organizaciones han establecidos límites permisibles por los porcentajes encontrados en muchos alimentos y que debido a su consumo están causando problemas a la salud, poniendo de esta manera también en riesgo la producción de estos cultivos.

Dentro de varios estudios se han establecidos diversas maneras de remediación, mitigación y absorción de estos metales pesados, en específico la acumulación de cadmio que se encuentra en ciertas concentraciones en los suelos agrícolas.

El cadmio como tal se encuentra en el suelo, sus concentraciones se ven aumentadas por los químicos utilizados en la mantención de los cultivos, siendo complicado la eliminación total de este metal. Medidas para disminuir sus concentraciones se encuentran en la fitorremediación y la biorremediación que consiste en el uso de sembríos de especies herbáceas, microorganismos, entre otros.

4.1.4.2. Objetivos

4.1.4.2.1. Objetivo general

- Implementar medidas para disminuir las concentraciones de cadmio en las almendras de cacao

4.1.4.2.2. Objetivo específico

- Identificar métodos para disminuir las concentraciones de cadmio
- Establecer una matriz de actividades para minimizar las concentraciones de cadmio

4.1.4.3. Resultados a esperar

Se espera que los siguientes métodos encontrados de remediación las concentraciones de cadmio en las almendras previo al secado es decir en pos cosecha disminuyan, para esto la biorremediación utiliza agentes biológicos para la eliminación de contaminantes en el medio ambiente (68). En este sentido, en los últimos años se han desarrollado trabajos de investigación que han tenido bastante éxito y que muestran posibles mecanismos para mitigar o disminuir las concentraciones de cadmio en las almendras.

Tabla 18. Plan de manejo de almendras de cacao en pos cosecha

Parámetro	Principio aplicable	Determinación del sistema de medidas de remediación			Observaciones
		Medida de remediación	Plazo de Tiempo	Medio de Verificación	
Fermentación	Fermentar las almendras de cacao una vez desmonillada la mazorca se procede a dejarla en fermentación con las hojas de bijao por tres días y en el secado la hoja se encontrara en una superficie la	Fermentación de las almendras de cacao a través de hojas de bijao	3 días	Inspección de laboratorio a través de un organismo responsable	Para que se desarrolle con factibilidad la fermentación se deberá tener en cuenta que al momento de hacer el secado de las almendras también debe de ser en hojas de bijao, del mismo modo se debe de considerar que

	que servirá como tendal para el cacao				no debe de haber otros agentes como el agua que ingrese a las almendras.
Tratamiento de suelos	Los materiales carbonaseos y calcáreos se utilizan comúnmente como enmiendas para disminuir la movilidad del Cd en suelos contaminados	Aplicación de cal y carbono vegetal (69).	2 semanas	Inspección de laboratorio a través de un organismo responsable	Para una parcela de tierra se debe de tener en cuenta 10 Kg carbono vegetal y en menor concentración la cal, estos productos son de fácil acceso en agropecuarias y económicos.
Abonos	Uso de abonos Bocashi que se trata de técnicas agroecológicas con la recolección de materias orgánicas como desechos de la cascara del cacao, pulpa de café, levaduras entre otros.	Creación de abonos Bocashi (59).	1 mes	Inspección de laboratorio a través de un organismo responsable	El uso de abonos Bocashi, es un principio de biorremdacion donde el abono adsorbe los compuestos contaminantes del suelo y los transforma para favorecer a la planta,

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

Dentro de la realidad de los agricultores se manifestó que muchos de estos llevan malas prácticas en la siembra del cacao, por esto los aumentos de cadmio; se pudo evidenciar que los factores que atribuyen al aumento de cadmio en la almendra de cacao son el pH, el tiempo de siembra, el uso de fertilizantes, los usos de agroquímicos debido a que las plantaciones de cacao tienden a absorber de manera fácil este metal traza del suelo, teniendo que las concentraciones encontradas en sus almendras y hojas suelen aumentar de manera significativamente que las del suelo.

En las concentraciones de cadmio que se obtuvieron en la muestra demostraron que efectivamente los cultivos de banano si podría ser fuente de aumento de cadmio, esto por el tipo de fumigación que se lleva en las plantaciones de banano evidenciándose en la F4, obtuvo los valores más altos de concentración de cadmio porque es la única finca dentro de los sembríos de banano donde se hace la fumigación a través de avionetas llegando estos productos hasta los cultivos analizados.

En relación con los parámetros de análisis se pudo determinar que existen correlaciones significativas, esto se da ya que con el aumento del pH y la acides aumentan las concentraciones de cadmio y así mismo mientras aumentan buena fermentación disminuyen las concentraciones de cadmio.

Para el plan de manejo agroecológico se establecen las mejores propuestas para tener resultados inmediatos a pesar de que los resultados obtenidos solo demuestran que una finca fue la afecta, esta es una problemática que puede aumentar con el tiempo.

5.2. Recomendaciones

Para determinar la calidad del cacao por la prueba de corte se debe establecer un buen secado del cacao, para poder apreciar mejor la formación de las grietas y dar un buen veredicto respecto al cultivo, en el análisis del mismo se puede determinar que la muestra tiene una buena calidad en explotación y una cierta parte porcentual entre el 20% se encuentra con una mala calidad debido a daños ocasionales por insectos y mala fermentación.

En la mejora de la acumulación de cadmio en las almendras de cacao se debe de establecer a largo plazo medidas de mitigación, absorción y disminución como charlas para los agricultores y así estos tener conocimientos prácticos para mejorar esta problemática.

Para encontrar mejores resultados en formas de mitigar las concentraciones de cadmio por actividades agroecológicas se debe de hacer una búsqueda minuciosa de los artículos más relevantes teniendo en cuenta aquellos que han tenido resultados a corto plazo, ya que si bien es sabido los productores agrícolas no están dispuestos a parar sus trabajos ni optar por planes de altos costos para mejorar los sembríos.

En el análisis de las concentraciones de cacao para obtener los resultados pronto los evaluadores deben de seguir los protocolos que establecen los laboratorios para no tener demoras en la llegada de estos resultados.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

1. Del Prete M, Samoggia A. Chocolate Consumption and Purchasing Behaviour Review : Research Issues and Insights for Future Research. Sustainability. 2020;12.
2. FAO. El Estado de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición en el Mundo. Roma. 2019;256.
3. Figueroa-Hernández C, Mota-Gutierrez J, Ferrocino I, Hernández-Estrada ZJ, González-Ríos O, Cocolin L, et al. The challenges and perspectives of the selection of starter cultures for fermented cocoa beans. *Int J Food Microbiol* [Internet]. 2019;301:41–50. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160519301114>
4. Utomo B, Prawoto AA, Bonnet S, Bangviwat A, Gheewala SH. Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. *J Clean Prod* [Internet]. 2016;134:583–91. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012032>
5. Beg MS, Ahmad S, Jan K, Bashir K. Status, supply chain and processing of cocoa - A review. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2017;66:108–16. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224416301868>
6. Vargas Jentsch P, Ciobotă V, Salinas W, Kampe B, Aponte PM, Rösch P, et al. Distinction of Ecuadorian varieties of fermented cocoa beans using Raman spectroscopy. *Food Chem* [Internet]. 2016;211:274–80. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616306938>
7. Leon P. Anecacao. Codgraf. Arosemena A, editor. 2020. 31 p.
8. CFN. Ficha sectorial Cacao y chocolate. Corp Financ Nac. 2021;1(1):1–29.
9. Barraza F, Schreck E, Lévêque T, Uzu G, López F, Ruales J, et al. Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environ Pollut* [Internet]. 2017;229:950–63. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117315713>
10. European Commission. Commission Regulation No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs. *Off J Eur Un L*. 2014;138:75.

11. Rofner NF. Cadmium in soil and cacao beans of Peruvian and South American origin. *Rev Fac Nac Agron.* 2021;74(2):9499–515.
12. Mounicou S, Szpunar J, Andrey D, Blake C, Lobinski R. Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products. *Food Addit Contam.* 2003;20(4):343–52.
13. Chavez E, He ZL, Stoffella PJ, Mylavarapu RS, Li YC, Moyano B, et al. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Sci Total Environ.* 2015;533:205–14.
14. Gramlich A, Tandy S, Andres C, Chincheros Paniagua J, Armengot L, Schneider M, et al. Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Sci Total Environ* [Internet]. 2017;580:677–86. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>
15. Gramlich A, Tandy S, Gauggel C, López M, Perla D, Gonzalez V, et al. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Sci Total Environ* [Internet]. 2018;612:370–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.145>
16. ATSDR. Toxicological profile for Cadmium. *Eur J Paediatr Neurol.* 2012;13(September):1–487.
17. Bernard A. Confusion about cadmium risks: The unrecognized limitations of an extrapolated paradigm. *Environ Health Perspect.* 2016;124(1):1–5.
18. FAO; WHO. Evolution of certain food additives and contaminants. *WHO Tech Rep Ser.* 2012;14(9):966–8.
19. Schaefer HR, Dennis S, Fitzpatrick S. Cadmium: Mitigation strategies to reduce dietary exposure. *J Food Sci.* 2020;85(2):260–7.
20. Nordberg GF, Bernard A, Diamond GL, Duffus JH, Illing P, Nordberg M, et al. No Title. *Pure Appl Chem* [Internet]. 2018;90(4):755–808. Available from: <https://doi.org/10.1515/pac-2016-0910>
21. García PEP, Cruz MIA. Los efectos del cadmio en la salud. *Rev Espec Médico-Quirúrgicas.* 2012;17(3):199–205.
22. Londoño Franco LF, Londoño Muñoz PT, Muñoz García FG. Los riegos de los

- metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnol en el Sect Agropecu y Agroindustrial*. 2016;14(2):145–53.
23. Wuellins D, Caicedo M, Vera D, Sotomayor I, Saini E, Chávez EF. La Cadena del valor del cacao en América Latina y el Caribe [Internet]. 2019. 104 p. Available from: https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf
 24. Thau Yin JP. *Rootstock Effects on Cocoa in Sabah, Malaysia*. Cambridge Univ Press. 2004;40:445–52.
 25. Cheesman EE. Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations. *Trop Agric*. 1944;21(8).
 26. Clough Y, Dwi D, Pitopang R, Tschardt T. Local and landscape factors determine functional bird diversity in Indonesian cacao agroforestry. 2009;142:1032–41.
 27. Zambrano A, Romero C, Gómez Á, Ramos G, Lacruz C, Brunetto M del R, et al. Evaluación química de precursores de aroma y sabor del cacao criollo merideño durante la fermentación en dos condiciones edafoclimáticas. *Agron Trop*. 2010;60(2):211–9.
 28. FAO. CACAO: Operaciones Poscosecha. Organ las Nac Unidas para la Aliment y la Agric [Internet]. 2009;1–78. Available from: <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
 29. Álvarez C, Pérez E. Caracterización Física Y Química De Almendras De Cacao Fermentadas , Secas Y Tostadas Cultivadas En La Región De Cuyagua , Estado Aragua Physical-Chemical Characterization of Fermented , Dried and Roasted Cocoa Beans Cultivated in the Region of Cuyagua ,. *Agron Trop*. 2007;57(4):249–56.
 30. RTVE. El cacao natural es el único que mantiene todas sus propiedades antioxidantes. *Ciencias Las propiedades del cacao Nat*. 2019;9–14.
 31. Mengel K, Kirkby EA. Principios de la nutrición vegetal. Inst Int la Potasa [Internet]. 2000;11–23. Available from: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/P_RINCIPIOS_DE_NUTRICIÓN_VEGETAL.pdf
 32. Arguelles RI. ¿Qué es la biorremediación? *Cienc Boleto*. 2010;11:<https://news.ge/anakliis-porti-aris-qveynis-momava>.

33. Delgadillo-López AE, González-Ramírez CA, Prieto-García F, Villagómez-Ibarra JR, Acevedo-Sandova O. Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop Subtrop Agroecosystems*. 2011;14(2):597–612.
34. Candia J. Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados. *J Chem Inf Model* [Internet]. 2019;53(9):35–6. Available from: https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf
35. MAONIC. Manual técnico agroecológico. 2016;72. Available from: <https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/10/MANUAL-TECNICO-MAONIC.pdf>
36. Arvelo MA, González León D, Maroto Arce S, Delgado López T, Montoya López P. Manual técnico del cultivo de cacao. *Prácticas Latinoamericanas* [Internet]. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2017. 165 p. Available from: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
37. Anacafé. Cultivo de cacao. Anal pendapatan dan tingkat Kesejaht rumah tangga petani [Internet]. 2013;53(9):1689–99. Available from: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
38. Cubillos G, Merizalde G, Correa E. Manual de beneficio del Cacao. *Secr Agric Antioquía* [Internet]. 2008;19–27. Available from: https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2018/05/manual_beneficio_cacao.pdf
39. Santo E., Lauria D., Porto de Silveira C. Assessment of daily intake of trace elements due to consumption of foodstuffs by adult inhabitants of Rio de Janeiro city. *Assessment of daily intake of trace elements due to consumption of foodstuffs by adult inhabitants of Rio de Janeiro city. Sci Total Environ*. 2004;327(August):69–79.
40. Robards K, Worsfold P. Cadmium : Toxicology and Analysis. *Sch Sci Technol*. 1991;116(June).
41. García J, Méndez J, Pásaro E, Laffon B. Genotoxic effects of lead : An updated review. *Environ Int*. 2010;36(6):16.
42. Engbersen N, Gramlich A, Lopez M, Schwarz G, Hattendorf B, Gutierrez O, et al.

- Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Sci Total Environ* [Internet]. 2019;678:660–70. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
43. Sánchez N, Rivero C, Martínez Y. Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela : efecto del fósforo. *Rev Ing UC*. 2011;18:7–14.
 44. Mater A, Atkison R., Laliberte B. Cadmio en el Cacao de América Latina y el Caribe. *Análisis de*. 2019. 1–84 p.
 45. European Union (E.U). Commission Regulation. 2014. p. 138.
 46. Pastor S, Gutierrez M. Sobre los fundamentos de una norma que regula el cadmio en los alimentos y presume del mismo en el suelo. In: *Sociedad Ecuatorina de la Ciencia del Suelo*. El suelo,. 2016. p. 120–2.
 47. Comisión Europea. Statement on tolerable weekly intake for cadmium. *D Of la Unión Eur*. 2014;9(2):10–4.
 48. Federación Nacional de Cacaoteros. BPA en el cultivo de cacao. *Minist Adricultura Y Ganad*. 2020;3(2):26.
 49. INEN. Norma Ecuatoriana NTE INEN 620: Cacao en polvo y mezclas de cacao en polvo con azúcares o edulcorantes. Requisitos. *Inst Ecuatoriano Norm* [Internet]. 2017;1–10. Available from: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_620-2.pdf
 50. NTE INEN621. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 621:2010 Chocolates. Requisitos. *Nte Inen6212010* [Internet]. 2010;1–10. Available from: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php/buscar>
 51. European Comission. Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión de 12 de mayo de 2014. *D Of la Unión Eur*. 2011;9(2):10–4.
 52. Maddela NR, Kakarla D, García LC, Chakraborty S, Venkateswarlu K, Megharaj M. Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *Sci Total Environ* [Internet]. 2020; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>
 53. Romero-Estévez D, Yáñez-Jácome GS, Simbaña-Farinango K, Navarrete H. Content

- and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control* [Internet]. 2019;106(July):106750. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106750>
54. Lewis C, Lennon AM, Eudoxie G, Umaharan P. Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Sci Total Environ* [Internet]. 2018;640–641:696–703. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.365>
 55. Oliveira BRM, de Almeida AAF, Santos N de A, Pirovani CP. Tolerance strategies and factors that influence the cadmium uptake by cacao tree. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2022;293(September 2020):110733. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110733>
 56. Paramati SR, Shahzad U. The role of environmental technology for energy demand and energy efficiency : Evidence from OECD countries. 2022;153(September 2021).
 57. Argüello D, Chavez E, Laurysen F, Vanderschueren R, Smolders E, Montalvo D. Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans : A nationwide survey in Ecuador. *Sci Total Environ* [Internet]. 2019;649:120–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>
 58. Aguilar H. Manual para la Evaluación de la Calidad del Grano de Cacao. 2016;12–4.
 59. Estrada M, Romero X, Moreno J. Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. San Salvador El Salvador [Internet]. 2011;22. Available from: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/01/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf
 60. Streule S, Freimüller Leischtfeld S, Galler M, Miescher Schwenninger S. Monitoring of cocoa post-harvest process practices on a small-farm level at five locations in Ecuador. *Heliyon* [Internet]. 2022;8(6):e09628. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022009161>
 61. Bobiles, S.C., Elegado, F.B., Millena, C.G. and Merca FE. Small - scale cacao (*Theobroma cacao* L .) fermentation process utilizing cacao. *Food Res.* 2022;6(August):236–45.
 62. Mihai RA, Landazuri Abarca PA, Tinizaray Romero BA, Florescu LI, Catană R,

- Kosakyan A. Abiotic Factors from Different Ecuadorian Regions and Their Contribution to Antioxidant, Metabolomic and Organoleptic Quality of *Theobroma cacao* L. Beans, Variety "Arriba Nacional"; Plants [Internet]. 2022;11(7). Available from: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/7/976>
63. Arévalo-gardini E, Arévalo-hernández CO, Baligar VC, He ZL. Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Sci Total Environ J*. 2017;(December):792–800.
 64. Chavez E, He ZL, Stoffella PJ, Mylavarapu RS, Li YC, Baligar VC. Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere* [Internet]. 2016;150:57–62. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516301643>
 65. Mohamed R, Zainudin BH, Yaakob AS. Method validation and determination of heavy metals in cocoa beans and cocoa products by microwave assisted digestion technique with inductively coupled plasma mass spectrometry. *Food Chem* [Internet]. 2020;303:125392. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814619315067>
 66. Batallas Valarezo M, Preciado Alvarado M, Pesantez Franco F. Evaluación de cadmio y plomo en almendras de cacao por espectroscopia de absorción atómica. *Cienc Unemi*. 2021;14(37):49–59.
 67. Garcia LVR. Optimización de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao*) de especies cultivadas en los departamentos de Meta y Guaviare Colombia. 2021;7:6.
 68. Dzionek A, Wojcieszynska D, Guzik U. Natural carriers in bioremediation: A review. *Electron J Biotechnol* [Internet]. 2016;23:28–36. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0717345816300732>
 69. Calva Jiménez CC, Pinedo Fernández LV, Rodrigues Reis CE. Lowering the Toxicity of Cd to *Theobroma cacao* Using Soil Amendments Based on Commercial Charcoal and Lime. *Toxics* [Internet]. 2022;10(1). Available from: <https://www.mdpi.com/2305-6304/10/1/15>

CAPITULO VII

ANEXOS

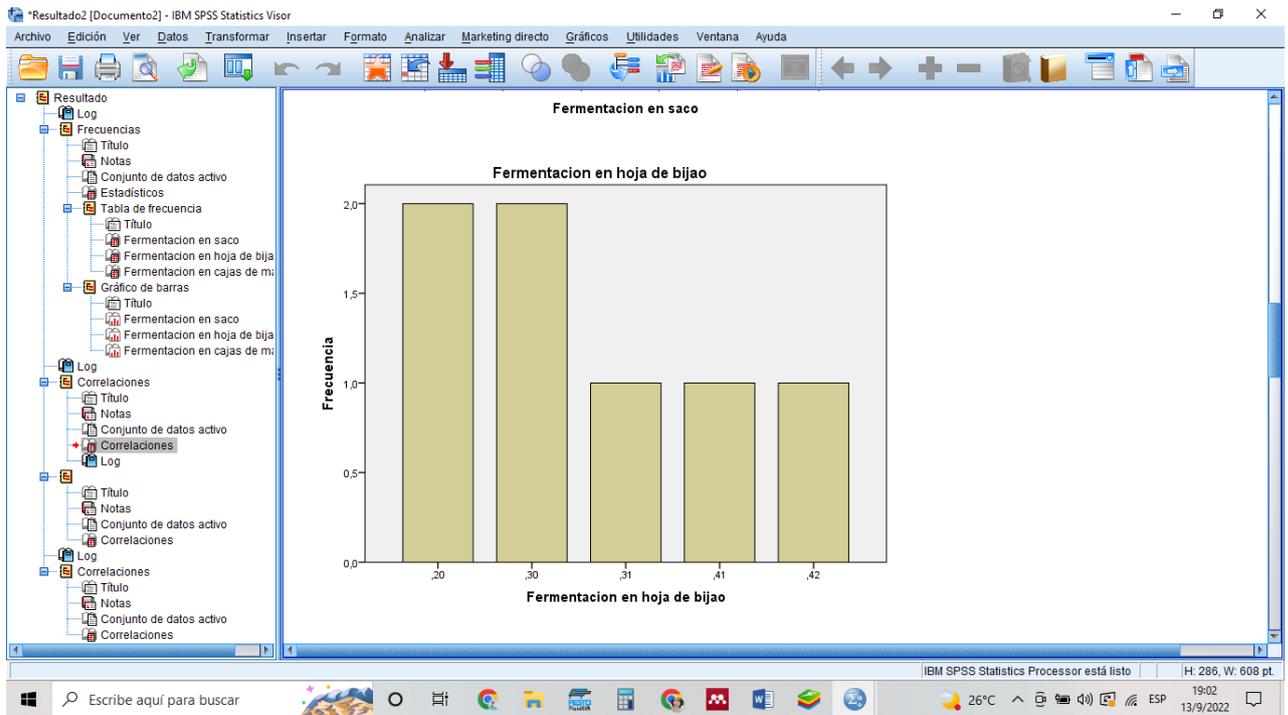
Anexo1. Tabla de preguntas realizadas a los agricultores

ENTRIVAS A AGRICULTORES (ENCUESTA)	
¿Tiene plantaciones injertas de cacao?	
SI () NO ()	
¿Sus cultivos son jóvenes?	
SI () NO ()	
¿Qué tipo de Fertilizantes usa?	
Fosfatados () Nitrogenados () Potásicos() Mixtos()	
¿Considera usar técnicas de cultivo convencionales?	
SI () NO ()	
¿Ha usado técnicas de crecimiento acelerado en sus cultivos de cacao?	
SI () NO ()	
¿Cuánto tiempo de sembrío tiene su cultivo? De...	
0 a 3 años () 5 años () más de 5 años ()	

Anexo 2. Coordenadas de las fincas

COORDENADAS UTM		
FINCA 1	652940.089E	9899013.341N
FINCA 2	652925.486E	9899797.661N
FINCA 3	652936.082E	9899011.175N
FINCA 4	654578.996E	9902974.007N
FINCA 5	654790.411E	9903664.021N
FINCA 6	654775.421E	9903664.931N
FINCA 7	655066.639E	9904136.942N

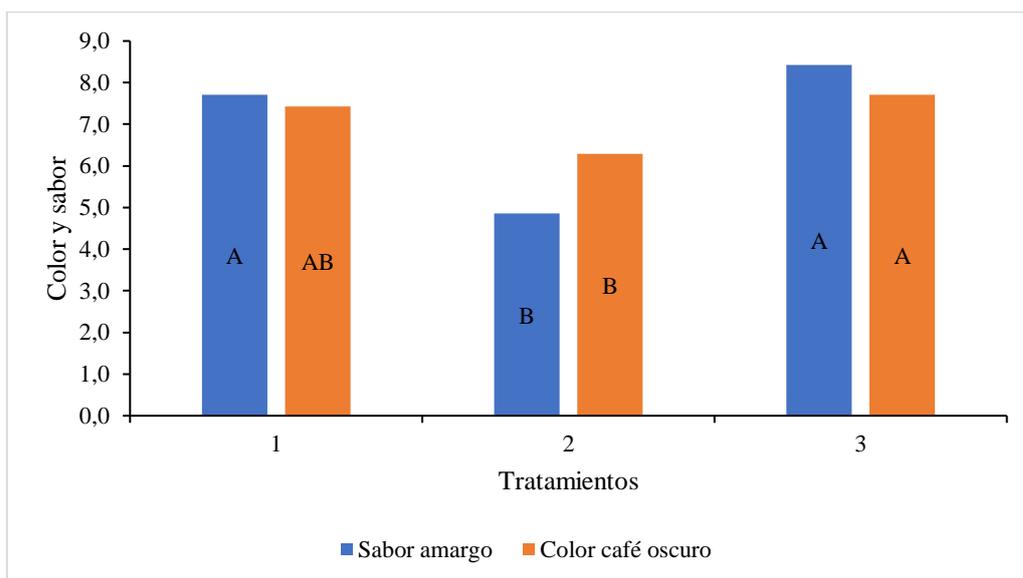
Anexo 3. Análisis en el programa SPSS



Anexo 4. Matriz de resultados de laboratorio

ID	ALMENDRAS DE CACAO			fisico	metal	fisico	sabor basico	sabor especifico	Prueba de corte %		
	ZONA 3	Tratamientos	Repeticiones	Ph	Cd ppm	Acidez	Amargo	Café obscuro	Ligeramente	Bien	Dañados
1	Guayas	1	1	6,06	0,52	0,026	8	7	23,50	46,00	30,50
2	Guayas	2	1	5,91	0,31	0,022	4	7	14,67	30,20	55,13
3	Guayas	3	1	6,12	0,59	0,028	8	7	22,00	53,33	24,67
4	Guayas	1	2	5,93	0,45	0,026	9	8	20,24	36,67	43,09
5	Guayas	2	2	5,97	0,30	0,024	6	7	18,48	23,00	58,52
6	Guayas	3	2	6,28	0,46	0,028	9	6	22,36	36,00	41,64
7	Guayas	1	3	6,13	0,47	0,026	9	9	20,00	70,00	10,00
8	Guayas	2	3	6,03	0,41	0,024	4	7	13,00	43,00	44,00
9	Guayas	3	3	6,16	0,47	0,026	9	9	20,00	73,00	7,00
10	Guayas	1	4	6,25	1,18	0,030	7	8	26,00	60,00	14,00
11	Guayas	2	4	6,08	0,42	0,022	6	7	14,13	43,00	42,87
12	Guayas	3	4	6,28	1,15	0,032	9	9	20,00	63,00	17,00
13	Guayas	1	5	6,25	0,43	0,032	8	7	20,14	50,00	29,86
14	Guayas	2	5	6,20	0,30	0,022	6	6	11,62	34,00	54,38
15	Guayas	3	5	5,82	0,31	0,032	9	8	22,16	50,00	27,84
16	Guayas	1	6	5,43	0,42	0,028	7	6	16,67	46,13	37,20
17	Guayas	2	6	5,63	0,20	0,024	4	4	10,20	24,00	65,80
18	Guayas	3	6	6,20	0,28	0,030	9	8	18,26	48,00	33,74
19	Guayas	1	7	6,12	0,45	0,028	6	7	14,30	36,40	49,30
20	Guayas	2	7	6,45	0,30	0,025	4	6	8,33	30,00	61,67
21	Guayas	3	7	6,40	0,20	0,030	6	7	16,57	40,50	42,93

Anexo 5. Gráfico de tratamiento de sabor y color



Anexo 6. Recolección de la muestra



Anexo 7. Plantaciones de banano y cacao

