UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN GRANO Y TESTA DE DOS CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) SEGÚN TIPO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL SECTOR EL CONDOR - NESHUYA

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

JULIA INÉS NUÑEZ AMANCIO

Pucallpa, Perú

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis, presentado por **JULIA INES NUÑEZ AMANCIO,** denominada: **"EVALUACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN GRANO Y TESTA DE DOS CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) SEGÚN TIPO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL SECTOR EL CONDOR - NESHUYA"**, para cumplir con el requisito (académico o título profesional) de **TÍTULO PROFESIONAL.**

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos: **APROBADO POR UNANIMIDAD** con el calificativo **DIECISIETE (17).**

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el Título de **INGENIERO AGRÓNOMO,** de conformidad con lo estipulado en los Art. 3 y 6 del Reglamento para el otorgamiento del Título Profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 01 de agosto del 2023.

Ing. Jorge Raúl García Cavalie, M.Sc. Presidente	Ing. Jessica Madeley Ríos Guzmán, M.Sc. Secretario
Ing. Silvia Paola Llapapasca García, M.Sc. Miembro	Ing. José Antonio López Ucariegue, M.Sc. Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Ing. Jorge Raúl García Cavalie, M.Sc. ..... Presidente

Ing. Jessica Madeley Ríos Guzmán, M.Sc. ..... Secretario

Ing. Silvia Paola Llapapasca García, M.Sc. ..... Miembro

Ing. José Antonio López Ucariegue, M.Sc. ..... Asesor

Bach. Julia Inés Nuñez Amancio ..... Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Nº V/0200-2023.

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe final de tesis, titulado: **"EVALUACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN GRANO Y TESTA DE DOS CLONES DE CACAO (Theobroma cacao L.) SEGÚN TIPO DE FERMENTACION Y SECADO EN EL SECTOR EL CONDOR-NESHUYA"**

Autor(es)	:	**NUÑEZ AMANCIO, JULIA INÉS**
Facultad	:	**CIENCIAS AGROPECUARIAS**
Escuela	:	**Agronomía**
Asesor(a)	:	**Mg. LOPEZ UCARIEGUE, JOSE ANTONIO**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud 10%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se firma y se sella la presente constancia

Fecha: 31/03/2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI Dirección General de Producción Intelectual

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, JULIA INÉS NUÑEZ AMANCIO

Autor de la tesis titulada : "EVALUACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN GRANO Y TESTA DE DOS CLONES DE CACAO (Theobroma Cacao L.) SEGÚN TIPO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL SECTOR EL CÓNDOR – NESHUYA"

Sustentada el año: 2023

Asesor(a): ING. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ UCARIEGUE, M.Sc.

Facultad: CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional: AGRONOMÍA

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 01 / 08 / 2023

Email: Julianunez.07.26@gmail.com Firma:

Teléfono: 962125836 DNI: 70987144

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA.

A Dios, Divino creador de todo lo que existe, por bendecirme, darme fuerzas y fortaleza cada día de mi vida, para culminar este trabajo de la mejor manera posible.

A mis padres, Alfredo Nuñez y Julia Amancio, por su apoyo incondicional me ayudaron a seguir desarrollando mi tesis y al no darme por vencida. Este logro representa una etapa importante en mi vida, el logro de mis objetivos; para que fuera alguien en la vida.

A mis dos hijos Cedric y Diland, por ser mi fuente de inspiración y motivo de cada día. Este trabajo significa la respuesta a sus esfuerzos y perseverancia.

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar, agradezco a Dios sobre todas las cosas, por estar siempre presente en mi camino, iluminándome y permitiéndome alcanzar mi meta establecida.

A la Universidad Nacional de Ucayali, especialmente a sus docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela Profesional de Agronomía, personas con gran sabiduría que me brindaron enseñanza y conocimientos para mi formación profesional.

Al M.Sc. José Antonio López Ucariegue, asesor de la presente tesis, por su apoyo incondicional en el proyecto, ejecución y culminación.

A mis queridos padres: Alfredo Nuñez Pacheco y Julia Irma Amancio Mallqui, en reconocimiento al esfuerzo y sacrificio de sus enseñanzas, dedicación y llamadas de atención en los momentos precisos.

A mis queridos hijos Cedric J. Matos Nuñez y Diland K. Matos Nuñez, por darme la fuerza y el valor necesario para levantarme y seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL.

Pág.

DEDICATORIA.....vi

AGRADECIMIENTO.....vii

ÍNDICE GENERAL.....viii

RESUMEN.....xi

ABSTRACT.....xii

ÍNDICE DE TABLAS.....xiii

ÍNDICE DE FIGURAS.....xv

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....2

1.1. Descripción y fundamentación del problema.....2

1.2. Objetivo general y objetivos específicos.....4

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....6

2.1. Antecedentes de la investigación.....6

2.1.1. Antecedentes internacionales.....6

2.1.2. Antecedentes nacionales.....7

2.1.3. Antecedentes locales.....9

2.2. Bases teóricas.....10

2.2.1. Manejo poscosecha de cacao.....10

2.2.2. La fermentación del grano de cacao.....10

2.2.3. El secado de grano de cacao.....11

2.2.4. El cadmio (Cd) en cacao.....12

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....15

3.1. Tipo de investigación.....15

3.2. Localización del ensayo 15
3.3. Duración del ensayo 16
3.4. Condiciones ecológicas y edafoclimáticas. 16
3.5. Materiales, herramientas y equipos 18
3.6. Variables en estudio.....18
3.7. Operacionalización de las variables. 20
3.7.1. Variables independientes 20
3.7.2. Variables dependientes 25
3.8. Población y muestra.....26
3.9. Diseño experimental 26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. 29
4.1. Contenido de Cd por tipo de fermentación de grano de cacao CCN 51..30
4.2. Contenido de Cd por tipo de secado en grano de cacao CCN 51.....32
4.3. Contenido de Cd por tipo de fermentación de testa de grano de cacao CCN 51 33
4.4. Contenido de Cd por tipo de secado de testa de grano de cacao CCN 51 ……35
4.5. Contenido de Cadmio por tipo de fermentación de grano de cacao aromático. 36
4.6. Contenido de Cd por tipo de secado en grano de cacao aromático 38
4.7. Contenido de Cd por tipo de fermentación de la testa de grano de cacao aromático. 40
4.8. Contenido de Cd por tipo de secado de la testa de grano de cacao aromático. 42
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES 44

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES.....45

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....46

ANEXOS 50

RESUMEN.

El ensayo se realizó en una parcela de cacao ubicada en el sector el Cóndor Neshuya y tuvo como finalidad, comparar el contenido de Cadmio (Cd) en el grano y en la testa de cacao de dos clones CCN51 y aromático. Se realizaron 16 tratamientos, los cuales fueron analizados bajo un diseño completamente al azar DCA por pares de tratamientos con tres repeticiones. Los resultados indican que, el contenido de Cadmio (Cd) en el grano y en la testa de cacao CCN 51 y aromático no sobrepasan los límites permitidos por la Unión Europea (0.600 mg kg^{-1}) y el *Codex Alimentarius* (0.500 mg kg^{-1}). De igual forma, no hubo diferencias significativas en el contenido de Cadmio (Cd) en el grano y en la testa de cacao CCN 51 por tipo de fermentación, en cajón de madera y en saco de yute, y tipo de secado, en manta de polipropileno y en piso, así como tampoco se presentaron diferencias estadísticas cuando se comparó el contenido de Cadmio (Cd) en el grano y en la testa de cacao aromático por tipo de fermentación y tipo de secado.

Palabras claves: Cadmio, cacao, clones, fermentación, secado, grano, testa.

ABSTRACT.

The test was carried out in a cocoa plot located in the Cóndor Neshuya sector and its purpose was to compare the content of Cadmium (Cd) in the bean and in the cocoa testa of two CCN51 and aromatic clones. 16 treatments were carried out, which were analyzed under a completely randomized DCA design by pairs of treatments with three repetitions. The results indicate that the Cadmium (Cd) content in the CCN 51 and aromatic cocoa bean and testa do not exceed the limits allowed by the European Union (0.600 mg kg^{-1}) and the Codex Alimentarius (0.500 mg kg^{-1}). Similarly, there were no significant differences in the Cadmium (Cd) content in the CCN 51 cocoa bean and testa by type of fermentation, in wooden crate and in jute sack, and type of drying, in blanket of polypropylene and on the floor, nor were there statistical differences when comparing the content of Cadmium (Cd) in the bean and the testa of aromatic cocoa by type of fermentation and type of drying.

Keywords: Cadmium, cocoa, clones, fermentation, drying, grain, testa.

ÍNDICE DE TABLAS.

En el texto:		**Pág.**
Tabla 1.	Resultados del análisis de fertilidad del suelo experimental……...	17
Tabla 2.	Tratamientos por tipo de clon, fermentación y secado de grano y testa de cacao……..	19
Tabla 3.	Peso de Grano y testa de cacao después de fermentación y secado por clon……..	24
Tabla 4.	ANOVA……	27
Tabla 5.	Contenido de Cd en grano de cacao CCN 51 según tipo de fermentación…….....	30
Tabla 6.	Contenido de Cd en grano de cacao CCN 51 por tipo de secado……..……..	32
Tabla 7.	Contenido de Cd en testa de grano de Cacao CCN 51 según tipo de fermentación……..…	34
Tabla 8.	Contenido de Cd en testa de cacao CCN 51 según tipo de secado…….....	35
Tabla 9.	Contenido de Cd en grano de cacao aromático por tipo de fermentación……..….	37
Tabla 10.	Contenido de Cd en grano de cacao aromático según tipo de secado……..…	38
Tabla 11.	Contenido de Cd en testa de grano de cacao aromático por tipo de fermentación……	40

Tabla 12. Contenido de Cd en testa de grano de cacao aromático por tipo de secado…….. 42

En el anexo:

Tabla 13A. ANVA de grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera y en saco de yute. ……..…… 53

Tabla 14A. ANVA Testa de grano CCN 51 fermentado en cajón de madera y en saco de yute. …….. 53

Tabla 15A. ANVA Grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y grano fermentado en saco de yute secado en piso……. 53

Tabla 16A. ANVA Testa de grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y fermentado en saco de yute secado en piso……. 54

Tabla 17A. ANVA Grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera y en saco de yute. ……. 54

Tabla 18A. ANVA Testa de grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera y en saco de yute. ……. 54

Tabla 19A. ANVA Grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y fermentado en saco de yute secado en piso…… 55

Tabla 20A. ANVA Testa de grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y fermentado en saco de yute secado en piso. ……. 55

ÍNDICE DE FIGURAS.

En el texto:		**Pág.**
Figura 1.	Ubicación satelital de la parcela de investigación…….……..	15
Figura 2.	Croquis de distribución……	28
Figura 3.	Contenido de Cd por tipo de fermentación en grano de Cacao CCN 51……..…..	31
Figura 4.	Contenido de Cd según tipo de secado de grano de cacao CCN 51…….……	31
Figura 5.	Contenido de Cd por tipo de fermentación de testa de grano de cacao CCN 51……..…..	34
Figura 6.	Contenido de Cd por tipo de secado en la testa de grano de cacao CCN 51……..	36
Figura 7.	Contenido de Cd por tipo de fermentación de grano de cacao aromático……	37
Figura 8.	Contenido de Cd por tipo de secado en el grano de cacao aromático……..……	39
Figura 9.	Contenido de Cd según fermentación de la testa de grano de cacao aromático……..…	41
Figura 10.	Contenido de Cd por tipo de secado en la testa de grano de cacao aromático…….....	43
En el anexo:		
Figura 11A.	Selección y colecta de suelo……..	56
Figura 12A.	Secado de la muestra de suelo……..	56
Figura 13A.	Tamizado y etiquetado…….	57

Figura 14A. Recolección de mazorcas de cacao (Cacao CCN 51 y Cacao Aromático)……. 57

Figura 15A. Peso cacao CCN 51 y cacao aromático……... 58

Figura 16A. Remoción cacao Aromático fermentado en cajón de madera y saco de yute (2° semana)…… 58

Figura 17A. Cacao CCN 51 y cacao aromático fermentado en cajón de madera (3° semana)…… 59

Figura 18A. Peso del grano de cacao…… 59

Figura 19A. Molienda del grano y testa de cacao en seco……. 60

Figura 20A. Grano de cacao CCN51 y cacao aromático por tipo de secado…… 60

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo de investigación, se realizó con el objetivo principalmente de comparar el contenido de Cadnio (Cd) en el grano de cacao de dos clones CCN 51 y Aromático considerando que la concentración de cadmio en granos de cacao osciló entre 0,267 y 1,715 mg/kg, con una media de 0,753 mg/kg. El estudio se realiza en la Parcela ubicado en el Caserío el Condor Neshuya; para ello se ha considerado 16 tratamientos y se determinó que el contenido de Cadnio en los dos clones no sobrepasan los límites permitidos por la Unión Europea, ni tampoco hubo diferencias significativas por el tipo de fermentación y tipo de secado ni tampoco se presentaron diferencias significativas.

Es importante dar a conocer de la presencia de Cadmio (Cd) porque los seres vivos acumulamos este metal. En el caso del cacao, la planta lo acumula en hojas, raíces, tallo y granos. El Cd puede causar efectos indeseables en cualquier ser vivo, aun en bajas concentraciones originadas en fuentes naturales (como la formación del suelo o la tierra) o por actividades humanas (como la minería o la explotación petrolífera).

Para realizar el presente estudio, se ha estructurado, teniendo en cuenta el Reglamento de Grados y Título de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, distribuido de la siguiente manera: Capítulo I. Planteamiento del Problema, Capítulo II: Marco Teórico; Capítulo III. Metodología; Capítulo IV: Resultados y Discusión; Capítulo V: Conclusiones; Capítulo VI: Recomendaciones; asimismo se presenta las Referencias Bibliográficas y Anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Descripción y fundamentación del problema.

El cadmio (Cd) es considerado un metal pesado que se encuentra presente como catión intercambiable en la solución del suelo y al ser traslocado por la planta, se almacena en los órganos productivos, generando posible contaminación que puede afectar la salud humana.

En el caso de los metales pesados, donde destaca el Cadmio (Cd), en su mayoría, se asocia al contenido natural del suelo, y aunque los niveles detectados no representan riesgos sanitarios, despierta gran desconfianza en los mercados, sobre todo en el consumidor europeo, donde la legislación alimentaria es muy exigente, por tal motivo la Comisión Europea acaba de proponer niveles de Cadmio (Cd) más elevados para el chocolate negro (con más cacao) y niveles más bajos para el chocolate con leche (Chavarrias, 2012). En este sentido, las autoridades europeas han establecido normas a las importaciones de los derivados del cacao, las cuales son aplicadas a partir de enero del 2019 con la fijación de niveles máximos de concentración de Cadmio (Cd), a través de la Dirección General de Salud y Protección al Consumidor de la unión Europea, sin embargo, a pesar que dichas regulaciones no son aplicadas a las exportaciones de grano, si son afectadas, dado que los importadores usan estos límites para aplicarlos en el precio de bolsa de productos de Nueva York y Londres (Furcal y Torres, 2020).

Frente a estas normas de la Comisión Europea, se genera un problema para los agricultores cacaoteros de nuestra región, quienes corren el riesgo de no vender ni exportar sus productos a la Comunidad Europea, y de allí se destaca la importancia de realizar investigaciones para conocer y reducir los niveles de este metal pesado en los granos procedentes de las parcelas de los productores que entregan su producto sea convencional u orgánico, sin contar con estos precedentes normativos.

Actualmente, la producción de cacao se enfoca en la calidad y a través de sus certificaciones orgánicas y de calidad se encuentra en un proceso de mejora continua constante, razón por la cual desea estudiar el aporte que brindan sus granos de cacao en metalespesados a sus clientes y así demostrar que su producto está muy por debajo de los estándares de metales pesados que determinan las normas de la Comisión Europea y el *Codex Alimentarium*.

Las concentraciones de metales pesados en los suelos están asociadas a los ciclos biológicos y geoquímicos de formación de suelos y pueden alterarse por actividades antropogénicas como las prácticas agrícolas, el transporte, las actividades industriales, la eliminación de residuos, entre otras.

En el procesamiento industrial del cacao destacan dos etapas importantes: la fermentación y el secado del grano, la primera consiste en colocar los granos cosechados en recipientes para crear un ambiente cerrado donde se producen diversas reacciones químicas, mientras el secado es la etapa donde se elimina el exceso de humedad del grano por calentamiento y donde se completa la formación del aroma y sabor a chocolate.

Al respecto, Cruz *et al*; (2021), menciona que, una parte importante de investigaciones efectuadas para determinar el contenido de Cd en el grano de cacao se ha concentrado en la testa y en el endosperma, poniéndose poca atención en el contenido del metal pesado en el mucílago.

Por otro lado, la calidad en el cacao radica principalmente en el proceso de beneficio en el cual son tratados los granos de cacao. En la cosecha se recolectan frutos sanos, del cual se retiran los granos que se colocan en recipientes especiales; posteriormente, en condiciones adecuadas, sufren una serie de transformaciones físicas y químicas que le permiten desarrollar su calidad. Un punto muy importante es que el cacao apropiadamente fermentado y secado, produce el verdadero sabor a chocolate, el cual está determinado por su potencial genético (Quiroz, 2013).

1.2. Objetivo general y objetivos específicos.

1.2.1. Objetivo general.

- Determinar el contenido de Cadmio (Cd) en el grano y testa de dos clones de cacao según el tipo de fermentación y secado en el sector el Cóndor-Neshuya.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Comparar el contenido de Cadmio (Cd) en el grano de dos clones de cacao según el tipo de fermentación y secado en el sector el Cóndor-Neshuya.

- Comparar el contenido de Cadmio (Cd) en la testa de dos clones de cacao según el tipo de fermentación y secado en el sector el Cóndor- Neshuya.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Barrezueta *et al;* (2021), desarrollaron un ensayo, cuyo objetivo fue determinar los niveles de Cadmio (Cd) presente en hojas, testa y almendra de cacao en los genotipos Nacional y CCN51. Las parcelas seleccionadas estuvieron ubicadas en Río Bonito provincia de El Oro y Shumiral de la provincia de Azuay, región litoral sur de Ecuador. En este trabajo se tomaron muestras de suelo para determinar sus propiedades químicas y de las hojas, testa yalmendra de árboles de cacao seleccionados al azar de las tres fincas que se identificaron como F1, F2 y F3. El análisis para la determinación de Cadmio (Cd), se realizó mediante una digestión ácida de los tejidos vegetales, y mediante absorción atómica se determinó los contenidos de Cadmio (Cd), por triplicado, concluyéndose que, los valores de Cd variaron entre 0.36 mg/kg (F3) a 2.59 mg kg^{-1} (F2) en hojas, 1.15 mg kg^{-1} a 2.36 mg kg^{-1} en testa y 1.15 mg kg^{-1} a 1.93 mg kg^{-1} en almendra. Los niveles obtenidos guardan relación con otros resultados obtenidos por diferentes métodos de extracción de Cadmio (Cd), siendo el principal factor que pudo incidir en los valores sería: pH del suelo ácido y nivel de medio de P presumiblemente adicionado en la fertilización en la F2.

Álvarez (2018), desarrolló un trabajo cuyo objetivo fue determinar por espectrofotometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado, la concentración de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en las almendras de cacao que trata la Asociación de productores de cacao de la Fortaleza del Valle Ecuador,

en los estados de fresco, fermentado y secado, para lo cual se utilizó un DCA con cinco repeticiones. Se concluye que, los valores promedio de concentración de Cadmio (Cd) en las diferentes fases de postcosecha de cacao fueron 0,89 $mg.kg^{-1}$ para el mucílago, 0,73 $mg.kg^{-1}$ para el fermentado y 0,95 $mg.kg^{-1}$ para la almendra seca; así mismo los valores de concentración de Plomo (Pb) fueron para el mucílago 0,38 $mg.kg^{-1}$; para el fermentado 0,37 $mg.kg^{-1}$ y para la almendra seca 0,60 $mg.kg^{-1}$, determinándose que estos valores se ubican por encima de los estipulados por el Reglamento (CE) Nº 1881/2006.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Un trabajo efectuado por Alianza Cacao Perú (2018) en las regiones San Martin, Huánuco y Ucayali sobre el contenido de Cadmio (Cd) en granos de cacao ha determinado que, de 205 muestras de grano, solo 51 muestras están por debajo del límite de detección de Cadmio (Cd) en el grano. Los valores mínimos y máximos de Cadmio (Cd) encontrados en cáscara, fueron 0.42 a 0.93 ppm, en mucilago están entre 0.35 a 0.66 ppm y en la testa, entre 0.59 a 1.00 ppm. De igual manera se determinó en el grano fermentado en forma tradicional, valores de 0.86 ppm Cadmio (Cd) en grano sin cascara (testa + cotiledón) y 1.02 ppm de Cadmio (Cd) en grano con cascara (solo cotiledón), a diferencia de semilla lavada y secada sin fermentar, cuyos valores fueron de 0.35 y 0.65 ppm de Cadmio (Cd) en grano sin y con cascara, respectivamente.

De igual modo, Gutiérrez y Gonzales (2017), desarrollaron una investigación en Tambopata (Madre de Dios), cuyo objetivo fue evaluar las tecnologías de fermentación y secado del grano de cacao CCN51 y cacao Criollo medidos en su calidad y rendimiento, usando fermentadores de cajón y saco, secadores solares de madera cubiertas con mica y tendales de mantas de polipropileno, El modelo de estudio fue Diseño de bloques con arreglo factorial de 03 factores: tipo de cacao (CCN51 y cacao criollo); la tecnología de fermentación (fermentación en saco, fermentación en cajón de madera); y la tecnología de secado (Secado solar de madera, secado solar en manta). En conclusión, la mejor tecnología de beneficio de cacao fue la fermentación en cajón de madera y secado en secadores solares de madera. El cacao que mejor se comporta en fermentación y secado es el cacao criollo con 80% de grado de fermentación, en cacao CCN51 se alcanzó un 66% de fermentación.

Asimismo, Loayza (2014), señala en su investigación denominada Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao de Satipo, que la variedad de cacao (T1) y la frecuencia de remoción (T2), durante el proceso de fermentación de su semilla, son dos factores que al generar cambios bioquímicos determinan el aroma y sabor a chocolate. El contenido de grasa en las células de la semilla tiene relación con el grosor de la almendra y la prueba de corte permite diferenciar los granos mejor fermentados, respecto de aquellos que no lograron una buena fermentación. La intensidad de las propiedades organolépticas de la pasta de cacao obtenida, en relación a: 1. sabor a cacao, es fuerte; 2. Acidez, es moderada y 3. Amargor, astringencia y sabor a nueces es leve.

2.1.3. Antecedentes locales.

Del Águila (2017) realizó una investigación con el propósito de determinar el nivel de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en granos frescos, secos y en licor de cacao. Los granos y el licor de cacao se caracterizaron químicamente, se evaluaron los niveles de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama. El análisis estadístico se realizó mediante el diseño DCA, se empleó la prueba de Tukey ($P<0,05$). En granos frescos de Pucallpa se encontró los niveles más altos de Cadmio (Cd) (0,08 mg kg^{-1}) y en secos (0,11 mg kg^{-1}). En la marca Oro de ACOPAGRO se encontró el nivel más alto de Cadmio (Cd) (0,11 mg kg^{-1}). En los granos frescos de Pucallpa se encontró el mayor de nivel de Plomo (Pb) (9,02 mg kg^{-1}) y San Martin de Pangoa en granos secos (7,62%). En la marca Cacao Peruano de Cooperativa Agraria Cafetalera Pangoa se encontró el nivel más alto de Plomo (Pb) (7,45 mg kg^{-1}).

Por otro lado, investigaciones efectuadas por López y Hoyos (2017) en San Alejandro Ucayali, han demostrado que los sistemas de producción no evidencian diferencias por el contenido de Cadmio (Cd) en grano, con promedio de 0.75, 0.71 y 0.54 mg kg^{-1} en los sistemas de manejo orgánico, químico y tradicional, respectivamente, sin embargo, están por encima de los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) cuyos límites máximos permitidos de Cadmio (Cd) en granos de cacao es de 0,50 mg kg^{-1} de peso fresco y que están en vigencia a partir del 1 de enero de 2019.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Manejo poscosecha de cacao.

Aguilar (2017) en su Guía de Buenas Prácticas de Poscosecha de Cacao señala que el beneficiado del cacao se desarrolla en dos etapas: la fermentación y el secado. Durante estos procesos se generan los precursores químicos (sustancias indispensables para la generación de aroma y sabor en el cacao) y prepara el producto para que cumpla con las condiciones de mercado, para hacer chocolate fino y de aroma.

2.2.2. La fermentación del grano de cacao.

La fermentación del cacao consiste en colocar el lote de granos de cacao en baba recién extraídos de la mazorca en cajones de madera. Cada cajón lleno con granos debe taparse con hojas de plátano u otro material, que no sea plástico, aproximadamente por cinco días. Cada día el grano se cambia de cajón, actividad conocida como volteo. Durante este tiempo aparecen de forma espontánea microorganismos que fermentan el grano, suceden cambios químicos y físicos y, aumenta la temperatura. Para que la fermentación se desarrolle de la mejor manera se recomienda no estar expuestos a los efectos de la lluvia y vientos fríos, por lo que estos cajones se resguardan en áreas o cuartos adecuados para la fermentación donde pueden colocarse en arreglo de escalinata o a un solo nivel. Durante los primeros días debe permitirse el escurrido y salida de la baba, mucílago, miel o jugo, por los orificios del fondo del cajón, estos orificios deben ser limpiados para evitar su obstrucción y la acumulación de residuos que dañen el cacao. Las actividades realizadas a tiempo y de la forma correcta permiten

que la fermentación se desarrolle adecuadamente. Las alteraciones en el proceso pueden ser contraproducentes, dando lugar a generación de microorganismos que pueden ser un riesgo para la salud (Aguilar, 2017).

2.2.3. El secado de grano de cacao.

Respecto al secado, Aguilar (2017) señala que, cuando se alcanza el porcentaje óptimo de granos fermentados, inmediatamente se debe iniciar con el proceso de secado y acondicionamiento.

Para ello se deben sacar los granos del cajón y extenderlos en la superficie para secado donde se enfriará, perderá el agua y ácido acético y algunos compuestos astringentes (provocan sensación de sequedad y amargura en la boca). Este proceso es lento y puede tardar cinco o más días. La exposición de los granos al sol debe ser cuidadosa y gradual (Aguilar, 2017).

Para un buen secado y acondicionado en condiciones naturales al sol y a la sombra, es fundamental seguir las recomendaciones de grosor de capa de granos, tiempo de exposición al sol, frecuencia de remoción y tiempos de guardado establecidos en el protocolo para obtener un producto de alta calidad e inocuo, evitando que se desarrolle moho interno o externo en el grano. Aunque el secado al sol permite obtener mejor calidad, no siempre es posible por condiciones climáticas de lluvia y alta nubosidad, en cuyo caso se debe recurrir al secado asistido con horno (Del Águila, 2017).

El secado y acondicionado finaliza cuando el grano alcanza el grado de humedad solicitado por el cliente, generalmente oscila entre 7.5 a 6.5% de humedad. Si la humedad es mayor existe un alto riesgo de desarrollo de

microorganismos dañinos; pero si la humedad es menor, hay mayor ranciedad de grasa (adquiriendo un sabor desagradable) por aumento en la tasa de oxidación de las grasas, además el grano se vuelve quebradizo lo que lo expone a ruptura y entrada de microorganismos (Gutiérrez y Gonzáles, 2017). Después del secado y el acondicionado es necesario realizar la limpieza y depuración del grano. Esta actividad tiene como objetivo obtener un lote de granos de tamaño relativamente uniforme, que cumpla con las normas del mercado como el peso promedio de grano y no contener material extraño como trozos pequeños de cascarilla, placenta, granos pequeños, aglomerados, rotos o quebrados, vanos u otras imperfecciones (Camacho, 2013).

2.2.4. El cadmio (Cd) en cacao.

Los metales pesados como el Cadmio (Cd) se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de minerales, de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomadas de ellas por el ser humano, lo que constituye un riesgo potencial para la salud (Prieto, González y Román, 2009). En su dictamen científico sobre el Cadmio (Cd) en los alimentos, la COTAM llegó a la conclusión de que la exposición alimentaria media al Cadmio (Cd) en los países europeos se acerca o supera ligeramente la ingesta semanal tolerable de 2,5 µg/kg de peso corporal. En algunos subgrupos de la población, la ingesta semanal tolerable llega casi a duplicarse. La COTAM llegó asimismo a la conclusión de que, pese a que es poco probable que se produzcan efectos negativos sobre la función renal en un individuo expuesto a dicho nivel, es necesario reducir la exposición al (Cd)

Cadmio en la población (COTAM, 2009).

De igual modo, varios investigadores sostienen que tanto el manejo pos cosecha, como el genotipo del cacao podrían ser factores vinculantes en la presencia de este metal pesado en el cultivo y por ende en la almendra, por tal motivo es importante determinar la presencia de cadmio en cacao ecuatoriano, sobre todo en niveles que podrían afectar la comercialización y el consumo para lo cual deberá identificar las posibles causantes para proponer sistemas de mitigación si fuera el caso, a fin de contrarrestar esta alarma alimentaria que pone en riesgo la producción (INIAP, 2015).

El rango tolerable de Cadmio (Cd) según la OMS (Organización Mundial de la Salud) es de 7 mg por kg de peso corporal/semana, es decir, 60 a 70 mg por día para un adulto. El cacao tiene aparentemente mayor predisposición para absorber Cadmio (Cd), pues los estudios y muestreos consistentemente encuentran mayor concentración en el chocolate terminado en comparación con otros alimentos y bebidas (López, 2012).

Diversas investigaciones han determinado que la mayor cantidad de Cadmio (Cd) se acumula en el jugo y la pulpa (mucilago) del cacao. Este Cadmio (Cd) puede moverse hacia la testa y almendra del cacao y terminar finalmente en el chocolate. Estrategias sencillas tales como lavar la pulpa del grano antes del proceso de fermentación, pueden eliminar cantidades importantes de contaminantes sin afectar la calidad del grano fermentado y secado (INIAP, 2015).

Florida (2020) desarrollando una revisión sobre los límites máximos de Cadmio (Cd), señala que, cuando se trata del cacao, la contaminación por metales pesados como el cadmio (Cd) y el Plomo (Pb) toma

importancia, la concentración de Cadmio (Cd), en chocolates procesados puede alcanzar valores promediode 2,5 $mg.kg^{-1}$, lo cual está por encima de los límites máximos permitidos por el *Codex Alimentarium* que es de 2 $mg.kg^{-1}$.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA.

3.1. Tipo de investigación.

La investigación desarrollada fue de tipo experimental, comparativa, con el propósito de demostrar la veracidad de la hipótesis planteada, tomando en cuenta los parámetros de evaluación mediante protocolos previamente determinados.

3.2. Localización del ensayo

La investigación fue desarrollada en una parcela de cacao perteneciente al productor Narciso Vásquez del Castillo, ubicada en el caserío El Cóndor, a 2.5 Km de la margen izquierda, a la altura del Km 60 de la carretera Federico Basadre; con las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: 79°17´45¨ Sur, Longitud: 8°22´34¨ Oeste, Altitud: 225 msnm.

Figura 1

Ubicación satelital de la parcela de investigación.



3.3. Duración del ensayo.

La investigación tuvo una duración de nueve meses, iniciándose en el mes de junio del 2022 y culminando en febrero del 2023, que comprende desde la presentación del proyecto hasta la redacción del informe final de la tesis.

3.4. Condiciones ecológicas y edafoclimáticas.

Según el Sistema Holdridge, la zona en estudio, ecológicamente, se clasifica como “bosque húmedo tropical” y según la clasificación de los bosques amazónicos pertenece al ecosistema “bosques tropicales semi-siempre verde estacional” (Aybar-Camacho et al., 2017).

Las características de fertilidad del suelo experimental fueron determinadas en el Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina y son las siguientes: para el cacao CCN 51, presenta un pH moderadamente ácido, bajo contenido de sales, así como escasa materia orgánica, bajo en P y K disponible y baja acidez intercambiable. En cambio, el suelo sembrado con cacao aromático muestra un pH fuertemente ácido, lo que indica la mayor acidez intercambiable por la predominancia de iones Al e H, escasa presencia de sales disueltas, baja cantidad de materia orgánica, así como de P y K disponibles (Tabla 1).

Tabla 1

Resultados del análisis de fertilidad del suelo experimental.

Muestra	pH (1:1)	C E$_{(1:1)}$ dS/m	$CaCO_3$ %	M.O. %	P ppm	K ppm	$Al^{+3} + H^{+}$ meq/100	Cd ppm
Suelo con cacao CCN 51	4.55	0.10	0.00	1.15	5.3	37	0.55	0.16
Suelo con cacao aromático	3.91	0.18	0.00	1.76	4.7	82	2.25	0.58

(*) Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la Universidad Nacional Agraria La Molina Lima.

3.5. Materiales, herramientas y equipos.

3.5.1. Materiales.

Los materiales empleados en la investigación fueron: Mazorcas de cacao CCN 51, mazorcas de cacao aromático, cajones de madera, sacos de yute, mantas de polipropileno, baldes y bolsas ziploc.

3.5.2. Herramientas.

Las herramientas que se utilizaron fueron: Barreno de metal, pala, costales (llenado de mazorcas), libreta de campo, lapiceros, lápices, USB, Laptop y calculadora.

3.5.3. Equipos.

Los equipos que se utilizaron en el estudio fueron: Molino manual, Balanza analítica y estufa.

3.6. Variables en estudio.

Las variables independientes fueron consideradas de la siguiente manera:

Tabla 2

Tratamientos por tipo de clon, fermentación y secado de grano y testa de cacao.

Tratamiento	Tipo de fermentación y secado
T1	Grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera
T2	Grano de cacao CCN 51 fermentado en saco de yute
T3	Grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera y secado en manta de polipropileno
T4	Grano de cacao CCN 51 fermentado en saco de yute y secado en manta de polipropileno
T5	Testa de grano de cacao CCN 51 fermentada en cajón de madera
T6	Testa de grano de cacao CCN 51 fermentada en saco de yute
T7	Testa de grano de cacao CCN 51 fermentada en cajón de madera y secada en piso
T8	Testa de grano de cacao CCN 51 fermentada en saco de yute y secada en piso
T9	Grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera
T10	Grano de cacao aromático fermentado en saco de yute
T11	Grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera y secado en manta de polipropileno
T12	Grano de cacao aromático fermentado en saco de yute y secado en manta de polipropileno
T13	Testa de grano de cacao aromático fermentada en cajón de madera
T14	Testa de grano de cacao aromático fermentada en saco de yute
T15	Testa de grano de cacao aromático fermentada en cajón de madera y secada en piso
T16	Testa de grano de cacao aromático fermentada en saco de yute y secada en piso

Las variables dependientes fueron consideradas de la siguiente forma:

- Contenido de Cadmio (Cd) en el grano de cacao CCN51.
- Contenido de Cadmio (Cd) en la testa de cacao CCN51.
- Contenido de Cadmio (Cd) en el grano de cacao aromático.
- Contenido de Cadmio (Cd) en la testa de cacao aromático.

3.7. Operacionalización de las variables.

3.7.1. Variables independientes.

Las variables independientes fueron desarrolladas de la siguiente manera:

Establecimiento de las unidades experimentales.

En primer lugar, se realizó un reconocimiento de las dos parcelas de cacao CCN 51 y aromático, cada una de aproximadamente 0.6 ha y separadas entre ellas por 100 m de distancia.

Ambas parcelas tienen 20 hileras sembradas con 35 plantas de cacao por hilera, a un distanciamiento de 2.80 m por 2.50 m, con un total de 700 plantas, aproximadamente.

En las dos parcelas se realizó un recorrido por toda el área de cada una, y en la parte central de la parcela se seleccionó 4 plantas de cacao, de manera consecutiva y a ambos lados de cada hilera, es decir, 2 plantas por cada hilera, separadas por 2.80 m.

Colecta de muestra de suelo.

Una vez ubicadas las plantas seleccionadas, se procedió a extraer dos muestras compuestas de suelo, con ayuda de un barreno, en la parte central de las 4 plantas de cacao CCN 51 y del cacao aromático, en los primeros 20 cm de profundidad, las cuales fueron embolsadas para su posterior secado, molido y tamizado y posteriormente fueron enviadas vía courrier al Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se realizaron los respectivos análisis de fertilidad de suelo por cada muestra. Los resultados del análisis de suelo se presentan en el Anexo 2 y demuestran que para el caso del clon CCN 51, el pH fue fuertemente ácido (4.55), bajo contenido de materia orgánica (1.15%) así como de P disponible (5.3 ppm) y K disponible (37 ppm) y una baja concentración de Al + H (0.55 meq/100 g de suelo), mientras que el suelo sembrado con el clon aromático tiene un pH extremadamente acido (3.91), bajo contenido de materia orgánica (1.76%) así como de P disponible (4.7 ppm) y K disponible (82 ppm) y una mediana concentración de Al + H (2.25 meq/100 g de suelo).

Colecta de muestras de mazorcas de cacao.

Una vez identificadas las plantas de cacao, se procedió a colectar al azar, tomando en cuenta el tamaño de cada una, 20 mazorcas de cacao CCN 51 y 20 mazorcas de cacao aromático. Estas mazorcas debidamente identificadas fueron embolsadas por separado y conducidas al Laboratorio

de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias para su manejo postcosecha.

Fermentación del grano de cacao.

Se hizo durante 7 días, utilizando las dos modalidades: fermentación en cajón de madera y en saco de yute. Para la primera se usó un cajón de madera, previamente fabricado para el ensayo, cuyas medidas fueron de 0.50 m de largo x 0.50 m de ancho x 0.50 m de altura.

Para la modalidad de fermentación en sacos de yute, se usó con medidas de 1.00 m de largo x 0.70 m de ancho.

En ambos casos, la mitad en peso de las muestras fermentadas se separó para realizar el proceso de secado.

Secado del grano de cacao.

Las muestras de grano fermentado de cacao CCN 51 y aromático fueron secadas bajo dos modalidades: una en manta de polipropileno color marrón oscuro, cuyas medidas fueron de 1 m de largo por 1 m de ancho y la otra en el piso de cemento de 4 m de largo por 1 m de ancho, por un espacio de 5 días consecutivos, manteniendo su homogeneidad libre de impurezas y de hongos.

Separación de testa y grano de cacao. Una vez secadas las muestras de grano de cacao CCN 51 y aromático, se procedió a separar la testa del grano, en forma manual y se embolsó según cada tratamiento y repetición, para su posterior molienda.

Molienda de testa y de grano: Esta labor se hizo con ayuda de un molino manual en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, moliendo en forma separada, las muestras de testa y grano de cacao, por cada tratamiento y repetición, cuyos resultados en peso se observan en la siguiente tabla.

Tabla 3

Peso de grano y testa de cacao después de fermentación y secado por clon.

Tratamiento	Peso de grano de fermentación (g)		Peso de testa de fermentación (g) (g)		Peso de grano para secado (g)		Peso de testa para secado (g)	
	Cajón de madera	Saco de yute	Cajón de madera - testa	Saco de yute - testa	Cajón de madera secado piso	Saco de yute secado en manta de polipropileno	Cajón de madera secado piso - testa	Saco de yute secado manta de polipropileno - testa
CCN51	80.1	120.6	24.0	21.0	119.1	84.0	22.2	34.5
Aromático	73.8	93.3	20.4	20.1	84.87	73.35	24.54	27.81

Etiquetado de las muestras de testa y grano:

Se efectuó usando bolsas ziploc de 100 g de peso, para embolsar las muestras molidas por cada tratamiento y repetición, para luego ser enviadas vía courrier al Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se realizaron los respectivos análisis de Cadmio total por cada muestra.

3.7.2. Variables dependientes.

El contenido de Cd total en el grano y en la testa de cacao CCN 51 y aromático por cada tratamiento y repetición se realizó mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica EAA, la cual es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra.

Este método se basa en la ley de Beer-Lambert, mediante el cual, los electrones de los átomos en el atomizador pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular, y en general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento, que en nuestro caso se trata del contenido de Cd total en la muestra. Como la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible, a partir de la Ley de Beer-Lambert, calcular cuántas de estas transiciones tienen lugar, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento.

3.8. Población y muestra.

La población estuvo constituida por las dos parcelas de cacao CCN 51 y aromático, que es una mezcla de los clones THS 565, VRAE 15, ICS 39, ICS 95 y UF567, cada una de aproximadamente 0.6 ha y separadas entre ellas por 100 m de distancia. Ambas parcelas tienen 20 hileras sembradas con 35 plantas de cacao por hilera, a un distanciamiento de 2.80 m por 2.50 m, lo que representa una población de 700 plantas, aproximadamente.

En el caso de la muestra, para la evaluación de la variable dependiente, se tomó en cuenta sólo las 8 plantas seleccionadas de cacao (4 de cacao CCN 51 y 4 plantas de cacao aromático), y de cada una de ellas, se cosechó 20 mazorcas de similar tamaño (30 cm de largo por 10 cm de diámetro), a las cuales se les extrajo los granos con mucilago, para su posterior labor de fermentación y secado.

3.9. Diseño experimental.

Los resultados del contenido de Cd en testa y grano de cacao CCN 51 y aromático fueron analizados en forma separada por pares de tratamientos mediante el Diseño completo al azar DCA con 2 tratamientos y 3 repeticiones, haciendo un total de 6 unidades experimentales en cada evaluación.

El modelo matemático fue expresado de la siguiente manera:

$$\mathbf{Yij = U + Ti + Eij}$$

Donde:

Yij = Variable respuesta en el i-ésimo tratamiento.

U = Media poblacional.

Ti = Efecto del i-ésimo tratamiento.

Eij = Error aleatorio.

El análisis de varianza correspondiente al experimento, muestra las siguientes características:

Tabla 4

ANOVA.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad
Tratamientos	2 – 1 = 1
Error	5 – 1 = 4
Total	(3) (2) – 1 = 5

Una vez efectuado el análisis de varianza para cada evaluación, tanto para fermentación y secado de testa y grano de cacao CCN 51 y aromático, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey, con una significancia del 5%.

Figura 2

Croquis de distribución.

GRANO DE CACAO CCN51				GRANO DE CACAO AROMÁTICO			
Fermentación en Cajón de madera	Fermentación en Saco de yute	Secado en Manta de Polipropileno	Secado en Piso	Fermentación en Cajón de madera	Fermentación en Saco de yute	Secado en Manta de Polipropileno	Secado en Piso
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
TESTA DE CACAO CCN51				**TESTA DE CACAO AROMÁTICO**			
Fermentación en Cajón de madera	Fermentación en Saco de yute	Secado en Manta de Polipropileno	Secado en Piso	Fermentación en Cajón de madera	Fermentación en Saco de yute	Secado en Manta de Polipropileno	Secado en Piso
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Sobre los niveles máximos de Cd en productos alimenticios como el cacao y el chocolate, la Unión Europea (Reglamento CE N° 488/2014) ha establecido el valor de 0.6 mg kg^{-1} de Cd como límite permisible en el polvo de cacao, sin embargo, la comunidad científica viene utilizando este valor para clasificar la concentración del metal pesado en granos sin procesar, generando una preocupación en el sector cacaotero regional.

De igual forma, el Codex Alimentarius regula el valor permisible en productos derivados del cacao y define como límite permisible, el valor de 0.5 mg kg^{-1} para pasta de cacao.

Al respecto, existen propuestas de cálculo para determinar un límite máximo razonable, incorporando criterios de variabilidad genética y aspectos bromatológicos del cacao, tomando en cuenta los limites ya establecidos en la Unión Europea, siendo los valores límites de Cd en granos sin procesar entre 1.14 y 1.22 mg kg^{-1}, los cuales son considerados altos (Meter *et al.*, 2019).

Por este motivo, nuestra investigación ha tomado en cuenta el valor máximo permisible (0.6 mg kg^{-1} de Cd) regulado por la Comisión Europea, mediante el Reglamento N° 488/2014), y el referido por el Codex Alimentarius (0.5 mg kg^{-1} de Cd).

Para la evaluación de los resultados encontrados en nuestro ensayo, se consideró comparar 16 tratamientos desagregados por pares según el tipo de clon, el tipo de fermentación de grano y testa de cacao y el tipo de secado de grano y testa de cacao, analizando los resultados del contenido de

Cd en 8 comparaciones, las cuales de presentan a continuación.

4.1. Contenido de Cd por tipo de fermentación de grano de cacao CCN 51.

El análisis de varianza del contenido de Cd en el grano de cacao CCN 51 por tipo de fermentación indica que no existen diferencias significativas cuando el grano de cacao fue fermentado en cajón de madera y en saco de yute, con valores de 0.426 y 0.400 mg kg^{-1}, respectivamente. Tabla 5 y Figura 3.

Tabla 5

Contenido de Cd en grano de Cacao CCN 51 según tipo de fermentación.

N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	Significación (*)
T1	Grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera.	0.426	a
T2	Grano de cacao CCN 51 fermentado en saco de yute.	0.400	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey ($p<0,05$).

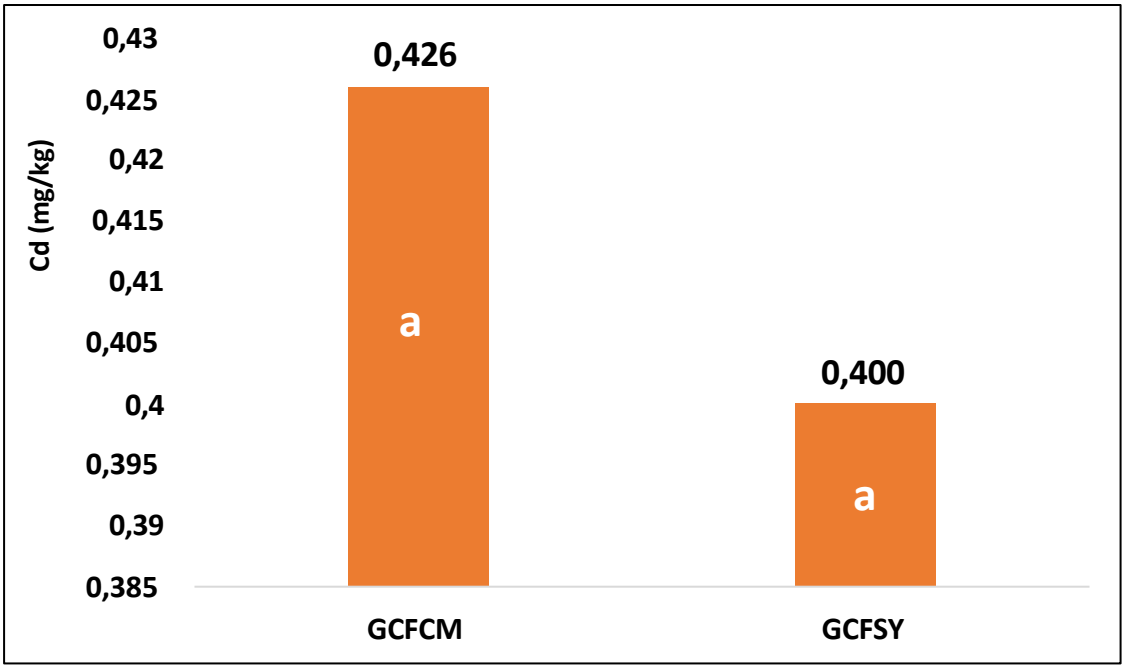
Estos promedios fueron menores a los que reglamenta la UE para valores permisibles de Cd en el polvo de cacao (0.6 mg kg^{-1}) y éstos son atribuidos posiblemente a que la fermentación de grano de cacao no es influenciada por el tipo de material de fermentación, siendo una característica fisiológica intrínseca e independiente del grano para expresar el contenido de Cd.

Sin embargo, Loayza (2014) indica en su investigación desarrollada en Satipo, que factores como la variedad y la frecuencia de remoción influyen durante el proceso de fermentación de su semilla, al generar cambios

bioquímicos que determinan el aroma y sabor a chocolate. El contenido de grasa en las células de la semilla tiene relación con el grosor de la almendra y la prueba de corte permite diferenciar los granos mejor fermentados, respecto de aquellos que no lograron una buena fermentación.

Figura 3

Contenido de Cd por tipo de fermentación en grano de Cacao CCN 51.



Por otro lado, nuestros resultados son inferiores a los obtenidos por Álvarez (2018) quien, desarrollando una investigación denominada Acumulación de metales pesados (Pb y Cd) en almendras de cacao durante el proceso de fermentación y secado, encontró que no existen diferencias estadísticas cuando se compararon las tres fases de postcosecha: mucílago, fermentación y secado, con promedios de 0.89, 0.73 y 0.95 mg kg^{-1}, respectivamente.

4.2. Contenido de Cd por tipo de secado en grano de cacao CCN 51.

El análisis de varianza para el contenido de Cd en el grano de cacao por tipo de secado, establece que no existen diferencias estadísticas cuando se seca en manta de polipropileno, comparado al grano de cacao secado en piso, con promedios de 0.440 y 0.366 mg kg^{-1}, respectivamente.

Tabla 6

Contenido de Cd en grano de Cacao CCN 51 por tipo de secado.

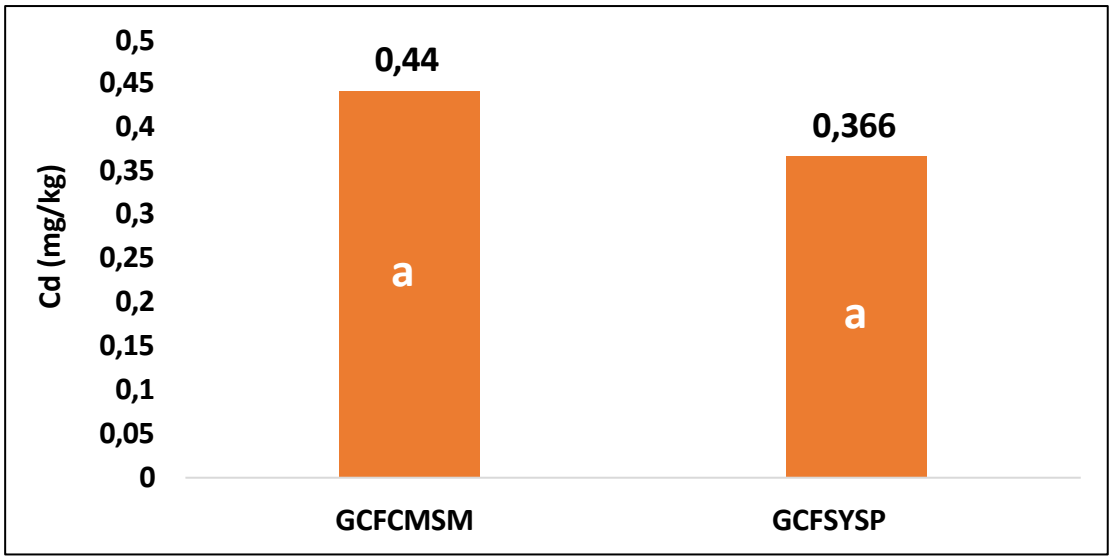
N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	Significación (*)
T3	Grano de cacao CCN 51 secado en manta de polipropileno	0.440	a
T4	Grano de cacao CCN 51 secado en piso	0.366	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (p<0,05).

Álvarez (2018), encontró que el contenido de Cd en el grano de cacao no fermentado y seco muestra valores que van de 1 a 1.8 mg kg^{-1}, siendo el nivel máximo permisible de 0.5 mg kg^{-1}, concordando con Furcal y Torres (2020) quien sostiene que, la planta de cacao absorbe los metales que existen en el suelo y los acumula gradualmente en los granos de cacao.

Figura 4

Contenido de Cd según tipo de secado de grano de cacao CCN 51.



De igual modo, Gutiérrez y Gonzales (2017) evaluaron las tecnologías de fermentación y secado del grano de cacao CCN51 y cacao Criollo medidos en su calidad y rendimiento, usando fermentadores de cajón y saco, secadores solares de madera cubiertas con mica y tendales de mantas de polipropileno, concluyendo que, el cacao que, la mejor fermentación y secado se da en el cacao criollo con 80% de grado de fermentación, frente al cacao CCN51 que alcanzó un 66% de fermentación, y por otro lado, la mejor tecnología de beneficio de cacao fue la fermentación en cajón de madera y secado en secadores solares de madera.

4.3. Contenido de Cd por tipo de fermentación de testa de grano de cacao CCN 51.

Para el caso del contenido de Cd en la testa del grano de cacao CCN 51, el análisis de varianza por tipo de fermentación, determinó que tampoco

existen diferencias estadísticas para la testa de grano de cacao CCN 51 fermentada en cajón de madera y en saco de yute, con promedios de 0.616 y 0.420 mg kg^{-1} de Cd total, cada uno.

Tabla 7

Contenido de Cd en testa de grano de Cacao CCN 51 según tipo de fermentación.

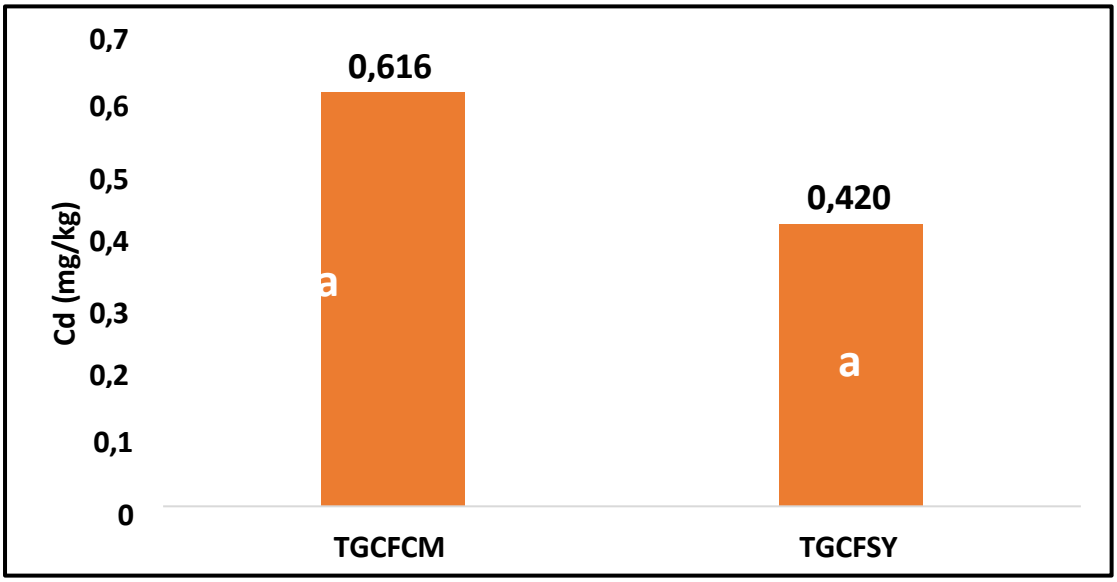
N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	significación (*)
T5	Testa de grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera	0.616	a
T6	Testa de grano de cacao CCN 51 fermentado en saco de yute	0.420	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (p<0,05).

Estos valores indican que los tratamientos probados no ejercieron ninguna influencia en el contenido de Cd en la testa de grano de cacao CCN 51, por el tipo de fermentación.

Figura 5

Contenido de Cd por tipo de fermentación de testa de grano de cacao CCN 51.



Al respecto, Ramírez (2018), realizaron un estudio en la zona de San Alejandro, indicando que el contenido máximo de Cd en los granos de cacao fue de 1.20 mg kg^{-1}, siendo ligeramente mayor a los límites máximos permisibles por la UE y el Codex Alimentarius.

4.4. Contenido de Cd por tipo de secado de testa de grano de cacao CCN 51.

Cuando se analizó el contenido de Cd por tipo de secado de la testa de grano de cacao, se encontró que no hubo diferencias significativas al 0.05 de nivel de significancia, cuando la testa de grano de cacao CCN 51 fue secada en manta de polipropileno, comparativamente al tipo de secado de la testa de grano de cacao CCN 51 en piso, con promedios de 0.573 y 0.373 mg kg^{-1} de Cd total, respectivamente.

Tabla 8

Contenido de Cd en testa de cacao CCN 51 según tipo de secado.

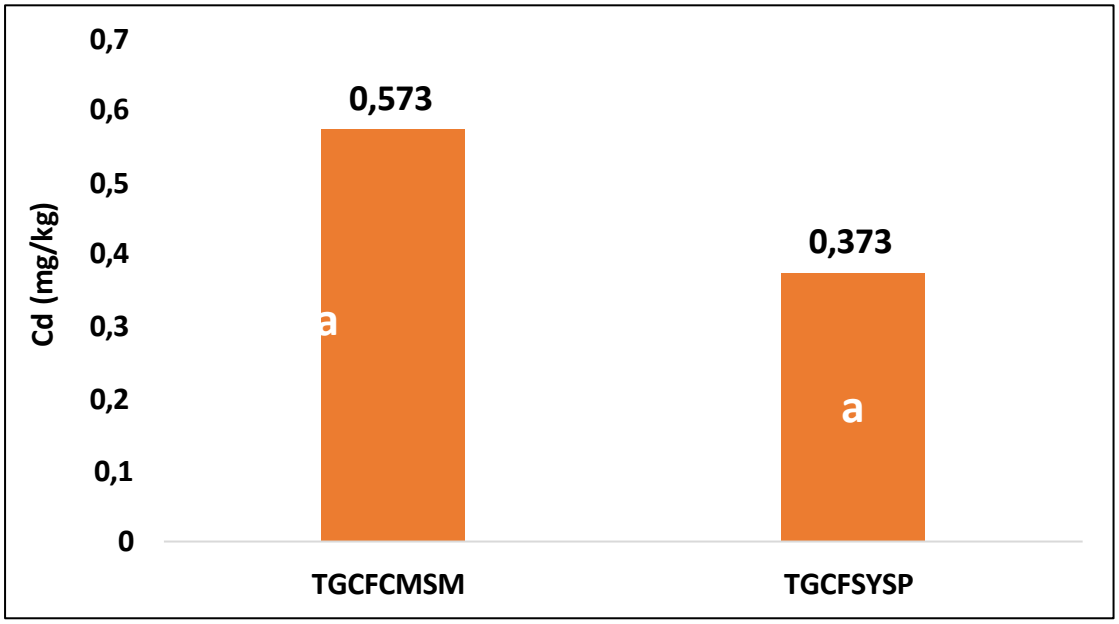
N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	Significación (*)
T7	Testa de cacao CCN 51 secada en manta de polipropileno	0.573	a
T8	Testa de cacao CCN 51 secada en piso	0.373	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (p<0,05).

Según el Codex Alimentarius, el límite máximo permisible de Cd en los granos de cacao es de 0.5 mg kg^{-1} (Codex Alimentarius, 2015), por lo que los resultados promedios de los tratamientos comparados se encuentran por debajo de los limites indicados.

Figura 6

Contenido de Cd por tipo de secado en la testa de grano de cacao CCN 51.



Esto nos indica que, aplicando los tipos de fermentación en cajón de madera y secado en manta de polipropileno, así como la fermentación del grano de cacao en saco de yute y secado en piso, no influyen en el contenido de Cd en la testa del grano de cacao CCN 51, conforme se aprecia en la Figura 6.

4.5. Contenido de Cadmio por tipo de fermentación de grano de cacao aromático.

El análisis de varianza del contenido de Cd en el grano de cacao aromático por tipo de fermentación, indica que no existen diferencias significativas cuando el grano fue fermentado en cajón de madera y en saco de yute, con valores de 0.350 y 0.263 mg kg^{-1}, respectivamente. Tabla 9 y Figura 7.

Tabla 9

Contenido de Cd en grano de Cacao aromático por tipo de fermentación.

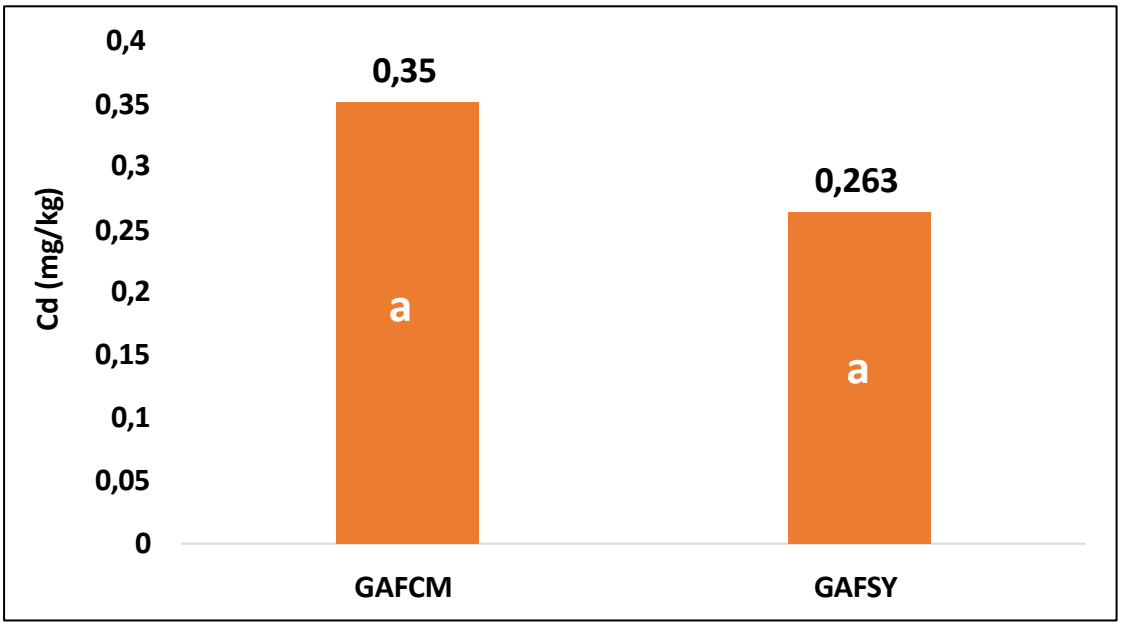
N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	Significación (*)
T9	Grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera	0.350	a
T10	Grano de cacao aromático fermentado en saco de yute	0.263	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (p<0,05).

Como se observa en la tabla anterior, los valores de Cd no superan los límites permisibles regulados por la Comisión Europea y el Codex Alimentarius, lo cual infiere que no hubo influencia por parte del tipo de fermentación en cajón de madera y en saco de yute en el contenido de Cd en el grano de cacao aromático.

Figura 7

Contenido de Cd por tipo de fermentación de grano de cacao aromático.



Al respecto, un estudio de Alianza Cacao Perú (2018) en las regiones San Martin, Huánuco y Ucayali, sobre el contenido de Cd en granos de cacao ha determinado que, los valores mínimos y máximos de Cd encontrados en cáscara, fueron 0.42 a 0.93 $mg.kg^{-1}$, en mucilago están entre 0.35 a 0.66 $mg.kg^{-1}$ y en la testa, entre 0.59 a 1.00 $mg.kg^{-1}$. Asimismo, se determinó en el grano fermentado en forma tradicional, promedios de 0.86 $mg.kg^{-1}$ de Cd en grano sin cascara (testa + cotiledón) y 1.02 $mg.kg^{-1}$ de Cd en grano con cáscara (solo cotiledón), a diferencia de la semilla lavada y secada sin fermentar, que registraron promedios de 0.35 y 0.65 $mg.kg^{-1}$ de Cd en grano sin y con cáscara, respectivamente.

4.6. Contenido de Cd por tipo de secado en grano de cacao aromático.

El análisis de varianza para el contenido de Cd en el grano de cacao aromático por tipo de secado, igualmente expresa que no existen diferencias estadísticas cuando el grano fue secado en manta de polipropileno frente al grano de cacao secado en piso, con promedios de 0.400 y 0.350 mg kg^{-1} de Cd total, respectivamente.

Tabla 10

Contenido de Cd en grano de cacao aromático según tipo de secado.

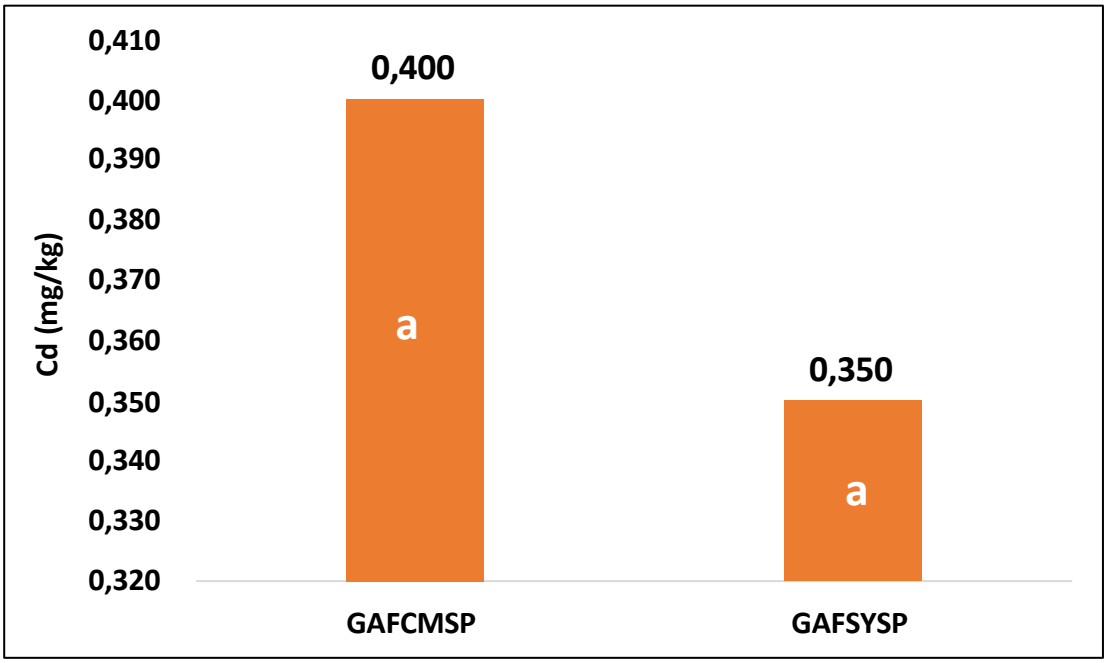
N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	Significación (*)
T11	Grano de cacao aromático secado en manta de polipropileno	0.400	a
T12	Grano de cacao aromático secado en piso	0.350	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey ($p<0,05$).

De igual forma, los resultados encontrados determinan que el contenido de Cd en el grano de cacao aromático, no fue influenciado, cuando el grano de cacao aromático fue se secado en manta de polipropileno, comparativamente cuando fue secado en piso. Es preciso anotar que, en ambos casos, los niveles de Cd se encuentran por debajo de los límites permisibles regulados por la Unión Europea y el Codex Alimentarius.

Figura 8

Contenido de Cd por tipo de secado en el grano de cacao aromático.



En este sentido, investigaciones efectuadas por Furcal y Torres (2020) han demostrado que, la detección de Cd en el grano juega un rol importante por ser la parte de consumo humano, y en su ensayo encontraron valores que van entre 1 a 1.8 mg kg^{-1} de Cd en el grano de cacao no fermentado y seco, por encima del nivel permisible regulado por la UE y el Codex Alimentarius.

Los autores también sostienen que, la planta de cacao absorbe los metales que existen en el suelo y los tiende a acumular en los granos, mientras que, en algunas etapas de la planta, tales como crecimiento, floración y formación de fruto se prioriza el trasporte de elementos a esas partes para cumplir y proporcionar a la planta la capacidad de poder optimizar su desarrollo.

4.7. Contenido de Cd por tipo de fermentación de la testa de grano de cacao aromático.

Para el caso del contenido de Cd en la testa del grano de cacao aromático, el análisis de variancia por tipo de fermentación, determinó que tampoco existen diferencias estadísticas para la testa de grano de cacao fermentada en cajón de madera con el tipo de fermentación en saco de yute, con promedios de 0.576 y 0.476 mg kg^{-1} de Cd total, cada uno.

Tabla 11

Contenido de Cd en testa de grano de Cacao aromático por tipo de fermentación.

N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	Significación (*)
T13	Testa de grano de cacao aromático fermentada en cajón de madera	0.576	a
T14	Testa de grano de cacao aromático fermentada en saco de yute	0.476	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey ($p<0,05$).

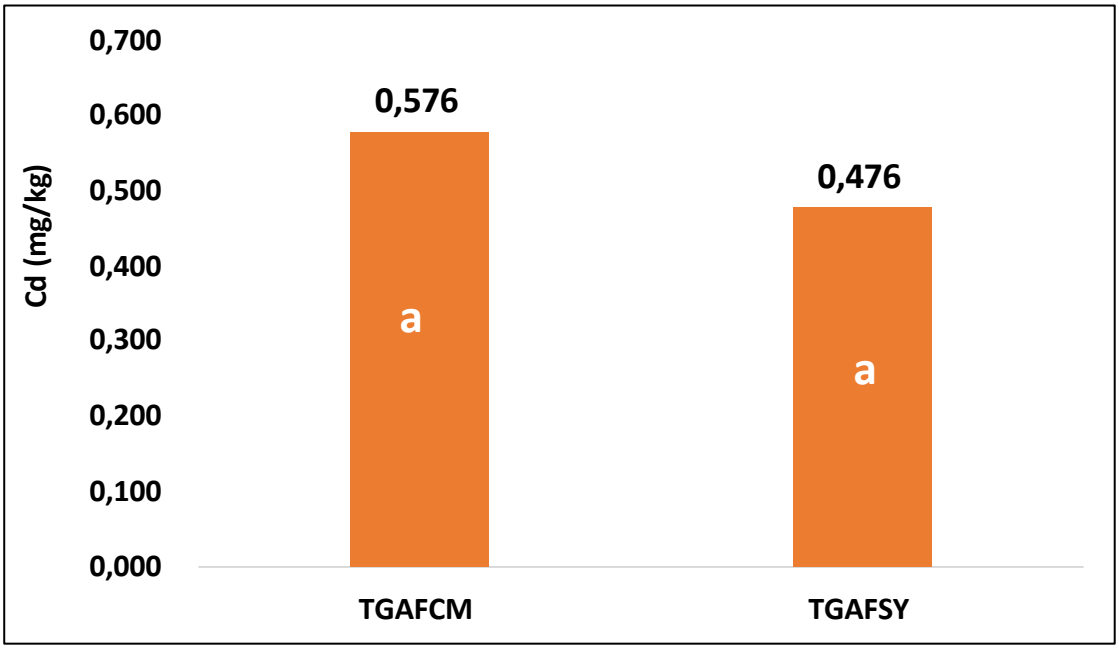
Como se observa en la Figura 9, los valores encontrados demuestran que no hubo influencia en el contenido de Cd por el tipo de fermentación,

sin embargo, para el caso de la testa de grano de cacao aromático fermentada en cajón de madera, el valor registrado es ligeramente superior al valor permisible que regula el Codex Alimentarius (0.5 mg kg^{-1} de Cd en el grano de cacao).

Cabe mencionar que, estudios realizados por Chávez *et al*., (2016) y Romero-Estévez *et al*., (2019) en Ecuador, indican promedios superiores a los encontrados en nuestro ensayo en el grano de cacao (1.73 mg kg^{-1}). Por otro lado, la investigación de Argüello *et al.,* (2019), determinó que la mayor concentración de Cd se encontró en el grano de cacao siendo mayor a los contenidos de hoja y testa. Asimismo, Ramtahal *et al*., (2019), sugiere que una forma de diagnosticar contenidos de Cd en las almendras es a partir de las hojas.

Figura 9

Contenido de Cd según fermentación de la testa de grano de cacao aromático.



4.8. Contenido de Cd por tipo de secado de la testa de grano de cacao aromático.

Al analizarse el contenido de Cd por tipo de secado de la testa de grano de cacao aromático, se encontró que no hubo diferencias significativas cuando la testa de grano fue secada en manta de polipropileno, comparativamente cuando testa de grano aromático fue secada en piso, con promedios de 0.500 y 0.436 mg kg^{-1} de Cd total, respectivamente.

Tabla 12

Contenido de Cd en testa de grano de cacao aromático por tipo de secado.

N°	Tratamientos	Cd (mg/kg)	Significación (*)
T15	Testa de grano de cacao aromático secada en manta de polipropileno	0.500	a
T16	Testa de grano de cacao aromático secada en piso	0.436	a

(*) Valores promedio en una misma columna seguida de diferente letra indican diferencias significativas con la prueba de Tukey ($p<0,05$).

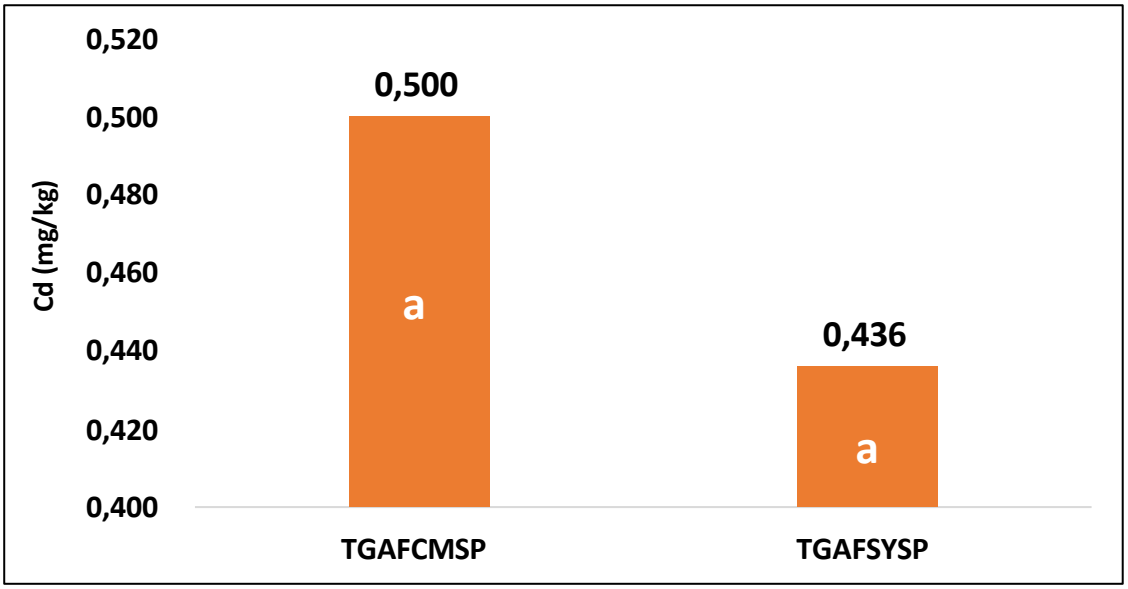
Conforme se aprecia en la Figura 10, los valores encontrados demuestran que no hubo influencia en el contenido de Cd por el tipo de fermentación, sin embargo, para el caso de la testa de grano de cacao aromático fermentada en cajón de madera, el valor registrado es ligeramente superior al valor permisible que regula el Codex Alimentarius (0.5 mg kg^{-1} de Cd en el grano de cacao).

Al respecto, investigaciones realizadas por Barrezueta *et al.,* (2021), para la determinación de Cd en hojas, testa y almendra en parcelas de

cacao del sur de Ecuador, señalan que, los valores de Cd fueron mayores en el clon CCN51 tanto en hoja y testa, siendo la diferencia más significativa en las hojas, mientras en almendra se muestra una media a favor del cacao Nacional (1.54 mg kg^{-1}) frente al tipo de cacao CCN51 (1.21). En general todos los valores acumulados sobrepasan el nivel máximo permisible (> 0.5 mg kg^{-1}) del Codex Alimentarius.

Figura 10

Contenido de Cd por tipo de secado en la testa de grano de cacao aromático.



Por su parte, Furcal y Torres (2020) encontraron en la región Sur de Costa Rica que, la concentración de Cd en el grano de cacao estuvo dentro de un rango que va de 0.56 a 8.7 mg kg^{-1}, considerado muy alto, al igual que otros órganos de la planta, la cual finalmente tiende a acumularlos en el grano de cacao.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos planteados en la investigación se concluye lo siguiente:

- Los niveles de Cd en el grano y en la testa de cacao CCN 51 y aromático no sobrepasan los límites establecidos para alimentos de consumo directo por la Unión Europea (0.600 mg kg^{-1}) y el Codex Alimentarius (0.500 mg kg^{-1}).

- Los niveles de Cd en el grano de cacao CCN 51 por tipo de fermentación en cajón de madera y en saco de yute, con 0.426 y 0.400 mg kg^{-1}, así como por tipo de secado en manta de polipropileno y en piso, con 0.440 y 0.366 mg kg^{-1}, fueron estadísticamente similares; asimismo, los niveles de Cd en el grano de cacao aromático por tipo de fermentación en cajón de madera y en saco de yute, con 0.350 y 0.263 mg kg^{-1}, así como por tipo de secado en manta de polipropileno y en piso, con 0.400 y 0.350 mg kg^{-1}, fueron estadísticamente similares.

- Los niveles de Cd en la testa de cacao CCN 51 por tipo de fermentación en cajón de madera y en saco de yute, con 0.616 y 0.420 mg kg^{-1}, así como por tipo de secado en manta de polipropileno y en piso, con 0.573 y 0.373 mg kg^{-1}, fueron estadísticamente similares; asimismo, los niveles de Cd en la testa de cacao aromático por tipo de secado en cajón de madera y en saco de yute, con 0.576 y 0.476 mg kg^{-1}, así como por tipo de secado en manta de polipropileno y en piso, con 0.500 y 0.436 mg kg^{-1}, fueron estadísticamente similares.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación se recomienda lo siguiente:

- Continuar la investigación para comprobar los resultados en nuestro ensayo, comparativamente en otras zonas productoras de cacao en la región.

- Difundir los resultados de la investigación a los productores de cacao del sector Neshuya, a efectos de minimizar los riesgos de exportaciones de cacao a otros países.

- Recomendar que, en los eventos de capacitación sobre los procesos de fermentación y secado se practique las Buenas Prácticas de Manufactura BPM, para garantizar la calidad del producto a exportar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aguilar, H. (2017). Guía de Buenas Prácticas de Poscosecha de Cacao. Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA La Lima, Cortés, Honduras.

Alianza Cacao Perú. (2018). Contenido de Cadmio en el grano de cacao. Taller Regional Ecuador Colombia y Perú. CIAT, Cali Colombia.

Álvarez, J. (2018). Acumulación de metales pesados (Pb y Cd) en almendras de cacao durante el proceso de fermentación y secado. Tesis Maestría. Escuela Superior de Turismo y Tecnología del Mar. Leiria Portugal.

Argüello, D.; Chávez, E.; Lauryssen, F.; Vanderschueren, R.; Smolders, E. & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *The Science of the Total Environment*, 649, 120–127.

Aybar, C.; Lavado Casimiro, W.; Sabino, E.; Ramírez, S.; Huerta, J. & Felipe-Obando, O. (2017). Atlas de zonas de vida del Perú – Guía Explicativa. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología. Lima Perú. 35 p.

Barrezueta, I.; Armijos, A. & Vega, E. (2021). Comparación de los niveles de Cadmio en hojas, testa y almendra en cultivares de *Theobroma* cacao L. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala-Ecuador.

Camacho, A. (2013). Aprendiendo e innovando acerca de la cosecha, fermentación y secado del cacao.

Codex Alimentarius. (2015). Normas internacionales de los alimentos.

COTAM. (2009). Comisión Técnica de la Cadena Alimentaria de la EFSA. Dictamen científico sobre la ingesta de Cadmio.

Cruz, D.; Gaitero, G. & Correa, L. (2021). Contenido de cadmio en el grano de cacao *Theobroma cacao* L. seco, obtenido en la fermentación con pre y sin pre escurrido, en San Vicente de Chucuri. In Revista CITECSA. Vol 13 N° 21. Colombia.

Chavarías. F. (2012). Nuevos niveles de Cadmio.

Chávez, E.; He, Z.; Stoffella, P.; Mylavarapu, R.; Li, Y. & Baligar, V. 2016. Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere*, 150, 57–62.

Del Águila, E. (2017). Determinación de cadmio y plomo en granos de cacao, frescos, secos y en licor de cacao (*Theobroma cacao*). Tesis Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María.

Florida, N. (2020). Revisión sobre Límites Máximos de Cadmio en Cacao (*Theobroma cacao* L.). La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, Vol. 34, N° 2, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Furcal-Beriguete, P. & Torres-Morales, J. (2020). Determinación de concentraciones de Cd en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. Tecnología en Marcha. Vol. 33-1.

Gutiérrez, R. & Gonzales, G. (2017). Evaluación de la aplicación de tecnologías para la fermentación y secado del cacao *(Theobroma cacao L)* tipo CCN- 51 y criollo en su porcentaje de fermentación y secado, en la provincia de Tambopata. Tesis Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Puerto Maldonado.

INIAP. (2015). Metales pesados en cacao, perspectivas y posible manejo. Disponible de:

http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf

Loayza, W. (2014). Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao (*Theobroma Cacao, L.)* de Satipo. Tesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 87 p.

López, A. & Hoyos, J. (2017). Determinación del contenido de Cadmio (Cd) en almendras de Cacao (Theobroma cacao l) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro-región Ucayali.

Meter, A., Atkinson, R. J. & Laliberte, B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. Bioversity International, Roma Italia.

Prieto, J., González, C., & Román, A. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes del suelo y aguas tropicales. Agrocosyst.

Quiroz, D. (2013). Comportamiento productivo, sanitario y de calidad en 12 clones de cacao (Theobroma cacao L.) en la zona Quevedo y Tenguel. Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.

Ramírez, D. (2018). Determinación de niveles de concentración de cadmio (Cd) en hojas de cacao (*Theobroma cacao* L) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro-Distrito de Irazola-Provincia de Padre Abad- Departamento de Ucayali.

Ramtahal, G.; Umaharan, P.; Hanuman, A.; Davis, C. & Ali, L. (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium

bioaccumulation in Theobroma cacao L. *The Science of the Total Environment*, 693-702.

Romero-Estévez, D.; Yánez-Jácome, G.; Simbaña-Farinango, K. & Navarrete, H. (2019). Distribution, contents, and health risk assessment of cadmium, lead, and nickel in bananas produced in Ecuador. *Foods*, 8(8), 1–11.

ANEXOS.

ANEXO 1.

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO – FERTILIDAD

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

INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ NESHUYA

REFERENCIA : H.R. 78348

FACTURA : 9204

FECHA : 15/12/2022

Número Muestra		pH	$CE_{(1:1)}$	$CaCO_3$	M.O.	P	K	$Al^{+3} + H^+$
Lab	Claves	(1:1)	dS/m	%	% .	ppm	ppm	meq/100
203	NH-1	4.55	0.10	0.00	1.15	5.3	37	0.55
204	NH-2	3.91	0.18	0.00	1.76	4.7	82	2.25

Número Muestra		Cd
Lab	Claves	ppm
203	NH-1	0.16
204	NH-2	0.58

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas · LASPAF · UNALM ·

Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe del Laboratorio

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

ANEXO 2.

INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR.

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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ NESHUYA

MUESTRA : GRANOS Y TESTA DE CACAO

REFERENCIA : H.R. 78343

FACTURA : 9204

FECHA : 05/12/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
3685	NH-1	0.44
3686	NH-2	0.45
3687	NH-3	0.39
3688	NH-4	0.46
3689	NH-5	0.38
3690	NH-6	0.45
3691	NH-7	0.41
3692	NH-8	0.37
3693	NH-9	0.42
3694	NH-10	0.67
3695	NH-11	0.49
3696	NH-12	0.69
3697	NH-13	0.53
3698	NH-14	0.38
3699	NH-15	0.41
3700	NH-16	0.36
3701	NH-17	0.43
3702	NH-18	0.33
3703	NH-19	0.29
3704	NH-20	0.46
3705	NH-21	0.35
3706	NH-22	0.61
3707	NH-23	0.62
3708	NH-24	0.49

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
3709	NH-25	0.29
3710	NH-26	0.28
3711	NH-27	0.22
3712	NH-28	0.53
3713	NH-29	0.47
3714	NH-30	0.43
3715	NH-31	0.35
3716	NH-32	0.39
3717	NH-33	0.31
3718	NH-34	0.52
3719	NH-35	0.69
3720	NH-36	0.52
3721	NH-37	0.35
3722	NH-38	0.39
3723	NH-39	0.31
3724	NH-40	0.45
3725	NH-41	0.40
3726	NH-42	0.46
3727	NH-43	0.34
3728	NH-44	0.35
3729	NH-45	0.51
3730	NH-46	0.56
3731	NH-47	0.49
3732	NH-48	0.45

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas LASPAF UNALM

Dr. Constantino Calderón Mendoza
Jefe de Laboratorio

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

ANEXO 3.

ANÁLISIS DE VARIANZA.

Tabla 13A

ANVA de grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera y en saco de yute.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.00106	0.00106	1.23	0.0329 ^{ns}
Error	4	0.00346	0.00086		
Total	5	0.00453			

CV =7.12 % R^2 = 0.23

Tabla 14A

ANVA Testa de grano CCN 51 fermentado en cajón de madera y en saco de yute.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0058	0.0580	8.64	0.042 *
Error	4	0.0268	0.0067		
Total	5	0.0848			

CV =15.81 % R^2 = 0.68

Tabla 15A

ANVA Grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y grano fermentado en saco de yute secado en piso.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0080	0.0080	1.17	0.33 ns
Error	4	0.0274	0.0068		
Total	5	0.0355			

CV =20.54 % R^2 = 0.22

Tabla 16A

ANVA Testa de grano de cacao CCN 51 fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y fermentado en saco de yute secado en piso.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0060	0.0060	15.25	0.017*
Error	4	0.0157	0.0039		
Total	5	0.0757			
	CV =13.24 %			R^2 = 0.79	

Tabla 17A

ANVA Grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera y en saco de yute.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0112	0.0112	7.23	0.05ns
Error	4	0.0060	0.015		
Total	5	0.0173			
	CV = 12.69%			R^2 = 0.65	

Tabla 18A

ANVA Testa de grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera y en saco de yute.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0150	0.0150	2.47	0.191
ns					
Error	4	0.0243	0.0060		
Total	5	0.0393			
	CV = 14.80%			R^2 = 0.38	

Tabla 19A

ANVA Grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y fermentado en saco de yute secado en piso.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	1.8150	1.8150	1.15	0.34 ns
Error	4	6.3214	1.5803		
Total	5	8.1364			
	CV = 139.6%			R^2 = 0.22	

Tabla 20A

ANVA Testa de grano de cacao aromático fermentado en cajón de madera secado en manta de polipropileno y fermentado en saco de yute secado en piso.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0060	0.0060	2.91	0.163 ns
Error	4	0.0082	0.0020		
Total	5	0.0142			
	CV = 9.70%			R^2 = 0.42	

ANEXO 4.

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS.



Figura 11A. Selección y colecta de suelo.



Figura 12A. Secado de la muestra de suelo.

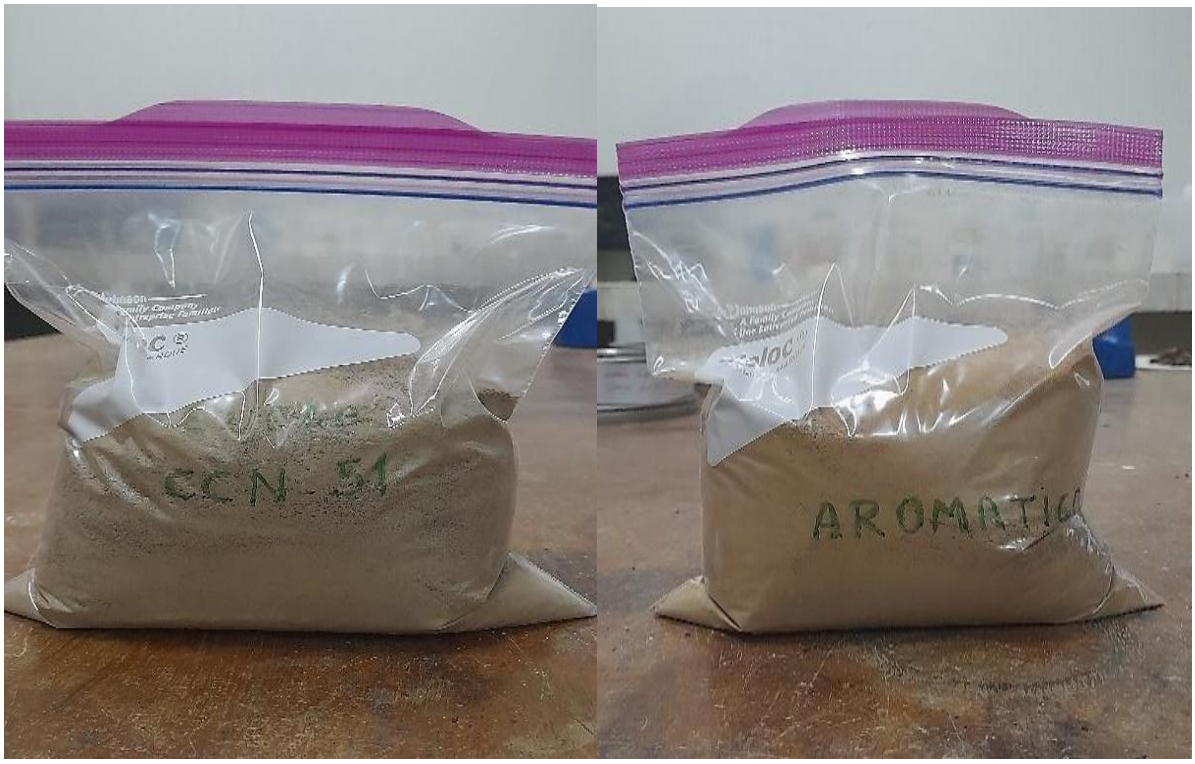


Figura 13A. Tamizado y etiquetado.



Figura 14A. Recolección de mazorcas de cacao (Cacao CCN51 y Cacao Aromático).



Figura 15A. Peso Cacao CCN51 y Cacao Aromático.



Figura 16A. Remoción cacao aromático fermentado en cajón de madera y saco de yute (2° semana).



Figura 17A. Cacao CCN 51 y cacao aromático fermentado en cajón de madera (3° semana).



Figura 18A. Peso del grano de cacao.



Figura 19A. Molienda del grano y testa de cacao en seco.



Figura 20A. Grano de cacao CCN 51 y Cacao Aromático por tipo de secado.