UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO (Cd) EN EL GRANO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) SEGÚN ELTIPO DE FERMENTACION Y SECADO EN EL C.P. TIERRA ROJA-CAMPO VERDE

Tesis para optar el Título Profesional de

Ingeniero Agrónomo

DANIEL TAMANI YUYARIMA

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 **DANIEL TAMANI YUYARIMA,** denominada**: "EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO (Cd) EN EL GRANO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) SEGÚN EL TIPO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL C.P. TIERRA ROJA - CAMPO VERDE",** 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 MAYORÍA** con el calificativo **DIECISEIS (16).**

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 de 2023.

.....	.....
Ing. Isaías González Ramírez Presidente	Ing. Silvia Paola Llapapasca García, M.Sc. Secretario
.....	.....
Ing. Jessica Madeley Ríos Guzmán, M.Sc. Miembro	Ing. María Adelaida Pilco Lozano, 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.

La presente tesis fue aprobada por los miembros del Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Ing. Isaías Gonzales Ramírez

Presidente

Ing. Silvia Paola Llapapasca García, M.Sc.

Secretario

Ing. Jessica Madeley Ríos Guzmán, M.Sc.

Miembro

Ing. María Adelaida Pilco Lozano, M.Sc.

Asesor

Bach. Daniel Tamani Yuyarima

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Nº V/0218-2023.

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe final de tesis, titulado:

"EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO (CD) EN EL GRANO DE CACAO (THEOBROMA CACAO L) SEGUN EL TIPO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL C.P. TIERRA ROJA-CAMPO VERDE"

Autor(es) : **TAMANI YUYARIMA, DANIEL**

Facultad : **CIENCIAS AGROPECUARIAS**

Escuela : **Agronomía**

Asesor(a) : **Mg. Pilco Lozano, Maria Adelaida**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud 6%.**

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: 26/04/2023

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, DANIEL TAMANI YUYARIMA

Autor de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO (Cd) EN EL GRANO DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.) SEGÚN EL TIPO DE FERMENTACIÓN Y SECADO EN EL C.P. TIERRA ROJA – CAMPO VERDE"

Sustentada el año: 2023

Asesor(a): ING. MARIA ADELAIDA PILCO LOZANO, M.Sc.

Facultad: CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional: AGRONOMIA

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: 13 / 11 / 2023

Email: Tamanidata@gmail.com Firma: [signature]

Teléfono: 956875440 DNI: 42653810

DEDICATORIA.

A Dios por brindarme la fuerza y fortaleza necesaria para poder lograr este gran anhelo.

A mis padres con mucho respeto y amor por el apoyo incondicional durante mi vida universitaria.

A mi hermana Maira por el apoyo moral en este logro importante de la etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali por ser la Institución formadora de mi carrera profesional y el apoyo financiero FOCAM.

A todos los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, por ser los forjadores de mi perfil profesional en los cinco años de estudio.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por el constante apoyo recibido.

Al equipo técnico del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

A mi asesora, M. Sc. María Adelaida Pilco Lozano, por el apoyo brindado durante el desarrollo del proyecto y al Ing. M. Sc. Antonio López Ucariegue, por su importante apoyo y colaboración desde el inicio hasta el final en la ejecución de este proyecto.

INDICE GENERAL.

		Pág.
	INDICE DE TABLAS	x
	INDICE DE CUADROS	xi
	INDICE DE FIGURAS	xii
	RESUMEN	xiii
	ABSTRACT	xiv
I.	INTRODUCCION	1
	Objetivos	2
II	REVISION DE LITERATURA	3
	2.1. Antecedentes de la investigación	3
	2.2. Marco teórico	5
	2.2.1. Origen de la especie	5
	2.2.2. Descripción botánica del cacao	6
	2.2.3. Variabilidad genética	6
	2.2.4. Condiciones edafoclimáticas	7
	2.2.5. Fenología de la planta	8
	2.2.6. Biología floral	8
	2.2.7. Cultivo	9
	2.2.8. Cosecha y rendimiento	10
	2.2.9. Poscosecha	12
	2.3. Características del grano	13
III.	MATERIALES Y METODOS	15
	3.1. Tipo de investigación	15
	3.2. Localización del ensayo	15

	3.3. Duración del trabajo de investigación	16
	3.4. Condiciones edafoclimáticas	16
	3.5. Materiales y equipos	16
	3.6. Identificación de las variables	17
	3.7. Operacionalización de las variables	18
	3.8. Población y muestra	23
	3.9. Población y muestra	23
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
	4.1. Contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute.	25
	4.2. Contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en manta.	27
	4.3. Contenido Cd total de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute secado en piso.	28
	4.4. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y secado en manta y fermentado y fermentado en saco de yute y secado en piso.	30
	4.5. Contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y secado en piso y grano fermentado en saco de yute y secado en manta.	32
V.	CONCLUSIONES	35
VI.	RECOMENDACIONES	36
VII.	LITERATURA CITADA	37
VIII.	ANEXOS	39
IX.	ICONOGRAFIA	41

INDICE DE TABLAS.

		Pág.
Tabla 1.	Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento.	17
Tabla 2.	Peso de granos de cacao	21
Tabla 3.	Codificación de las muestras de grano para su análisis total por Cd total.	22
Tabla 4.	Análisis de variancia ANVA	23
Tabla 5.	Croquis de distribución de tratamientos y repeticiones.	24

INDICE DE CUADROS.

		Pág.
Cuadro1.	ANVA de grano fermentado de cacao en cajón de madera y en saco de yute.	25
Cuadro 2.	ANVA para contenido de Cd total en grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en manta.	27
Cuadro 3.	ANVA de contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en piso.	29
Cuadro 4.	ANVA de contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y secado en manta y fermentado en saco de yute y secado en piso.	31
Cuadro 5.	ANVA de contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y secado en piso y grano fermentado en saco de yute y secado en manta.	33

INDICE DE FIGURAS.

		Pág.
Figura 1.	Ubicación satelital de experimento (Fuente Google eart)	15
Figura 2.	Contenido de Cd por el tipo de fermentación de grano de cacao.	26
Figura 3.	Contenido de Cd total en grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en manta.	28
Figura 4.	Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en piso.	30
Figura 5.	Contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y secado en manta y grano fermentado en saco de yute y secado en piso.	31
Figura 6.	Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y secado en piso y grano fermentado en saco de yute y secado en manta.	33

RESUMEN.

El estudio fue desarrollado de una parcela de cacao clon CCN 51 de 8 años de edad ubicada en el distrito de Campo Verde Ucayali, con el propósito de determinar el contenido de Cd total en el grano de cacao por el tipo de fermentación (en cajón de madera y en saco de yute) y el tipo de secado (en manta y en piso), bajo un diseño completo al azar con 6 tratamientos y 3 repeticiones comparando en todos los casos, las combinaciones de tipo de fermentación y tipo de secado. Los resultados indican que, no existe diferencias estadísticas cuando se evaluó el tipo de fermentación, correspondiendo valores de 0,31 y 0,28 mg de Cd kg^{-1} para grano fermentado en saco de yute y grano fermentado en cajón de madera, respectivamente. Pero si, se presentaron diferencias significativas cuando se fermentó el grano de cacao en cajón de madera y secado en manta con 0.36 mg kg^{-1}, comparado con 0.31 mg de Cd kg^{-1} para grano fermentado en saco de yute y secado en manta. Igualmente, el contenido de Cd total en grano de cacao fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en piso en ambos casos, determinó diferencias estadísticas con 0,34 y 0.26 mg de Cd kg^{-1}, cada uno. Por otro lado, se presentaron diferencias significativas cuando se comparó la fermentación de grano de cacao en cajón de madera y secado en manta, con la fermentación de grano en saco de yute secado en piso, con 0.37 y 0.26 mg de Cd kg^{-1}, cada uno. Finalmente, hubo diferencias significativas con 0,34 mg de Cd kg^{-1}, cuando fue fermentado en cajón de madera y secado en piso, y de 0.26 mg de Cd kg^{-1}, para grano fermentado en saco de yute y secado en manta.

Palabras claves: cacao, grano, Cd total, tipo, fermentación, secado.

ABSTRACT.

The assay was carried in an 8-year-old clone CCN 51 cocoa plot located in the Campo Verde Ucayali district, with the purpose of determining the total Cd content in the cocoa bean by the type of fermentation (in wood and jute bags) and the type of drying (blanket and floor), under a complete random design with 6 treatments and 3 repetitions, comparing in all cases, the combinations of type of fermentation and type of drying. The results indicate that there were no statistical differences when the type of fermentation was evaluated, corresponding values of 0.31 and 0.28 mg of Cd kg^{-1} for grain fermented in jute bags and grain fermented in wooden crate, respectively. In contrast, there were significant differences when the cocoa bean was fermented in a wooden crate and dried on a blanket with 0.36 mg kg^{-1}, compared to 0.31 mg of Cd kg^{-1} for beans fermented in jute bags and dried on a blanket. Similarly, the total Cd content in cocoa beans fermented in a wooden crate and in a jute bag and dried on the floor in both cases, determined statistical differences with 0.34 and 0.26 mg of Cd kg^{-1}, each one. On the other hand, there were significant differences when comparing the fermentation of cocoa beans in wooden crate and dried on a blanket, with the fermentation of beans in jute bags dried on the floor, with 0.37 and 0.26 mg of Cd kg^{-1}, each. Finally, there were significant differences with 0.34 mg of Cd kg^{-1}, when it was fermented in a wooden crate and dried on the floor, and 0.26 mg of Cd kg^{-1}, for grain fermented in jute bags and dried on a blanket.

Keywords: cocoa, grain, total Cd, type, fermentation, drying.

I. INTRODUCCION.

El cultivo de cacao en la región representa un rubro agrícola muy importante para las pequeñas familias asentadas en el eje de la carretera Federico Basadre, que han apostado como un cultivo alternativo y que genera ingresos económicos, así como bienestar familiar.

Sin embargo, esta actividad económica puede ponerse en riesgo por la contaminación de metales pesados y al uso de plaguicidas, según varios autores al contenido de Cd, aunque también otros autores mencionan que, probablemente es debido al manejo poscosecha, específicamente en las labores de fermentación y secado (Camacho, 2013).

Desde la publicación de la norma de la Unión Europea sobre los límites máximos de Cd en el grano y productos derivados del cacao que fueron aceptados a partir del 1 de enero del 2019, han sido varios los esfuerzos nacionales y de apoyo internacional para generar metodologías y procesos con el propósito de establecer si el suelo y el grano de cacao son expuestos a la contaminación de metales pesados.

La Asociación Mesoamericana de Cacao y Chocolate Finos AMACACAO (2017), señala que una de las maneras de minimizar el contenido de Cd, consiste en dejar limpio el material podado y los restos de la mazorca, evitar regar con agua contaminada, incrementar el porcentaje de materia orgánica en el suelo, y cultivar variedades de cacao con niveles mínimos de acumulación.

Por ello, resulta importante desarrollar investigaciones que permitan bajar los niveles de Cd en los granos de cacao a través de cambios en los métodos de procesamiento post cosechas tradicionales de fermentación, secado, tostado y descascarillado.

Objetivo general.

Determinar el contenido de Cd en el grano de cacao clon CCN 51, según el tipo de fermentación y tipo secado de grano de una parcela de cacao, ubicada en el Centro Poblado Tierra Roja- Campo Verde.

Objetivos específicos

Evaluar el contenido de Cd en el grano de cacao clon CCN 51, según el tipo de fermentación de grano en una parcela de cacao de 8 años, ubicada en el Centro Poblado Tierra Roja Campo Verde.

Evaluar el contenido de Cd total en el grano de cacao clon CCN 51, según el tipo de secado de grano en una parcela de cacao de 8 años, ubicada el Centro Poblado Tierra Roja Campo Verde.

.

II. REVISION DE LITERATURA.

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

Barrezueta *et al* (2021), señala que la concentración elevada de cadmio (Cd) en los granos de cacao por encima del nivel máximo permitido (0.5 mg/kg) viene preocupando a los productores del cacao ecuatoriano que exportan a los mercados internacionales. Por ello, realizó un estudio en tres parcelas de cacao, cuyos suelos son ácidos a moderadamente ácido, con el propósito de establecer los niveles de Cd presente en hojas, testa y almendra de cacao en los genotipos Nacional y CCN51. Los resultados demuestran que, los valores de Cd varían entre 0.36 a 2.59 mg kg^{-1} en las hojas, 1.15 a 2.36 mg kg^{-1} en la testa del grano y entre 1.15 a 1.93 en la almendra de cacao, siendo el pH del suelo, el principal factor que pudo incidir en los valores de Cd en las tres parcelas de cacao.

En Costa Rica, Furcal y Torres (2020), desarrollaron un ensayo en Costa Rica con el propósito de encontrar concentraciones de Cd en suelo, raíz, hoja y en grano seco no fermentado de cacao en dos regiones productoras de este cultivo en el país. Los resultados indicaron que, parte de la producción de cacao se encuentra localizada en un entorno donde la raíz y la hoja pueden bioacumular este metal y transferirlo a la mazorca, cuyas concentraciones en el grano oscilaron entre 0 a 8.7 mg kg^{-1}.

Por otra parte, Álvarez (2018), investigando sobre la acumulación de metales pesados durante los procesos de fermentación y secado del grano de cacao en el Instituto Politécnico de Leiria (Portugal), encontraron que, los niveles de Cd fueron 0.89, 0.73 y 0.95 mg.kg^{-1} para el mucílago, fermentado y para la almendra, encontrándose por encima de los límites establecidos en las normas del Reglamento (CE) Nº 1881/2006.

A nivel nacional

Florida (2021), señala que, el Cd tiende a bioacumularse en los granos de cacao, afectando la salud humana y sus posibilidades de comercialización, evidenciándose altos niveles del metal pesado, especialmente cuando la Unión Europea reguló el nivel permisible en productos procesados del cacao (Reglamento CE N° 488/2014), el cual no estipula límites máximos para el cacao sin procesar, lo que determinó que se produzcan sobredimensionamientos en los niveles del metal, controversias en el mercado y retroceso en la sustitución de cultivos ilegales en la región amazónica, por lo cual, el autor sugiere propuestas para establecer límites máximos del metal pesado en los granos de cacao sin procesar, que van entre 1.12 a 2.29 mg kg^{-1} de Cd total.

De igual modo, Florida *et al* (2019), desarrollaron un ensayo, cuyo objetivo fue medir la influencia del pH del suelo en los niveles de absorción del Cd en granos de cacao CCN-51 en la provincia Leoncio Prado – Huánuco, seleccionándose 20 parcelas de cacao de los socios de la Cooperativa Cacao Alto Huallaga, que cumplieron con todas las normas y técnicas de producción orgánica. Se analizaron 20 muestras de suelos y de almendras, los resultados muestran que el pH promedio del suelo fue de 5.68; el Cd disponible en el suelo fue de 0,32 µg g^{-1} y el contenido de Cd en las almendras de cacao de las muestras analizadas arrojó 0,98 µg g^{-1}.

A nivel regional y local

Marín (2022), evaluó la influencia del método de limpieza (MLP) con fertilización orgánica e inorgánica en la remediación del contenido de Cd en el suelo y granos de cacao en Ucayali, mediante los siguientes tratamientos: (T1) sin MLP + manejo orgánico, (T2) con MLP + orgánico, (T3) sin MLP + manejo inorgánico y (T4) con MLP + manejo inorgánico, bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Los resultados indican que, ninguno de los tratamientos tuvo influencia en el nivel de Cd en el suelo de las parcelas evaluadas a los 10, 20 y 40 cm de profundidad, a los 30, 60 y 120 días de evaluación, sin embargo, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos T2, T3 y T4 frente al testigo (T1) a los 60 días de evaluación. lo que indica que el MLP si influye en el contenido de Cd en el suelo.

Marco teórico.

2.1.1. Origen de la especie.

Investigaciones recientes establecen que el cacao se originó en América del Sur y más tarde fue introducido por el hombre en América Central. De este modo, el cacao se ha cultivado en América Central desde la época precolombina. Al tipo de cacao cultivado en esta región se le llamó criollo; a las poblaciones de cacao de la cuenca del Amazonas se les llamó forastero. El tipo forastero comúnmente fue cultivado hasta 1950, fue nombrado “amelonado”. Datos históricos muestran que el cacao trinitario se originó en Trinidad, como resultado de la hibridación natural entre criollo y amelonado forastero. La clasificación del cacao en criollo y forastero no tiene base genética y fue hecha simplemente con los términos utilizados por los productores de cacao venezolano de la zona costera central. En América Latina se han llevado a cabo expediciones de recolección de germoplasma, aunque gran parte de este germoplasma no ha sido significativo en la mejora genética del cacao, debido a la poca caracterización y al desconocimiento de las relaciones entre materiales. El origen, la clasificación y la diferenciación de la población dentro de las especies se pueden comprender con la expresión de 1241 accesiones que cubren un amplio muestreo geográfico, que fueron genotipificadas con 106 marcadores microsatélites. Entre ellos se encuentran el Marañón, el Curaray, el criollo, el Iquitos, el Nanay, el Contamana, el amelonado, el Purús, el Nacional y el Guayana como grupos genéticos, y en oposición a los dos grupos tradicionalmente reconocidos dentro de T. cacao. Esta nueva clasificación refleja con mayor precisión la diversidad genética que ya está disponible para los agricultores, en lugar de la clasificación tradicional como criollo, forastero o trinitario. Existen propuestas de diferentes autores en establecer nuevos esquemas de cruzamientos basados en combinaciones heteróticas; es decir, relacionados con el alto grado de diferenciación de la población establecida. Así como, en utilizar la nueva clasificación en un esfuerzo por conservar, gestionar y explotar los recursos genéticos de cacao, por parte de los encargados de germoplasma y los genetistas. (Arévalo, 2017)

2.1.2. Descripción botánica del cacao.

Theobroma cacao es un árbol o arbusto semicaducifolio glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. De corteza oscura (generalmente, de color gris-café) con ramas cafés y finamente vellosas. Las hojas son coriáceas simples (con limbo duro y espeso), enteras, angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras y de aproximadamente 17 a 48 cm de largo, con 7 a 10 cm de ancho. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada y con un ápice largamente apiculado. El pecíolo es de aproximadamente 14 a 27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas. Las inflorescencias son caulinares (se originan del tallo) y cimosas o cerradas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, y de 10 a 20 mm de diámetro, con un pedúnculo floral de 1 a 3 cm de largo. Los sépalos son blancos o rosa claros, de 5 a 8 mm de largo y de 1.5 a 2 mm de ancho, angostamente lanceolados, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, de 6 a 9 mm de largo, libres, amarillentos, con dos o tres nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, recurvos y apiculados. Los estambres son 10 y lineares: cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios. Todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo. Los estambres fértiles son de 2,5 a 3 mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y 6.5 a 7.5 mm de largo. El ovario es de 2 a 3 mm de largo, anguloso ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6, 12 o 16 óvulos por fila. El fruto es una baya grande (mazorca), polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, con medidas de 10, 20 o 35 cm de largo y 7 cm ancho, con 200 a 1000 gr de peso y con 5 a 10 surcos longitudinales. El endocarpo es de 4 a 8 mm de grosor, duro, carnoso, y leñoso. Las semillas son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas. Con medidas de 20, 30 y hasta 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de grosor. (Maroto, 2017)

2.1.3. Variabilidad genética.

La especie *Theobroma cacao* comprende una gran variedad de formas y poblaciones muy diferentes. Para la caracterización de las formas y cultivares hoy se utilizan, aparte de características morfológicas (por ejemplo, flores),

características agronómicas (por ejemplo, resistencia a enfermedades, forma del fruto y tamaño del grano) y moleculares (isoenzimas); así como, con frecuencia, marcadores genéticos. Las formas de cacao se clasifican tradicionalmente en tres grupos genéticos, como ya se mencionó: criollo, forastero y trinitario. Particularmente, el grupo forastero abarca una alta variabilidad genética, mientras que las formas criollo son genéticamente más estrechamente definidas. el grupo trinitario comprende híbridos entre los dos primeros grupos (Montoya, 2017).

La hibridación es posible tanto entre diferentes formas dentro de la especie como también entre especies diferentes del género Theobroma. Hibridación interespecífica e injertos son considerados como estrategias potenciales para el desarrollo de nuevos cultivos de cacao. Theobroma cacao es una especie característica dentro del género Theobroma y es la única especie de la sección Theobroma, una de las seis secciones del género. Esta especie (Theobroma cacao) es la única que posee altas cantidades de teobromina y cafeína en las semillas maduras (Montoya, 2017).

2.1.4. Condiciones edafoclimáticas.

La temperatura para el cultivo de cacao es un factor de mucha importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación. En Perú la media anual debe estar alrededor de los 23 °C a 32 °C, con precipitaciones óptimas de 1600 a 2500 mm anuales. Se indica que en Perú las precipitaciones que excedan los 2600 mm pueden afectar la producción del cultivo de cacao. En el Perú, el cacao crece mejor en las zonas tropicales cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud, sin embargo, en latitudes cercanas al ecuador las plantaciones se desarrollan normalmente en mayores altitudes, desde los 1000 a los 1400 msnm. El cultivo presenta necesidades de humedad relativa anual promedio de entre el 70% y 80%. Además, es apropiado para suelos aluviales, francos y profundos con subsuelo permeable de fácil penetración por parte de la raíz pivotante y una adecuada profundidad, además se deben buscar suelos negruzcos que presenten menos lixiviación. Los principales departamentos productores de cacao de Perú son Cusco, Ayacucho, Amazonas, Junín, Ucayali, San Martín, Huánuco y Cajamarca. (Gonzáles, 2017)

2.1.5. Fenología de la planta.

A los 3 a 4 días después de la siembra de las semillas, se ve normalmente la emergencia de raíces primarias o pivotantes blanquecinas, las que después de 15 a 20 días alcanzan una profundidad de 10 a 15 cm. Las plántulas muestran primero un crecimiento no ramificado hasta una altura de 1 a 2 m, antes de que la primera ramificación toma lugar. El tallo principal es corto y se ramifica en verticilos. Los ejes crecen vertical u horizontalmente. En plantas juveniles, los nuevos ejes verticales se pueden originar en cualquier posición del eje principal. Normalmente, estos se forman debajo de la primera horqueta. Las plantas adultas forman a veces nuevos chupones en ejes verticales bien desarrollados. Las plantas de cacao obtenidas de semilla están completamente desarrolladas después de cada 10 años. Las plantas comienzan a florecer y fructificar después de 3 a 4 años desde la siembra. La cosecha máxima se alcanza después de 6 a 7 años. Incluso cuando las plantas de cacao pueden alcanzar 20 m de altura en condiciones deficientes de luz, en cultivo alcanzan normalmente sólo 4 a 8 m de altura. Las hojas se forman en 4 a 5 fases de despliegue foliar y alcanzan su actividad fotosintética total entre 4 a 5 meses. Después de 1 año, en promedio, caen. El sistema radicular pivotante alcanza una profundidad de 120 a 200 cm (Delgado, 2017)

2.1.6. Biología floral.

Las primeras flores aparecen en el tallo de las plantas de cacao uno o dos años después de que el tallo se ha lignificado. Las flores forman inflorescencias que se originan a partir de botones axilares de las hojas caducas. Las plantas adultas de cacao pueden, dependiendo de las condiciones climáticas, producir flores y frutos durante todo el año, cuando no se presentan periodos secos extremos o oscilaciones térmicas muy pronunciadas. Normalmente, las plantas muestran uno o dos periodos de mayor fructificación. El cacao produce una gran cantidad de flores, de las que sólo un 0.5 a 5% son polinizadas y producen frutos. Casi el 60 % de las flores cae después de 48 horas sin ser fertilizadas. La apertura de los botones se produce generalmente en la tarde y la antesis finaliza a la mañana siguiente. El cacao tiene polinización cruzada (xenogámico) y posee un complejo sistema de autoincompatibilidad. En cultivo, sin embargo, las plantas pueden a veces ser autocompatibles. La polinización es relativamente

inespecífica, es realizada por varios insectos, por ejemplo, trips, hormigas, áfidos y mosquitos pequeños. Después de una polinización exitosa, la fructificación se inicia dentro de 36 horas, los pétalos se caen y después de 72 horas los ovarios ya están hinchados. La autoincompatibilidad puede manifestarse incluso unas semanas después de la fructificación, llevando a la caída de los frutos. La duración del desarrollo del fruto es 150 a 180 días hasta que está totalmente maduro y depende principalmente del cultivar y la procedencia (Delgado, 2017).

2.1.7. Cultivo.

El cacao puede ser cultivado tanto como monocultivo, así como en plantaciones forestales y en cultivos frutales intercalados. Tradicionalmente, el cacao se cultiva a la sombra de bosques raleados o en remanentes de bosque y se mantiene más o menos la estructura natural del bosque. La composición botánica de los árboles de sombra es, por lo tanto, compleja y diferente en cada región. Cultivos intercalados se practican, por ejemplo, en coco, caucho, nueces de areca, canela y plantaciones frutales de todo el mundo. También se practica el cultivo en combinación con especies arbóreas madereras y con leguminosas arbóreas. En parte, se utilizan en estas modalidades de cultivo más de tres especies de plantas en un mismo cultivo. Se asume hoy en día que el cultivo intercalado y el manejo forestal, más allá de la función de sombreado, disminuye la aparición de enfermedades del cacao, mantiene la fertilidad natural del sistema de producción, compensa los periodos secos y fomenta el mantenimiento de la biodiversidad

El cultivo de cacao en monocultivos, es decir, cultivos intensivos sin sombreado, se realiza especialmente en África occidental sobre bosques talados o terrenos de barbecho. La instalación de las plantaciones se efectúa normalmente con sombreado temporal, por ejemplo, matas de plátano o leguminosas diversas (por ejemplo, *Gliricidia sepium*, *Inga* spp., *Albizia* spp.). Si bien el cacao es un árbol tolerante a la sombra y se cultiva tradicionalmente bajo árboles de sombra, algunos estudios muestran que un sombreado muy intenso (árboles de sombra y autosombreado) no sólo disminuye el rendimiento, sino que también favorece la aparición de enfermedades. La plantación se realiza al comienzo del periodo de lluvias, con suficiente humedad en el suelo.

Protección del viento y sombreado son condiciones esenciales para el establecimiento de la plantación. Matas de plátano se plantan frecuentemente para el sombreado en los primeros años y para la generación de ingresos durante la fase de establecimiento de la plantación. La distancia entre plantas de cacao depende fuertemente del tipo de cultivo y oscila entre 2.5 x 2.5 m y 5 x 5 m. La densidad de plantas corresponde por lo tanto a 750 a 1500 plantas por ha. En cultivos mixtos con otras especies, la densidad de plantas puede llegar a sólo 400 a 600 plantas por hectárea. En Asia el promedio es de 1 000 plantas ha^{-1}. Los cuidados culturales del cacao comprenden, aparte de la fertilización y la remoción de malezas, una poda regular de los árboles de cacao. Para la fertilización se emplean frecuentemente fertilizantes comerciales (NPK) incluyendo micronutrientes (Fe, Zn, B) en una cantidad aproximada de 500 kg ha^{-1} $año^{-1}$. La plantación también se apoya con fertilizantes orgánicos (estiércol). El uso prolongado de fertilizantes químicos sintéticos lleva, sin embargo, a un empobrecimiento del suelo y a un empeoramiento de la estructura edáfica, que puede prevenirse por medio de la utilización de fertilizantes orgánicos. En relación con las podas, se remueven los ejes más delgados y los que se han secado. La poda también determina el tamaño de las plantas de cacao y debe adaptarse a las prácticas locales de manejo y cosecha. La remoción de ejes verticales no productivos (chupones), que normalmente se originan por debajo de la primera ramificación (horqueta), favorece la formación de frutos y facilita el control de plagas. También los ejes entrecruzados deben removerse para asegurar una entrada de luz uniforme. La remoción de malezas se realiza manualmente, con herbicidas o se cortan y son posteriormente utilizadas para el acolchado o “mulching” del cacao. Las malezas son particularmente importantes en los primeros años, hasta que las copas forman una cobertura continua. (Weigend, 2011).

2.1.8. Cosecha y rendimiento.

Los frutos completamente maduros se cosechan generalmente entre los 5 a 6 meses después de la floración. La maduración completa se identifica a través del cambio de color en el fruto. Preferiblemente se coordina la época de cosecha con el periodo seco. Los frutos se cosechan manualmente, donde el pedúnculo

se corta cuidadosamente con un cuchillo afilado, sin dañar la corteza del árbol ni los brotes cercanos. Frutos inmaduros, sobre maduros y dañados se dejan aparte. Las plantas tienen frecuentemente dos periodos principales de fructificación, incluso cuando las plantas de cacao producen frutos todo el año. Después de la cosecha los frutos se transportan a un lugar central. Los frutos cerrados se almacenan por no más de 4 días, antes de que sean abiertos. Los frutos se abren con la ayuda de un mazo de madera (el machete o elementos filosos pueden dañar las semillas) y las semillas (granos de cacao) se desprenden manualmente. Aquí también se separan los granos que estén dañados, germinados o inmaduros, así como los infectados por hongos. Se han desarrollado máquinas para esta tarea, aunque en sistemas productivos campesinos de pequeña escala se realiza manualmente. Las cubiertas de los frutos se utilizan nuevamente para la fertilización de las plantaciones. La cosecha promedio es de 300 kg ha^{-1}. En ensayos de campo controlados se han alcanzado hasta 3000 kg ha^{-1}. Los montos anuales de precipitación son el factor climático más importante y tiene una gran influencia en la producción. Esto es válido especialmente para los montos de precipitación durante los meses más secos. Un estudio de modelamiento actual menciona la cantidad de luz y la tasa fotosintética, la respiración y la morfología del fruto como factores adicionales importantes que influencian los montos de cosecha. Además, en estos modelos, el 70% de la variabilidad de los montos de cosecha anuales pueden ser predichos sobre la base de la radiación solar y los montos de precipitación en los dos meses más secos. Los productores de cacao en la región de Cajamarca (y en realidad, de todos los productores en general del Perú) esperan lograr mejores precios por su producto, tecnificar el proceso de transformación, encontrar mayores mercados para el chocolate e incrementar su rendimiento por hectárea haciendo uso de técnicas agroecológicas. Dentro de los problemas reconocidos se encuentran los bajos precios, tanto del cacao como del chocolate; no contar con infraestructura adecuada para la transformación, el escaso conocimiento en buenas prácticas de manufactura y la seguridad laboral en el proceso; asimismo, tener escaso conocimiento en el mercado interno y nulo conocimiento en el mercado internacional (oferta, demanda y condiciones) y desconocimiento sobre las plagas y enfermedades del cacao. (Dostert, 2011).

2.1.9. Poscosecha.

La cosecha y los procesos de poscosecha son decisivos en la calidad del cacao y deben ser realizados de forma inmediata y muy controlada. El aroma y contenido de polifenoles de los productos del cacao no dependen únicamente del cultivar, sino también, en gran medida, de la fermentación, el secado y el posterior tostado. Procesos de poscosecha no controlados pueden llevar a granos germinados o mohosos y con ello a una alta pérdida de calidad. La poscosecha comprende la fermentación, el secado y el almacenamiento de los granos de cacao. La forma como se llevan a cabo estos procesos puede ser muy diferente entre distintos agricultores y depende del lugar y de las condiciones climáticas. A través de la fermentación no sólo se forman los aromas importantes, sino que también se previene la germinación de las semillas, se remueven los restos de fruto y se ablanda la testa, lo cual facilita el procesamiento posterior. Durante la fermentación, la masa de los granos de cacao se dispone de tal manera que por un lado están bien aislados y el calor se conserva, mientras que, por el otro lado, es posible la ventilación. El proceso de fermentación demora 5 a 7 días y la duración depende del cultivar, de la temperatura ambiente y el perfil de temperaturas, así como de la calidad de los granos. La fermentación de los granos de los cultivares Criollo es normalmente más rápida y puede terminarse después de 2 a 3 días. La fermentación comienza con las levaduras y bacterias presentes que descomponen la parte carnosa del fruto alrededor de las semillas y transforman los azúcares en alcohol. Con bajas cantidades de grano se puede agregar también levadura fresca de panificación para favorecer la fermentación. En los primeros dos días la fermentación sube la temperatura, generalmente, hasta 40 a 45 °C. Los granos deben tornarse (revolverse) regularmente (cada día o cada dos días), de modo que se asegura una fermentación y temperatura uniformes. El secado detiene el proceso de fermentación y en la mayoría de los casos se lleva a cabo al sol sobre superficies de madera/bandejas de secado o sobre suelos de cemento. El secado al sol es simple, económico y muy efectivo. Las semillas se disponen de tal manera que forman una capa lo más delgada posible y se secan lentamente hasta alcanzar un contenido de humedad residual de 6 a 7.5%. El proceso de secado no debe ser demasiado lento, ya que los granos pueden pudrirse. Las superficies de secado deben protegerse contra las lluvias y la entrada de roedores o aves, para

prevenir la aparición de agentes patógenos (por ejemplo, Salmonella). El secado demora normalmente, dependiendo de las condiciones climáticas, entre 7 a 14 días. En parte también se utilizan secadores eléctricos o a gas propano, que secan a una temperatura máxima de 45 °C. Especialmente cuando la cosecha de los granos de cacao coincide con el periodo de lluvias, se recomienda la utilización de una instalación de secado. Temperaturas demasiado altas y secado más rápido, sin embargo, les dan a los granos de cacao un sabor ácido y amargo. En el uso de fuego a leña para el secado de los granos se debe poner atención a que el humo no entre en contacto con los granos, ya que ello deja un sabor ahumado a los granos. El término del secado puede determinarse a través de un simple test de quiebra del grano. Cuando los granos se quiebran al presionarlos con los dedos, entonces significa que están totalmente secos. Sin embargo, un mejor indicador es cuando los granos son cortados con un cuchillo y los cotiledones se desprenden fácilmente. Después del secado, los granos de cacao se deben almacenar en cestas o en sacos nuevos (normalmente sacos de yute). Los granos de cacao son muy sensibles y, debido a su alto contenido de grasas adquieren muy rápidamente los aromas del ambiente. Los sacos y los cestos deben ser, por lo tanto, almacenados en ambientes limpios sin contacto con el suelo o las paredes. También se deben mantener estrictamente separados de maíz, tabaco u otros alimentos.

2.3. Características del grano de cacao.

Los granos del cacao cuándo se extraen de la mazorca presentan un color blanquecino las cuales oscilan entre 20 a 40 semillas por mazorca y sumergidas en una pulpa mucilaginosa y de un sabor dulce de los cuales son puestos en los ambientes necesarios para su respectivo proceso de fermentación y secado, antes del empaque de los granos, se hace una selección donde se eliminan todas las impurezas, como basura, granos partidos, mohosos, pegados, vanos y pequeños. Esto puede hacerse de forma manual o con seleccionadores de granos de tal manera que solo queden seleccionados los granos sanos aptos para la venta. Los granos de cacao son muy ricos en antioxidantes además contienen vitaminas y minerales que tienen propiedades antiinflamatorias y antialergénicas. La pulpa contiene fibra, glucosa y sacarosa, vitaminas A, B1, B2, C, niacina y minerales como magnesio, cobre, cromo, manganeso, zinc,

hierro, fósforo y calcio y una gran cantidad de antioxidantes que protegen las células de radicales libres, previniendo enfermedades.

Los granos de cacao contienen de un 50 a un 58% de grasas, de las cuales el 97% son triacilglicéridos. Los triacilglicéridos constan de 24 a 27% de ácido palmítico, 33 a 36 % de ácido esteárico y 33 a 38 % de ácido oleico y cantidades bajas de ácido linoleico que es 2.4 a 3.8 %. La composición de estos ácidos grasos depende de diferentes factores como la variedad de la semilla de cacao, la temporada de crecimiento y el método de cultivo.

En otro aspecto son las proteínas que constituyen el 10-15% del peso seco de los granos de cacao sin fermentar. Las proteínas más importantes son la albúmina, prolamina, globulina y gluteína. Estas macromoléculas son la fracción de cacao que presentan la modificación más intensa en el proceso de fermentación, donde las reacciones conducen a una degradación extensa de la semilla del cacao, produciendo péptidos y aminoácidos que son los precursores importantes del sabor.

Los carbohidratos principales que encontramos en los granos secos de cacao fermentado son almidón y celulosa. Los carbohidratos solubles incluyen glucosa, fructosa, sacarosa, rafinosa y estaquiosa. La sacarosa se hidroliza parcialmente durante la fermentación, proporcionando azúcares reductores precursores del desarrollo del aroma durante el tostado. Por otro lado, la fracción de fibra, aparte de contener celulosa, también tiene pentosas (1.5%), galactanos y polímeros de ácido galacturónico. Las fibras se concentran en las cáscaras de cacao.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación fue experimental, dado a que se manipuló las variables independientes para determinar la veracidad de la hipótesis planteada respecto a la variable dependiente.

3.2. Localización del experimento.

El experimento se desarrolló en la parcela de cacao de propiedad de la productora Rosmilda Orizano Quispe ubicada en el Centro Poblado Tierra Roja en el distrito de Campo Verde; con las siguientes coordenadas geográficas:

Longitud: 74°48´2.3¨ 0
Latitud: 8°36´27.3¨ S
Altitud: 191 msnm.

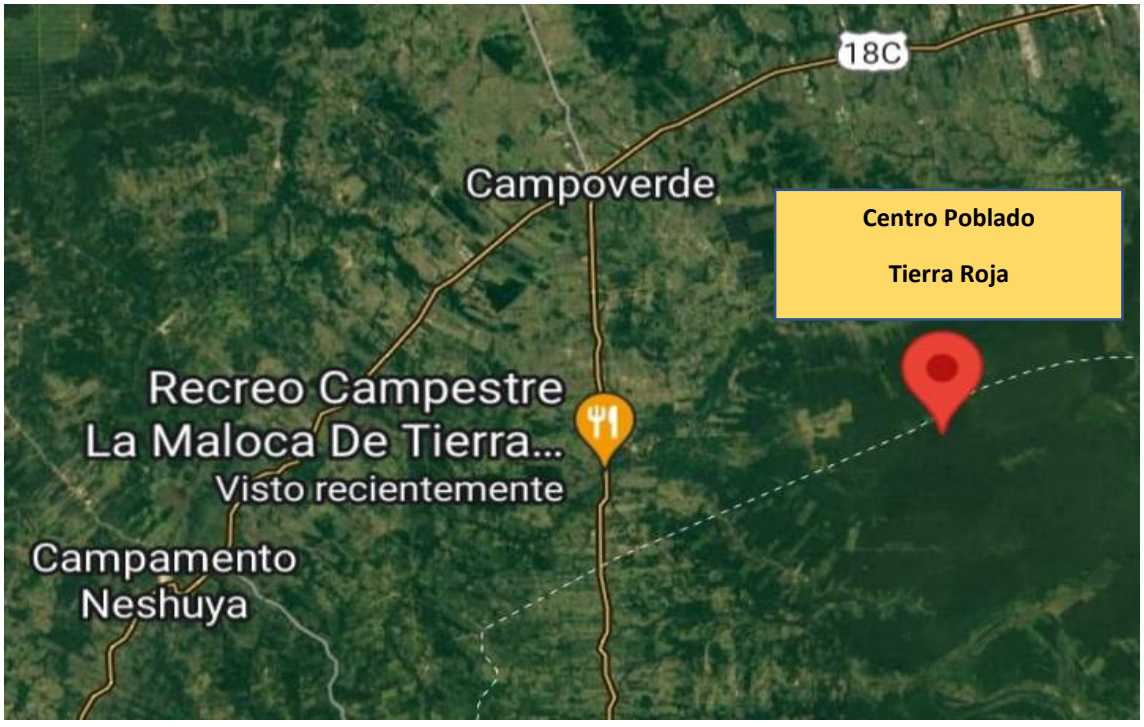


Figura 1. Ubicación satelital del experimento (Fuente: Goggle eart).

3.3. Duración del ensayo.

La investigación tuvo una duración de seis (06) meses, empezando en el mes de julio y terminando en el mes de diciembre del año 2022.

3.4. Condiciones edafoclimáticas del ensayo.

La zona de estudio se encuentra clasificada como bosque tropical, casi siempre verde estacional, se caracteriza por ser cálido, húmedo y lluvioso, temperatura media anual de 26,9°C con muy poca variación; humedad relativa: 75% y una precipitación anual promedio de 1,773 mm (Aybar et al, 2017).

El nivel de fertilidad del suelo donde se siembra el cacao presenta un pH extremadamente ácido (4,42), bajo en materia orgánica (2,50 %), así como en la disponibilidad de P (8,8 ppm) K (53 ppm) y Ca (0.48 ppm), mientras que la concentración de Al + H fue de 0.90 meq/100 g de suelo. (Fuente: Anexo 01)

3.5. Materiales y equipo.

Una muestra de suelo a 20 cm de profundidad
20 mazorcas de cacao clon CCN 51
Cuatro cajones fermentadores
Cuatro listones de madera
Sacos de polietileno
Sacos de yute de 50 kg
2 metros de mantas de polietileno
5 metros de plástico impermeable
20 papelotes
Un ciento de bolsas ziploc
Una cinta adhesiva
Plumones de tinta indeleble color rojo
Lapiceros
Libreta de campo
Un Molino manual

Una balanza digital

Un tamiz de 2 mm

Una espátula de metal

Pala recta

Machete

Cuatro baldes de plástico

Una bandeja de plástico

Laptop

USB

Un celular con cámara

3.6. Identificación de las variables.

Variable independiente: tipo de fermentación y secado de grano

Tabla 1. Descripción de los tratamientos probados en el experimento

Tratamiento	Descripción
T1	Grano de cacao fermentado en cajón de madera
T2	Grano de cacao fermentado en saco de yute
T3	Grano de cacao fermentado en cajón de madera y secado en manta
T4	Grano de cacao fermentado en cajón de madera y secado en piso
T5	Grano de cacao fermentado en saco de yute y secado en manta
T6	Grano de cacao fermentado en saco de yute y secado en piso

Fuente: elaboración propia

Variables dependientes:

Contenido de Cd total en el grano de cacao por tipo de fermentación

Contenido de Cd total en el grano de cacao por tipo de fermentación y tipo de secado.

3.7. Operacionalización de las variables.

Metodología

En primer lugar se identificó la parcela de cacao ubicada en el Centro Poblado Tierra Roja perteneciente al distrito de Campo Verde, para luego hacer las coordinaciones necesarias con la propietaria de la parcela Rosmilda Orizano Quispe y posteriormente hacer el reconocimiento de la parcela de cacao de 8 años de edad clon CCN 51, de una hectárea de extensión y que en dicho momento se encontraba en etapa de cosecha, donde se identificó al azar, cuatro plantas de cacao, de las cuales se extrajo al azar, cinco mazorcas por planta, las que fueron embolsadas en un saco de polietileno para su traslado posterior al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali.

Los resultados del análisis de suelo del área experimental, indican que tiene un pH fuertemente ácido (4.42) contenido bajo de materia orgánica (2.5 %), así como de P disponible (6.8 ppm) y de K disponible (53 ppm), mientras que la concentración de Al + H es alta (0.90 meq/100 g de suelo) Adicionalmente el suelo presenta en los primeros 20 cm, un contenido de 0.48 mg kg^{-1} de Cd disponible.

Una vez conseguido los materiales necesarios del campo, se procedió a acondicionar un espacio dentro del Laboratorio de Suelos, para instalar el proyecto de fermentación y secado de muestras de grano por cada tratamiento.

Esta labor se hizo sobre una mesa de cemento con losetas de 2 m de ancho y 3 m de largo, la cual fue cubierta en su superficie, con un plástico impermeable y papelotes blancos, para posteriormente colocar sobre la mesa, un cajón de madera y un saco de yute.

Después se procedió a partir en dos a las mazorcas de cacao para extraer los granos en mucilago, una vez extraído los granos de todas las 20 mazorcas de cacao, se les colocó sobre una bandeja plástica, y luego en una balanza digital, se procedió a pesar todos los granos, cuyo peso total fue de 3.484 kg, los que fueron posteriormente, divididos en dos partes iguales (1.742 kg cada uno) para iniciar el proceso de fermentado.

Proceso de fermentación de granos

Los granos frescos de cacao, se colocaron en el cajón de madera, de 50 cm (altura) x 50 cm (ancho) x 50 cm (largo), como en el saco de yute, para su respectiva fermentación, durante los 8 días que demoró esta etapa. Después, en forma diaria y por las mañanas, se tuvo que remover los granos de cacao que fueron colocados en el cajón de madera y en el saco de yute, con ayuda de una espátula de metal para iniciar el proceso de fermentación. Después de 8 días del proceso de fermentación, se procedió a sacar los granos de cacao y ser puestos en baldes plásticos para ser pesados nuevamente y proceder con la fase de secado.

El resultado del peso de grano de cacao fermentado en cajón de madera fue de 912.61 g, mientras que el peso de grano de cacao fermentado en saco de yute fue de 1005.54 g.

Los granos fermentados en el cajón de madera se dividieron en tres partes iguales (repeticiones) para iniciar el proceso de secado en manta de polietileno y en piso, de las cuales, la cantidad por muestra fue de 304.20 g, tanto para secado en manta de polietileno como en piso. De igual forma, se hizo con los granos fermentados en saco de yute, los cuales fueron divididos en tres partes iguales (repeticiones) para el respectivo secado en manta de polietileno y en piso, cuya cantidad fue de 335.18 g cada uno.

Proceso de secado de granos

El proceso de secado de granos de cacao se hizo por 6 días consecutivos, en las cuales diariamente se tuvo que remover los granos con una espátula de metal, para evitar la presencia de posibles agentes contaminantes y terminar bien el proceso de secado.

Después de finalizado el proceso de secado en manta de polietileno y en piso, se procedió a colocar los granos secos de cacao en dos baldes plásticos para ser pesados, por lo cual, el peso del grano fermentado en cajón de madera fue de 215.56 g, mientras que el grano fermentado en manta de polietileno, registró un peso de 223.63 g.

Por otro lado, el grano secado en el piso obtuvo un peso de 164.69 g y todos estos pesos se dividieron en 3 partes iguales, dando 9 muestras de grano secado que fueron fermentados en cajón de madera.

De igual forma, se realizó el peso de los granos fermentados en saco de yute, en la cual el peso fue de 212.09 g, mientras que, el grano secado en manta registró 195.58 g y el grano secado en piso, obtuvo un peso de 219.51 g, de las cuales salieron 9 muestras, y en total, se logró 18 muestras de granos de cacao para su determinación por el contenido de Cd total.

Tabla 2. Peso de granos de cacao

Descripción	Peso (kg)
Peso fresco total de granos de cacao	3.484
Granos para fermentación en cajón de madera	1.742
Granos para fermentar en saco de yute	1.742
Peso de grano fermentado en cajón de madera después de 8 días de fermentación	912.61
Peso de gramo fermentado en saco de yute después de 8 días de fermentación	1005.61
Peso de grano fermentado en cajón de madera para secado en manta y en piso	304.2
Peso de grano fermentado en saco de yute para ser secado en manta y en piso	335.18
Peso de granos después de 6 días de secado, grano fermentado en cajón de madera	215.56
Grano fermentado en cajón de madera secado en manta	223.63
Grano fermentado en cajón de madera secado en piso	164.69
Peso de gramo fermentado en saco de yute	212.09
Grano fermentado en saco de yute secado en manta	195.58
Grano fermentado en saco de yute secado en piso	219.51

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se procedió al proceso de molido de los granos de cacao con ayuda de un molino manual, y después de ser molidas, fueron embolsadas para ser remitidos al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para su posterior análisis de Cd total.

El peso de cada bolsa de grano molido fue de 72 g para el caso de grano fermentado en cajón de madera dividiéndose en tres muestras por repetición, mientras que, las tres muestras de secado en manta pesaron cada una 74 g y tres muestras secado en piso con un peso de 55 g cada una. Tabla 3.

El peso de cada bolsa de grano molino fermentado en saco de yute fue de 212.09 g, con tres muestras (repeticiones) de 70 g cada una, mientras que, las tres muestras de secado en manta de polietileno pesaron 65 g cada una y secado en piso, las tres muestras registraron 73 g cada una haciendo un total de 18 muestras, las que fueron enviadas vía courrier, al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para la determinación de Cd total, cuyos resultados se presentan en el Anexo 1.

Tabla 3. Codificación de las muestras de grano para su análisis por Cd total.

N°	Clave	Peso (g)	Código
1	CV-1	72	CV-GFCM-01
2	CV-2	72	CV-GFCM-02
3	CV-3	72	CV-GFCM-03
4	CV-4	74	CV-GFCM-GSM-01
5	CV-5	74	CV-GFCM-GSM-02
6	CV-6	74	CV-GFCM-GSM-03
7	CV-7	55	CV-GFCM-GSP-01
8	CV-8	55	CV-GFCM-GSP-02
9	CV-9	55	CV-GFCM-GSP-03
10	CV-10	70	CV-GFSY-01
11	CV-11	70	CV-GFSY-02
12	CV-12	70	CV-GFSY-03
13	CV-13	65	CV-GFSY-GSM-01
14	CV-14	65	CV-GFSY-GSM-02
15	CV-15	65	CV-GFSY-GSM-03
16	CV-16	73	CV-GFSY-GSP-01
17	CV-17	73	CV-GFSY-GSP-02
18	CV-18	73	CV-GFSY-GSP-03

Leyenda:
CV = Campo Verde
GFCM = Grano fermentado en cajón de madera
GFSY= Grano fermentado en saco de yute
GSM = Grano secado en manta
GSP = Grano secado en piso

Fuente: elaboración propia.

3.8. Población y muestra.

La población estuvo compuesta de 1283 plantas de cacao CCN 51 de 8 años de edad, sembrada en tresbolillo, a una distancia de 3 m entre hileras y 3 m entre plantas, mientras que, la muestra estuvo representada por 4 plantas de cacao, que fueron seleccionadas al azar mediante un muestreo sistémico, recorriendo la parcela y muestreando cada 200 metros de separación entre plantas. Esta metodología se utilizó para la colecta de 20 mazorcas maduras de cacao y la muestra de suelo a extraídas a 20 cm de profundidad.

3.9. Diseño experimental.

Para la determinación de Cd total en el grano de cacao, se utilizó el diseño completo al azar con 6 tratamientos (tipos de fermentación y secado) y 3 repeticiones por cada tratamiento, lo que hace un total de 18 unidades experimentales. Para la comparación de medias de tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($P<0.05$)

El modelo aditivo lineal usado fue el siguiente:

$$Yij = U + Ti + Bj + Eij$$

Donde:

Yij = Variable respuesta en el i-ésimo tratamiento y en la i-ésima repetición

U = Media general

Bj = Efecto de la j-ésima repetición

Eij = Error aleatorio

Tabla 4. Análisis de variancia ANVA

Fuente de variabilidad	Grados de libertad
Repeticiones	3 -1 = 2
Tratamientos	6 -1 = 5
Error	(3-1) (6-1) = 10
Total	(3) (6) -1 = 17

Tabla 5**.** Croquis de distribución de tratamientos y repeticiones

Grano fermentado en cajón de madera **(T1)**	Grano fermentado en saco de yute **(T2)**	Grano fermentado en cajón de madera y secado en manta **(T3)**	Grano fermentado en cajón de madera y secado en piso **(T4)**	Grano fermentado en saco de yute y secado en manta **(T5)**	Grano fermentado en saco de yute y secado en piso **(T6)**
R1 (72 g)	R1 (74 g)	R1 (55 g)	R1 (70 g)	R1 (65 g)	R1 (73 g)
R2 (72 g)	R2 (74 g)	R2 (55 g)	R2 (70 g)	R2 (65 g)	R2 (73 g)
R3 (72 g)	R3 (74 g)	R3 (55 g)	R3 (70 g)	R3 (65 g)	R3 (73 g)

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

Con relación al contenido máximo de Cd registrado en productos alimenticios como el cacao, la Comisión Europea y el Codex Alimentarius han regulado en 0.6 y 0.5 mg kg^{-1}, cada uno, como límite de este metal pesado en el polvo de cacao, el cual es usado como referencia en las investigaciones para clasificar la concentración del metal pesado en granos no procesado.

En este sentido, se consideró evaluar el contenido de Cd por el tipo de fermentación y secado del grano de cacao, resultando 5 evaluaciones comparativas, las cuales de presentan a continuación.

4.1. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute.

El cuadro de análisis de variancia para la variable contenido de Cd según el tipo de fermentación determinó que, no hubo diferencias significativas ($P_{<0.05}$) por el tipo de fermentación, cuando se fermentó en cajón de madera y en saco de yute, correspondiendo promedios de 0,31 y 0,28 mg de Cd kg^{-1} para grano fermentado en saco de yute y grano fermentado en cajón de madera, respectivamente.

Cuadro 1. ANVA de grano fermentado de cacao en cajón de madera y en saco de yute.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0013	0.0013	0.47	0.5325 ^{ns}
Error	4	0.0116	0.0029		
Total	5	0.0129			
	CV =18.25 %			R^2 = 0.10	

Por ello, se deduce que el tipo de fermentación en cajón de madera y en saco de yute, no han influenciado durante el proceso de poscosecha, en el contenido de Cd total del grano de cacao.

Cabe precisar que, los promedios encontrados son menores a los que regula la Unión Europea para valores permisibles de Cd en el polvo de grano 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 propia del grano para expresar el contenido de Cd total.

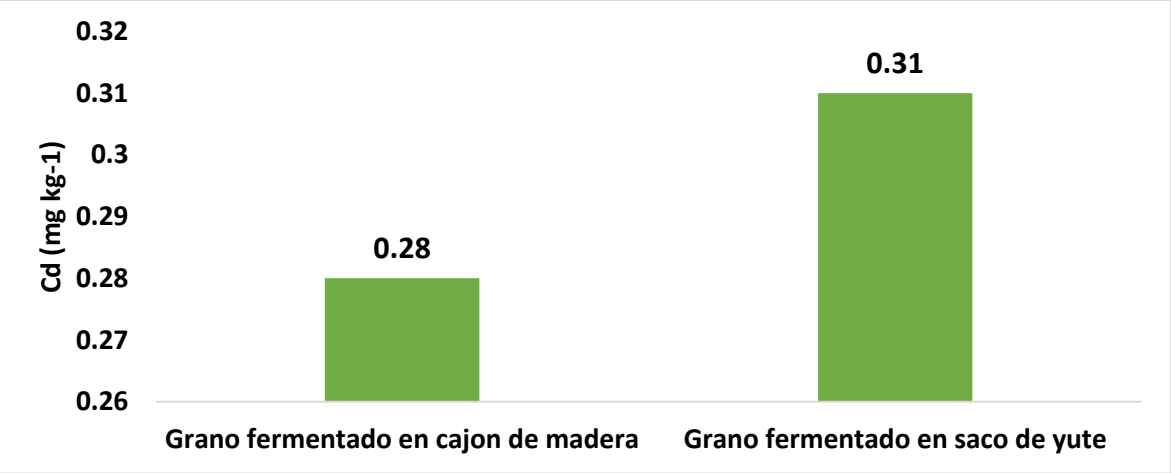


Figura 2. Contenido de Cd por el tipo de fermentación de grano de cacao.

Según refiere Choy (2019), el proceso de fermentación de los granos de cacao como proceso bioquímico se logra por el aumento de temperatura y la actividad de levaduras y bacterias especializadas en el mucilago de la masa y este proceso bioquímico que se da en condiciones anaeróbicas, comprende la fermentación alcohólica, la cual permite la conversión del azúcar en etanol, en las primeras 24 horas de iniciado el proceso, mientras que en las siguientes 24 a 48 horas se produce la fermentación acética, bajo condiciones aeróbicas, que consiste en la transformación del etanol en ácido acético, el cual por ser volátil, se elimina fácilmente durante el proceso de secado.

Por ello, la autora recomienda efectuar la fermentación de los granos de cacao en cajones de madera, cuyo tamaño dependerá del volumen de la producción, recomendándose a la vez, que el fondo de los cajones tenga orificios o separaciones para facilitar el drenaje y la aireación, permitiendo de esta manera que, al terminar el proceso, se observen surcos bien definidos en la parte interna y de colores marrón oscuro en la parte externa de los cotiledones.

4.2. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secados en manta.

El análisis de variancia para la variable contenido de Cd según el tipo de fermentación y secado de grano de cacao clon CCN 51, determinó que existen diferencias altamente significativas, ($P_{<0.01}$) cuando se fermentó el grano de cacao en cajón de madera y en saco de yute, y fue secado en manta en los dos tipos de fermentación, correspondiendo promedios de 0,36 mg de Cd kg^{-1}, para grano fermentado en cajón de madera y secado en manta, mientras que para para grano fermentado en saco de yute y secado en manta, obtuvo sólo 0,31 mg de Cd kg^{-1}.

Cuadro 2. ANVA para contenido de Cd en grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secados en manta.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.0054	0.0054	23.14	0.0086 **
Error	4	0.0009	0.0002		
Total	5	0.0063			
	CV =4.53%		R^2 = 0.85		

Los resultados pueden ser atribuidos a que, mientras el grano de cacao fermentado en cajón de madera tuvo una mejor aireación externa, comparativamente con la fermentación del grano en saco de yute, donde,

probablemente la ausencia de oxígeno, pudo influenciar en el contenido de Cd total del grano. Adicionalmente, la labor de remoción del grano, pudo haber influenciado en el primer caso, respecto a la fermentación en saco de yute, que tuvo una mayor dificultad de manejo durante el proceso de fermentación.

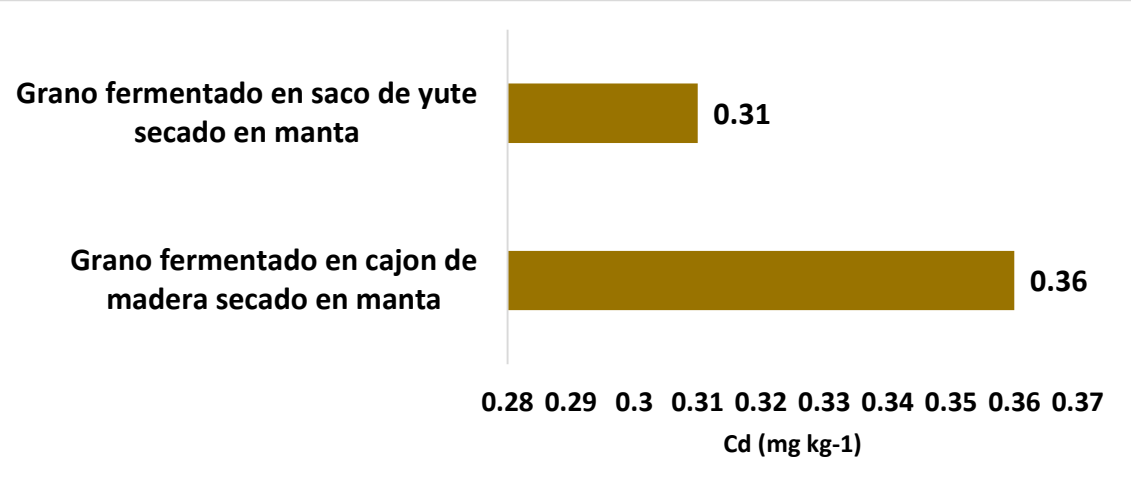


Figura 3. Contenido de Cd en grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secados en manta

Sin embargo, estos promedios fueron menores a los que reglamenta la UE para valores permisibles de Cd en el polvo de grano de cacao (0.6 mg kg^{-1})

Sobre el particular, Choy (2019) señala que, el proceso de fermentación de los granos de cacao continúa con el proceso de secado, el cual debe ser lento durante los dos primeros días y sin mucha exposición a la radiación solar.

La autora también señala que, el espesor óptimo de la masa de cacao durante el proceso de secado no debe ser mayor a 5 cm, mientras que, para el ensacado debe usarse sacos de yute tratados con aceites vegetales.

4.3. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secados en piso

El análisis de variancia para el contenido de Cd total en grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en piso, determinó que existen diferencias altamente significativas, ($P_{<0.01}$), correspondiendo promedios de 0,34

mg de Cd kg^{-1}, para el primero, mientras que, para el segundo, el promedio fue de 0,26 mg de Cd kg^{-1}.

Cuadro 3. ANVA de contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secados en piso.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.01602	0.0160	48.05	0.0023**
Error	4	0.00133	0.0003		
Total	5	0.01735			
	CV =5.79 %		R^2 = 0.92		

Las diferencias encontradas entre los dos tipos de fermentación pueden haber influenciado en mayor proporción que el tipo de secado, ya que, mientras se fermentó en cajón de madera, hubo un adecuado nivel de oxígeno, para facilitar el proceso de fermentación del grano de cacao que, cuando se hizo en saco de yute. Asimismo, la labor de remoción del grano, pudo haber influenciado en el primer caso, respecto a la fermentación en saco de yute, que tuvo una mayor dificultad de manejo durante el proceso de fermentación.

Por otro lado, la labor de secado del grano en manta y en piso pudo no haber ejercido influencia en el contenido de Cd, probablemente, porque en ambos casos estuvieron recibiendo radiación solar directa en similares condiciones.

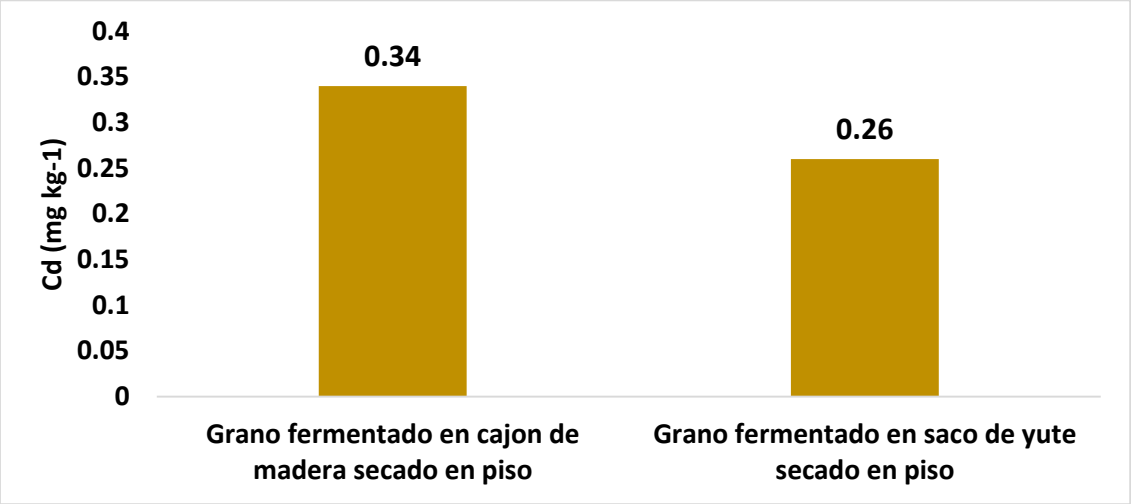


Figura 4. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secados en piso.

Al respecto, investigaciones efectuadas por Barrezueta *et al* (2021), en parcelas de cacao ubicadas en el sur de Ecuador, concluyen que, en el caso de las muestras de grano, los valores de Cd aumentaron en el grano con respecto a los resultados del Cd en hojas. Las medias y rangos máximos obtenidos variaron de 1.15 a 1.67 mg de Cd kg^{-1} en la finca 1, así como de 1.21 a1.86 mg de Cd kg^{-1} en la finca 2 y de 1.93 a 3.27 mg de Cd kg^{-1} en la finca 3. Los valores de testa también mostraron un incremento de Cd de 1.35 a 2.53 mg de Cd kg^{-1} en la finca 1 y de 1.15 a 6.33 mg de Cd kg^{-1}.

4.4. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y secado en manta y fermentado en saco de yute y secado en piso

De manera similar a la evaluación anterior, el análisis de variancia para la variable contenido de Cd según el tipo de fermentación y secado, determinó que existen diferencias altamente significativas, ($P_{<0.01}$) cuando se fermentó el grano de cacao clon CCN 51 en cajón de madera y secado en manta, así como fermentación de grano en saco de yute y secado en piso, correspondiendo promedios de 0,37 mg de Cd kg^{-1}, para el primero, mientras que el segundo registró un valor de 0,26 mg de Cd kg^{-1}.

Cuadro 4. ANVA de contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y secado en manta y fermentado en saco de yute y secado en piso.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.00240	0.00240	10.29	0.0327 **
Error	4	0.00009	0.00002		
Total	5	0.00333			
	CV = 4.67 %		R^2 = 0.72		

La explicación a estos resultados puede atribuirse a que, si bien durante el proceso de fermentación no existen diferencias cuando el grano de cacao es fermentado en cajón de madera o en saco de yute, durante el proceso de secado, cuando se expone el grano al secado en manta de polipropileno, posiblemente exista una mayor contaminación del metal pesado, que cuando el grano se expone en forma abierta en piso, aprovechando la mayor radiación solar.

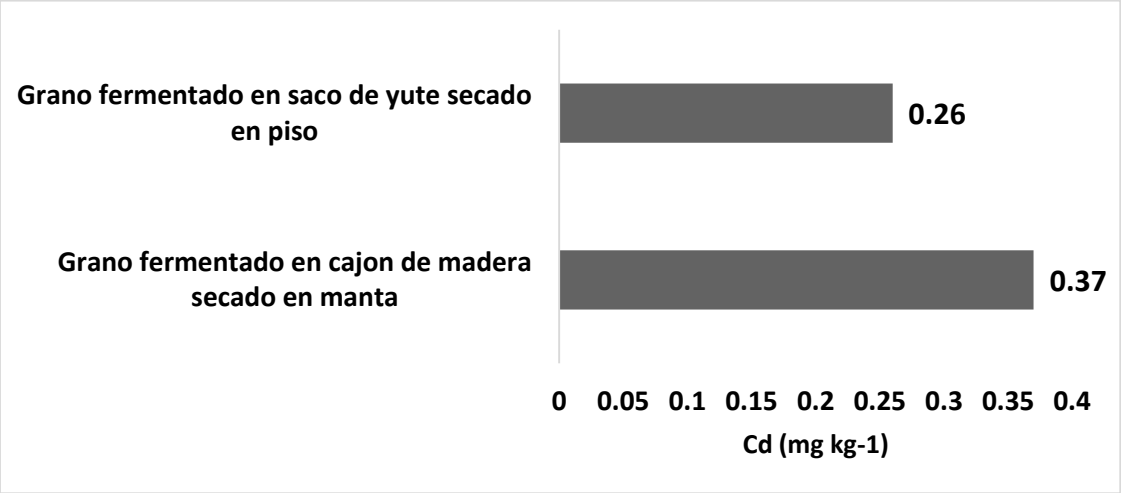


Figura 5. Contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y secado en manta y grano fermentado en saco de yute y secado en piso

Al respecto, un ensayo efectuado por Cartagena (2017), para determinar el contenido de Cd y Pb en el Jardín Inter clonal de la Universidad Nacional de Ucayali, concluye que todos los clones presentaron valores de Cd y Pb

intercambiables en el suelo por debajo de los límites permisibles por la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea. Sin embargo, estos clones mostraron contenidos de Cd total en hojas y almendras por encima de los estándares establecidos por las instituciones indicadas.

De igual forma, Hoyos y López (2016), evaluando el contenido de Cd total en almendras de cacao en parcelas ubicadas en el sector San Alejandro Padre Abad y manejadas por diferentes sistemas de producción, encontraron que, el contenido de Cd total en almendras de cacao, demostró valores ligeramente excesivos de 0.75, 0.71 y 0.54 mg de Cd kg^{-1} para los sistemas orgánico, químico y tradicional respectivamente, los cuales son superiores a los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS), corroborando con la investigación realizada por Cárdenas y Huamani (2012), al mencionar que la mayor parte del Cd que la planta absorbe lo concentra en las almendras.

4.5. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y secado en piso y grano fermentado en saco de yute y secado en manta

El análisis de variancia del contenido de Cd en el grano de cacao fermentado en cajón de madera y secado en piso, comparado con el contenido de Cd en el grano de cacao fermentado en saco de yute y secado en manta, determinó diferencias altamente significativas, ($P_{<0.01}$), obteniéndose valores de 0,34 mg de Cd kg^{-1}, para grano fermentado en cajón de madera y secado en piso, mientras que, para grano fermentado en saco de yute y secado en manta, el promedio fue de 0,26 mg de Cd kg^{-1}.

Cuadro 5. ANVA de contenido de Cd total de grano fermentado en cajón de madera y secado en piso y grano fermentado en saco de yute y secado en manta.

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Tratamientos	1	0.01041	0.01041	31.25	0.005 **
Error	4	0.00133	0.00033		
Total	5	0.01175			
	CV =5.98 %		R^2 = 0.88		

Los resultados encontrados en esta evaluación, nos permite atribuir que, el proceso de fermentación del grano de cacao en cajón de madera tuvo una mejor respuesta a la remoción de granos, por la mayor presencia de aireación, mientras que cuando el grano fue fermentado en saco de yute, presentó limitaciones en el proceso, por la menor presencia de oxígeno, aun cuando tuvieron el mismo proceso de secado.

Sin embargo, los valores de Cd se consideran óptimos, por ser menores a los regulados por la Comisión Europea y el *Codex Alimentarius*, lo cual corrobora que, el contenido de Cd analizado no está influenciado por los tipos de fermentación y secado de grano.

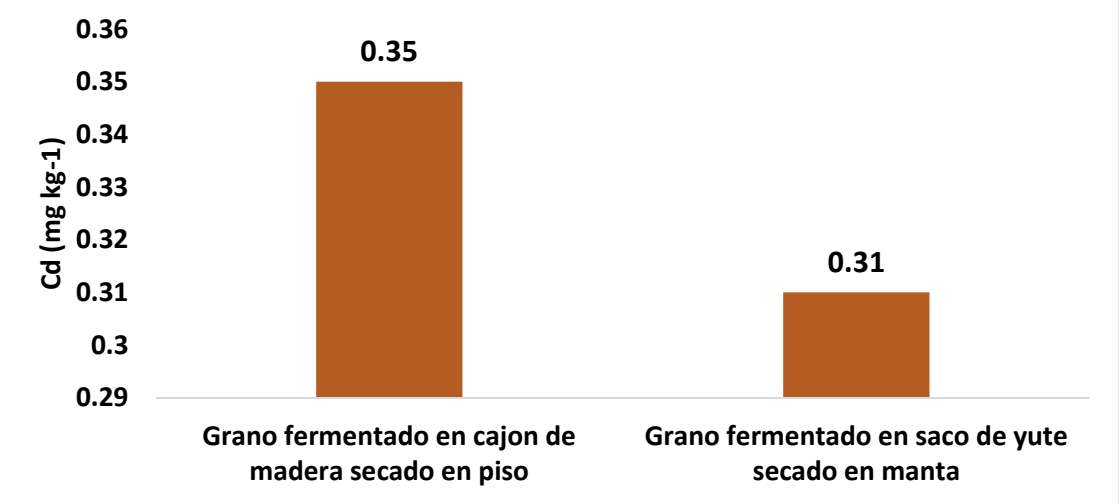


Figura 6. Contenido de Cd de grano fermentado en cajón de madera y secado en piso y grano fermentado en saco de yute secado en manta.

Nuestros resultados fueron inferiores a los encontrados por Alianza Cacao (2018), en Huánuco, San Martin y Ucayali, reportando promedios de 0.42 a 0.93 mg kg^{-1} de Cd en la almendra, mientras que, en mucilago, los valores oscilan entre 0.35 a 0.66 mg kg^{-1} de Cd y en la testa de grano, varían entre 0.59 a 1.00 mg kg^{-1} de Cd.

Igualmente, se encuentran por debajo de los promedios de Cd en el grano fermentado en forma tradicional, con promedios de 0.86 y 1.02 mg kg^{-1} de Cd en grano con y sin cascara, mientras en la semilla lavada y secada sin fermentar, se registró promedios de 0.35 y 0.65 mg kg^{-1} de Cd.

Al respecto, Gutiérrez y Gonzales (2017), demostraron que, la mejor tecnología de beneficio de cacao criollo fue la fermentación y secado en cajón de madera (80 %), mientras que con el clon CCN51, se obtuvo 66 % de fermentación.

De igual modo, resultan inferiores a los que reportan López y Hoyos (2017), en parcelas de cacao en San Alejandro Ucayali, trabajando con diferentes sistemas de manejo del cultivo, encontraron promedios de 0.75, 0.71 y 0.54 mg kg^{-1} de Cd total en el grano, en los sistemas de manejo orgánico, químico y tradicional, respectivamente.

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos específicos de la investigación, se concluye:

- No existe diferencias estadísticas cuando se evaluó el contenido de Cd total en el grano de cacao clon CCN 51 por el tipo de fermentación, correspondiendo valores de 0,31 y 0,28 mg de Cd kg^{-1} para grano fermentado en saco de yute y grano fermentado en cajón de madera, respectivamente.

- Existe diferencias altamente significativas cuando se fermentó el grano de cacao clon CCN 51 en cajón de madera y en saco de yute, y fue secado en manta en los dos tipos de fermentación, con 0,36 mg de Cd kg^{-1}, para grano fermentado en cajón de madera y secado en manta, y 0.31 mg de Cd^{-1} para grano fermentado en saco de yute y secado en manta.

- El contenido de Cd total en grano de cacao clon CCN 51 fermentado en cajón de madera y en saco de yute y secado en piso en ambos casos, determinó diferencias altamente significativas, con 0,34 mg de Cd kg^{-1}, para el primer tratamiento, y de 0.26 mg de Cd kg^{-1} para el segundo tratamiento.

- existe diferencias altamente significativas cuando se fermentó el grano de cacao clon CCN 51 en cajón de madera y secado en manta, así como fermentación de grano en saco de yute y secado en piso, correspondiendo 0,37 mg de Cd kg^{-1}, para el primero, mientras que el segundo registró 0,26 mg de Cd kg^{-1}

- De los tratamientos estudiados el que tuvo un mejor resultado fue el tratamiento 1, que fue la fermentación de granos en cajón de madera ya que se logró una fermentación que facilito a la descomposición enzimática de las proteínas y los carbohidratos al interior del grano, permitiendo así un buen el desarrollo en el proceso del secado.

VI. RECOMENDACIONES.

Tomando en cuenta los resultados encontrados, se recomienda:

- El método para una excelente fermentación de granos de cacao es en cajón de madera ya que dicho proceso elimina al mucílago, mata el embrión y esta mejora la apariencia de los granos, también induce a los cambios que esta necesita en su procesamiento industrial para la producción del sabor y el aroma del chocolate.

- Continuar investigando los procesos de fermentación y secado de grano en otras variedades de cacao ya que los métodos utilizados por los productores son diferentes en las organizaciones e incluso de un productor a otro.

- Investigar el contenido de Cd total en la testa de grano de cacao tanto para el clon CCN 51 como para los clones aromáticos.

- Promocionar los resultados de la investigación con los productores de cacao de la zona de Campo Verde, con la finalidad de minimizar el riesgo de la comercialización por el contenido de Cd en el grano de cacao.

VII. LITERATURA CITADA.

Agrodata Perú. Consultado en línea. 23 de febrero del 2020. Disponible en: https://www.agrodataperu.com/wpcontent/uploads/2020/01/00CACAOGRANO3.png

Argüello, D; Chavez, 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.

Asociación Mesoamericana de Cacao y Chocolate Finos AMACACAO. 2017. Manual de Trazabilidad y Calidad para Cosecha y Post Cosecha para certificación Cunakakaw versión 1.0. Guatemala. Consultado en línea 22.02.2020. Disponible en: http://www.CUNAkakaw

Camacho, A. 2013. Aprendiendo e innovando acerca de la cosecha, fermentación y secado del cacao. Consultado en línea [20.01.21]. http://www.ruta.org/CDOCDeployment/documentos/19_Guia_8_Beneficiado.pdf

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

Dostert, N; Roque, J; Cano, A; La Torre, M; Weigend, M. 2012. Hoja botánica: Cacao. *Theobroma cacao* L. Consultado en línea. Disponible: https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/185

Flores, N. 2021. Revisión sobre límites máximos de Cd en cacao (*Theobroma cacao* L.). Articulo científico. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida. Consultado en línea. 24 de noviembre del 2022. Disponible: file:///C:/Users/HP/Downloads/4523-Texto%20del%20art%C3%ADculo-35694-1-10-20210827.pdf

Florida, N. 2021. Revisión sobre límites máximos de Cadmio en cacao. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol 34 (2) 117-130

Florida, N; Claudio, S; Gómez, R. 2019. El pH y la absorción de Cd en almendras de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en Leoncio Prado Huánuco. In Revista Folia Amazónica IIAP. Consultado en línea. 24 de noviembre 2022.

Furcal, P. & J. Torres. 2020. Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de Theobroma cacao L. en Costa Rica. In Tecnología en marcha Vol 33 N° 1. Marzo-abril 2020. Pags 122-137. Consultado en línea. Disponible: file:///C:/Users/HP/Downloads/4746.pdf

Maroto, S; Montoya, P; Gonzales, D; Delgado, T; Arévalo, M. 2017. Manuel técnico del cultivo de cacao. Practicas latinoamericanas. IICA. Consultado en línea. Disponible: https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181

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*,

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.

VIII. ANEXOS

ANEXO 01. Formato de análisis de cadmio de granos de cacao.

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/ CORONEL PORTILLO/ CAMPO VERDE

MUESTRA : GRANOS DE CACAO

REFERENCIA : H.R. 78345

FACTURA : 9205

FECHA : 07/12/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
3781	CV-1	0.21
3782	CV-2	0.31
3783	CV-3	0.32
3784	CV-4	0.38
3785	CV-5	0.35
3786	CV-6	0.37
3787	CV-7	0.35
3788	CV-8	0.33
3789	CV-9	0.36
3790	CV-10	0.35
3791	CV-11	0.26
3792	CV-12	0.32
3793	CV-13	0.29
3794	CV-14	0.32
3795	CV-15	0.31
3796	CV-16	0.28
3797	CV-17	0.27
3798	CV-18	0.24

Lab. Analisis de Suelos, Aguas 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

IX. ICONOGRAFIA.



Figura 1.

Preparacion de cajones para fermentar los granos de cacao



Figura 2.

Cajón para fermentar granos de cacao



Figura 3.

Acondicionamiento del ambiente del laboratorio para colocar en los cajones de madera y el saco de yute.



Figura 4.

Mesa de cemento acondicionada para poner los materiales a utilizar.



Figura 5.

Cajón de madera y saco de yute puesto sobre la mesa de cemento.



Figura 6.

Reconocimiento de la parcela de cacao.

Identificación y selección de 4 plantas de cacao del clon CCN 51.



Figura 7. Planta 1.



Figura 8. Planta 2.



Figura 9. Planta 3**.**



Figura 10. Planta 04



Figura 11.

Recolección de mazorcas de cacao clon CCN 51.



Figura 12.

Mazorcas de cacao recolectadas.



Figura 13.

Pesado de grano fresco de cacao.



Figura 14.

Granos de cacao puesto en cajón para iniciar el proceso de fermentado.



Figura 15.

Grano de cacao molido.



Figura 16.

Muestras de granos de cacao embolsados y etiquetados.