

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE MANEJO SOBRE EL
CONTENIDO DE CADMIO (Cd) EN LA HOJARASCA Y
EN LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN
SAN ALEJANDRO UCAYALI, PERÚ.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

KERVIN ALEXANDER TUESTA MARTÍNEZ

PUCALLPA-PERÚ

2019



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, presentada por el Bach. **KERVIN ALEXANDER TUESTA MARTÍNEZ** denominada: "EFECTO DE TRES SISTEMAS DE MANEJO SOBRE EL CONTENIDO DE CADMIO (Cd) EN CÁSCARA Y HOJARASCA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN SAN ALEJANDRO UCAYALI, PERÚ". Para cumplir con el requisito del título profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos **APROBADO POR UNANIMIDAD** con el calificativo de **BUENO**.

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 el Art. 3 y 6 del Reglamento para el otorgamiento de grado académico de bachiller y título profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 19 de junio del 2019.


.....
Ing. Edgar Juan Díaz Zuñiga, Dr.
Presidente


.....
Ing. Mack Henry Pinchi Ramirez, Dr.
Secretario

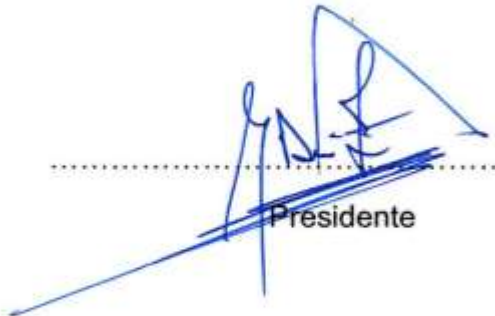

.....
Ing. Roger Vásquez Gómez, Mg.
Miembro


.....
Ing. José Antonio Lopez Ucariegüe, 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 calificador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Ing. Edgar Juan Díaz Zúñiga, Dr.



.....
Presidente

Ing. Henry Mack Pinchi Ramirez, Dr.



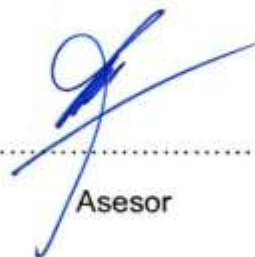
.....
Secretario

Ing. Roger Vásquez Gómez, Mg.



.....
Miembro

Ing. Antonio López Ucariegüe, M.Sc.



.....
Asesor

Bach. Kervin Alexander Tuesta Martinez.



.....
Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELLECTUAL

Constancia

N° 359

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis) titulado:

EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE MANEJO SOBRE EL CONTENIDO DE CADMIO (CD) EN LA HOJARASCA Y EN LA CASCARA DE CACAO (*theobroma cacao* L.) EN SAN ALEJANDRO UCAYALI, PERU

Cuyo autor (es) : TUESTA MARTINEZ, KERVIN ALEXANDER
Facultad : CIENCIAS AGROPECUARIAS
Escuela Profesional : AGRONOMIA
Asesor (a) : M. Sc. LOPEZ UCARIEGUE, JOSE ANTONIO

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 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 SELLA la presente constancia.

Fecha: 02/10/2019



ANEXO 1

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Kervin Alexander Tuesta Martinez
Autor de la TESIS titulada:

" Efecto de tres sistemas de manejo sobre el
contenido de Cadmio (Cd) en la hojarasca
y en la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.)
en San Alejandro Ucayali, Perú."

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: Ing. Antonio Lopez Ucariegue M.Sc.

En la Facultad de: Ciencias Agropecuarias

Carrea Profesional de: Agronomía

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, 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 resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma 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 reacción de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultando a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

Tercero: autorizo la publicación.

Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio)

Parcial (significa que solo la caratula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio)


De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Email: KTuestamartinez@gmail.com

Teléfono: 938 755 369

Fecha: 04 / 12 / 2019

Firma: 

DNI: 70455825

DEDICATORIA.

A Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, Miguel Tuesta y Nimia Martínez, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy; gracias por enseñarme con su ejemplo que el éxito es algo que si se puede lograr, son los mejores padres, los amo.

A mi hermano Junior Tuesta por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindó a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi amada esposa, Jessica Proaño, por su apoyo y ánimo que me brinda día a día, para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales. A mis hijos Jessy Alexia y Miguel Francisco que son mi mayor motivación para poder alcanzar todos mis objetivos.

AGRADECIMIENTO.

Expreso mi más sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que han contribuido en la realización de la presente tesis:

A la Universidad Nacional de Ucayali, por darme la oportunidad de asistir a sus aulas para lograr mis aspiraciones personales y profesionales.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, a quienes respeto mucho, por su dedicación y esmero que nos muestran día a día, siendo ejemplos y guías para mí.

También quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Antonio López Ucariegüe, M.Sc., asesor principal de todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta investigación.

A las Autoridades de la Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad de la empresa ACATPA (San Alejandro), por el apoyo y darme la oportunidad de realizar el trabajo de investigación en sus instalaciones.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que compartieron sus conocimientos.

ÍNDICE.

	Pág.
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao, L.</i>).....	3
2.1.1. Origen y distribución geográfica.....	3
2.1.2. Taxonomía.....	3
2.1.3. Paquete tecnológico del cultivo.....	3
2.1.4. Requerimientos agroecológicos.....	4
2.1.5. Establecimiento de la plantación.....	4
2.1.6. Injerto en cacao.....	5
2.1.7. Podas.....	5
2.1.8. Cosecha y beneficio.....	6
2.1.9. Sistemas de manejo en la zona de San Alejandro.....	9
2.1.10. La cáscara de cacao.....	9
2.1.11. La hojarasca o mulch del cacao.....	10
2.1.12. Generalidades sobre metales pesados.....	11
2.1.13. Contaminación por metales pesados en la agricultura.....	12
2.1.14. Capacidad de retención de metales pesados en el suelo....	13
2.1.15. Biodisponibilidad de metales pesados.....	16

2.1.16. El cadmio.....	16
2.1.17. Vías de contaminación por cadmio (Cd).....	17
2.1.18. Determinación de niveles de cadmio.....	18
2.1.19. Antecedentes de la investigación.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ubicación	24
3.2. Características climáticas.....	24
3.3. Condiciones edáficas.....	25
3.4. Materiales y equipos	26
3.4.1. Material de estudio	26
3.4.2. Materiales de campo	26
3.4.3. Materiales de escritorio.....	26
3.4.4. Equipos.....	26
3.5. Población y muestra.....	26
3.6. Dimensión del área total.....	26
3.6.1. Del campo experimental	26
3.6.2. De la unidad experimental	27
3.7. Componentes en estudio.....	27
3.8. Diseño experimental.....	27
3.8.1. Modelo matemático	27
3.8.2. Análisis de varianza (ANVA).....	28
3.9. Ejecución del experimento	28
3.9.1. Selección de los productores participantes.....	28
3.9.2. Colecta del material experimental.....	28

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES	39
VII. LITERATURA CITADA.....	40
VIII. ANEXO.....	46

RESUMEN.

El trabajo de investigación se desarrolló en la zona de San Alejandro en la provincia de Padre Abad, con el propósito de determinar la influencia de los sistemas de manejo de cultivo en el contenido de cadmio presente en la cáscara y en la hojarasca de cacao, así como entre las localidades dentro de cada sistema de manejo en la zona de San Alejandro, provincia de Padre Abad. Se seleccionaron tres parcelas de una ha de cacao en producción por cada sistema de manejo, de las cuales se extrajo muestras de cáscara y hojarasca, las cuales fueron evaluadas por su contenido de cadmio bajo un diseño de bloque completos al azar. Los resultados nos indican que, los sistemas de manejo del cultivo de cacao no ejercen influencia directa en el contenido de cadmio en la cáscara de cacao, ya que los valores encontrados 0.39, 0.62 y 0.83 mg kg⁻¹ para los sistemas orgánico, tradicional y químico, respectivamente, fueron similares significativamente. Igualmente, los sistemas de manejo del cultivo de cacao no ejercieron una influencia directa en el contenido de cadmio en la hojarasca de cacao, ya que los valores encontrados 2.33, 2.29 y 3.00 mg kg⁻¹ no muestran diferencias significativas y finalmente, los valores de cadmio encontrados en la cáscara y en la hojarasca de cacao en las localidades, tampoco fueron influenciados por los sistemas de manejo, excepto en el contenido de cadmio en la hojarasca en el sistema químico, donde el valor más alto fue reportado en la localidad de Vista Alegre de Chía con 4.09 mg kg⁻¹.

Palabras claves: Cacao, sistemas, cadmio, cáscara, hojarasca.

ABSTRACT.

The research work was developed in the area of San Alejandro in the province of Padre Abad, with the purpose of determining the influence of crop management systems on the content of cadmium present in the shell and in the cocoa litter, as well as between the localities within each management system in the area of San Alejandro, province of Padre Abad. Three plots of one ha of cocoa in production were selected for each management system, from which cascara and litter samples were extracted, which were evaluated for their cadmium content under a randomized complete block design. The results indicate that, the systems of management of the cultivation of cocoa haven't direct influence on the content of cadmium in the shell of cocoa, since the values found 0.39, 0.62 and 0.83 mg kg⁻¹ for the systems organic, traditional and chemical, respectively, were similar significantly. Likewise, cocoa cultivation management systems did not directly influence the cadmium content in cocoa litter, since the values found 2.33, 2.29 and 3.00 mg kg⁻¹ show no significant differences and finally the cadmium values found in the shell and cocoa litter in the localities, were also not influenced by the management systems, except for the cadmium content in the litter in the chemical system, where the highest value was reported in the town of Vista Alegre de Chía with 4.09 mg kg⁻¹.

Keywords: Cacao, systems, Cadmium, cáscara, hojarasca.

LISTA DE CUADROS.

En el texto:	Pág.
Cuadro 1. Características de los sistemas de manejo en cacao.....	9
Cuadro 2. Concentraciones de metales pesados según uso del suelo.....	14
Cuadro 3. Niveles críticos de metales pesados según pH.....	15
Cuadro 4. Concentraciones máximas aceptables.....	15
Cuadro 5. Rangos de concentración en suelo para metales pesados	15
Cuadro 6. Datos meteorológicos del distrito de Irazola.....	24
Cuadro 7. Cadmio en cáscara de cacao en sistema de manejo.....	30
Cuadro 8. Cadmio en cáscara por localidades del sistema tradicional.....	31
Cuadro 9. Cadmio en cáscara por localidades en sistema químico.....	32
Cuadro 10. Cadmio en cáscara por localidades en sistema orgánico.....	33
Cuadro 11. Cadmio en la hojarasca de cacao por sistema de manejo.....	34
Cuadro 12. Cadmio en hojarasca en localidades del sistema tradicional....	35
Cuadro 13. Cadmio en hojarasca en localidades del sistema químico.....	36
Cuadro 14. Cadmio en hojarasca en localidades del sistema orgánico.....	37
 En el anexo:	
Recuadro 1A. Análisis de laboratorio de la hojarasca de cacao.....	47
Recuadro 2A. Análisis de laboratorio de la hojarasca de cacao.....	48
Recuadro 3A. Análisis de laboratorio de la cáscara de cacao.....	49
Recuadro 4A. Análisis de laboratorio de la cáscara de cacao.....	50

Cuadro 15A. ANVA Cadmio en cáscara de cacao por sistema.....	51
Cuadro 16A. ANVA Cadmio en hojarasca de cacao por sistema.....	51
Cuadro 17A. ANVA Cadmio en cáscara por localidad en sistema químico..	51
Cuadro 18A. ANVA Cadmio en cáscara por localidad en sistema orgánico.	52
Cuadro 19A. ANVA Cadmio en cáscara por localidad en sistema tradicional.....	52
Cuadro 20A. ANVA Cadmio en hojarasca por localidad en sistema químico.....	52
Cuadro 21A. ANVA Cadmio en hojarasca por localidad en sistema orgánico..	53
Cuadro 22A. ANVA Cadmio en hojarasca por localidad en sistema tradicional	53

LISTA DE FIGURAS.

En el texto:	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación de las parcelas evaluadas.....	25
Figura 2. Contenido de cadmio en cáscara por sistema de manejo.....	30
Figura 3. Cadmio en cáscara entre localidades del sistema tradicional.....	31
Figura 4. Cadmio en cáscara entre localidades del sistema químico.....	32
Figura 5. Cadmio en cáscara entre localidades del sistema orgánico.....	33
Figura 6. Cadmio en hojarasca por sistema de manejo.....	34
Figura 7. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema tradicional..	35
Figura 8. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema químico.....	36
Figura 9. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema orgánico.....	37
 En el anexo:	
Figura 10A. Asociación de Productores Cooperativa ACATPA.....	54
Figura 11A. Recojo de hojarasca de las parcelas.....	54
Figura 12A. Llenado y codificado de las muestras listas para la estufa.....	55
Figura 13A. Secado de muestras en la estufa.....	55
Figura 14A. Molienda de las muestras de hojarasca y cáscara de cacao.....	56

I. INTRODUCCIÓN.

El cultivo de cacao representa una alternativa económica para los pequeños productores de la Cuenca Amazónica peruana, debido a una creciente exportación del producto y a la estabilidad en precio que ofrece el mercado internacional.

Según refiere el MINAGRI (2012), el Perú está clasificado según el Convenio Internacional del Cacao 2010, como el segundo país productor y exportador de cacao fino después de Ecuador. Es por este motivo que, desde hace algunos años, empresas chocolateras de todo el mundo visitan el país con el fin de cerrar contratos directamente con los productores de cacao, permitiendo al agricultor tomar conciencia en mejorar sus buenas prácticas agrícolas y manufactureras en toda la cadena de valor, y ofrecer un producto de calidad.

En este sentido, la promoción del Gobierno por acrecentar las áreas del cultivo de cacao ha despertado aún más el interés por la comercialización internacional de nuestros productores, pero para lograr tal fin es necesario contar con productos que superen la valla de la calidad exigida por el mercado internacional en cuanto a los niveles de metales pesados permitidos en los granos, especialmente el cadmio, que tienen incidencia en ser absorbidos por la planta, del suelo y del manejo que recibe de parte de los mismos productores.

Un “metal pesado” refiere Jaramillo (2008), es aquel elemento de alta densidad y con la capacidad de reemplazar o desplazar otros elementos inhibiendo su funcionamiento. Un metal pesado debe primero estar presente en el suelo, agua o ser introducido en el manejo (fertilizantes).

Dentro de los principales factores que están relacionados con la movilidad y disponibilidad de metales pesados en el suelo se encuentran el pH, la materia orgánica, los óxidos de Fe y Mn y el contenido de arcilla (Alloway 2013).

En este contexto, en el año 2013, la Unión Europea estableció una Enmienda al Reglamento Europeo No. 1881/2006, en la cual se establecen como niveles máximos de cadmio de $0,80 \text{ mg kg}^{-1}$ peso fresco para el chocolate y

productos derivados y que entrarán en vigencia a partir del 1 de enero de 2019.

De igual modo, el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) mediante Resolución Ministerial No. 145-2018-MINAGRI de fecha 15 de noviembre del 2018, aprueba la Directiva para los lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados del cacao, y establece en dicha norma que el nivel máximo de cadmio en el suelo no debe sobrepasar a $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo seco, como estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola.

Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue establecer el efecto de los sistemas de manejo de cultivo en el contenido de cadmio en la hojarasca y la cáscara de cacao en la localidad de San Alejandro, distrito de Irazola, provincia de Padre Abad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. EL CULTIVO DE CACAO.

2.1.1. Origen y distribución geográfica.

Eppco Perú (2012), reporta que, el árbol de cacao es una planta perenne que rinde varias cosechas al año. Recibe el nombre científico de *Theobroma cacao* L. y proviene del griego que significa "alimento de los dioses". Empezó a cultivarse en América, donde era ya un producto básico en algunas culturas antes de que llegaran los colonizadores europeos. Los aztecas creían que el dios Quetzalcóatl había enseñado el cultivo de esta especie a sus antepasados y, muchas veces, las semillas de cacao se utilizaban como moneda en las transacciones comerciales. El cacao procede de las regiones tropicales de México y Centroamérica, aunque en el siglo XVI se introdujo en África, que es donde más se cultiva en la actualidad. En América hoy se cultiva principalmente en Brasil, Ecuador, México, Colombia y Venezuela.

2.1.2. Taxonomía.

León (1987), citado por Agell (1991) clasifica al cacao en:

División: Fanerógamas.

Clase: Angiosperma.

Orden: Malvales.

Familia: Esterculiácea.

Género: *Theobroma*.

Especie: *Theobroma cacao* L.

2.1.3. Paquete tecnológico del cultivo.

Según DEVIDA-UNODC (2014), la tecnología desarrollada para el cultivo de cacao destaca los siguientes aspectos:

2.1.4. Requerimientos agroecológicos.

La precipitación pluvial mínima y máxima manejable es 1,400 y 3,000 mm, respectivamente y óptima de 1,500 a 2,500 mm bien distribuidos a lo largo del ciclo. El rango de temperatura promedio anual va de 23 a 30 °C, siendo el óptimo de 25 °C. Se cultiva casi desde el nivel del mar hasta los 1,200 msnm, siendo el óptimo de 500 a 800 msnm. Necesita una humedad relativa anual promedio de entre el 70 y 80%. El cultivo del cacao requiere estar libre de vientos fuertes persistentes a lo largo del ciclo productivo, prevenir con árboles forestales como cortina rompe viento. La luminosidad es variable dependiendo del ciclo productivo en el que se encuentre, siendo del 40 al 50% para el cultivo en crecimiento (menor de 4 años) y del 60 al 75% para plantación en producción (mayor de 4 años).

El suelo debe ser profundo, con una textura franca, franco-arcillosa, franco-arenosa, con una porosidad de 20 a 60% con buena retención de humedad y un buen drenaje. La topografía debe ser plana a ligeramente ondulada, con una pendiente no mayor de 25%. Respecto a la propiedades químicas del suelo, el pH óptimo debe estar entre 5.5 a 7.0, la materia orgánica mayor a 3%, la capacidad de intercambio catiónico debe ser superior a 25 meq/100 g de suelo y entre los minerales, el calcio, el magnesio y el potasio deben ser mayores a 4,1 y 0.61 meq/100 g de suelo, respectivamente.

2.1.5. Establecimiento de la plantación.

El sistema de plantación en cuadrado y tres bolillos son los más utilizados en la región; tanto para el cultivo principal, sombra temporal y permanente. La mejor época para la siembra de los plántones de cacao en campo definitivo es al iniciar o finalizar la temporada de lluvias. Se sugiere utilizar la distancia de 3 x 3 m entre árboles de cacao, con un arreglo en marco real, cuadro o tres bolillos, lo cual permite obtener una densidad de 1,156 y 1,307 árboles por hectárea, respectivamente. El suelo extraído de los hoyos debe mezclarse con compost, estiércol descompuesto o materia orgánica superficial y retornarlo al hoyo al momento del trasplante. Es importante separar el suelo de

los primeros 10 cm y depositarlo en el fondo del hoyo. Al colocar la planta en el hoyo, que ha sido abierto en el suelo, se le debe cubrir con tierra superficial oscura (que tiene alto contenido de materia orgánica) y no con aquella tierra que ha sido extraída del hoyo al momento de abrirlo.

2.1.6. Injerto en cacao.

Las varas yemeras se deben extraer de jardines clonales o plantaciones de cacao que tengan las siguientes características: planta altamente productiva y precoz, tolerantes a enfermedades como “escoba de bruja”, “moniliasis” y “podredumbre parda”. También se puede utilizar plantas madres promisorias locales previa evaluación. Las varas yemeras deben ser maduras, de color marrón claro, deben tener como mínimo 9 yemas y su grosor debe ser igual al patrón a injertar y del tipo de injerto a realizar. Deben tener un tamaño aproximado de 50 cm de longitud. Los tipos de injerto recomendados son: parche, púa o hendidura lateral y terminal y el tipo momia. El momento de la injertación se realiza cuando los patrones en campo definitivo tienen un tamaño no menor de 60 cm y mayor de 1.5 cm de diámetro. Esta actividad se puede realizar en cualquier época del año si se tienen buenas condiciones de sombra temporal, con temperatura no mayor a 30 °C.

2.1.7. Podas.

En campo definitivo se realiza la poda de formación, para mejorar la estructura deseada de la planta durante el primer año de crecimiento de la planta, y para el caso de plantas injertadas se deben dejar de 3 a 4 ramas principales perfectamente balanceadas, a una altura no menor de 40 cm. Durante esta actividad se recomienda utilizar una pasta cauterizante que puede ser de ceniza o bórdales, para tallos o ramas mayores de 3 cm de diámetro, si es menos con una fumigación de un fungicida cúprico es suficiente. Una buena estructura de la planta permitirá tener la mayor distribución de los frutos y mejor manejo de la planta.

La poda de mantenimiento consiste en eliminar toda parte vegetativa perjudicial, improductiva y enferma de la planta y se realiza durante todo el ciclo

de vida de la planta, dependiendo el tipo de poda puede ser de 4 a más veces por año.

La poda fitosanitaria consiste en eliminar las partes enfermas de la planta: ramas, frutos (atacados por moniliasis, escoba de bruja, mazorca negra u otras enfermedades) e incluso parte del tallo principal. El descuido de esta actividad crea fuente de inóculo de las plagas y enfermedades. Se recomienda desinfectar la herramienta al momento de realizar la poda, con alcohol al 70%. Se realiza mensualmente, en los meses de mayor precipitación y cada 2 meses en época seca.

Finalmente, la poda de rehabilitación se realiza normalmente en plantas de cacao híbridos o criollo improductivos o muy susceptibles a enfermedades con el propósito de estimular el brote de chupones basales, pues se seleccionará uno de ellos y se realizará el injerto con el clon de características deseadas.

2.1.8. Cosecha y beneficio.

Es una operación que consiste en separar cuidadosamente los frutos maduros del árbol utilizando herramientas adecuadas. Se debe tener en cuenta algunos aspectos durante esta actividad: La cosecha se debe realizar cada 2 semanas en el período de mayor producción y cada 3 semanas en la época seca. Solamente se debe cosechar mazorcas maduras evitando los pintones pues aún no han madurado bien para completar los azúcares precursores de sabor y aroma. En la cosecha es fundamental el cuidado que se debe tener con el cojín floral, de lo contrario disminuirá la producción de la próxima campaña. De igual forma, al realizar la cosecha se debe aprovechar en remover los frutos enfermos, depositándolos en las composteras o microrrellenos sanitarios para ser tratados. Desinfectar las herramientas de cosecha con alcohol al 70%.

Los frutos cosechados deben partirse con machetones sin filo preparados, haciendo un corte oblicuo en la base del fruto, desechando la

placenta. No debe mezclarse granos cosechados de diferentes días. Las semillas podridas o germinadas se deben eliminar o separar de los granos sanos. Evitar el corte de las semillas. Los granos de la mazorca se debe depositar en baldes para evitar la pérdida del jugo o parte del mucílago.

La fermentación es el proceso por el cual los granos son sometidos a cambios bioquímicos y consta de dos fases: anaeróbica y aeróbica. La primera se produce en ausencia de oxígeno (O_2), alta temperatura hasta 50 °C que facilitan la transformación de azúcares, el alcohol etílico, descomposición de ácido cítrico y formación de exudado que muchas veces sirven para el consumo directo como jugo de cacao. La fermentación aeróbica se inicia con el desarrollo de las bacterias acéticas que requieren oxígeno y la temperatura baja a 35-40 °C. Esta etapa se reconoce por la presencia de mosquitos pequeños *Drosóphilas* y por su característico olor a vinagre. Al ajustar los granos ocurre un sangramiento o salida de líquido enrojecido, síntoma de que la fermentación está en curso correcto. Al cuarto día, con un nuevo movimiento de oxigenación se propicia la acción de los microorganismos acéticos que completan el proceso de fermentación. Al quinto día los granos entran en un proceso de secado.

Con el proceso de fermentado se mejora el sabor, el aroma y se facilita el secamiento. Un cacao fermentado seca más rápido que un cacao que no lo está. Esta operación será incompleta por falta de calor. El cacao se debe fermentar en cajones de madera, cuyas dimensiones varían según las cantidades cosechadas. Pueden tener 60 cm x 60 cm x 70 cm para fermentar 200 Kg de grano fresco o 1.00 m x 1.00 m x 1.00 m para fermentar 800 Kg de grano fresco. En la limpieza y acondicionamiento del cajón se deben eliminar los residuos del mucílago de los orificios del cajón para facilitar el drenaje. Los cajones fermentadores se llenan con granos de cacao extraídos de las mazorcas, luego se nivela y compacta para evitar bolsas de aire que afectan el proceso de fermentación. Finalmente, se cubre la superficie con hojas de plátano, costales de yute y sobre ésta se coloca una tapa de madera o maderas sueltas para apisonar la masa. La primera remoción se realiza a los 2 a 3 días, contados a partir del llenado de la masa. Las siguientes remociones se deben

realizar cada 24 horas hasta completar la fermentación deseada y partir del 4^{to} día realizar pruebas de corte para evaluar el porcentaje de fermentación logrado. Durante el primer y segundo día los granos no se deben mover dentro del cajón. En este ambiente actúan las levaduras (hongos) del tipo *Sacharomyces* ocurriendo las profundas transformaciones físico-químicas. Al tercer día se debe hacer un movimiento de oxigenación.

El proceso de secado consiste en eliminar lentamente el contenido de humedad de los granos hasta que alcancen un 7% de humedad. En esta etapa se completan los cambios bioquímicos que suceden a la fermentación, reduciéndose la acidez y obteniéndose un característico sabor y aroma a chocolate. El secado al sol es el método más aconsejable, el cual debe realizarse en eras de cemento o sobre tarimas de madera. Nunca se debe secar sobre calaminas o en el piso de suelo, pues se desmejora la calidad del cacao. Al momento de secado se debe eliminar toda impureza de cáscaras de mazorcas o restos de placentas. El secado debe ser lento, removiendo cada cierto tiempo para conservar la calidad del grano. Los granos deben removerse con rastrillos de madera en camellones. Los primeros dos días se debe realizar el secado controlado, el cual consiste en extender los granos de cacao con un espesor de 10 cm y remover cada hora. Un secado violento no contribuye a disminuir la acidez especialmente en el CCN-51 y en general en todos los tipos de cacao. A partir del tercer día el secado deberá ser de manera normal, es decir que se realizará en capa de granos delgada hasta lograr la humedad del 7.0%. La selección y limpieza se debe realizar utilizando una zaranda con malla metálica, con la finalidad de eliminar las impurezas y escoger los granos defectuosos y se recomienda realizar pruebas de corte para evaluar el porcentaje de fermentación logrado.

El proceso de almacenamiento consiste en utilizar sacos de yute y apilar sobre parihuelas. Evitar contacto con las paredes del almacén. El ambiente debe ser bien ventilado y libre de olores fuertes (combustible, guano de Isla, humo, etc.). El almacén no debe tener el piso húmedo y debe ser iluminado. El cacao bien fermentado y secado se puede guardar en el almacén por un período de 5 a 6 meses.

2.1.9. Sistemas de manejo del cultivo en la zona de San Alejandro.

En la zona de estudio, generalmente existen tres sistemas de manejo, cuyas características se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los sistemas de manejo en cacao.

Sistema de manejo	Características
Tradicional	Manejo de podas, sin abonamiento, control manual de malezas, sin control de plagas y enfermedades.
Químico	Manejo de podas, uso de fertilizantes (urea, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio), control químico de malezas, de plagas y enfermedades.
Orgánico	Manejo de podas, uso de abonos orgánicos (guano de islas, roca fosfórica, cloruro de potasio y micro elementos). Control manual de malezas, control biológico y químico de plagas y enfermedades.

2.1.10. La cáscara de cacao.

Según refiere, Mendoza (2016), chef peruana, la cáscara de cacao, conocida como mazorca contiene el mayor volumen del fruto (más del 80%), además de vitaminas A y C, minerales como calcio y magnesio, así como fibra y pectina que la convierten en un ingrediente excepcional para la cocina saludable y la industria alimentaria.

Ya se empieza a cotizar la cáscara a S/ 0.50 el kilo (lo que hasta hoy era desechado empieza a tener valor) debido a que, aproximadamente, 140 mil toneladas de cáscara es desperdiciada cada año, la idea es incorporarlas a la cadena productiva de la gastronomía, contribuir con una alimentación saludable e incrementar los ingresos de las familias cacaoteras.

En el Perú se cultivan unas 70 mil hectáreas de cacao, y se le considera uno de los mejores cultivos alternativas en las zonas cocaleras ilegales. En esta área se producen 46 mil toneladas de grano al año: 1,2% de la

producción mundial y la mayoría se exporta para la industria del chocolate.

Durante la extracción de los granos de cacao, la cáscara que representa el 52-76% del peso de la fruta del cacao, son arrojados a los campos cerca de las plantas de procesamiento, causando problemas ambientales debido a los malos olores producto de la descomposición. Además, dada la gran demanda de las semillas del cacao principalmente por la industria del chocolate, las cantidades de cáscaras seguirán aumentando representando un serio desafío para la gestión de residuos. En los países productores de cacao el tratamiento de estos residuos puede ofrecer ventajas económicas y disminuir los problemas ambientales asociados, siendo una alternativa la producción de pectina.

La cáscara de cacao, según argumenta Nizama (2015) corresponde al 90% del fruto, es el principal desecho del proceso de beneficio del cacao. Las cáscaras representan un grave problema para los agricultores, ya que, al ser usado como abono sin compostar, se convierten en una fuente significativa de enfermedades causada por varias especies del género *Phytophthora*. (Betancourt 2008).

Representan un importante componente de los residuos agrícolas y desechos agroindustriales en el mundo, constituyendo una buena fuente de recursos renovables y energía. Internacionalmente se viene desarrollando posibles usos de la cáscara de cacao, como fuente de fertilizantes de suelos, alimento para aves y animales, fuente de pectinas y gomas, elaboración de carbón activado y obtención de fibra dietaria. La cáscara de cacao, se encuentra disponible en las regiones tropicales. Representa un 74% del peso total del fruto fresco. La cáscara de cacao contiene 6-8% de proteína cruda y 24-36% de fibra cruda, y por cada kilogramo de semilla seca de cacao, quedan aproximadamente 2 Kg de cáscara seca en el campo, que se desperdicia totalmente (Tuchán 2004).

2.1.11. La hojarasca o mulch.

Gonzales (2012), sostiene que el mulch es el proceso de cubrir la

capa arable o el suelo fértil con materiales secos como hojas, hierba, ramitas, residuos del cultivo, paja, etc. Una cobertura de mulch realza la actividad de los organismos del suelo como lombrices que ayudan a crear una estructura del suelo con bastantes poros grandes y pequeños, a través de los cuales el agua de lluvia fácilmente puede infiltrarse en el suelo, reduciendo así la escorrentía en la superficie; como el mulch se pudre, este aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo. La materia orgánica en el suelo ayuda a crear un buen suelo con una estructura granular estable, así las partículas del suelo no serán fácilmente erosionadas; por consiguiente, el mulch juega un papel crucial en el control de la erosión.

Por su parte, la Sociedad Internacional de Arboricultura (2009), manifiesta que existen muchas formas comerciales de mulch, los dos grupos principales son los orgánicos y los inorgánicos. Los inorgánicos incluyen varios tipos de piedras, piedra volcánica, goma pulverizada, y materiales geotextiles, entre otros. El mulch inorgánico no se descompone rápidamente, por lo que no necesitan ser reabastecidos con frecuencia. El mulch orgánico incluye astillas o virutas de madera, hojas de pino, corteza de árboles, cáscaras de cacao, hojas, mulch mixto y una gran variedad de otros productos generalmente derivados de plantas. El mulch orgánico se descompone a diferentes ritmos dependiendo del material. Los que se descomponen más rápido se tienen que reabastecer con más frecuencia.

2.1.12. Generalidades sobre metales pesados.

Según refiere Jaramillo (2008), un “metal pesado” es aquel elemento de alta densidad y con la capacidad de reemplazar o desplazar otros elementos inhibiendo su funcionamiento. Un metal pesado debe primero estar presente en el suelo, agua o ser introducido en el manejo (fertilizantes).

El suelo debe tener las condiciones para que sea disponible para la planta, y en esta, deben existir mecanismos para su asimilación, es decir, no se ejerce la selectividad sobre estos (caso Zn).

Desde hace algunos años se habla de problemas relacionados con la salud en distintos aspectos: Plomo (Pb), afectación de la capacidad intelectual y desarrollo en neo-natos; Cadmio (Cd), daño renal; Arsénico (As) y Mercurio (Hg), cáncer y numerosas afectaciones nerviosas.

El cadmio está presente como Cd^{2+} en la mayoría de suelos se combina con el Cl^- y SO_4^{2-} formando compuestos solubles. Se combina con el azufre en suelos reducidos o inundados, su solubilidad es dependiente del pH, en suelos ácidos es muy móvil. No se fija en el suelo como el P, Zn y Pb. Tiene un radio iónico similar al Ca^{2+} y lo sustituye en minerales y en la absorción radical.

La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas. Según la región de cultivo, el grado de concentración de metales pesados es diferente.

2.1.13. Contaminación por metales pesados en la agricultura.

Según Alloway (1995), citado por Saavedra (2002), manifiesta que la agricultura constituye una importante fuente no puntual de metales que contribuyen significativamente a su concentración en los suelos en muchas partes del mundo en especial en regiones de agricultura extensiva. Estas fuentes de contaminación pueden ser impurezas en fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), lodos de aguas residuales (Cd, Ni, Cu, Pb, Zn y otros), compost derivado de basura (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn), corrosión de objetos metálicos (Zn, Cd) o estiércol (Cu, As, Zn).

De igual forma Calderón y Concha (2000), expresan que los cultivos en nuestro país utilizan regularmente fertilizantes y/o guano (excremento de animales como: cabra, vaca, aves) y en pocos casos se usa el compost (derivado de desechos vegetales) en el manejo de los mismos. Estos insumos agrícolas pueden ser fuentes potenciales de metales en cantidades apreciables. Se debe considerar aquellos insumos que acidifican el suelo, como por ejemplo

los superfosfatos, ya que esto facilita la movilidad y viabilidad de los metales pesados.

2.1.14. Capacidad de retención de metales pesados en el suelo.

Calderón y Concha (2000), manifiestan que los metales pueden llegar a la planta ya sea del suelo, del agua de riego o del aire. La planta tiene básicamente dos vías de comunicación con el medio ambiente: la primera y la de mayor importancia, es que la planta recibe la mayor parte de los nutrientes necesarios para su desarrollo del suelo. En segundo lugar, se encuentra la atmósfera, que es por donde recibe algunos nutrientes, la radiación solar, etc. La planta se comunica con el suelo a través de la raíz, específicamente por una capa superficial llamada rizósfera (1 – 2 mm), que es una parte muy activa desde el punto de vista biológico. Es a través de esta capa que la planta absorbe tanto los nutrientes como los contaminantes que se encuentran disponibles en la solución del suelo. La comunicación de la planta con la atmósfera se realiza mediante las hojas, exactamente a través de las estomas, que son diminutos conductos por los que se realiza un intercambio tanto de la planta hacia la atmósfera como de la atmósfera hacia la planta.

Con respecto a la relación suelo agrícola – planta – metales pesados, es importante conocer que es en la primera capa del suelo, la capa arable (“topsoil” o también llamado Horizonte Ap) la de interés en el caso del estudio de la relación suelo– planta en general, debido a que es en esta capa donde se encuentran la mayor proporción de la masa total de la raíz de las plantas. Por otro lado, en la solución del suelo se pueden encontrar elementos de todo tipo relacionados con las necesidades de la planta. El cobre y el zinc son elementos esenciales para la planta (nutrientes menores), mientras que el cadmio, plomo y arsénico son elementos no esenciales y potencialmente tóxicos (Calderón y Concha 2000).

Los factores que afectan las cantidades de metales absorbidos por las plantas son: la concentración y tipo de metal que se encuentra en la solución del suelo, el transporte desde la superficie de la raíz hasta la raíz misma (a través

de la rizósfera) y su translocación de la raíz a los brotes de la planta. La absorción de los metales pesados por la planta puede ser pasiva o activa o la combinación de ambas. La pasiva (no metabólica) involucra difusión de iones de la solución del suelo hacia la endodermis de la raíz. La activa tiene lugar en contra del gradiente de concentración por lo que requiere energía metabólica y puede por lo tanto ser inhibida por toxinas (Saavedra 2002).

Según Jaramillo (2010), los metales pesados tienen dos tipos de origen, uno geogénico cuando proviene de las rocas que dieron lugar al suelo y los cuales fueron liberados por meteorización de estas rocas y otro de origen antropogénico por las actividades humanas como la agricultura, la ganadería, minería, generación de industria eléctrica, entre otras. La toxicidad de un elemento o compuesto químico es la capacidad que tiene este material para afectar adversamente una función biológica de cualquier organismo vivo.

La contaminación de los metales pesados se presenta cuando estos exceden los valores normales o concentraciones máximas aceptables. Por lo tanto, diversos países han determinado estos valores para suelos de uso agrícola en función de condiciones locales, uso de historia de la región, tipo de suelo, clima y criterio de los autores.

En México la norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece las concentraciones de referencia de los metales pesados en el suelo, como se aprecia en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Concentraciones de metales pesados según el uso del suelo.

Metal	Suelo de uso agrícola/ residencial/ comercial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Cadmio	37	450
Mercurio	23	310
Plomo	400	800
Cromo	280	510

Fuente: Belmonte; Romero, Alonso, Moreno y Rojo (2010).

Algunos organismos como la Unión Europea han determinado las concentraciones críticas en base al pH y a la materia orgánica, como se observa en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Niveles críticos de metales pesados según pH.

Metal pesado	pH del suelo			
	4	5	6	7
Cadmio	0.56	1.2	2.6	5.5
Plomo	30.0	39.0	50.0	64.0
Cobre	6.6	6.9	7.2	7.6
Zinc	3.7	5.1	7.0	9.6

Fuente: Alloway (2013).

Cuadro 4. Concentraciones máximas aceptables de algunos metales pesados en suelos agrícolas (mg kg⁻¹).

Metal	Alemania	Canadá	Japón	Reino Unido	Unión Europea
Cd	2	8		1	3
Pb	500	200	400	50	100
Cu	50	100	150	50	100
Zn	300	400	250	150	300

Fuente: Kabata-Pendias y Pendias (1992).

Por su parte Wuana y Okieimen (2011), mencionan algunos rangos de concentración de metales pesados en el suelo y su límite regulatorio, como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Rangos de concentración en suelo y límites de regulación para algunos metales pesados.

Metal pesado	Rango de concentración	Límite regulatorio
	mg/kg	
Plomo	1 - 69000	600
Cadmio	0.10 - 345	100
Cromo	0.05 - 3950	100
Mercurio	< 0.01 - 1800	270
Zinc	150 - 5000	1500

Fuente: Wuana y Okieimen (2011).

2.1.15. Biodisponibilidad de metales pesados.

Se entiende por biodisponibilidad, la fracción de metal pesado que está disponible para la absorción por las plantas, esta fracción está constituida por la parte soluble y adsorbida del metal. Los metales se encuentran en distintas formas o fracciones en el suelo: soluble en la solución del suelo, adsorbida en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo, ligada a la materia orgánica, precipitada como óxidos, hidróxidos y carbonatos, y residual en las estructuras de los minerales silicatados.

Para que se produzca extracción de los metales por la planta, éstos deben estar bio-disponibles. La bio-disponibilidad depende de la solubilidad y movilidad de los metales. Sólo los metales que se encuentran en la solución suelo y aquellos adsorbidos en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo (fracciones 1 y 2) están disponibles para las plantas, por ello, la concentración total de los metales en el suelo no refleja necesariamente los niveles de metales bio-disponibles. La bio-disponibilidad de los metales en el suelo depende también de su capacidad de adsorción en la fracción coloidal del suelo. La interacción entre los distintos procesos que ocurre en el suelo, como intercambio catiónico, adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos, afectan la distribución de los metales entre la solución suelo y la fase sólida, siendo responsables de su movilidad y bio-disponibilidad dentro del sistema planta-suelo (Rieuwerts *et al.* 1998; Silveira *et al.* 2003; Basta 2004 citado por Ministerio de Agricultura de Chile 2012).

2.1.16. El cadmio.

Naturalmente el cadmio existe en el suelo en promedios menores a 1 ppm, asociado al zinc, la principal especie de cadmio en la solución del suelo es Cd^{2+} aunque también puede formar los siguientes iones complejos: CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO_3^+ , CdCl_3^- , CdCl_4^{2-} , $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ y $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ junto con complejos. En suelos contaminados, la forma de cadmio soluble predominantes es el ion libre Cd^{2+} junto con otras especies neutras como CdSO_4 o CdCl_2 , presentes en cantidades crecientes donde el pH es mayor que 6.5. El cadmio no tiene función

biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales (Alloway 1995).

Huamaní (2012), sustenta que el cadmio presenta, mayoritariamente, un origen alimentario. Además, de todos los metales tóxicos emitidos al medio ambiente, éste es uno de los que más tienden a acumularse en los alimentos. Una característica del cadmio es su fácil transferencia del suelo a los vegetales, siendo uno de los metales que mejor absorben las plantas.

Las vías de contaminación al humano son: aire- alimentos, agua- alimentos, suelo- planta- animal- alimentos y suelo- vegetal.

Otros factores que incrementan los metales pesados puede ser una disminución del pH del suelo, ya que facilita la transferencia del cadmio al vegetal, por ello es importante, en zonas industrializadas, el fenómeno de la lluvia ácida, ya que esta hace disminuir el pH del suelo, aumentando la absorción por parte de las plantas y, por tanto, la acumulación.

El mismo autor ha determinado que el aumento puede llegar a ser de 2 a 20 veces superior que en zonas con suelos no contaminados o pH más elevados. De igual forma, la aplicación de abonos naturales fosfóricos, dentro de su composición contiene cadmio que puede ser una fuente de contaminación en el grano de cacao.

Trabajos del autor en la Cooperativa Agraria Naranjillo en Tingo María en el año 2014, han demostrado que el cadmio se encuentra más concentrado en suelos arcillosos y pizarrosos, así como en suelos de pH bajos. Los depósitos sedimentarios originados, muestran una elevada concentración de cadmio.

2.1.17. Vías de contaminación por cadmio (Cd).

Los metales pesados en los alimentos tienen múltiples orígenes. En el caso del cacao es posible que la contaminación se de en las etapas de

cultivo, producción y transformación (Martínez y Palacio 2010).

La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas. Según las regiones, el grado de concentración de metales pesados es diferente (CITE CACAO-USAID PDA 2011).

Calderón y Concha (2000), por su parte sostienen que los metales pesados como el cadmio, pueden llegar a la planta ya sea del suelo, del agua de riego o del aire.

Según refiere Prieto *et al.* 2009, citado por Huamaní (2012), el cadmio y el plomo se encuentran en forma de minerales en la corteza terrestre, de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomados de ellas por el ser humano, lo cual constituye un riesgo para su salud.

De igual forma, Augstburer *et al.* citado por Huamaní (2012), sostiene que la planta de cacao absorbe metales pesados del suelo y los concentra en las semillas.

El límite máximo de metales pesados en el suelo como el cadmio, según refiere la Ley Federal Alemana (citado por Cárdenas 2012) para suelos arcillosos y con pH entre 5.5 y 7 es de 1.5 ppm. Igualmente reporta que, en productos nutricionales y en especial en las almendras de cacao, la Unión Europea, los estándares máximos admisibles de cadmio no pueden sobrepasar 0.50 ppm.

2.1.18. Determinación de niveles de cadmio.

Esta labor se realiza mediante el uso de la espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con llama (aspiración directa), mediante la cual, la muestra se aspira y atomiza en una llama. Un rayo de luz proveniente de una lámpara de cátodo hueco, o de una lámpara de descarga, se dirige a través de la llama a un monocromador y a un detector que mide la cantidad de luz absorbida. La absorción depende de la presencia de los átomos libres en la

llama. Debido a que la longitud de onda del rayo de luz es característica del elemento que se está determinando, la luz absorbida por la llama es una medida de la concentración del metal en la muestra.

En la técnica del horno de grafito o electro-térmica el principio es esencialmente el mismo, excepto que usa un horno, en lugar de la llama, para atomizar la muestra. La técnica es simple, rápida y aplicable a un gran número de elementos. Pero, aunque se han informado métodos para el análisis de sólidos, está generalmente limitada a elementos en solución. Los límites de detección, la sensibilidad y los rangos óptimos para el análisis de los metales varían con las matrices y con los modelos de los espectrofotómetros de absorción atómica. (Universidad de Concepción Facultad de Agronomía Chillan, Chile 2007).

2.1.19. Antecedentes de la investigación.

2.1.19.1. A nivel internacional.

Aikpokpodion y Asowata (2017), reportan que, el consumo de chocolate es común entre los niños nigerianos que viven en las ciudades. A pesar de la palatabilidad y la importancia nutricional del chocolate, apenas existe sin rastros de contaminación por metales pesados. El estudio se llevó a cabo para evaluar el nivel de metales pesados seleccionados en el chocolate y sus posibles impactos en la salud de los niños que consumen el producto de forma regular. Se compraron y analizaron treinta (30) marcas de chocolates v, incluyendo 26 de leche y 4 chocolates oscuros. El cociente de riesgo total varió entre 0.06 y 0.25 para Ni, mientras que varió entre 0.03-0.13, 0.03-0.09, 0.06-0.47, 0.0015- 0.0042 y 0.029-0.10 para Pb, Zn, Cu, Cr y Fe, respectivamente. Los valores bajos del cociente de riesgo objetivo calculado sugieren la seguridad de los chocolates investigados con respecto a la contaminación por metales pesados.

Por su parte, Cáceres y Torres (2017), en la búsqueda de alternativas para disminuir los niveles de Cd en grano de cacao en Colombia,

caracterizaron la comunidad microbiana cultivable asociada a suelos cacaoteros con diferentes niveles de Cd (bajo 4.0 mg/kg), en los municipios de Nilo y Yacopí (Cundinamarca), en cinco localidades. Para ello, se determinó la abundancia y diversidad de los morfotipos aislados en medio sólido con 6 mg/kg de Cd, aumentando la dosis a 12-18-24 mg kg⁻¹ para conocer el nivel de tolerancia a Cd, en condiciones de laboratorio. Adicionalmente, se caracterizaron macro y microscópicamente los morfotipos puros obtenidos y también se identificaron a nivel molecular usando marcadores 16S e ITS1-4 del rADN para bacterias y hongos, respectivamente. Los resultados obtenidos se analizaron con base en las condiciones de suelo y manejo agronómico. Se encontró mayor abundancia de bacterias (logUFC > 5.6) que de hongos (logUFC > 5.2) en todos los suelos estudiados, sin embargo el suelo con el nivel más alto de Cd presentó menor abundancia y mayor riqueza de hongos y bacterias, con respecto a las demás localidades. El 82% de las bacterias aisladas corresponden al filo Proteobacterias con géneros representativos como *Pseudomonas* spp. *Halomonas* sp. y *Herbaspirillum* sp y el 93% de los morfotipos fúngicos pertenece a la división Ascomycota con *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp, entre otros. La mayor tolerancia a Cd de los morfotipos bacterianos fue de 18 mg kg⁻¹ de Cd, tolerada por 54.2% de los morfotipos aislados, mientras que el 93% de los hongos toleró 24 mg kg⁻¹ de Cd. Los resultados obtenidos en este estudio brindan conocimiento de la diversidad microbiana asociada al cultivo de cacao con potencial para ser utilizada en programas de biorremediación, con tecnologías regionales que permitan el uso de los microorganismos *in situ* o utilizando los microorganismos para elaborar productos biotecnológicos.

Mite *et al.* (2010), en un monitoreo sobre la presencia de cadmio en almendras, suelos y aguas en Ecuador, encontraron que, las muestras de cáscaras de cacao analizadas, presentan en promedio 1,01 mg kg⁻¹ de Cd, que resulta menor a los 2,00 mg kg⁻¹ de Cd reportado por INIAP-PROMSA (2003). Se ha observado que existen fincas con bajos y altos niveles de contaminación, cuyo rango fue de 0.1 a 9.94 mg kg⁻¹ de Cd en la cáscara. Por otro lado, el mayor promedio en almendras se registra en cacao sembrado en las provincias de El Oro, Santa Elena y Orellana con 1,35; 1,32 y 1,15 mg kg⁻¹ de Cd, mientras que,

el menor promedio de $0,47 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, se encuentra en Morona Santiago. En esta investigación, hasta el momento se ha encontrado un valor de $4,08 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd en la almendra, que es el más elevado, le siguen Guayas y Manabí con $3,57$ y $3,46 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

2.1.19.2. A nivel nacional.

Revoredo (2017), realizó un trabajo en Lima, cuyo objetivo fue determinar la actividad biorremediadora de 3 cepas de *Streptomyces*: *Streptomyces variabilis* (AB5 y X) y *Streptomyces* sp. (C2) en plantas de cacao utilizando dos concentraciones diferentes de cadmio: 100 y 200 ppm. Se cuantificó el cadmio absorbido por la planta de cacao y se determinó la efectividad de las cepas en impedir la absorción de cadmio. La cepa C2 fue la única con actividad biorremediadora comprobada ya que reduce la absorción de cadmio en un promedio de 39.67% en el tratamiento con Cd 100 ppm con respecto a su control ($p=0.58$). Las cepas X y AB5 no mostraron actividad biorremediadora.

Chupillon *et al.* (2017), por otro lado, desarrollaron una investigación en Tarapoto San Martín con el propósito de determinar la absorción de cadmio para seis genotipos de cacao, utilizados como patrón: CCN-51, IMC-67, SCA-6, EET-400 y POUND-12 y un cacao común (Híbrido) como control. La concentración de cadmio fue determinada tanto en la parte aérea como la parte radicular para cada genotipo. El cacao común presentó mayor acumulación de materia seca, sin diferencias con POUND 12 y EET 400 en la parte aérea e IMC67 y POUND 12 en las raíces. El clon EET-400, acumuló más cadmio tanto en la parte aérea como en la raíz, en comparación a los otros clones con diferencias significativas al cacao común (control). El clon IMC67, presentó el menor contenido de cadmio tanto en la parte aérea como en la raíz, con diferencias significativas al control, siendo el clon más propicio para su uso por los agricultores.

De igual forma, Huamaní *et al.* (2012), en una investigación realizada en Tingo María, concluye que en estos suelos donde se cultiva cacao,

los valores promedios de cadmio fueron de 0.53 ppm y son considerados como bajos. Asimismo, observó correlaciones de cadmio en suelo con el contenido foliar de P, Ca y Mg.

Cárdenas (2012), por su parte, expresa que la evaluación del contenido de cadmio en semillas de cacao en parcelas de las regiones San Martín y Ucayali revelan la presencia de cadmio en niveles superiores al permitido (0.5 ppm) lo cual puede restringir la exportación de este producto, mientras que, en localidades de la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, determinó un contenido medio de 0.66 ppm y 1.55 ppm de cadmio en suelos y almendras de cacao orgánico, respectivamente.

Por su parte, Arévalo-Hernández *et al.* (2014), desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue determinar el contenido de metales pesados en las principales zonas cacaoteras del país (Tumbes, Piura, Cajamarca, Amazonas, San Martín, Junín y Cuzco). Se consideraron plantaciones entre 10 y 15 años de edad y los suelos fueron muestreados en seis profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm), a partir de una mezcla de 8 calicatas de 80 cm de profundidad. Hojas y granos de cacao fueron colectadas de 70 plantaciones de cacao de 10 a 15 años de edad y la naturaleza genotípica del clon fue registrado. Se determinaron los contenidos de Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn de los suelos, hojas y granos para cada profundidad muestreada. De forma general, los valores de metales pesados en el suelo no presentaron diferencias significativas entre las profundidades muestreadas y se encontraron por debajo de los niveles críticos de contaminación. Las concentraciones de metales pesados en hojas y granos, estuvieron debajo de los límites críticos reportados para la mayoría de plantas. Sin embargo, altas concentraciones de Cd fueron reportadas en algunas regiones (Amazonas, Piura y Tumbes). Existieron diferencias significativas entre los genotipos de cacao encontrados en campo, indicando que el uso de clones con baja acumulación de metales pesados podría ser una alternativa para evitar problemas de comercialización y contribuir con la seguridad alimentaria de cada región. A pesar de los bajos niveles de metales pesados en los suelos, existió alta absorción de cadmio, indicando que las

características del manejo del suelo, realizado en las parcelas muestreadas, favorece su absorción.

2.1.19.3. A nivel local.

Fernández (2016), al comparar el contenido de cadmio en el cultivo de cacao en la zona de San Alejandro, en los primeros 30 cm del suelo bajo tres sistemas de manejo, concluye que, los sistemas tradicional y orgánico presentan mayor contenido de cadmio total con valores que se consideran ligeramente altos en el suelo. Asimismo, la profundidad a 10 cm presenta el mayor contenido de cadmio, lo cual indica que es el lugar de mayor acumulación de cadmio en los suelos evaluados.

Hoyos (2016), por su parte, desarrolla un trabajo similar en la zona de San Alejandro y concluye que, el contenido de cadmio en almendras de cacao bajo tres sistemas de manejo no muestran diferencias significativas, con 0.75, 0.71 y 0.54 ppm de cadmio. Estos valores se consideran ligeramente superiores a los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas (FAO) cuyos límites máximos de cadmio en granos de cacao es de 0.50 mg/kg peso fresco.

Asimismo, Ramírez (2017), en su investigación desarrollada en San Alejandro-Aguaytía, encontró que, el cadmio acumulado en las hojas bajo tres sistemas de manejo, solo el sistema químico presentó diferencias altamente significativas entre parcelas, con valores de 2.21, 1.19 y 0.65 mg kg⁻¹ de cadmio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en parcelas de cacao de 9 localidades del distrito de Irazola en la provincia de Padre Abad, esta provincia cuenta con una extensión de 8 822,50 Km² está situada en la selva oriental y al noroeste de la región Ucayali. Sus coordenadas geográficas son 09°02'13" de latitud Sur y 75°30'12" de longitud Oeste en el meridiano de Greenwich, a una altitud de 250 msnm.

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

Predomina el clima cálido y húmedo con abundantes precipitaciones, con temperaturas elevadas durante el día y en la noche las temperaturas bajan hasta dar sensaciones de frío. Las precipitaciones con mayor frecuencia se encuentran de noviembre a marzo. La humedad relativa mensual promedio es de 89%. La temperatura media oscila entre 24.93 °C, con una máxima de 32.5 °C y una mínima de 19.30 °C, las temperaturas más altas se dan en los meses de octubre y diciembre y la más baja se da en el mes de julio durante horarios de la noche conocidos como friajes.

Cuadro 6. Datos meteorológicos del distrito de Irazola.

Mes/año	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm)	
			7 am	7 pm
Dic-17	32.4	22.0	0.7	5.4
Ene-18	33.0	21.9	3.8	4.5
Feb-18	32.5	21.9	7.9	12.3
Mar-18	32.5	22.2	1.3	3.7
Abr-18	31.9	22.1	3.0	1.9
May-18	31.4	21.8	0.7	4.2
Jun-18	30.5	20.4	0.3	3.6
Jul-18	32.0	20.0	2.8	0.7
Ago-18	32.1	20.1	1.0	0.6
Set-18	34.1	21.1	0.7	3.5
Oct-18	32.0	22.1	4.6	5.1
Nov-18	31.4	22.8	7.8	4.3
Dic-18	31.8	22.1	1.7	1.4

Fuente: SENAMHI 2019 (Estación Meteorológica San Alejandro).

3.3. CONDICIONES EDÁFICAS.

Los suelos de San Alejandro son considerados del orden Inceptisoles, caracterizados por ser suelos amarillentos a anaranjados, con muy buenas propiedades físicas como textura, estructura, aireación retención de agua, humedad y DAP, entre alto y bajo en materia orgánica; con propiedades químicas de pH bajo (3.1 – 4.3) y nutrientes bajo como N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Mn, Cl, alto en Mo y Fe (Sánchez 2011); muy bueno para instalación de cultivos permanentes como el cacao, estos suelos se ubican en zonas adyacentes a la carretera Federico Basadre.



Leyenda

PARCELA	NOMBRES (Productores de cacao)	SISTEMA DE PRODUCCION	CASERIO
1	ANITA IPUSHIMA GARCIA	QUIMICO	Nuevo Ucayali
2	EDITH SHUINGAHUA	QUIMICO	Vista alegre de chio
3	FAUSTO GAMBINI MORENO	QUIMICO	Valle Sagrado
4	FERMIN ASCANOA ESPINOZA	ORGANICO	Vista alegre de chio
5	JUVENAL CARTAGENA LOPEZ	ORGANICO	Vista alegre de chio
6	GREGORIO MEJIA RIVERA	ORGANICO	Porvenir
7	MANUEL SANTA MARIA DURAN	TRADICIONAL	Asuncion del Aguaytillo
8	FERMIN ASCANOA ESPINOZA	TRADICIONAL	vista alegre de chio
9	ABEL VENTURA CAURA	TRADICIONAL	Bajo Shiringal
	CARRETERA USADA COMO RECORRIDO PARA LA EXTRACCION DE MUESTRAS		

Figura 1. Mapa de ubicación de las parcelas evaluadas.

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS.

3.4.1. Material de estudio.

Los materiales de estudio empleados fueron: muestras de 0.1 kg de suelo por cada localidad, muestras de 0.2 kg de hojarasca por cada localidad, muestras de 0.2 kg de cáscara de cacao por cada localidad.

3.4.2. Materiales de campo.

Se utilizaron machetes, tijeras podadoras, bolsas plásticas, rafia, wincha de 30 m, bolsas herméticas, balanza digital, letrero.

3.4.3. Materiales de escritorio.

Los materiales de escritorio utilizados fueron: lapiceros, papel bond, libreta de apuntes, lápices, tijera, regla, plumón indeleble fino y plumón indeleble grueso, memoria USB.

3.4.4. Equipos.

Los equipos que se utilizaron fueron: cámara digital, balanza, motocicleta y moto taxi.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población estuvo compuesta por 9999 plantas de las 9 has en total y la muestra estuvo constituida por 27 plantas, que provienen de 9 tratamientos (3 sistemas x 3 localidades) y 3 repeticiones por localidad.

3.6. DIMENSIÓN DEL ÁREA TOTAL.

3.6.1. Del campo experimental.

Largo: 100 m

Ancho: 100 m

Área total: 10,000 m²

Unidades experimentales: 27

3.6.2. De la unidad experimental.

Cada unidad experimental tuvo las siguientes medidas:

Largo: 10 m

Ancho: 9 m

Área total: 90 m²

3.7. COMPONENTES EN ESTUDIO.

Los tres sistemas de producción del cultivo de cacao fueron:

S1= sistema químico

S2= sistema orgánico

S3= sistema tradicional

Por cada sistema de producción hubo tres parcelas o localidades, de las cuales se tomaron tres repeticiones de 5 plantas de cacao cada una.

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se empleó el diseño de Bloques completos al azar BCA para cada uno de los sistemas tradicional, orgánico y químico, y finalmente se contrastaron los tres sistemas cuyos promedios de cadmio en hojarasca y cáscara fueron comparados mediante la prueba de Duncan al 0.05 nivel de significación.

3.8.1. Modelo matemático.

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij}: Observación del i – ésimo bloque, en el j –ésimo sistema.

μ: Media general.

Bi: Efecto del i-ésimo bloque.

Tj: Efecto del j-ésimo sistema en estudio.

Eij: Error experimental.

3.8.2 Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad
Bloques	2
Parcelas/ sistemas	2
Error experimental	4
Total	8

3.9. EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.

3.9.1. Selección de los productores participantes.

Se realizó una reunión general en la asociación ACATPA donde se conoció a los productores de cacao y los métodos de manejo que ellos aplican a sus cultivos; de acuerdo a eso se seleccionó 9 parcelas de productores para posteriormente evaluar sus respectivas parcelas o localidades.

Las localidades seleccionadas por cada sistema de manejo fueron:

Sistema Químico: Nuevo Ucayali, Vista Alegre de Chía y Valle Sagrado.

Sistema Orgánico: Vista Alegre de Chía, Tahuantinsuyo y Porvenir

Sistema Tradicional: Asunción de Aguaytillo, Vista Alegre de Chía y Bajo Shiringal.

3.9.2. Colecta del material experimental.

Para la extracción de muestras de suelo, en cada parcela se construyó tres calicatas de 40 x 40 cm de ancho por 10 cm de profundidad, de las cuales se tomaron muestras que fueron mezcladas para obtener una sola de

1 kg de suelo por parcela. Las muestras fueron secadas, tamizadas, pesadas y posteriormente se colocó 100 g de suelo por muestra en 9 bolsas ziploc de doble cierre de medidas 16 x 5 cm para su respectivo envío y posterior análisis de cadmio.

Las muestras de hojarasca fueron recolectadas de 9 parcelas manejadas bajo 3 sistemas diferentes de producción (sistema químico, orgánico y tradicional). Para ello, se colectó entre 100 a 200 g de hojas secas de cacao que estaban en la superficie del suelo y alrededor de las plantas seleccionadas de cacao. Luego de coleccionar las muestras de hoja seca, se procedió a embolsarlas y etiquetarlas convenientemente para luego trasladarlas al laboratorio de suelos de la UNU, donde se procedió a secar a estufa por 72 horas a 125 °C y de allí se realizó la molienda de las hojas secas con ayuda de un molino manual, lográndose un peso promedio de 20 g de hoja seca molida por cada muestra. Este material de 9 muestras se llevó a la UNA La Molina, para su determinación por el contenido de cadmio.

Esta operación se realizó de manera simultánea en las 9 parcelas manejadas bajo los tres sistemas de producción.

Para el caso de la cáscara de la almendra, se colectó 9 mazorcas de cada parcela, las cuales después de ser identificadas fueron llevadas al laboratorio de suelos de la UNU, con la finalidad de cortar la mazorca y extraer 500 g de cáscara húmeda por parcela, la cual fue colocada en la estufa para su posterior secado a 105 °C por 3 días. Luego se procedió a moler y tamizar la muestra de cáscara, para extraer 200 g por cada una, y posteriormente se trasladaron las muestras debidamente etiquetadas a la UNA La Molina, para su determinación del contenido de cadmio por EEA.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CADMIO EN CÁSCARA POR SISTEMA DE MANEJO.

Respecto al contenido de cadmio en la cáscara de cacao no se presentó diferencias significativas entre los sistemas de manejo (Cuadro 7 y Figura 2)

Cuadro 7. Cadmio en la cáscara de cacao por sistema de manejo.

Sistema	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
T1 Tradicional	0.39	a
T2 Químico	0.86	a
T3 Orgánico	0.60	a

Sin embargo, el sistema químico muestra el promedio más alto, debido probablemente a que estas parcelas han tenido una frecuente aplicación de fertilizantes fosfatados, cuyo contenido de cadmio varía entre 8 a 500 mg de Cd/kg de P (Bonilla 2002).

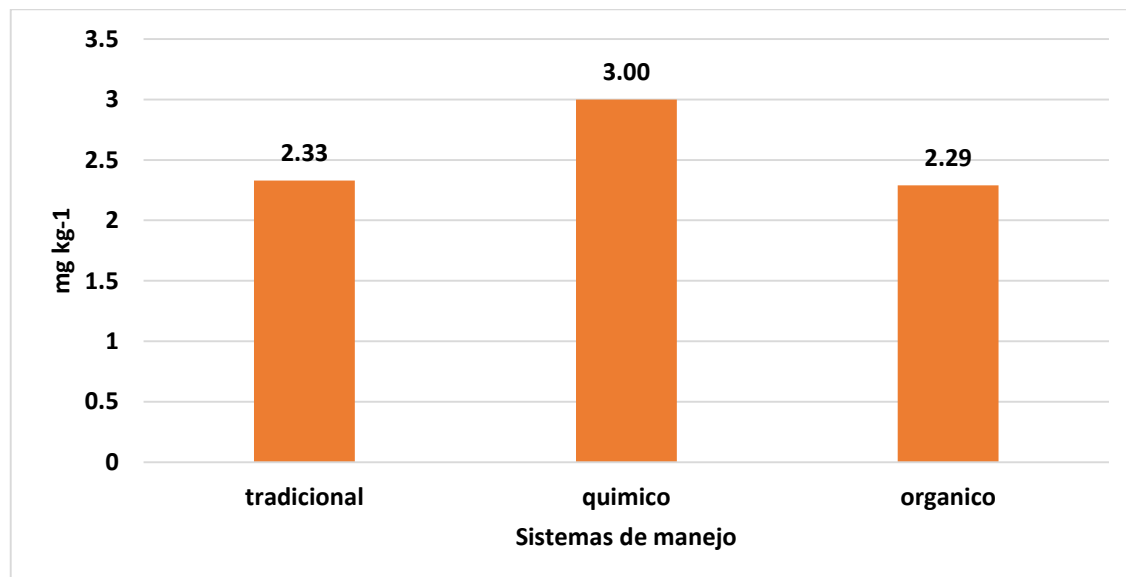


Figura 2. Contenido de cadmio en cáscara por sistema de manejo.

Para el sistema tradicional, el contenido de cadmio entre localidades tampoco mostro diferencias significativas, sin embargo, el mayor valor (0.68 mg kg⁻¹ de cadmio) le corresponde a Asunción de Aguaytillo, y los menores valores

(0.56 y 0.56 mg kg⁻¹ de cadmio) fueron encontrados en Bajo Shiringal y Vista Alegre de Chía (Cuadro 8 y Figura 3).

Cuadro 8. Cadmio en cáscara entre localidades del sistema tradicional.

Localidades	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
Asunción de Aguaytillo	0.68	a
Bajo Shiringal	0.56	a
Vista Alegre de Chía	0.56	a

Sin embargo, los resultados son menores a los encontrados por Mite *et al.* (2017) en un monitoreo sobre cadmio en almendras, suelos y aguas en Ecuador, encontraron que, las muestras de cáscaras de cacao analizadas, presentan en promedio 1.01 mg kg⁻¹ de Cd, que resulta menor a los 2.00 mg kg⁻¹ de Cd reportado por INIAP-PROMSA (2003). Al igual que lo mencionado por INIAP-PROMSA (2003) y Carrillo (2003), tejidos de cacao de la provincia de El Oro, presentan contenidos muy altos de Cd. En esta investigación, hasta el momento se han encontrado 3.94 y 9.94 mg kg⁻¹ de Cd en la cáscara.

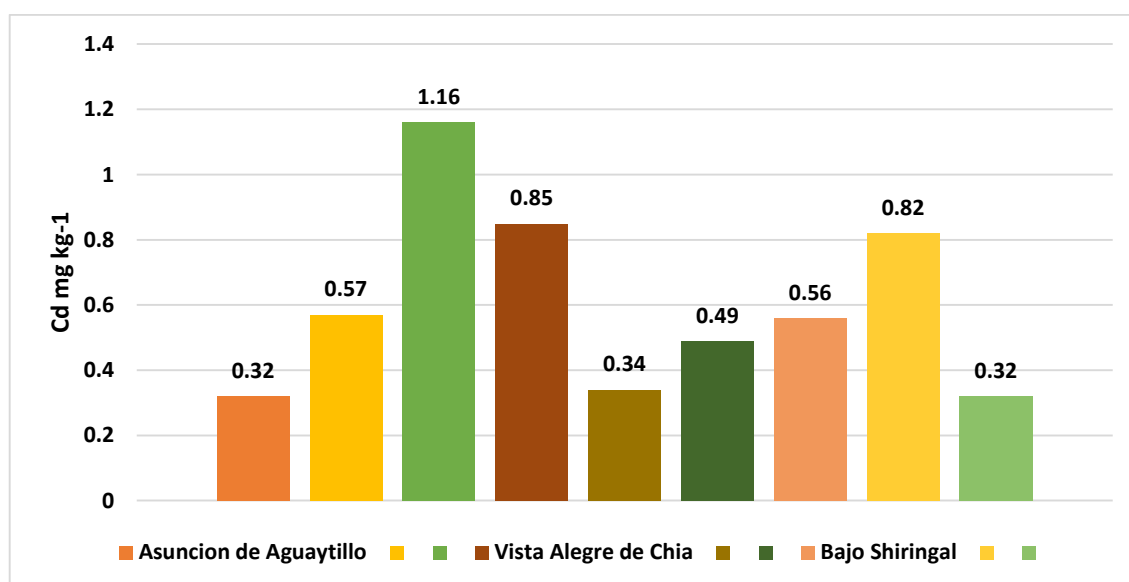


Figura 3. Cadmio en cáscara entre localidades del sistema tradicional.

Por otro lado, conforme se aprecia en el Cuadro 9 y Figura 4, el contenido de cadmio en la cáscara por localidades dentro del sistema químico no mostró

diferencias significativas, con promedios de 1.05, 1.01 y 0.61 mg kg⁻¹ para Nuevo Ucajali, Valle Sagrado y Vista Alegre de Chía, respectivamente.

Cuadro 9. Cadmio en la cáscara de cacao por localidades en sistema químico.

Localidades	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
Nuevo Ucajali	1.05	a
Valle Sagrado	1.01	a
Vista Alegre de Chia	0.61	a

Estos resultados son similares a los encontrados por Mite *et al.* (2017) en un monitoreo sobre la presencia de cadmio en almendras, suelos y aguas en Ecuador, quienes reportaron que, las muestras de cáscaras de cacao analizadas, presentan en promedio 1.01 mg kg⁻¹ de Cd, que resulta menor a los 2.00 mg kg⁻¹ de Cd reportado por INIAP-PROMSA (2003).

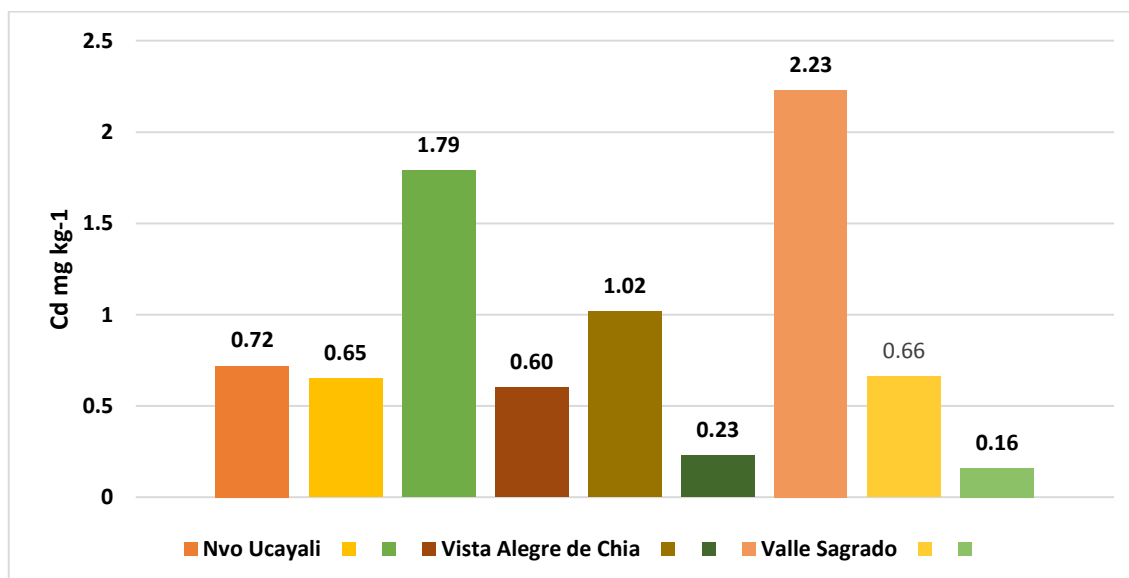


Figura 4. Cadmio en cáscara entre localidades del sistema químico.

Cuando se aprecia las concentraciones máximas encontradas en las cáscaras, en algunas zonas del Ecuador, las muestras han sobrepasado los 2.5 mg kg⁻¹ de Cd, indicando que hay fincas que tienen cacao con bajos y altos niveles de contaminación. Aunque esto no es indicativo de la cantidad de metal que llegue a la almendra, los valores hacen suponer que se encontrarán

cantidades altas.

Finalmente, el contenido de cadmio entre localidades en el sistema orgánico no presentó diferencias significativas, sin embargo, el mayor valor (0.41 mg kg⁻¹ de cadmio) se encontró en Tahuantinsuyo y el menor valor (0.37 mg kg⁻¹ de cadmio) en la localidad Porvenir (Cuadro 10 y Figura 5).

Cuadro 10. Cadmio en cáscara entre localidades en el sistema orgánico.

Localidades	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
Tahuantinsuyo	0.41	a
Vista Alegre de Chía	0.39	a
Porvenir	0.37	a

Los resultados de este ensayo son menores a los encontrados por Mite *et al.* (2017) en un monitoreo sobre la presencia de cadmio en almendras, suelos y aguas en Ecuador, encontraron que, las muestras de cáscaras de cacao analizadas, presentan en promedio 1.01 mg kg⁻¹ de Cd, que resulta menor a los 2.00 mg kg⁻¹ de Cd reportado por INIAP-PROMSA (2003).

Al igual que lo mencionado por INIAP-PROMSA (2003) y Carrillo (2003), tejidos de cacao de la provincia de El Oro, presentan contenidos muy altos de Cd. En esta investigación, hasta el momento se han encontrado valores de 3.94 y 9.94 mg kg⁻¹ de Cd en la cáscara, que son los más elevados.

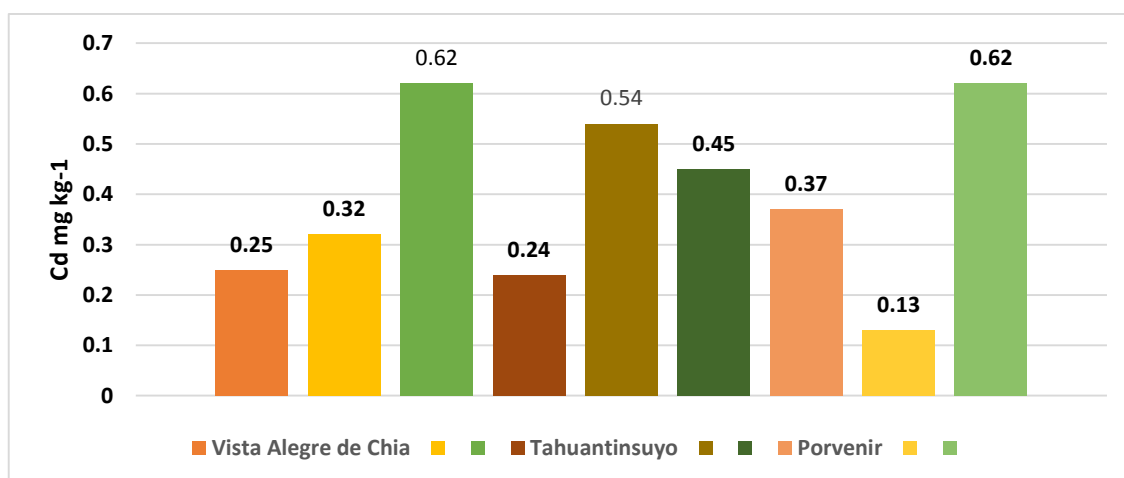


Figura 5. Cadmio en cáscara entre localidades por sistema orgánico.

4.2. CADMIO EN HOJARASCA POR SISTEMA DE MANEJO.

Los valores de cadmio en la hojarasca en los tres sistemas probados no muestran diferencias significativas, correspondiendo el más alto valor al sistema químico, conforme se aprecia en el Cuadro 11 y Figura 6.

Cuadro 11. Cadmio en la cáscara de cacao por sistema de manejo

Sistema	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
T1 tradicional	2.33	a
T2 químico	2.29	a
T3 orgánico	3.00	a

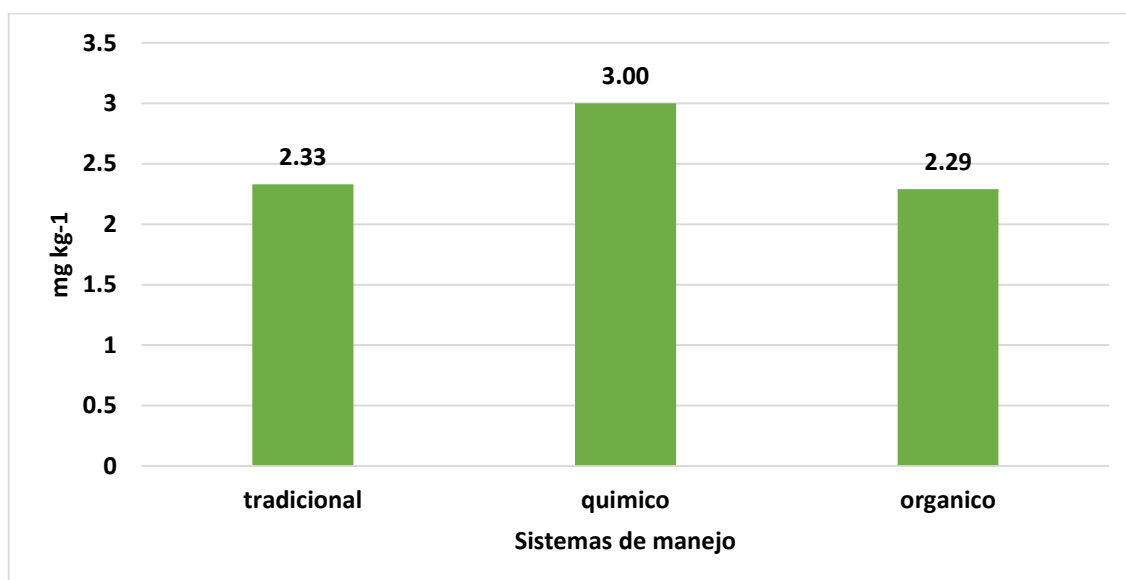


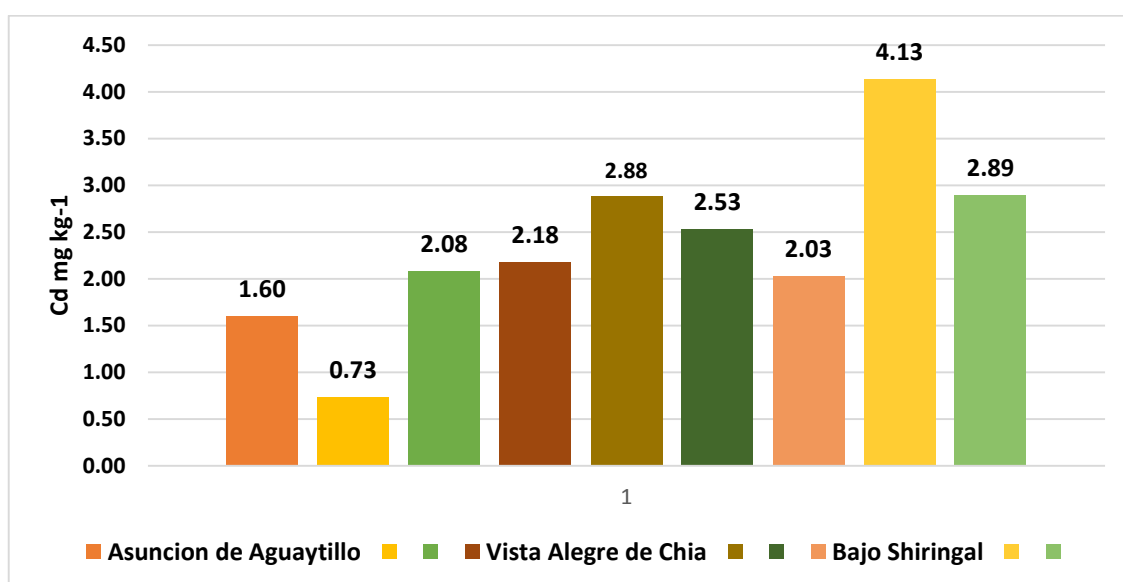
Figura 6. Contenido de cadmio en hojarasca por sistema de manejo.

Respecto a localidades del sistema tradicional, conforme se aprecia en el Cuadro 12 y Figura 7, el contenido de cadmio en hojarasca mostró diferencias significativas, encontrándose el promedio más alto en la localidad de Bajo Shiringal y el promedio más bajo en la localidad de Asunción de Aguaytillo; sin embargo, son superiores a los reportados por Cartagena (2016), cuyos valores promedios de cadmio en hoja y en almendras fueron 0.89 y 1.18 mg kg⁻¹ respectivamente.

Cuadro 12. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema tradicional.

Localidades	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
Bajo Shiringal	3.01	a
Vista Alegre de Chía	2.53	a
Asunción de Aguaytillo	1.47	b

De igual manera, se consideran también más altos a los referidos por Ramírez (2017) y Hoyos (2017) en similares sistemas de manejo en la localidad de San Alejandro, cuyos valores oscilaron entre 0.94 y 1.47 mg kg⁻¹ para cadmio foliar y, 0.64 a 0.75 mg kg⁻¹ para cadmio en almendras, respectivamente.

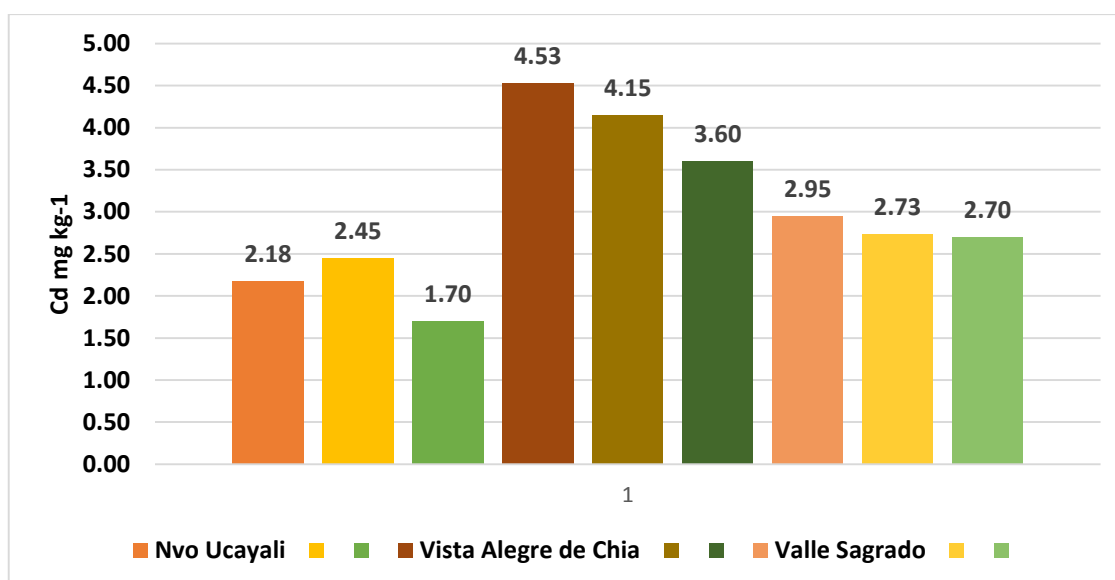
**Figura 7. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema tradicional.**

Para el sistema químico, el contenido de cadmio en la hojarasca entre localidades hubo diferencias significativas, correspondiendo el promedio más alto (4.09 mg kg⁻¹ de cadmio) a Vista Alegre de Chía, y el más bajo (2.11 mg kg⁻¹ de cadmio) para la localidad de Nuevo Ucayali. Sin embargo, resultan más altos a los reportados por Cartagena (2016) para Pucallpa, cuyos valores más altos de cadmio en hoja y en almendras fueron de 0.89 y 1.18 mg kg⁻¹, respectivamente. (Cuadro 13 y Figura 8).

Cuadro 13. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema químico.

Localidades	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
Vista Alegre de Chía	4.09	a
Valle Sagrado	2.79	b
Nuevo Ucayali	2.11	c

De igual manera, se consideran también más altos a los referidos por Ramírez (2017) y Hoyos (2016) en sistemas de manejo en la localidad de San Alejandro, cuyos valores oscilaron entre 0.94 y 1.47 mg kg⁻¹ para cadmio foliar y, 0.64 a 0.75 mg kg⁻¹ para cadmio en almendras, respectivamente.

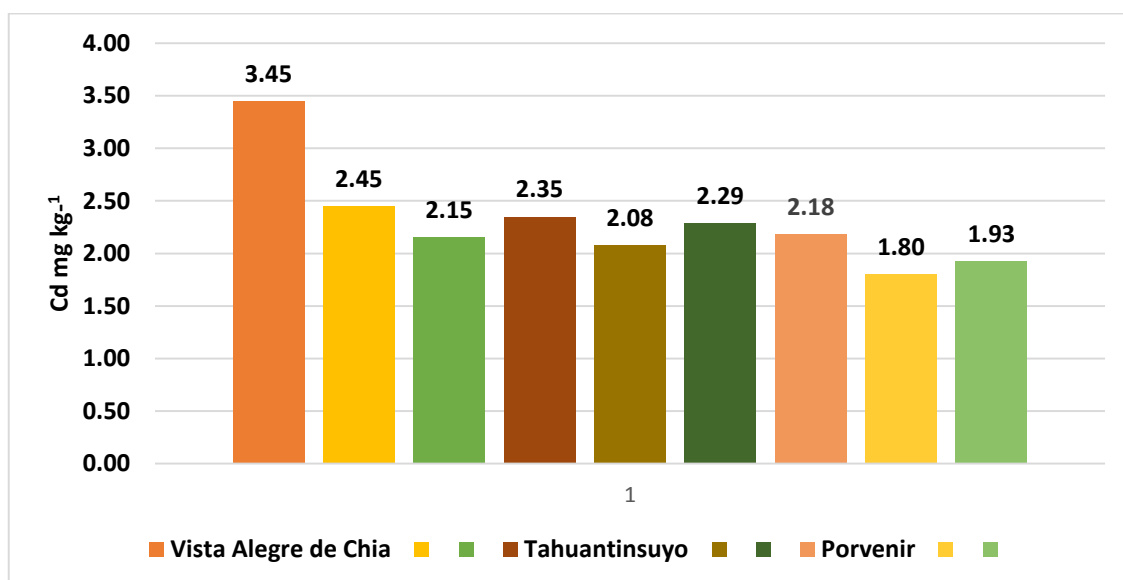
**Figura 8. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema químico.**

Finalmente, el contenido de cadmio en la hojarasca entre localidades en el sistema orgánico no muestra diferencias significativas para este sistema, siendo el promedio más alto de 2.68 mg kg⁻¹ de cadmio para Vista Alegre de Chía, y el promedio más bajo de 1.97 mg kg⁻¹ de cadmio para la localidad de Porvenir; sin embargo, al compararlos con los reportados por Cartagena (2016) resultan más altos, cuyos valores promedios de cadmio en hoja y en almendras fueron 0.89 y 1.18 mg kg⁻¹, respectivamente (Cuadro 14 y Figura 9).

Cuadro 14. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema orgánico.

Localidades	Cd (mg kg ⁻¹)	Significación
Vista Alegre de Chía	2.68	a
Tahuantinsuyo	2.24	a
Porvenir	1.97	a

De igual manera, se consideran también más altos a los referidos por Ramírez (2017) y Hoyos (2016) en sistemas de manejo en la localidad de San Alejandro, cuyos valores oscilaron entre 0.94 y 1.47 mg kg⁻¹ para cadmio foliar y, 0.64 a 0.75 mg kg⁻¹ para cadmio en almendras, respectivamente.

**Figura 9. Cadmio en hojarasca entre localidades del sistema orgánico.**

V. CONCLUSIONES.

En función a los objetivos propuestos del estudio, se concluye:

1. Los sistemas de manejo del cultivo de cacao no ejercen influencia directa en el contenido de cadmio en la cáscara de cacao, ya que los valores encontrados 0.39, 0.86 y 0.60 mg kg⁻¹ para los sistemas tradicional, químico y orgánico, respectivamente, no presentan diferencias significativas.
2. Los sistemas de manejo del cultivo de cacao no ejercieron una influencia directa en el contenido de cadmio en la hojarasca de cacao, ya que los valores encontrados 2.33, 3.00 y 2.29 mg kg⁻¹ para los sistemas tradicional, químico y orgánico, respectivamente, no muestran diferencias significativas.
3. Los valores de cadmio encontrados en la cáscara y en la hojarasca de cacao en las localidades, tampoco fueron influenciados por los sistemas de manejo, excepto en el contenido de cadmio en la hojarasca en el sistema químico, donde el valor más alto fue reportado en la localidad de Vista Alegre de Chía con 4.09 mg kg⁻¹.

VI. RECOMENDACIONES.

De acuerdo al análisis del trabajo de investigación realizado se sugiere lo siguiente:

1. Realizar investigaciones dirigidas a mitigar el contenido de cadmio en la hojarasca de cacao, por encontrarse los valores más altos del metal pesado.
2. Promocionar paquetes tecnológicos amigables con el medio ambiente que no contribuyan a incrementar los niveles de cadmio en el suelo y en la planta de cacao, ya que a través de la aplicación de enmiendas orgánicas se puede bloquear la absorción del metal pesado.
3. Desarrollar más trabajos de investigación relacionados a la bioremediación de suelos contaminados con cadmio con fuentes orgánicas procesadas con microorganismos eficaces.

VII. LITERATURA CITADA.

- Aikpokpodion, P.; Asowata, F. 2017. Evaluación del riesgo de salud de metales pesados seleccionados en algunos chocolates importados vendidos en sureste de Nigeria. In Simposium Internacional de Investigación en Cacao. Lima. Perú.
- Alloway, B. 2013. Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their bioavailability. University of Reading. Reino Unido UK. <https://www.springer.com/gp/book/9789400744691>.
- Arévalo-Hernández, C.; Arévalo-Gardini, E.; Farfán-Pinedo, A.; Baligar, V. 2014. Estado de los metales pesados en suelos de los departamentos de mayor crecimiento de cacao en la Amazonía peruana. In XVI Congreso Nacional de la ciencia del suelo. Cuzco, Perú.
- Belmonte, S.; Romero, D.; Alonso, S.; Moreno, B. y Rojo, L. 2010. Afección de los suelos agrícolas por metales pesados en áreas limítrofes a explotaciones mineras del sureste de España. Universidad de Murcia. España.
- Betancourt, F. 2008. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. (pp 308). Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/338818419/Absorcion-de-nutrimentos-por-loscultivos-2009-pdf>. Consultado 08 febrero 2019.
- Bonilla, F. 2002. Presencia de cadmio en fertilizantes fosforados de diferente procedencia comercializados en Chile. Revista SIMIENTE de la Sociedad Agronómica de Chile. Vol. 72 (1-2) enero-junio 2002. Pp. 9-16.
- Cáceres, J.; Torres, E. 2017. Microorganismos cultivables asociados a cadmio (Cd) presentes en suelos cacaoteros de los municipios de Yacopí y Nilo, como estrategia de biorremediación. Universidad Nacional de Colombia. In Simposium Internacional de Investigación en Cacao. Lima. Perú.

- Calderón, E; Concha, E. 2000. Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura. Tesis Ing. Químico. Universidad Nacional de Piura.
- Cárdenas, A. 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco. Perú. 96p.
- Carrillo, M. D. 2003. Caracterização das formas de metais pesados, sua biodisponibilidade e suas dinâmicas de adsorção e de mobilidade em solos do Equador. Departamento de Solos. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, MG – Brasil. 49 p.
- Cartagena, T. 2016. Determinación de niveles de concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el suelo, hojas y almendras de ocho clones de cacao (*Theobroma cacao L*) en el Jardín Interclonal de la Universidad Nacional de Ucayali. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Perú. 66p.
- Centro de Innovación Tecnológica del Cacao. (CITE CACAO – USAID PDA). 2011. Estudio. Contenido de cadmio y plomo en la producción de cacao en San Martín. Consultores: Huamaní, H; Huauya, M. Tarapoto, San Martín, Perú.
- Comisión Europea. 2013. Reglamento de modificación (EC) N° 1881/2006 en lo que respecta a los límites máximos de cadmio en los productos alimenticios.
- Chupillon, J.; Arévalo, E.; Cubas, J.; Arévalo, C.; Farfán, A; Baligar, V 2017. Acumulación de cadmio en seis genotipos de cacao utilizados como patrón Instituto de Cultivos Tropicales – ICT, Tarapoto, Perú, USDA-ARS- Beltsville Agricultural Research Center (BARC), Beltsville, MD, USA.
- DEVIDA-UNODC. 2014. Paquete tecnológico del cultivo de cacao fino de aroma. Consultado el 12 de enero del 2019. Disponible en

http://infocafes.com/portal/wpcontent/uploads/2016/01/Paquete_Tecnologico_Cultivo_Cacao.pdf.

EPPCO Perú. 2012. Cacao Orgánico del Perú, Producción y Cultivo. http://epcoperu.com/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=34.

FAO. (2017). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Obtenido de http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf. Consultado 08 febrero 2019.

Fernández, B. 2016. Contenido de cadmio (Cd) en suelos cacaoteros bajo 3 niveles de manejo del cultivo en San Alejandro Distrito de Irazola – Provincia de Padre Abad – Departamento de Ucayali. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Perú 82p.

Gonzales, E. 2012. Producción y aporte de nutrientes en la hojarasca de las especies abarco (*Cariniana piryformis* M), teca (*Tectona grandis* L.f.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal en los municipios de Rionegro, Santander y Muzo, Boyacá. Tesis de Magister en Agroforestería Tropical. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá. 81p.

Huamani-Yupanqui, H. A.; Huauya-Rojas, M. A.; Mansilla-Minaya, L. G.; Florida-Rofner, N.; Neira-Trujillo, G. M. 2012. Presencia de Metales pesados en cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) crop. ACTA AGRONÓMICA. 62 (4): 309-314.

Hoyos, J. 2016. Determinación del contenido de cadmio (Cd) en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) cultivado bajo tres sistemas de producción en San Alejandro, distrito de Irazola, provincia de Padre Abad departamento de Ucayali. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. 75p.

INIAP - PROMSA. 2003. Determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos. Informe Técnico 2003. Dpto. Suelos. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. 60p.

- Jaramillo, R. 2008. Manejo agronómico con énfasis en la nutrición de cultivos en el manejo de metales pesados en sistemas agrícolas. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas IPNI. *In* XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la Ciencia del Suelo. Ayacucho, Perú.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. 1992b. Cadmium. *In*: Trace elements in soils and plants. 2nd Edition. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. 365 p.
- León, A. 1987. Neutralización de la acidez del suelo. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 3: 11 - 17.
- Martínez, G.; Palacio, C. 2010. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Tesis Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 66p.
- Mendoza, M. 2016. La pulpa de cacao: un descubrimiento en beneficio de la salud. Consultado: 12.12.19. Disponible <https://andina.pe/agencia/noticia-la-pulpa-cacao-un-descubrimiento-beneficio-de-salud-704847.aspx>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Pe) 2012. Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú, 3da. Edición, 2014. Lima-Perú.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Pe) 2016. Estudio del cacao en el Perú y en el mundo. Lima-Perú.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Pe) 2018. Lineamientos para la determinación de niveles de cadmio en el suelo, hojas, granos y productos derivados del cacao. Lima, 2018. 22p.
- Ministerio de Agricultura de Chile. 2012. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical. Subtrop. Agroecosystems. pp. 10, 29 - 44.
- Mite, F.; Carrillo, M.; Durango, W. 2010. Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

- Nizama, M. 2015. Obtención y caracterización de pectina a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) Tesis Ing. Agroindustrial e Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Piura. 87 p.
- Ramírez, D. 2017. 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. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. 82p.
- Revoredo, A.; Hurtado, J. 2017. Efecto del tratamiento con 3 cepas de Streptomicetos en la acumulación de cadmio en plantas de *Theobroma cacao* L. Universidad Peruana Cayetano Heredia In Symposium Internacional de Investigación en Cacao. Lima. Perú.
- Saavedra, M. 2002. Estudio de contaminación con metales pesados en las riberas del rio Piura. Maestría en Ingeniería Ambiental – Universidad Nacional de Piura.
- Sánchez, C. 2011. Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot. Investig. Enferm, 12(2), pp.93–116.
- Silviera, M; Alleoni, L.; Guilherme, L. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. Scientia Agrícola.
- Tuchán, R. 2004. Evaluación del efecto de la pulpa de café (*Coffea arábica*) en el incremento de la eficiencia biológica de la CEPA INIREB-8 de *Pleurotus ostreatus* utilizando cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) y bambú (*Bambusa vulgaris* var. *Striata*) como sustratos. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. 55p.
- Universidad de Concepción Facultad de Agronomía Chillan, Chile. 2007. Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos. Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. 103p.

Wuana, R.; Okieimen, F. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology* Volume 2011, Article ID 402647, 20 p. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5402/2011/402647>.

VII. ANEXO.

Recuadro 1A. Análisis de laboratorio de la hojarasca 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
 MUESTRA : RASTROJOS DE CACAO
 REFERENCIA : H R 61567
 FECHA : 06/12/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
9151	Parc. N° 1, M-1	2.18
9152	Parc. N° 1, M-2	2.45
9153	Parc. N° 1, M-3	1.70
9154	Parc. N° 2, M-1	3.45
9155	Parc. N° 2, M-2	2.45
9156	Parc. N° 2, M-3	2.15
9157	Parc. N° 3, M-1	2.35
9158	Parc. N° 3, M-2	2.08
9159	Parc. N° 3, M-3	2.29
9160	Parc. N° 4, M-1	1.80
9161	Parc. N° 4, M-2	0.73
9162	Parc. N° 4, M-3	2.08
9163	Parc. N° 5, M-1	2.18
9164	Parc. N° 5, M-2	1.80
9165	Parc. N° 5, M-3	1.93



 Sady Garcia Bendezi
 Jefe de Laboratorio

Recuadro 2A. Análisis de laboratorio de la hojarasca 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
 MUESTRA : RASTROJOS DE CACAO
 REFERENCIA : H.R. 61587
 FECHA : 06/12/2017

N. Lab	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
9166	Parc. N° 6, M-1	2.18
9167	Parc. N° 6, M-2	2.88
9168	Parc. N° 6, M-3	2.53
9169	Parc. N° 7, M-1	4.53
9170	Parc. N° 7, M-2	4.15
9171	Parc. N° 7, M-3	3.60
9172	Parc. N° 8, M-1	2.95
9173	Parc. N° 8, M-2	2.73
9174	Parc. N° 8, M-3	2.70
9175	Parc. N° 9, M-1	2.03
9176	Parc. N° 9, M-2	4.13
9177	Parc. N° 9, M-3	2.89

Sady García Bendezu
 Jefe de Laboratorio

Recuadro 3A. Análisis de laboratorio de la cáscara 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/ PADRE ABAD/ IRAZOLA
 MUESTRA : CÁSCARA DE CACAO
 REFERENCIA : H.R. 60846
 FECHA : 17/10/2017

N. Lab	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
8114	Parcela 1 - M1	0.72
8115	Parcela 1 - M2	0.65
8116	Parcela 1 - M3	0.69
8117	Parcela 2 - M1	0.25
8118	Parcela 2 - M2	0.32
8119	Parcela 2 - M3	0.62
8120	Parcela 3 - M1	2.23
8121	Parcela 3 - M2	0.54
8122	Parcela 3 - M3	0.45
8123	Parcela 4 - M1	1.79
8124	Parcela 4 - M2	0.57
8125	Parcela 4 - M3	1.18
8126	Parcela 5 - M1	0.37
8127	Parcela 5 - M2	0.13
8128	Parcela 5 - M3	0.62



 Sady García Bendezu
 Jefe de Laboratorio

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

Recuadro 4A. Análisis de laboratorio de la cáscara 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/ PADRE ABADI/ IRAZOLA
 MUESTRA : CÁSCARA DE CACAO
 REFERENCIA : H.R. 60846
 FECHA : 17/10/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
8129	Parcela 6 - M1	0.85
8130	Parcela 6 - M2	0.34
8131	Parcela 6 - M3	0.49
8132	Parcela 7 - M1	0.60
8133	Parcela 7 - M2	1.02
8134	Parcela 7 - M3	0.23
8135	Parcela 8 - M1	0.24
8136	Parcela 8 - M2	0.66
8137	Parcela 8 - M3	0.16
8138	Parcela 9 - M1	0.56
8139	Parcela 9 - M21	0.82
8140	Parcela 9 - M22	0.32


 Dr. Sady Garcia Bendezu
 Jefe de Laboratorio

Cuadro 15A. ANVA Cadmio en cáscara de cacao por sistema.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.070	0.035	0.17	0.84
Tratamientos	2	1.145	0.572	2.71	0.08
Error	22	4.653	0.211		
Total	26				

CV (%) = 72.92

R² = 0.20**Cuadro 16A. ANVA Cadmio en hojarasca de cacao por sistema.**

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.181	0.090	0.13	0.88
Tratamientos	2	2.790	1.395	1.96	0.16
Error	22	15.655	0.711		
Total	26				

CV (%) = 33.13

R² = 0.15**Cuadro 17A. ANVA Cadmio en cáscara por localidad en sistema químico.**

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.374	0.188	0.24	0.79
Tratamientos	2	0.352	0.176	0.23	0.80
Error	4	3.085	0.711		
Total	8				

CV (%) = 98.07

R² = 0.19

Cuadro 18A. ANVA Cadmio en cáscara por localidad en sistema orgánico.

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.132	0.066	2.38	0.20
Tratamientos	2	0.002	0.001	0.04	0.96
Error	4	0.111	0.027		
Total	8				

CV (%) = 42.51

R² = 0.54**Cuadro 19A. ANVA Cadmio en cáscara por localidad en sistema tradicional.**

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.0128	0.0064	0.04	0.96
Tratamientos	2	0.0288	0.0144	0.09	0.91
Error	4	0.6217	0.1554		
Total	8				

CV (%) = 65.34

R² = 0.06**Cuadro 20A. ANVA Cadmio en hojarasca por localidad en sistema químico.**

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.514	0.257	4.15	0.10
Tratamientos	2	6.090	3.045	49.06	0.0015
Error	4	0.248	0.062		
Total	8				

CV (%) = 8.38

R² = 0.96

Cuadro 21A. ANVA Cadmio en hojarasca por localidad en sistema orgánico.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.590	0.295	2.62	0.18
Tratamientos	2	0.778	0.389	3.45	0.13
Error	4	0.450	0.112		
Total	8				

CV (%) = 14.60

R² = 0.75**Cuadro 22A. ANVA Cadmio en hojarasca por localidad en sistema tradicional.**

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Bloques	2	0.737	0.368	0.55	0.61
Tratamientos	2	3.752	1.876	2.81	0.17
Error	4	2.673	0.668		
Total	8				

CV (%) = 34.95

R² = 0.62



Figura 10A. Asociación de Productores Cooperativa ACATPA.



Figura 11A. Recojo de hojarasca de las parcelas.



Figura 12A. Llenado y codificado de las muestras listas para la estufa.



Figura 13A. Secado de muestras en la estufa.



Figura 14A. Molienda de las muestras de hojarasca y cáscara de cacao.