

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN- TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2015



INFORME DE INVESTIGACIÓN

Cuantificación de los límites máximos permisibles de cadmio en suelos, frutos (cáscara, almendra fresca), granos fermentados, licor de cacao y chocolate, para garantizar una exportación de calidad en zonas productoras de las provincias de Huallaga y Bellavista en la región San Martín

AUTORES :

Ing. M. Sc. Wilson Ernesto Santander Ruíz (Coordinador)

Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada

COLABORADORES:

Ing. Carlos Verde Girbau

Ing. Richer Garay Montes

Tarapoto - Perú

2019



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN – TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2015



INFORME DE INVESTIGACIÓN

Cuantificación de los límites máximos permisibles de cadmio en suelos, frutos (cáscara, almendra fresca), granos fermentados, licor de cacao y chocolate, para garantizar una exportación de calidad en zonas productoras de las provincias de Huallaga y Bellavista en la región San Martín

AUTORES:

Ing. M. Sc. Wilson Ernesto Santander Ruíz (Coordinador)

Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada

COLABORADORES:

Ing. Carlos Verde Girbau

Ing. Richer Garay Montes

Tarapoto-Perú

2019

Declaratoria de autenticidad

Wilson Ernesto Santander Ruíz con DNI N° 01147911 y **Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**, con DNI N° 00954038, docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, con el informe de investigación titulado: **Cuantificación de los límites máximos permisibles de cadmio en suelos, frutos (cáscara, almendra fresca), granos fermentados, licor de cacao y chocolate, para garantizar una exportación de calidad en zonas productoras de las provincias de Huallaga y Bellavista en la región San Martín.**

Declaramos bajo juramento que:

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

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

Tarapoto, noviembre del 2019.


.....
Ing. M.Sc. Wilson Ernesto Santander Ruíz
DNI N°: 01147911




.....
Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
DNI N°: 00954038



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	SANTANDER RUIZ, WILSON ERNESTO		
Código de alumno :		Teléfono:	945499416
Correo electrónico :	ersaru@hotmail.com	DNI:	01147911

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
Escuela Profesional de:	INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	()	Trabajo de investigación	(X)
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	CUANTIFICACIÓN DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CADMIO EN SUELOS, FRUTOS (CÁSCARA, ALIENORA FRESCA) GRANOS FERMENTADOS, LICOR DE CACA O Y CHOCOLATE, PARA GARANTIZAR UNA EXPORTACIÓN DE CALIDAD EN ZONAS PRODUCTORAS DE LAS PROVINCIAS DE HUALLAGA Y BELLA VISTA EN LA REGIÓN SANTIAGO
Año de publicación:	2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

Santander Ruiz

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

29 / 11 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

*Acceso abierto: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** Acceso restringido: el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	MENDIETA TABOADA OSCAR WILFREDO		
Código de alumno :		Teléfono:	942613314
Correo electrónico :	oscarmente@hotmail.com	DNI:	00954038

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
Escuela Profesional de:	INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	()	Trabajo de investigación	(X)
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Quantificación de los límites máximos permisibles de Cadmio en Sidos, frutos (cáscara, almendra fresca), granos fermentados, licor de Cacao y chocolates, para garantizar una exportación de seguridad en zonas productoras de las provincias de Huálgaga y Bellavista en la región San Martín.
Año de publicación:	2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

29 / 11 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios, por darnos la vida, en segundo lugar, a nuestros padres por darnos una formación sólida con valores, a nuestras familias por el apoyo recibido en nuestra vida laboral y profesional, asimismo a todas las instituciones, profesionales, estudiantes de nivel superior que tengan a bien utilizar este trabajo de investigación como material de consulta o fuente de información para futuras investigaciones en el subsector cacaotero puestas al servicio de los productores, transformadores y comercializadores de cacao de la región San Martín y del país en general.

Finalmente, a nuestro querido centro de labores; la Universidad Nacional de San Martín que por muchos años nos alberga y nos permite generar conocimiento al servicio de la ciencia.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Martín-T, por el apoyo brindado al proyecto de investigación A la Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO Ltda. De la ciudad de Juanjui en su Gerente General Econ. Gonzalo Ríos Núñez; Jefe de Control de Calidad Ing. David Contreras Monjarás; Bach. Evelyn Guevara Santillán; Bach. Katia Vanesa Panduro Soto; Bach. Genovith Venturo Minauro y egresado Jean Stewar Hidalgo Soto de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial quienes prestan sus servicios a la cooperativa y en esta oportunidad al trabajo de investigación como panelistas entrenados en catación de cacao. A los responsables de campo de esta prestigiosa cooperativa; Ing. Miguel Trujillo Valderrama e Ing. Hernán García Meza, quienes apoyaron desinteresadamente en la obtención de muestras de campo y centros de acopio de granos de cacao de las 05 localidades en estudio. Al Laboratorista Ing. Carlos Verde Girbau por su apoyo en los análisis realizados de las muestras en estudio del presente trabajo de investigación; llevados a cabo en el Laboratorio de análisis de suelos, aguas y foliares de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSM-T. Al Ing. Richer Garay Montes por su apoyo en la sistematización estadística de la información de campo recogida durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Índice general

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Índice general	
Índice de tablas	
Resumen	
Abstract	
Introducción	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS	14
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXOS	48

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Propuesta de niveles máximos para el cadmio en chocolate y productos derivados de cacao.	2
Tabla 2. Preparación de Licor de Cacao para la determinación de propiedades fisicoquímicas, cadmio y análisis sensorial	9
Tabla 3. Preparación de Tabletas de chocolate (70 g) con 70% de cacao y leche, para determinación de propiedades fisicoquímicas y cadmio	16
Tabla 4. Identificación de productores cacaoteros de las localidades en estudio Provincia de Bellavista.	16
Tabla 5. Análisis físico-químico de suelos, de 25 parcelas, 05 localidades y 02 provincias de la región San Martín.	19
Tabla 6. Análisis de pH y Conductividad Eléctrica (CE) en testa y cotiledón de almendras de cacao	22
Tabla 7. Análisis de cadmio en suelos, hojas, almendras frescas (testa, cotiledón), fermentado y seco, licor de cacao y tabletas de chocolate.	25
Tabla 8. Valores promedio de contenido de cadmio, pH y conductividad eléctrica determinados en las zonas en estudio	26
Tabla 9. Análisis de correlación de Pearson entre contenido promedio de cadmio en el suelo y en diferentes partes de la planta, pH y conductividad eléctrica.	35
Tabla 10. Análisis de correlación de Pearson	35

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Suelo	30
Figura 2. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Hojas	31
Figura 3. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Cotiledón	32
Figura 4. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Testa	32
Figura 5. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Almendra fermentada y seca	33
Figura 6. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Licor	33
Figura 7. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Chocolate	34

Resumen

La presencia de metales pesados en el cacao, actualmente es un serio problema para los cacaoteros de varias regiones del país, y entre ellas San Martín, Perú. Se evaluó el contenido de cadmio en suelos, hojas, almendras frescas (testa y embrión), almendras fermentadas secas, licor de cacao y tabletas de chocolate con 70% de cacao, en 02 provincias (Bellavista y Huallaga) y 05 localidades (03 en Bellavista y 02 en Huallaga). Se analizó muestras de 25 parcelas, y determinó los contenidos de este metal. Se caracterizó el suelo (textura, conductividad eléctrica, pH, porcentaje (%) de materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg, Na, Al; capacidad de intercambio catiónico); en testa y embrión se determinó conductividad eléctrica y pH; en suelos, hojas, almendras frescas (testa y embrión), almendras fermentadas y secas, licor de cacao y tabletas de chocolate al 70% de cacao, se determinó cadmio y encontró lo siguiente: en suelos, mínimos de 0,231 ppm y máximos de 0,960 ppm; en hojas mínimos de 0,18 ppm y máximos de 0,780 ppm; en testa y cotiledón mínimos de 0,012 ppm y 0,021 ppm y máximos de 0,056 ppm y 0,098 ppm respectivamente; en almendras fermentadas y secas se encontró valores mínimos de 0,023 ppm y máximos de 0,075 ppm; en licor de cacao, mínimos de cadmio de 0,089 ppm y máximos de 0,210 ppm; en tabletas de chocolate al 70% de cacao mínimos de 0,116 ppm y máximos de 0,625 ppm. Se utilizó la correlación de Pearson entre el suelo, hojas, testa, embrión, granos fermentados y secos y tabletas de chocolate (70% de cacao): en suelos, todas las localidades, presentaron diferencias altamente significativas en cadmio, con R^2 de 73.49%, CV de 27.97 y media 0.556 ppm; en hojas los mayores valores están en Tingo de Saposoa y Tángar, no existe diferencias significativas entre ellas, pero sí con otras localidades; en cotiledones, existen pequeñas diferencias, estas no son estadísticamente significativas ($p > 0,05$), R^2 de 59.15%, CV de 23.91 y media de 0.0634 ppm; en testa el mayor valor es de la muestra de Tingo de Saposoa, estadísticamente diferente a las demás zonas; para almendras fermentadas y secas, no existe diferencia significativa entre las zonas ($p > 0,05$), mientras que en licor la muestra de Tingo de Saposoa fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$), estando todos los valores por debajo del máximo permisible; en tabletas de chocolate existe diferencia significativa entre el valor correspondiente a la zona de Panamá en relación a las demás zonas ($p < 0,05$). Es notorio el incremento del contenido de cadmio determinado en chocolate respecto al licor de cacao, insumo principal para la elaboración de chocolates, pudiendo deberse a ingredientes adicionales (leche, panela) o al equipo de procesamiento empleado.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, Cadmio, contaminantes, metales pesados.

Abstract

The presence of heavy metals in cocoa is currently a serious problem for cocoa farmers in several regions of the country, including San Martín, Peru. The content of cadmium was evaluated in soils, leaves, fresh almonds (testa and embryo), dried fermented almonds, cocoa liquor and chocolate bars with 70% cocoa, in 02 provinces (Bellavista and Huallaga) and 05 locations (03 in Bellavista and 02 in Huallaga). Samples from 25 plots were analyzed, and determined the contents of this metal. The soil was characterized (texture, electrical conductivity, pH, % organic matter, N, P, K, Ca, Mg, Na, Al, cation exchange capacity); in testa and embryo, electrical conductivity and pH were determined; in soils, leaves, fresh almonds (testa and embryo), fermented and dried almonds, cocoa liquor and chocolate bars at 70% cocoa, cadmium was determined and found the following: in soils, minimum of 0.231 ppm and maximum of 0.960 ppm; in leaves minimum of 0.18 ppm and maximums of 0,780 ppm; in testa and cotyledon minimum of 0.012 ppm and 0.021 ppm and maximum of 0.056 ppm and 0.098 ppm respectively; in fermented and dried almonds, minimum values of 0.023 ppm and maximum values of 0.075 ppm were found; in cocoa liquor, cadmium minima of 0.089 ppm and maximum of 0.210 ppm; in chocolate bars at 70% cocoa minimum of 0.116 ppm and maximum of 0.625 ppm. The Pearson correlation was used between soil, leaves, testa, embryo, fermented and dried grains and chocolate tablets (70% cocoa): in soils, all locations, presented highly significant differences in cadmium, with R^2 of 73.49% and CV of 27.97 and average 0.556 ppm; in leaves the highest values are in Tingo de Saposoa and Tángar, there are no significant differences between them, but with other locations; in cotyledons, there are small differences, these are not significant ($p > 0.05$), R^2 of 59.15%, CV of 23.91 and average of 0.0634 ppm; in testa the highest value is from Tingo de Saposoa sample, statistically different from the other zones, for fermented and dried almonds, there is no significant difference between the zones ($p > 0.05$), while in liquor the Tingo de Saposoa sample was statistically different ($p < 0.05$), being all the values below the maximum allowable, in chocolate tablets there is a significant difference between the value corresponding to the zone of Panama in relation to the other zones ($p < 0, 05$). The increase in cadmium content determined in chocolate with respect to cocoa liquor, the main input for the production of chocolates, is notable, which may be due to additional ingredients (milk, panela) or to the processing equipment used.

Keywords: *Theobroma cacao*, Cadmium, pollutants, heavy metals.



Introducción

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) es una de las principales actividades de importancia socio-económica de la región San Martín y otras regiones del país. Los mayores mercados son el europeo (Francia, Inglaterra, Bélgica) y Estados Unidos. El cadmio es un metal que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre en forma de mineral, de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomados de ellas por el ser humano, lo que constituye un riesgo potencial para la salud (Prieto, Gonzales y Prieto, 2009). La planta de cacao absorbe metales pesados del suelo y los concentra en las semillas (Augstburger, Berger, Censkowsky y Heid, 2000).

La contaminación de metales pesados en la dieta humana se ha convertido en un tema que genera preocupación en muchos países alrededor del mundo, pues su alta concentración podría causar problemas en la salud de los seres humanos. La absorción del cadmio en humanos es baja, aproximadamente 6% y en personas con deficiencias de hierro hasta 9% (ATSDR, 2008).

Los contenidos altos de cadmio por encima de los permitidos (0,5 ppm), limita la exportación de este producto agrícola, el cadmio es abundante en la naturaleza y puede ser liberado al ambiente en diferente número de formas, incluyendo las actividades naturales, tales como la actividad volcánica (OMS, 2010). Las consecuencias de la contaminación que provoca el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao es un tema de interés comercial que impacta a la economía de los países productores (INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION-ICCO, 2012). La evaluación del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios-JECFA (77ma. Sesión) ha destacado que la exposición total del cadmio en dietas con altos niveles de consumo de cacao y productos del cacao fue aparentemente sobrestimada y no consideró que sea de preocupación, sin embargo, la falta del establecimiento de un Nivel Máximo (NM) de cadmio para el chocolate y productos del cacao podría amenazar las exportaciones de algunos países, especialmente aquellos, en desarrollo que son los mayores exportadores de cacao, como es el caso del Perú.

Un aspecto que se debe considerar al momento de establecer niveles máximos, es el porcentaje de absorción de cadmio en el ser humano. En general, el aparato digestivo de los niños y adolescentes puede absorber el cadmio más fácilmente que el de un adulto (Yanus

et al., 2004), por lo que la susceptibilidad de efectos adversos en estos grupos es mayor con relación a los adultos (Jalbani, Kazi, Afridi y Arain, 2009).

Los productores de cacao de todo el mundo se inquietaron cuando la Unión Europea anunció planes para aplicar regulaciones al chocolate y a productos de cacao que contienen ciertos niveles de Cadmio (Cd). La decisión de la Unión Europea fue consecuencia de un informe sobre el contenido de cadmio en el chocolate, mediante la cual, la Unión Europea recomendó que el chocolate con una cantidad mayor o igual al 50% de sólidos de cacao debía contener un máximo de 0,3 mg/kg de cadmio. El Comité sobre Contaminantes de los Alimentos del Codex Alimentarius (2012), acordó el establecimiento de niveles máximos de cadmio para chocolates y derivados (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, 2012); lo cual se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1

Propuesta de niveles máximos para el cadmio en chocolate y productos derivados de cacao

Productos	Nivel máximo de cadmio (ppm)
1. Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30%	0,20
2. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao \geq 30%	0,60
3. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao \geq 50%	2,0
4. Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	1,5

Fuente: Comisión del Codex Alimentarius-Novena Reunión FAO-OMS-2015.

Los países latinoamericanos son los que contribuyen principalmente en la producción de cacao. Hay 500 000 productores de cacao en la región, con más de 3'500 000 pequeños productores a nivel mundial, para los cuales la producción de cacao es la base de la economía familiar. De los países que producen cacao fino de aroma, Ecuador, Perú, Colombia y Papúa Nueva Guinea son los más grandes proveedores de Europa (ProColombia, 2016).

Los países europeos representan el 58% de las importaciones netas de cacao, seguido por Norte América (27%), Asia (14%) y África (2%). Estados Unidos es el mayor importador a nivel mundial, representando el 20% de las importaciones globales netas, seguido por Alemania (13%), Bélgica (7%) y Francia y la Federación de Rusia (6% cada uno). Europa

es por mucho, el mayor importador de granos de cacao y la gran mayoría de importaciones de cacao proviene de África Occidental (93%). Las importaciones procedentes de Latinoamérica y del sur-este de Asia son de importancia secundaria y terciaria, respectivamente (ICCO, 2012).

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) ha tenido un crecimiento significativo en la última década, debido a que es una alternativa sostenible para hacer frente a la economía cocalera. En el 2016, se reportaron a nivel nacional 100 mil hectáreas sembradas de cacao, equivalente a 78 mil toneladas de cacao (Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2016). La institución detalló que las regiones de la Selva como Ucayali, San Martín, la selva de Puno, Pasco, Junín, Satipo, Huánuco, Cusco, Cajamarca, Ayacucho, Amazonas, Madre de Dios y Loreto produjeron 76 657 toneladas, lo que representa el 98% del total. Cabe señalar que la región San Martín es la que presenta mayor área de cultivos de cacao: 34% del total, le sigue en importancia la región Cusco con 25,6% del total, la región Junín con 11% del total. Otras regiones con importantes plantaciones de cacao son, Ayacucho y Amazonas.

El cadmio es un metal tóxico que presenta graves riesgos para la salud humana. Este elemento existe en bajas concentraciones en la naturaleza, pero las actividades antropogénicas han contribuido a incrementar su concentración en el ambiente. La planta de cacao absorbe el Cadmio que existe por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas. Según las regiones, el grado de concentración de metales pesados es diferente. (Oc, Gonza, Guzmán y Pariente, 2011).

El Cadmio (Cd 2+) en solución es fácilmente absorbido del suelo por las raíces de las plantas y en 24 horas se logra el ingreso y movimiento gradual a través del sistema vascular de la planta. Este metal pesado (Cd 2+) se distribuye en todas las partes de la planta, y no puede ser eliminado aún después del lavado o lixiviación o lavado del suelo.

Las plantas de cacao que están expuestas a altos niveles de Cadmio entre otros signos y síntomas sufren generalmente en la reducción de la actividad fotosintética, reducción de la capacidad de absorción de agua y de la absorción de nutrientes; en consecuencia, se observa: clorosis, inhibición del crecimiento, desecamiento de las puntas de las raíces y, finalmente, la muerte (Yadav, 2010).

Debemos considerar que otras fuentes de Cadmio en el suelo son: plaguicidas, fertilizantes, vertido de residuos de la producción de cocaína, industria de galvanoplastia,

fábricas de baterías, cemento, incendios forestales e industriales, estabilización de productos plásticos, actividades mineras, entre otros.

Ya desde el año 2011 se estudiaba que otra principal fuente de contaminación de cadmio son los fertilizantes provenientes de roca fosfórica. Por estas razones se hace necesario determinar cuál es la condición actual de los suelos y de algunos productos agrícolas que por su alto consumo podrían representar un peligro para la salud humana. (Huamaní, Huauya, Mansilla, Florida y Neira, 2012).

La presencia de metales pesados en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es actualmente un grave problema para agricultores y cooperativas de las regiones Huánuco y Ucayali, Perú. Se evaluaron los contenidos de cadmio y plomo en suelos y hojas del cacao en estas regiones. Para el efecto se recolectaron y analizaron en laboratorio muestras tomadas en 22 parcelas con cultivos orgánicos de esta especie, 17 en la región Huánuco y cinco en la región Ucayali. Se realizaron análisis de correlación de Pearson entre los contenidos de plomo y cadmio disponibles en el suelo con variables foliares (P, Mg, Ca, Zn, Cd, Pb) y del suelo (arena, arcilla y K). En los suelos, sólo en el caso de potasio se presentan deficiencias; mientras que en el tejido foliar se presentaron deficiencias de N, P, K, Mg y Zn. Los valores promedio de cadmio y plomo disponible en los suelos fueron 0.53 y 3.02 ppm y en las hojas de cacao de 0.21 y 0.58 ppm respectivamente. (Huamaní et al., 2012)

La relativamente alta volatilidad de los metales Cd, su gran radio iónico, y su especiación química en sistemas acuáticos hace Cd particularmente susceptibles a la movilización por procesos antropogénicos y naturales. Se observa el ciclo biogeoquímico del Cd que ser alterado de manera significativa por los aportes antropogénicos, especialmente desde el comienzo de la revolución industrial impulsó aumentos en la quema de combustibles fósiles y la extracción de metales no ferrosos. Las estimaciones del flujo de Cd a la atmósfera, se presentan su deposición y transformación en los suelos y sistemas de agua dulce. (Cullen y Maldonado, 2013).

Dentro de los últimos hallazgos encontrados en la experiencia ecuatoriana, identificaron la quema de fundas plásticas, las aguas de minas y la cercanía a las carreteras como las principales fuentes de cadmio en los suelos ecuatorianos. Así mismo destacaron la importancia de evitar la degradación de suelos, ya que en ellos es más común la acumulación

de metales pesados como el cadmio. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA, 2016).

Un informe de la United Nations Environment Programme (UNEP) del 2008, señalaba que en la mayoría de los países que poseen cultivos agrícolas representan la mayor parte de la ingesta de Cd. Es decir, la mayor parte de la exposición crónica Cd es un resultado directo de la ingesta de alimentos derivados de plantas. (Clemens et al, 2013)

Y que el peligro de la exposición ambiental al cadmio que llega a los alimentos sólo se convirtió en un gran problema y causó la alarma mundial, a partir de analizar el síndrome de Itai-Itai en Japón; que es una terrible enfermedad ósea causada por el consumo de arroz contaminado con Cd, como resultado de la descarga incontrolada en la cuenca del río Jenzu (Clemens et al, 2013).

De acuerdo a varios estudios desarrollados por la FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA, 2011; se determinó que el mayor factor que contribuye a la concentración de cadmio en cultivos es el pH del suelo, siendo la absorción de cadmio, mayor en los suelos ácidos. Por lo que refiere la importancia de identificar y clasificar los terrenos de cultivo del cacao, para disminuir las probabilidades de absorción del metal pesado y tomar las medidas correctivas correspondientes. Por ejemplo, en experimentos realizados en Estados Unidos muestran que aplicando cal para la corrección del pH y reduciendo la acidez, disminuye también en forma significativa la absorción de cadmio.

Ecuador ya viene elaborando Mapas de suelos con contenidos de cadmio, para organizar y ordenar su producción de cacao. También indicaron que con el uso de enmiendas orgánicas e inorgánicas tales como calcita, zeolita, torta de filtro de caña de azúcar, sulfato de calcio, dolomita y vinaza lograron disminuir el cadmio del suelo disponible para las plantas, así como su contenido en las almendras de cacao. La enmienda y la dosis con mejores resultados variaron entre los sitios, por lo que destaca la necesidad de investigar en cada zona cacaotera (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 2016).

El cadmio (Cd) es reconocido como un factor de riesgo para la salud humana por los daños que ocasiona en diferentes órganos y en el sistema óseo (Zia-ur-Rehman et al., 2015),

siendo el consumo de alimentos una de las formas frecuentes de contaminación para los humanos. Por su importancia tóxica, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como nivel máximo de tolerancia al cadmio en el cuerpo, la cantidad de 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal (Roberts, 2014). Este elemento es incorporado en el suelo en forma natural o por acciones antropogénicas, combustibles fósiles, residuos de minería, lodos de depuradores y aplicación de fertilizantes fosfatados (Guo et al., 2010). La Organización Mundial del Cacao (ICCO) restringe las exportaciones cuando la concentración de Cd en granos supera el valor crítico de 0.6 mg/kg.

El cadmio en los suelos puede tener un origen natural o antrópico, pero independientemente de ello las plantas lo absorben y puede acumularlo en distintas estructuras y proporciones (Londño, Londño y Muñoz, 2016; Cabriales y Covarrubias, 2017). Esta situación se presenta en el cacao con acumulación importante en sus semillas y hojas (Guerra Sierra et al., 2014) y dado que la mayoría de los productos derivados del cacao son consumidos por niños se hace necesario minimizar la presencia de estos metales en el producto final (CODEX Alimentarius, 2015).

Este incremento en las áreas sembradas con cacao, resulta del crecimiento de la demanda por este producto en América Latina y Europa, además debido a la mayor calidad e inocuidad de los granos, sobre todo en el contenido de metales pesados importantes en los principales productos derivados del cacao. Los metales pesados están definidos como elementos con un peso específico igual o superior a 5 g cm^{-3} , éstos elementos tienen su origen en causas naturales y como consecuencia de actividades antropogénicas tales como los desechos industriales, emisión de gases de los automóviles y las practicas agronómicas (Aikpokpodion, 2012).

Sin embargo, para que estos elementos sean absorbidos por las plantas existen varios factores, entre los que se cuentan, por ejemplo, los atributos del suelo que juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo (Puga et al., 2006). Dentro de los principales atributos 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). Además, la alta concentración de nutrientes puede afectar la disponibilidad de algunos elementos como ocurre en la interacción entre P y As, donde el As disminuye con un mayor valor de P (Violante y Pigna, 2002).

Recientes estudios han indicado que los suelos y granos en áreas de cultivo de cacao podrían presentar altos niveles de metales pesados (Crozier et al., 2012, Huamaní et al., 2012) lo que podría llevar a problemas de consumo y exportación de este producto en el futuro. Los metales pesados del suelo una vez disponibles, pueden ser absorbidos por la planta de cacao; sin embargo, su distribución en la planta y su acumulación es variable. En el caso del cadmio, en la actualidad, no se conoce un papel fisiológico definido en la planta, pero puede concentrarse en las raíces, brotes, hojas o partes comestibles como los granos por su constitución grasosa (Augstburger et al., 2000, Rascio y Navari-Izzo, 2011).

La producción mundial de cacao es absorbida principalmente por tres países (60% de las importaciones), siendo Suiza el mayor importador (29,4%), seguido de Estados Unidos (16,7%) y Alemania con 13,9%. La mayor parte de las exportaciones seguirá siendo de cacao en grano, aunque hay intentos de los países productores en añadir más valor y es de esperarse que dentro de veinte años, el cacao sea tan escaso, que convierta al chocolate en un carísimo producto de lujo, el chocolate auténtico será dentro de dos décadas un carísimo y escaso producto que hará honor a su origen: *Theobroma cacao*, “el alimento de los dioses” (Anga, 2015).

Los altos precios internacionales y la demanda por parte de las industrias procesadoras han generado que la dinámica mundial del cacao se encuentre activa, incentivando así las expectativas por parte de los productores colombianos ya que a lo anterior se suma el trabajo que viene haciendo la Asociación Peruana de Productores de Cacao, APPCACAO, relacionado con el posicionamiento y reconocimiento de la calidad del cacao a nivel internacional, lo cual se traduce en nuevas oportunidades de mercado para los granos de altísima calidad producidos por los cacaocultores de todas las regiones del país. En tal sentido, se espera seguir acrecentando la presencia en los mercados internacionales donde ya comienza a reconocerse el cacao peruano como fino de sabor y aroma y se espera poder obtener unas primas extras sobre el precio base, lo cual también se traduce en mejores ingresos y servicios para los cacaocultores (ASOCIACIÓN PERUANA DE PRODUCTORES DE CACAO, 2014).

Dada esta importancia social y económica del cacao, varios países productores y exportadores, incluyendo el Perú, se muestran interesados en conocer los niveles de metales pesados presentes en las zonas de cultivo (Reyes et al., 2016; CAOBISCO/ECA/FCC, 2015), ya que en los últimos años han existido progresivas regulaciones de la Comunidad Europea,

donde se establecen unos límites máximos respecto al contenido permisible de plomo y cadmio en el chocolate y otros derivados del cacao comercializados en Europa, Tabla 1, según los reglamentos CE 1881/2006 y CE 488/2014 (FAO/OMS, 2015; Lanza et al., 2016)

Tabla 2

Contenidos máximos permisibles de cadmio en chocolate (CODEX Alimentarius, 2015). Sobresale el alto valor asignado para chocolates con % total de materia seca $\geq 50\%$.

Productos	% total materia seca	Límite máximo de cadmio permitido
1. Chocolate de leche	< 30%	0,10 mg/kg
2. Chocolate de leche	$\geq 60\%$	0,30 mg/kg
Chocolate	< 50%	0,30 mg/kg
Chocolate	$\geq 50\%$	0,80 mg/kg
3. Cacao en polvo*	-.-	0,60 mg/kg

*Este límite aplica tanto al chocolate en polvo o cacao en polvo vendido al consumidor final como al usado como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor (Chocolate para tomar).

** Estos límites empezarán a regir a partir del 1 de enero de 2019.

Existe a una gran preocupación en toda la cadena de comercio del cacao a nivel mundial; productores, exportadores, importadores y consumidores; debido a la presencia de Cadmio en las semillas del CACAO y en su transmisión directa al chocolate de consumo humano; pues este metal pesado se acumula en el organismo y es responsable de enfermedades graves para el ser humano; ya que es tóxico, acumulativo en el organismo, de alta permanencia y se moviliza a través de agua y aire. Cumpliendo los 4 requisitos establecidos para los contaminantes más tóxicos.

En temas de biodiversidad, es muy importante estudiarlo y valorarlo en nuestro país, pues Perú tiene el 60% de todas las variedades de Cacao del mundo. Somos el mayor nicho de Cacao de origen del globo terráqueo; cacao de gran finura, con sabor y aroma incomparables; que debemos cuidar y proteger.

El Cacao peruano es Patrimonio Natural de la Nación y ha sido reconocido en el año 2015 en Londres como el mejor chocolate de leche del mundo; y también se ha llevado galardones como ‘Mejor producto orgánico’, ‘Mejor fabricante de chocolate’, ‘Mejor comerciante’ y ‘Mejor país productor de cacao’ calificado por el The International Chocolate

Awards. Por todo ello es muy importante considerar y estudiar la contaminación de cadmio del cacao debido a contenidos naturales de suelos, actividades industriales, actividades mineras, incendios forestales, quema de bosques, deforestación, fertilizantes y herbicidas entre otros. Pues ya cada vez son más países los que vienen poniendo restricciones y reglamentaciones al respecto, lo cual podría influir en un futuro cercano de la exportación de nuestro producto bandera.

Así mismo el IICA (2016), alerta que la posibilidad de que existan elevados contenidos de cadmio en cacao en algunos países de América Latina y el Caribe (ALC) puede impedir que se aproveche el potencial de los cacaos finos de la región.

Unión Europea: a partir del 1 de enero del 2019 entrará en rigor para toda UE la norma que considera como contenido máximo de cadmio en diversos productos de cacao en un rango de 0.10 a 0.80 mg/kg. (OMC). Para el Canadá; para un chocolate de más 50% de sólidos de cacao tiene un rango de 0,02 a 0,86mg/kg. Ecuador: para un chocolate de más de 50% de sólidos de cacao tiene un rango de 0,03 a 1,56 mg/kg; con un promedio de 0,378mg/kg. Mercosur: para un chocolate y productos de cacao menor al 40% de cacao tiene un límite recomendado de 0,2mg/kg. (Jimenez, 2015).

Se evaluó de forma cualitativa y cuantitativa la presencia de cadmio en un chocolate amargo con 65% de cacao producido en Colombia (nacional) y en chocolates extranjeros con diferentes porcentajes de cacao. Para lo cual se tomaron muestras de 0,5 gramos y se realizó una digestión ácida con ácido nítrico concentrado (HNO₃ 65%). Determinándose el metal por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica de llama (FAAS). El límite de detección (LOD) y cuantificación (LOQ) del método, arrojó valores de 0,0309 mg/L y 0,0670 mg/L respectivamente. La concentración promedio de cadmio en el chocolate nacional fue de 4,0477 mg/kg, superando los límites establecidos por el Codex Alimentarius (2,0 mg/kg) y la Unión Europea (0,8 mg/kg). (Echeverry y Reyes, 2016).

Investigación realizada conjuntamente con la Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA), ubicada en la localidad de San Alejandro, Padre Abad, Ucayali, por el tiempo de 5 meses con el objetivo de determinar el contenido de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao*, L.) cultivado bajo 03 sistemas de producción del cultivo. Se

evaluó el contenido de cadmio en un total de 27 muestras entre un sistema orgánico y químico, encontrándose que entre estos dos sistemas no se evidencian diferencias significativas, en cambio entre el sistema orgánico y tradicional si existen diferencias significativas con valores promedio de 0,75; 0,71 y 0,54 ppm de cadmio para cada sistema respectivamente. Finalmente se observó correlación altamente significativa, pero negativa entre el contenido de cadmio con el contenido de nitrógeno (-0,85), fósforo (-0,92), potasio (-0,92) y pH (-0,93) en almendras; demostrando que el pH influye en la absorción de cadmio y en la disponibilidad de ciertos elementos en presencia de dicho metal. (Hoyos,2018).

Investigación realizada en la zona de San Alejandro Aguaytía, entre los meses de abril a diciembre del año 2016, con el propósito de evaluar el contenido de cadmio foliar en 9 parcelas de cacao CCN 51 de 8 años de edad, bajo tres sistemas de manejo: tradicional, orgánico y químico, para lo cual se colectaron de 5 a 10 hojas frescas por planta de cacao en cada parcela seleccionada, obteniendo 60 hojas en total por parcela, embolsadas, etiquetadas y trasladadas al laboratorio, luego secadas a estufa por 24 horas a 125 grados y molidas con ayuda de un molino manual, lográndose un peso promedio de 20 g de hoja seca molida por cada repetición, parcela y sistema, respectivamente. Luego este material se utilizó para la determinación de cadmio. Para la extracción de muestras de suelo se realizó pequeñas calicatas de 40 x 40 cm de ancho por 10 cm de profundidad, de las cuales se tomaron 3 submuestras, que fueron mezcladas para obtener una muestra de 1 kg de suelo por parcela.

Se concluye que, los contenidos medios de cadmio en hojas en el sistema tradicional no muestran diferencias estadísticas entre parcelas, correspondiéndole valores de 0.75, 0.83 y 1.26 mg kg⁻¹ de cadmio. Para el caso del contenido medio de cadmio foliar en el sistema químico si hubo diferencias altamente significativas entre parcelas, donde el valor de 2.21 mg kg⁻¹ de cadmio se muestra superior estadísticamente a los valores de 1.19 y 0.65 mg kg⁻¹ de cadmio. Y en el caso del contenido medio de cadmio en hojas en el sistema orgánico, no se muestran diferencias estadísticas entre parcelas, correspondiéndole valores entre 1.31 y 1.74 mg kg⁻¹ de cadmio, para las tres parcelas evaluadas. Sin embargo, en todas las parcelas, los datos son superiores a los encontrados por Huamaní et al. (2012), con 0.21 mg kg⁻¹ de cadmio en las zonas de Huánuco y Ucayali y menores a los reportados por Cárdenas en el mismo año, quien encontró en promedio 2.84 mg kg⁻¹ de cadmio en hojas en la zona

de Tingo María. Pero en todos los casos son superiores al nivel crítico permisible de cadmio por la OMS en hoja que es de 0.5 mg kg⁻¹ de cadmio. (Ramírez, 2018).

En Perú: aún no hay consideraciones sobre cadmio en cacao o chocolate. La Norma Técnica que tenemos para los requisitos fisicoquímicos, microbiológicos y técnicos que deben cumplir el cacao y sus derivados; no menciona exigencias alrededor de metales pesados (INDECOPI, 2007), citado por Jimenez, 2015. Asimismo la Norma Técnica específica para Chocolate, no menciona requisitos concretos para metales pesados (INDECOPI, 2008), citado por Jimenez, 2015.

Quien menciona que de acuerdo a un estudio desarrollado en el año 2015 evaluando la legislación en 23 países de todo el mundo, y teniendo en cuenta a la Comunidad Europea como un solo país se encontró que solo el 22 % tienen legislado el cadmio en el chocolate y/o sus derivados.

Es importante considerar que la planta de cacao no necesita Cadmio para sus procesos y que los elementos que transportan Zinc también transportan Cadmio; y cuando hay ausencia de Zinc en el suelo, la planta tiende a absorber mayor cantidad de Cadmio; que la solubilidad del Cadmio es mayor a pH más bajos, por lo que se podría variar la disponibilidad de Cadmio en suelos controlando el pH del suelo. Hay que resaltar que existen genotipos de cacao (variedades de las especies) que presentan una mayor absorción de Cadmio en la planta que otras; y que la distribución en una misma planta varía en raíz, tronco y semilla, de acuerdo a la variedad. Por lo tanto, un genotipo que transporta Cadmio por raíz y tronco, es mejor que un genotipo que lo transporta a la semilla; ya que la semilla es la materia prima principal para los productos del cacao. En la misma consideración de las variedades, se debe tener en cuenta que existen variedades de Cacao que asimilan menos Cadmio del suelo, las cuales se deben estudiar, mejorar y propagar. (Kadow, 2015)

Nuestro país tiene una gran biodiversidad natural de cacao, lo que se podría utilizar como estrategia para la reproducción y desarrollo de estas especies resistentes. La gran variabilidad de especies (biodiversidad) de CACAO de origen que posee Perú puede ser el mayor potencial de estudio y producción, para lograr utilizar variedades que asimilen el Cadmio en otros elementos que no sean el fruto y semillas.

Algo que es muy importante resaltar, dentro de las conclusiones que la OMS sobre este metal pesado es que: conforme se van desarrollando más estudios sobre el potencial de contaminación y daño al ser humano expuesto a este nocivo elemento, se determina que los daños graves e irreversibles se producen a mucho menores concentraciones de Cadmio en el organismo humano que los rangos determinados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El presente trabajo de investigación busca como objetivo general; determinar el contenido de cadmio en suelos, hojas, frutos (frescos y secos), licor de cacao y chocolate en zonas de mayor frecuencia de producción de las provincias de Bellavista y Huallaga de la región San Martín.

Y como objetivos específicos: realizar el análisis físico químico de suelos, hojas, frutos (frescos y secos), licor de cacao y chocolate de las zonas productoras; determinar el contenido de cadmio en suelos de zonas productoras de cacao, en las provincias de Bellavista y Huallaga de la región San Martín, y zonificar las áreas que presentan mayor incidencia de cadmio y cuantificar la presencia de cadmio en almendras frescas, fermentadas secas, licor de cacao y chocolate con 70% de cacao, de zonas productoras de las provincias de Bellavista y Huallaga de la Región San Martín.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de suelos, hojas, frutos (almendras frescas y secas) fueron obtenidas de las fincas de 25 agricultores cacaoteros (05 por localidad), pertenecientes a las zonas de; Huingoyacu, Panamá y Tingo de Saposoa en la provincia del Bellavista y Ahuihua y Tángier en la provincia del Huallaga, para lo cual se contó con el apoyo del personal de campo de la Cooperativa Agraria Cacaotera ACOPAGRO Ltda. Así mismo estas muestras recolectadas fueron destinadas al Laboratorio de análisis de suelos, aguas y foliares de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la UNSM-T, para los análisis físico químicos respectivos y una parte de las almendras secas se derivó al Laboratorio de Control de Calidad de la Cooperativa, para el acondicionamiento y elaboración del licor de cacao y de las tabletas de chocolate al 70% de contenido de cacao, estas muestras elaboradas de licor de cacao y tabletas de chocolate, en parte se destinaron al Laboratorio de análisis de suelos, aguas y foliares de la FCA, para su análisis físico químico respectivo (pH, conductividad eléctrica y cadmio).

Los equipos y materiales que se emplearon fueron: balanza analítica, marca BOECO, modelo BBX 31; potenciómetro marca SI Analytics, modelo LAB 850; hidrómetro de Bouyoucos, marca THERMCO, modelo GW152H; conductímetro, marca SI Analytics, modelo LAB 960; estufa, marca ECOCCCEL, modelo 111 ECO; espectrofotómetro de absorción atómica, marca GBC, modelo Savantaa; digestor microkjeldhal, marca JP SELECTA, modelo RAT; destilador de nitrógeno, marca RAT, modelo Pro Nitro M; espectrofotómetro UV visible, marca UNICO, modelo 1205 VIS; micropipetas, automáticas; agitador magnético a inducción; agitador vertical; molino de rodillos, descascarilladora de granos, tostadora eléctrica, conchadora, atemperadora, templadora, refrigeradora, moldes de policarbonato, agua destilada, reactivos varios, material de vidrio, morteros, cuchillos, excavadoras y barrenos, tijeras de podar, bolsas plásticas con cierre hermético, sobres manila.

La metodología utilizada para el muestreo de suelos, hojas, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao, y barras de chocolate al 70% de cacao, es como sigue: Las muestras de suelo se obtuvieron de zonas muy cercanas a la planta de cacao previamente seleccionado

en la finca de cada agricultor (25 agricultores), procediéndose a obtener 04 sub muestras (250 gramos cada una) de una profundidad de 25 cm alrededor del árbol seleccionado. Estas fueron colocadas en bolsas plásticas de cierre hermético y empaquetados en sobres manila para su traslado respectivo al laboratorio y su preparación inmediata (homogenización y secado en estufa a 65°C), obteniéndose 200 gramos de muestra por cada finca para realizar los análisis respectivos (perfil del suelo, pH, conductividad eléctrica y contenido de cadmio).

En cuanto a las hojas se tomaron 30 hojas de la parte basal, media y alta por cada árbol seleccionado de la finca del agricultor cacaotero, procediéndose al traslado al laboratorio de suelos y su posterior secado a 65°C, molienda en mortero y homogenización de las muestras por cada localidad, obteniéndose una muestra de 0,5 gramos para realizar el análisis físico químico respectivo.

Respecto a los frutos; se obtuvo frutos maduros, recolectándose 2 frutos de la parte media del árbol seleccionado de cada finca, procediéndose a su traslado al laboratorio, quiebre, obtención de las almendras, secado a 65°C en estufa, y posterior separación de testa y cotiledón, molienda en mortero, homogenización y obtención de muestras de 0,7 gramos cada uno, para el análisis físico químico.

Los granos fermentados y secos, fueron obtenidos de los centros de acopio situados en cada localidad en estudio, lugares a donde los agricultores de esas localidades trasladan el cacao en baba, para su beneficio (fermentado y secado). Estas muestras fueron obtenidas según los registros de los agricultores donde se muestreó sus fincas, para ello se obtuvo las muestras de almendras secas muestreando al azar de cada 10 sacos se obtuvo 100 gramos de muestra, lográndose obtener de 1,5 a 2,0 kilogramos por cada localidad, procediéndose luego al traslado en bolsas de plástico de cierre hermético al laboratorio de Control de Calidad de la Cooperativa ACOPAGRO, para su respectivo acondicionamiento y preparación del licor de cacao.

El licor de cacao se obtuvo según la metodología descrita en la Tabla 2, que indica que las almendras fermentadas y secas se tostaron a 145°C por 40 minutos, enfriado por 10 minutos, triturado, descascarillado, conchado a 49°C x 12 horas, moldeado, embolsado, codificado y refrigerado, quedando la muestra lista para el análisis físico y sensorial, obteniéndose en el presente trabajo 1,2 kilogramos de licor de cacao aproximadamente.

Las tabletas de chocolate al 70% de cacao, se obtuvieron según la metodología descrita en la Tabla 4, que nos indica lo siguiente: tabletas de licor de cacao que fueron refrigeradas, se sometieron al conchado a 49°C x 48 horas, mezclado de ingredientes: leche en polvo 10%,

panela granulada 19% y lecitina 1%; procediéndose al templado y a bajar la temperatura a 28°C y luego subirla a 32 o 35°C hasta que alcance la consistencia deseada del chocolate, se moldeó, enfrió a 7°C y el codificado respectivo de la muestra, quedando lista para su consumo.

Tabla 3

Preparación de Licor de Cacao para la determinación de propiedades fisicoquímicas, cadmio y análisis sensorial

OPERACIONES	PROCEDIMIENTO
Tostado	Encender el horno y fijar en el termostato la temperatura en 150°C, mantener la luz halógena encendida hasta que alcance una T° de 145°C. Pesar de 750 g. a 1 Kg de muestra, tiempo de tostado 40 minutos. Encender la luz halógena hasta la T° de 90°C.
Enfriado	Las muestras una vez tostadas se dejan enfriar en una bandeja de malla delgada, con suficiente aireación por 5 a 10 minutos.
Triturado	Se tritura la muestra en la trituradora de rodillos
Descascarillado	Pasar los granos enfriados por la descascarilladora
Conchado	Encender el molino de piedra o conchadora y fijar la temperatura a 49°C, colocar poco a poco los nibs para que se forme el licor. Se fija el cronómetro de 6 a 12 horas. Remover bien a la masa con una espátula para que la masa y refinado sea homogéneo. Luego se retira el licor.
Moldeado	Moldear el licor y refrigerar
Almacenado	Desmoldar y empacarlo con el código de la muestra
Codificación	Las muestras se codifican con números al azar, preferentemente de 3 dígitos, para su análisis fisicoquímico y sensorial.

Fuente: Laboratorio de calidad de Cooperativa Cacaotera ACOPAGRO-Juanjui.

Tabla 4

Preparación de Tabletas de chocolate (70 g) con 70% de cacao y leche, para determinación de propiedades fisicoquímicas y cadmio.

OPERACIONES	PROCEDIMIENTO
1er Tostado o Torrefacción	Encender el horno y fijar en el termostato la temperatura en 120°C, mantener la luz halógena encendida, tiempo de tostado 20 minutos.
Enfriado	Las muestras una vez tostadas se dejan enfriar en una bandeja de malla delgada con marco de madera con suficiente aireación por 5 a 10 minutos.
Triturado	Se tritura la muestra en la trituradora de rodillos
Descascarillado	Pasar los granos enfriados por la descascarilladora
2do. Tostado o Torrefacción	Este se realiza si se observa que los granos no presentan un tostado uniforme. Para ello los granos se tuestan por 120°C por el tiempo de 5 minutos en el horno.
Molienda y Conchado	Encender el molino de piedra o conchadora y fijar la temperatura a 49°C, colocar poco a poco los nibs para que se forme el licor. Se fija el cronómetro a 48 horas. Remover bien la masa con una espátula para que la masa y refinado sea homogéneo. Cumplido el tiempo se retira el licor.
Templado o Temperado	Bajar la temperatura hasta 28°C y luego subirla hasta 32°C, se hace en un equipo denominado atemperador.
Moldeado y Enfriado	Se moldea (tabletas de 70 g.) y luego se enfría, utilizando la refrigeradora a una temperatura de 7°C.
Codificación	Las muestras se codifican con números escogidos al azar preferentemente de 3 dígitos para ser posteriormente analizadas físico químicamente y catados (análisis sensorial).

Fuente: Laboratorio de calidad de Cooperativa Cacaotera ACOPAGRO-Juanjui

El análisis físico-químico del suelo se realizó en muestras secas, realizándose la caracterización del suelo (textura, conductividad eléctrica, pH, % de materia orgánica, N,P, K, Ca, Mg, Na, Al, capacidad de intercambio catiónico) y cadmio; así mismo en testa y embrión se determinó conductividad eléctrica y pH; mientras que en muestras de hojas, almendras frescas (testa y embrión), almendras fermentadas y secas, licor de cacao y tabletas de chocolate al 70% de cacao, se determinó el contenido de cadmio.

El análisis sensorial se realizó al licor de cacao de las 05 localidades utilizando el formato de la transnacional norteamericana TCHO Ventures Inc., para lo cual se utilizó el concurso de 04 panelistas entrenados, y esta información se procesó en el programa de Cropster, para obtener la gráfica de perfil sensorial.

La conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro marca SI Analytics LAB 960, para lo cual se utilizó una muestra de 45 g diluido en 100 ml de agua destilada caliente. (IRAM 15945: 1999).

El pH se determinó con un potenciómetro utilizando el método AOAC Official Method AOAC 971.27, marca SI Analytics LAB 850, utilizando una muestra de 45 g diluida en 100 ml de agua destilada caliente.

El contenido de cadmio se determinó por el método de la AOAC Official Method 974.27 con Espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC Savantaa, utilizando una muestra filtrada a partir de 0,5 g de muestra seca por 5 ml de solución Nítrica Perclórica, previa digestión en equipo Digestor Trade Raypa de 12 posiciones, análisis realizado en el Laboratorio de suelos, aguas y plantas de la FCA. (AOAC, 1998).

El análisis de caracterización de suelos se determinó por las siguientes metodologías: Textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos; pH por el método del potenciómetro, contando con una muestra en suspensión suelo: agua en proporción de 1:2,5 respectivamente. Fósforo por el método de Olsen modificado, por extracción con NaHCO_3 , 0,5 M; pH 8,5 con Espectrofotometría UV visible. Los elementos K, Ca; Na, Mg y Al, fueron extraídos con acetato de amonio 1N y determinado por absorción atómica. En cuanto a la materia orgánica se utilizó el método de Walkley y Black que consistió en pesar 1g de muestra seca de suelo, adicionando 10ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico,

dejando reposar 30 min, posteriormente se procede a la titulación con sulfato ferroso heptahidratado utilizando el indicador ortofenantrolina, conocido como ferroin.

La determinación de Nitrógeno se realizó siguiendo la metodología de la AOAC Official Method 991.20 por digestión y destilación Microkjeldhal, procediéndose a pesar 2g de suelo, 2 g de catalizador y 6 ml de ácido sulfúrico y se procede a la digestión aproximada durante 2 horas; el producto digerido es destilado para su titulación con ácido clorhídrico 0,02N (AOAC 1998).

En los granos fermentados y secos de las 05 localidades en estudio se realizó el análisis físico/prueba de corte, para lo cual se tomaron 50 granos de almendras de cacao, de una muestra total de 1,0 kilogramo, determinándose características como: humedad del grano y pH. Se procedió al corte de los 50 granos con la guillotina, esto se hizo por triplicado con la finalidad de evaluar el porcentaje de granos bien fermentados, parcialmente fermentados, no fermentados; defectos como: granos mohosos, rotos, planos, múltiples e infestados.

Los descriptores de perfil sensorial evaluados del licor de cacao, proveniente de las 05 localidades en estudio fueron: olor/fragancia, acidez, amargor, astringencia, sabor/aroma, limpieza, post gusto y puntaje de catador. Los cuales fueron realizados por los panelistas en base a 100 puntos, para ello se tomó 5 gramos de muestra de licor para evaluar cada descriptor, luego se puntuaron y colocaron las notas respectivas encontradas de cada muestra y luego ingresados al software denominado Cropster, el cual arroja la gráfica respectiva, donde se observa claramente los puntajes de los panelistas y el promedio.

Los resultados obtenidos fueron procesados por el paquete estadístico SAS V9.2 (2012) a partir de las cuales se realizaron los análisis de correlación de Pearson entre los contenidos de cadmio disponibles en el suelo, fruto (almendras frescas con testa y sin testa), granos fermentados, licor de cacao y chocolate.

En la Tabla 5, se muestra la relación de productores cacaoteros identificados por localidades (Huingoyacu, Tingo de Saposoa, Panamá, pertenecientes a la provincia de Bellavista y Tänger, Ahuihua, perteneciente a la provincia de Huallaga), con sus coordenadas geográficas, áreas en producción, variedades cultivadas y altitud de sus fincas.

Tabla 5*Identificación de productores cacaoteros de las localidades en estudio Provincia de Bellavista*

ZONA: HUINGOYACU					
Parcelas	Propietario	Datos geográficos	Variedad	Hás	Altitud (m)
Parcela 1	Wilfredo Sinarahua Guerra	18M 0315614 UTM 9239783	ICS39	2,5	438
Parcela 2	Tulio Guerra Shupingahua	18M 0316076 UTM 9239996	CCN51	2,3	402
Parcela 3	Enrique Sangama Salas	18M 0316224 UTM 9240359	ICS95	2,75	399
Parcela 4	Lino Sangama Sinarahua	18M 0316473 UTM 9241331	Híbrido	3	399
Parcela 5	Miguel Sangama Cachique	18M 0316632 UTM 9241474	ICS39	2	415
ZONA: TINGO DE SAPOSOA					
Parcela 6	Porfirio Ponte Morillo	18M 0314075 UTM 9217733	CCN51	8	304
Parcela 7	Porfirio Ponte Morillo	18M 0314054 UTM 9217859	CCN51	2	264
Parcela 8	Francisco Yalta Mego	18M 0314014 UTM 9217655	Híbrido	1	244
Parcela 9	Julio Vásquez	18M 0315519 UTM 9217325	Híbrido	4	262
Parcela 10	Kely Vásquez	18M 0315372 UTM 9217264	CCN51	3	262
ZONA: PANAMÁ					
Parcela 11	Celis Upiachihua	18M 0340380 UTM 9223668	ICS95	2	233
Parcela 12	Hudson Upiachihua	18M 0340290 UTM 9223765	Híbrido	3,5	234
Parcela 13	Alindor Uriarte	18M 0340209 UTM 9223845	Híbrido	2,5	234
Parcela 14	Daniel Paredes	18M 0340262 UTM 9224231	CCN51	1,5	228
Parcela 15	Delmar Shupingahua	18M 0340288 UTM 9224277	Híbrido	2	226

Provincia de Huallaga
ZONA : TANGER

Parcelas	Propietario	Datos geográficos	Variedad	Hás	Altitud (m)
Parcela 16	Juan Manuel Pérez Pérez	18M 0302618 UTM 9239783	ICS39	2,5	438
Parcela 17	Ludwer Pérez Castro	18M 0302876 UTM 9240886	CCN51	2,3	402
Parcela 18	Elvo Pérez Pérez	18M 0302924 UTM 9240995	ICS95	2,75	399
Parcela 19	Fernando Pérez Pérez	18M 0303083 UTM 9241641	Híbrido	3	399
Parcela 20	Juan Ruperto Rengifo	18M 0303132 UTM 9241789	ICS39	2	415
ZONA: AHUIHUA					
Parcela 21	Geiner Peláez Rengifo	18M 0306122 UTM 9240792	CCN51	8	304
Parcela 22	Segundo Teófilo Panduro Silva	18M 0304849 UTM 9239018	CCN51	2	264
Parcela 23	Luis Ángel Caro Ríos	18M 0305261 UTM 9241035	Híbrido	1	244
Parcela 24	Jorge Soto Rengifo	18M 0305309 UTM 4240628	Híbrido	4	262
Parcela 25	Nelson Ríos Soto	18M 0305261 UTM 9241012	CCN51	3	262

Según la Tabla 5, se seleccionó 05 agricultores, los más representativos de cada localidad (05), distribuidos en las 02 provincias en estudio, haciendo un total de 25 agricultores, por lo tanto 25 muestras a estudiarse, pudiéndose observar que el 80% de los productores manejaron fincas entre 1 y 3 hectáreas y el 20% restante de 3,5 a 8 hectáreas, es decir la gran mayoría cultivan áreas pequeñas de cacao.

Así mismo se puede notar que los productores de cacao, manejaron clones ICS 95 en un 12%; ICS 39 en un 16%; CCN51 en un 36% y cacaos híbridos también en un 36%. Es decir, existe una prevalencia por cultivar cacaos CCN51 e híbridos. En cuanto a la altitud a la que se encuentran las fincas, se registraron 262 msnm como altitud mínima y lo msnm, como la altitud máxima.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recolección de muestras

Suelos. Se muestrearon según la metodología descrita en la sección anterior, obteniéndose 200 gramos de muestra homogenizada y seca para la determinación del perfil de suelo y niveles de cadmio. Estos análisis se realizaron en las 25 fincas cacaoteras, correspondiente a las 02 provincias den estudio (Bellavista y Huallaga). Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Hojas, almendras frescas (testa y cotiledón), almendras fermentadas y secas, licor de cacao y tabletas de chocolate. En cuanto a las muestras de hojas, almendras frescas (testa y cotiledón), almendras fermentadas y secas, se obtuvieron según la metodología descrita en la sección 3.2, cuyos resultados de los análisis fisicoquímicos y de cadmio se muestran en las Tablas 7 y 8.

Licor de cacao y tabletas de chocolate al 70%. En cuanto a las muestras de licor de cacao y tabletas de chocolate al 70%, preparadas en el laboratorio de Control de calidad de la Cooperativa cacaotera ACOPAGRO Ltda. de la ciudad de Juanjui, provincia de Mariscal Cáceres-Región San Martín, según la metodología mencionada en la sección anterior del presente trabajo, los resultados obtenidos para contenido de cadmio se muestran en la Tabla 8.

Tabla 6. Análisis físico-químico de suelos, de 25 parcelas, 05 localidades y 02 provincias de la región San Martín

Parcela	Análisis Físico			Elementos Disponibles								Análisis Químico meq/100g					
	Textura			Clase Textural	pH	C.E. (μS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)	CIC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al	Al+H
% Are	% Arc	% Lim															
H1	52	12	36	Franco arcillo arenoso	7,83	246	2,35	0,118	9,63	179	22,70	18,32	3,23	0,6900	0,458	0,00	0,00
H2	30	51	19	Arcilloso	7,79	240	2,63	0,132	10,12	174,3	20,53	16,32	3,12	0,6400	0,446	0,00	0,00
H3	32	50	18	Arcilloso	7,81	274	3,02	0,151	12,03	179,6	18,89	15,23	2,45	0,7500	0,459	0,00	0,00
H4	35	45	20	Arcilloso	8,02	412	3,12	0,156	15,36	213	25,67	21,03	3,12	0,9800	0,545	0,00	0,00
H5	32	39	29	Franco arcilloso	7,92	254	2,56	0,128	10,32	198,4	21,63	18,36	2,13	0,6300	0,507	0,00	0,00
TS1	39	39	22	Franco arcilloso	7,919	250	2,96	0,148	11,23	178,6	20,99	17,32	2,65	0,5600	0,457	0,00	0,00
TS2	37	40	23	Franco arcilloso	8,15	280,23	3,12	0,156	14,32	196,4	23,25	18,56	3,23	0,9600	0,502	0,00	0,00
TS3	32	41	27	Arcilloso	7,97	300	2,56	0,128	12,3	165,3	20,47	17,23	2,14	0,6800	0,423	0,00	0,00
TS4	39	42	19	Arcilloso	8,13	188,8	3,25	0,163	13,26	156,6	18,84	14,23	3,25	0,9600	0,400	0,00	0,00
TS5	42	39	19	Franco arcilloso	8,04	212	2,56	0,128	12,32	165,3	20,01	15,32	3,15	1,1200	0,423	0,00	0,00
P1	52	32	16	Franco arcilloso arenoso	7,76	277	3,21	0,161	10,32	156,2	15,80	12,32	2,12	0,9600	0,400	0,00	0,00
P2	53	33	14	Franco arcilloso arenoso	7,86	226	2,31	0,116	12,32	142,3	16,97	13,65	2,10	0,8600	0,364	0,00	0,00
P3	59	29	12	Franco arcilloso arenoso	7,84	223,01	3,12	0,156	13,53	152,4	19,36	15,36	2,65	0,9600	0,390	0,00	0,00
P4	52	33	15	Franco arcilloso arenoso	7,85	178,36	2,96	0,148	12,69	145,3	17,99	14,23	2,53	0,8600	0,372	0,00	0,00
P5	50	30	20	Franco arcilloso arenoso	7,86	219,63	3,23	0,162	13,65	156,3	16,69	12,32	3,12	0,8500	0,400	0,00	0,00

Tabla 6 (continuación)

Parcela	Análisis Físico			Elementos Disponibles								Análisis Químico meq/100g					
	% Are	Textura % Arc	% Lim	Clase Textural	pH	C.E. (μ S)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)	CIC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al	Al+H
Tan1	59	32	9	Franco arcilloso arenoso	6,37	66,1	2,1	0,105	8,36	86,32	12,80	10,32	1,63	0,6300	0,221	0,00	0,00
Tan2	50	33	17	Franco arcilloso arenoso	6,94	215	2,63	0,132	10,32	96,32	14,46	11,32	2,13	0,7600	0,246	0,00	0,00
Tan3	41	41	18	Franco arcilloso	6,82	100,4	2,1	0,105	9,36	87,36	12,40	10,32	1,23	0,6300	0,223	0,00	0,00
Tan4	40	39	21	Franco arcilloso	5,81	106,3	2,35	0,118	8,53	78,36	11,68	9,63	1,32	0,5300	0,200	0,00	0,00
Tan5	47	33	20	Franco arcilloso arenoso	7,29	205	3,12	0,156	11,23	103,2	15,66	12,32	2,12	0,9600	0,264	0,00	0,00
A1	48,5	32	19,5	Franco arcilloso arenoso	7,82	140,8	3,21	0,161	13,21	132,6	17,84	13,52	3,12	0,8600	0,339	0,00	0,00
A2	49	33	18	Franco arcilloso arenoso	7,54	176,8	2,89	0,145	12,03	142	19,59	15,32	2,96	0,9500	0,363	0,00	0,00
A3	53	33	14	Franco arcilloso arenoso	7,89	126,3	3,56	0,178	13,65	156,3	20,86	16,32	3,12	1,0200	0,400	0,00	0,00
A4	41	39	20	Franco arcilloso	6,06	112,03	2,56	0,128	8,36	112	11,91	8,96	2,10	0,5600	0,286	0,00	0,00
A5	41	32	27	Franco arcilloso	7,80	200	3,26	0,163	12,36	165,4	19,89	15,36	3,15	0,9600	0,423	0,00	0,00

De la Tabla 7, las parcelas del 1 al 15 pertenecen a los cacaoteros de la provincia de Bellavista, localidades de Huingoyacu, Tingo de Sapos } }oa y Panamá, respectivamente (05 por localidad) se puede inferir que la textura del suelo varía desde arcilloso a franco arcilloso arenoso, el pH es moderadamente alcalino, la conductividad eléctrica en promedio es de 285,2 μs en la localidad de Huingoyacu, 246,2 μs en la localidad de Tingo de Saposoa y 224,8 μs en la localidad de Panamá, no existiendo problemas de salinidad, el contenido de materia orgánica es medio, contenido de nitrógeno es normal, contenido de fósforo y potasio es medio, nivel de calcio que va de alto a muy alto, magnesio y sodio que va desde normal a alto respectivamente para ambos.

Asimismo, de la Tabla 7, parcelas del 16 al 25 que pertenecen a los cacaoteros de la provincia de Huallaga, localidades de Tángier y Ahuihua, respectivamente (05 por localidad) se puede inferir que la textura del suelo va desde franco arcilloso a franco arcilloso arenoso, el pH es moderadamente ácido, la conductividad eléctrica en promedio en la localidad de Tángier es de 138,56 μs y en la localidad de Ahuihua es de 151,18 μs . No existe problemas de salinidad, contenido de materia orgánica es medio, contenido de Nitrógeno es normal, contenido de fósforo y potasio es medio, nivel de calcio es bajo, magnesio y sodio que va desde normal a bajo.

Haciendo un comparativo de las dos provincias, se puede observar que las fincas analizadas perteneciente a la provincia de Bellavista en cuanto a pH, presenta suelos moderadamente alcalinos, mientras que los suelos de las fincas pertenecientes a la provincia de Huallaga son moderadamente ácidos, la conductividad eléctrica en promedio es mucho más alta en las localidades pertenecientes a la provincia de Bellavista que va desde 224,8 μs hasta 285,2 μs , con respecto a las localidades de la provincia de Huallaga que son más bajos y van desde 138,56 a 151,18 μs .

Tabla 7

Análisis de pH y Conductividad Eléctrica (CE) en testa y cotiledón de almendras de cacao.

	pH	pH	C.E. μs/cm	C.E. μs/cm
Parcela	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa
LOCALIDAD DE HUINGOYACU				
Parcela 1	6,12	3,65	1569,23	2113,56
Parcela 2	6,56	3,85	1635,25	2036,56
Parcela 3	5,98	3,56	1958,64	2014,56
Parcela 4	5,46	3,86	1845,00	2111,00
Parcela 5	6,32	3,45	1789,63	2230,15
LOCALIDAD DE TINGO DE SAPOSOA				
Parcela 6	6,23	3,70	1564,12	2314,56
Parcela 7	6,12	3,54	1145,00	2110,21
Parcela 8	6,45	3,14	1324,12	2636,98
Parcela 9	7,02	3,69	1320,35	2456,32
Parcela 10	6,56	3,23	1123,01	2113,21
LOCALIDAD DE PANÁMÁ				
Parcela 11	6,56	4,10	1847,36	2014,56
Parcela 12	5,98	4,15	1456,25	2113,25
Parcela 13	5,45	4,06	1563,23	2014,56
Parcela 14	6,32	3,56	1457,54	2147,89
Parcela 15	6,45	3,21	1239,54	1965,65
LOCALIDAD DE TANGER				
Parcela 16	5,98	3,12	1523,65	2003,60
Parcela 17	5,63	3,42	1324,02	2098,12
Parcela 18	5,12	3,36	1369,00	1856,32
Parcela 19	5,03	3,14	1389,32	1789,25
Parcela 20	5,14	3,23	1206,32	1856,32
LOCALIDAD DE AHUIHUA				
Parcela 21	6,87	4,12	1123,25	1785,21
Parcela 22	5,02	4,45	1235,02	1845,63
Parcela 23	5,63	4,05	1254,12	1845,12
Parcela 24	6,02	3,96	1436,12	2365,12
Parcela 25	5,69	3,87	1368,74	2113,63

Tabla 8

Análisis de cadmio en suelos, hojas, almendras frescas (testa, cotiledón), fermentado y seco, licor de cacao y tabletas de chocolate.

Parcela	Propietario	ppm (mg/kg)						
		Cadmio (Cd)	Cadmio (Cd)	Cadmio (Cd)				
		Suelo	Hojas	Testa	Cotiledón	Almendra seca	Licor de cacao	Tabletas de chocolate
ZONA: HUINGUYACU								
Parcela 1	Wilfredo Sinarahua Guerra	0,563	0,210	0,018	0,021	0,042	0,102	0,443
Parcela 2	Tulio Guerra Shupingahua	0,421	0,180	0,012	0,056	0,051	0,098	0,305
Parcela 3	Enrique Sangama Salas	0,478	0,230	0,023	0,059	0,075	0,123	0,333
Parcela 4	Lino Sangama Sinarahua	0,563	0,340	0,045	0,065	0,026	0,132	0,240
Parcela 5	Miguel Sangama Cachique	0,580	0,360	0,036	0,069	0,032	0,180	0,560
ZONA: TINGO DE SAPOSOA								
Parcela 6	Porfirio Ponte Morillo	0,547	0,650	0,036	0,037	0,056	0,102	0,116
Parcela 7	Porfirio Ponte Morillo	0,324	0,690	0,051	0,065	0,065	0,098	0,201
Parcela 8	Francisco Yalta Mego	0,365	0,670	0,058	0,085	0,042	0,096	0,336
Parcela 9	Julio Vásquez	0,563	0,740	0,056	0,098	0,023	0,089	0,443
Parcela 10	Kely Vásquez	0,456	0,690	0,040	0,045	0,032	0,100	0,201
ZONA: PANAMÁ								
Parcela 11	Celis Upiachihua	0,231	0,560	0,032	0,035	0,032	0,210	0,534
Parcela 12	Hudson Upiachihua	0,258	0,450	0,021	0,056	0,032	0,150	0,449
Parcela 13	Alindor Uriarte	0,356	0,470	0,036	0,045	0,042	0,130	0,534
Parcela 14	Daniel Paredes	0,214	0,360	0,027	0,068	0,045	0,147	0,625
Parcela 15	Delmar Shupingahua	0,235	0,450	0,015	0,087	0,058	0,213	0,492

Tabla 8 (continuación)

ZONA: TANGER								
Parcela 16	Juan Manuel Pérez Pérez	0,320	0,320	0,024	0,053	0,036	0,130	0,443
Parcela 17	Ludwer Pérez Castro	0,980	0,420	0,032	0,089	0,035	0,140	0,532
Parcela 18	Elvo Pérez Pérez	0,960	0,520	0,041	0,065	0,037	0,168	0,336
Parcela 19	Fernando Pérez Pérez	0,580	0,690	0,018	0,087	0,034	0,150	0,400
Parcela 20	Juan Ruperto Rengifo	0,650	0,640	0,021	0,069	0,042	0,190	0,412
ZONA: AHUIHUA								
Parcela 21	Geiner Peláez Rengifo	0,780	0,560	0,021	0,045	0,063	0,150	0,305
Parcela 22	Segundo Teófilo Panduro Silva	0,780	0,780	0,023	0,063	0,042	0,163	0,412
Parcela 23	Luis Ángel Caro Pío	0,790	0,670	0,031	0,078	0,032	0,180	0,392
Parcela 24	Jorge Soto Rengifo	0,960	0,750	0,019	0,056	0,024	0,163	0,369
Parcela 25	Nelson Ríos Soto	0,950	0,650	0,014	0,089	0,023	0,140	0,336

De la Tabla 8, se observa que el contenido de Cadmio en suelos de las 05 localidades estudiadas de las 02 provincias, muestra niveles mínimos de cadmio en el suelo de 0,214 ppm y máximos de 0,980 ppm. Niveles mucho menores que los reportados por Cárdenas (2012), en parcelas con cultivos orgánicos de la región Huánuco donde encontró que los mayores valores de cadmio disponible en el suelo (1,82 y 1,63 ppm), se presentaban en las riberas de los ríos Tulumayo y Huallaga, respectivamente. Los valores permisibles en suelos son de 0.35 ppm. La zona de Panamá reporta valores de cadmio por debajo de los límites máximos permisibles, sin embargo, las otras zonas como Huingoyacu, Tingo de Saposoa, Tanger y Ahuihua, presentan valores por encima de los citados por García y Dorronsoro (2002).

Respecto al contenido de cadmio en hojas o tejido foliar se encontraron niveles mínimos de 0,18 ppm y máximos de 0,780 ppm, obteniéndose promedios estimados de 0,49 ppm. Kabata-Pendias (2000), reportan que en hojas maduras las concentraciones máximas tolerables son de 0,5 ppm para cadmio. Huamaní et al. (2012) en estudios realizados en las provincias de Huánuco y Ucayali encontraron en promedio 0,21 ppm de cadmio en hojas de cacao.

El contenido de cadmio en testa y cotiledón presenta niveles mínimos de 0,012 y 0,021 ppm y máximos de 0,056 y 0,098 ppm respectivamente. Estudios realizados, reportan niveles en promedio de cadmio en la Testa o tegumento del cacao, de 0,343 ppm a 0,644 ppm y en cotiledón o almendra de 0,018 ppm a 0,088 ppm de cadmio. Los valores obtenidos están por debajo de los niveles encontrados en cacao de Costa de Marfil (Yapo et al., 2014)

El contenido de cadmio encontrado en las almendras fermentadas y secas muestra valores mínimos de 0,023 ppm y máximos de 0,075 ppm. ICT-PDRS (2008), en estudios realizados en cacao en la región San Martín, encontraron almendras secas de acopio con niveles de cadmio entre 0,1 ppm y 2,45 ppm. Reportes muy superiores a los encontrados en el presente estudio. Los niveles críticos de referencia para almendras de cacao son 0,5 ppm, OMS/FAO, citados por García y Dorronsoro (2002).

Con respecto al licor de cacao obtenido a partir de los granos fermentados y secos de cacao de las 05 localidades y 02 provincias de la región San Martín, se encontró niveles mínimos de

cadmio de 0,089 ppm y máximos de 0,210 ppm. Lee y Low (1985), reportan en promedio 0,865 ppm de cadmio en licor de cacao; mientras que para tabletas de chocolate con 70% de cacao, se encontraron niveles mínimos de 0,116 ppm y máximos de 0,625 ppm y las tabletas de chocolate sobresaliente en contenido de cadmio procedieron las muestras de las zonas de Tánger concordando valores elevados de cadmio en suelo y hojas. Según Dahiya et al (2004), reportan que los niveles máximos de Cadmio en cocoa en polvo que fueron determinados en Alemania son de 0,4 ppm y en Finlandia y países de Europa central fueron de 0,5 ppm. Lee & Low (1985), mencionan que para Malasia se fijó niveles máximos de 1 mg/kg de cadmio para dicho producto. Guldás (2008) reporta niveles de cadmio para diferentes países como India que van desde 0,001 ppm hasta 2,73 ppm; Malasia 0,280 ppm a 0,420 ppm; Turquía desde 0,02 ppm a 0,03 ppm. Amores (2012), reporta que, en su estudio realizado en el Ecuador, periodo 2011-2012, sobre la determinación de niveles de cadmio en barras de chocolate con contenido de materia seca total de cacao $\geq 50\%$ encontró valores que van de 0,03 ppm hasta 1,56 ppm, con un promedio de 0,36 ppm de cadmio.

De las Tablas 3 y 4, se observa que el flujo de operaciones seguidas obedece a un protocolo utilizado por el Laboratorio de control de calidad de la cooperativa cacaotera ACOPAGRO-Juanjui, y que es necesario tener muy en cuenta los parámetros de proceso como: Temperatura, tiempo, frecuencia de remoción, de tal forma de contar con un licor y tabletas de chocolate de la mejor calidad.

Es necesario mencionar que, dentro de unos dos años, la Unión Europea pondrá restricciones al ingreso de chocolates y derivados que superen los límites máximos de cadmio establecidos

En la Tabla 8, se puede observar que las tabletas de chocolate con 70% de cacao, pertenecen al producto 3, cuyo límite máximo permisible es de 2,00 ppm de cadmio. En caso del presente estudio, las tabletas de chocolate analizadas (70% de cacao) muestran valores promedio de cadmio de 0,39 ppm, de las 25 fincas muestreadas, valores que están muy por debajo del límite máximo establecido por el Codex Alimentarius, que es de 2,00 ppm. En estudios realizados por Echeverry (2016), en chocolate amargo colombiano con 65% de cacao, encontró contenidos de

cadmio de 4,0477 mg/kg, superando los límites establecidos por el Codex Alimentarius (2,0 mg/kg) y la Unión Europea (0,8 mg/kg).

Análisis de correlación de Pearson y prueba estadística.

En la Tabla 9, se presentan los valores promedio obtenidos para las diferentes variables en estudio. Para el caso del contenido de cadmio en suelos de las diferentes zonas consideradas puede notarse que Tánger y Ahuihua presentan los valores más elevados, con diferencia significativa ($p < 0,05$) respecto a las demás zonas, aunque sin superar, en ningún caso el valor máximo permitido de 3 ppm (Acevedo, 2005; Huamaní–Yupanqui et al., 2012). El pH de los suelos de estas dos localidades pertenecientes a la provincia de Huallaga, presentan valores promedio de 6,37 y 6,06 respectivamente; esto explica que el pH influye en el contenido de cadmio, a mayor contenido de cadmio en los suelos menor pH. Además, las localidades presentan diferencias altamente significativas en contenido de cadmio con un coeficiente de determinación (R^2) de 73,49%, un coeficiente de variación (CV) de 27,97 y una media (\bar{X}) de 0,556 ppm. El valor de R^2 , explica que existe una alta variación en el contenido de cadmio de los suelos de las 05 localidades evaluadas, en particular la variabilidad existente entre las 02 provincias (Bellavista y Huallaga), siendo la localidad de Panamá (T3) la que presenta menores valores de cadmio en suelos, pero en las otras partes de la planta si presenta valores inclusive más altos que en las otras localidades (ver Figura 1).

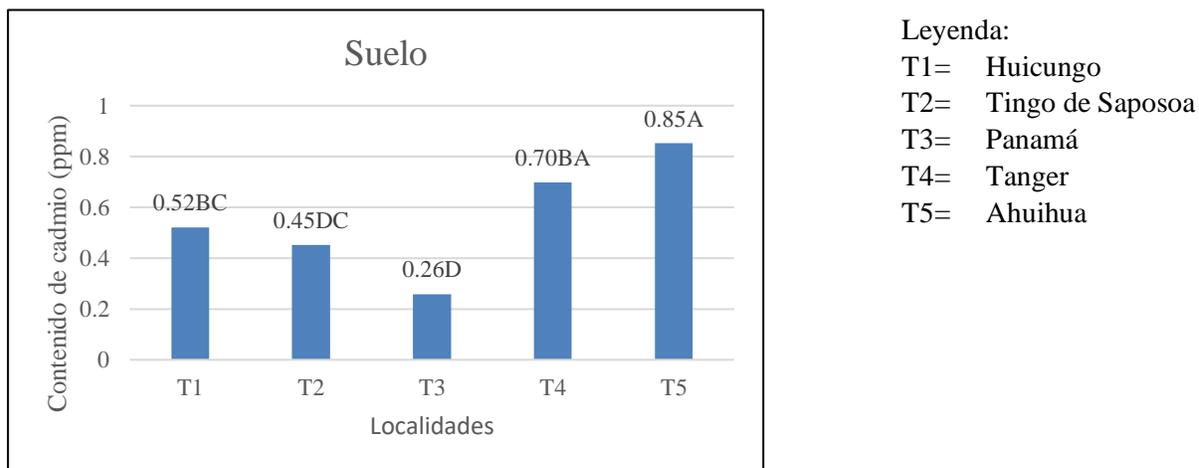


Figura 1. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Suelo

En cuanto al contenido de cadmio en hojas puede verse que los mayores valores corresponden a los sectores Tingo de Saposa y Tángier no habiendo diferencias significativas entre ellas como se observa en la Figura 2, sin embargo con otras localidades existe una diferencia altamente significativa con diferencia significativa ($p < 0,001$) respecto a las otras tres zonas consideradas, y superan a los valores reportados por Huamaní–Yupanqui et al. (2012) de 0,21 ppm y Kabata–Pendias (2000) quienes indican que en hojas maduras la concentración máxima tolerable de cadmio es 0,5 ppm. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 83,36%, un coeficiente de variación (CV) de 17,40 y una media (X) de 0,52 ppm. Con respecto al R^2 , existe una alta variación entre el contenido de cadmio y las localidades en estudio, esto guarda relación con la absorción de cadmio por parte de las hojas a partir del contenido de cadmio en suelos (ver figura 2).

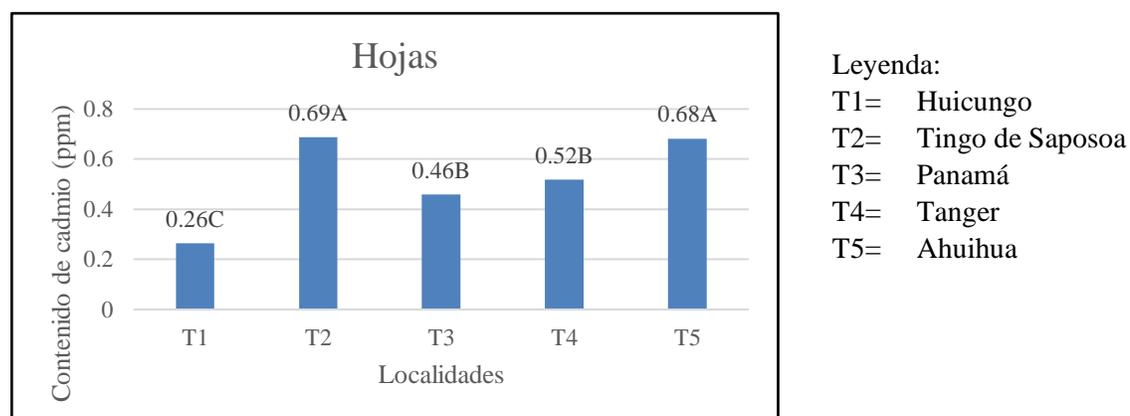
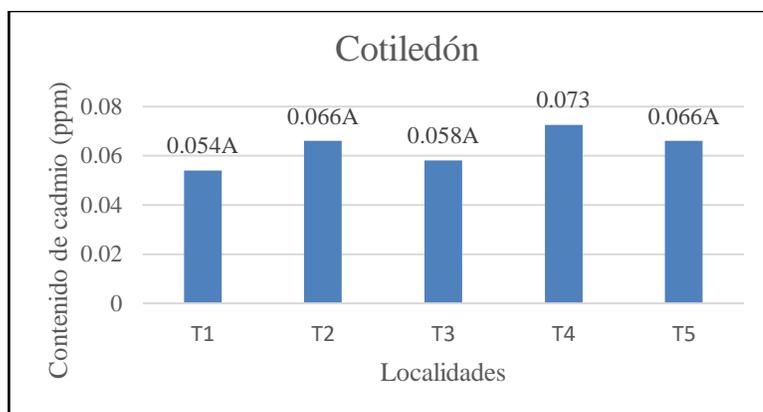


Figura 2. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Hojas

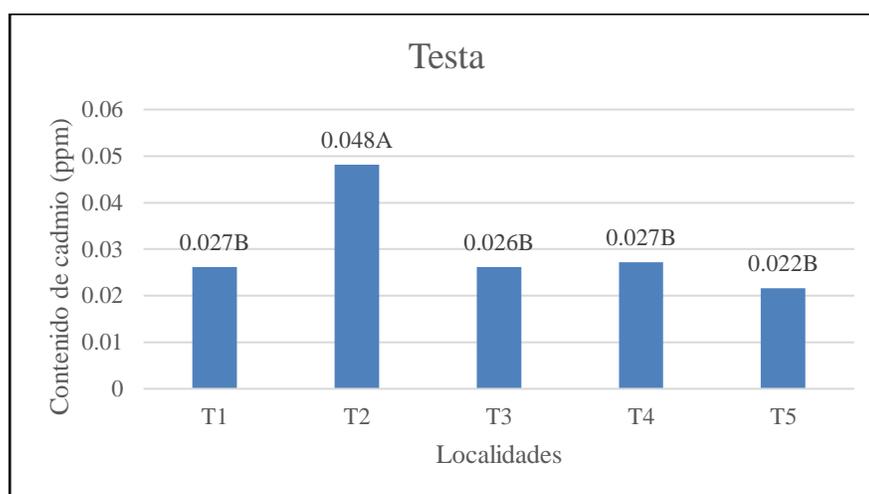
Para el caso de contenido de cadmio en cotiledones, aun cuando hay pequeñas diferencias entre los valores determinados para las zonas consideradas, estas diferencias no son significativas ($p > 0,05$) estadísticamente como se observa en la Figura 3, alcanzando coeficiente de determinación (R^2) fue de 59,15%, un coeficiente de variación (CV) de 23,91 y una media (X) de 0,0634 ppm; mientras que en el caso de testa (figura 4), el mayor valor lo presenta la muestra de la localidad de Tingo de Saposa, siendo estadísticamente diferente a las demás zonas ($p < 0,05$). Según Hoyos (2018), el pH en general influye en la absorción de cadmio por diferentes partes de la planta, en este caso los cotiledones y la testa, a mayor valor de pH, menor absorción de cadmio por parte del embrión y testa.



Leyenda:

- T1= Huicungo
- T2= Tingo de Saposoa
- T3= Panamá
- T4= Tanger
- T5= Ahuihua

Figura 3. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Cotiledón



Leyenda:

- T1= Huicungo
- T2= Tingo de Saposoa
- T3= Panamá
- T4= Tanger
- T5= Ahuihua

Figura 4. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Testa

Los valores de contenido de cadmio en almendra fermentadas y secas son cercanos entre sí, no existiendo diferencia significativa entre las zonas consideradas ($p > 0,05$). De otro lado debe resaltarse que los valores determinados son mucho menores al valor máximo permisible de 0,6 ppm (mg/kg) tal como lo menciona Crozier (2012); mientras que en el caso de licor la muestra de Tingo de Saposoa fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$), estando todos los valores por debajo del máximo permisible (Ver Figuras 5 y 6). Cabe indicar que el manejo pos cosecha (fermentación y secado de las almendras), siguen la misma metodología en los centros de beneficio de la Cooperativa ACOPAGRO Ltda.

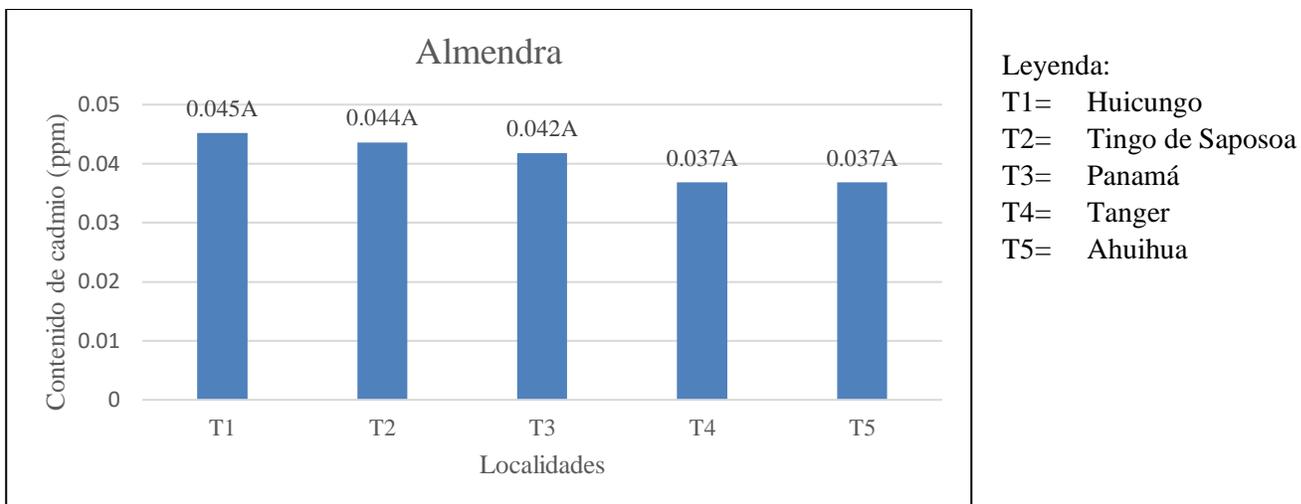


Figura 5. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Almendra fermentada y seca

En el caso de tabletas de chocolate puede verse que los valores determinados, aun cuando no superaron el contenido máximo permisible, son mayores a los determinados para muestras de otros países como India (Dahiya et al., 2005), existiendo diferencia significativa entre el valor correspondiente a la zona de Panamá en relación a las demás zonas ($p < 0,05$). De otro lado, es notorio el incremento de los valores de cadmio determinados en chocolate respecto al licor de cacao, insumo principal para la elaboración de chocolates, lo cual puede deberse a los ingredientes adicionales (leche, panela) o al equipo de proceso empleado.

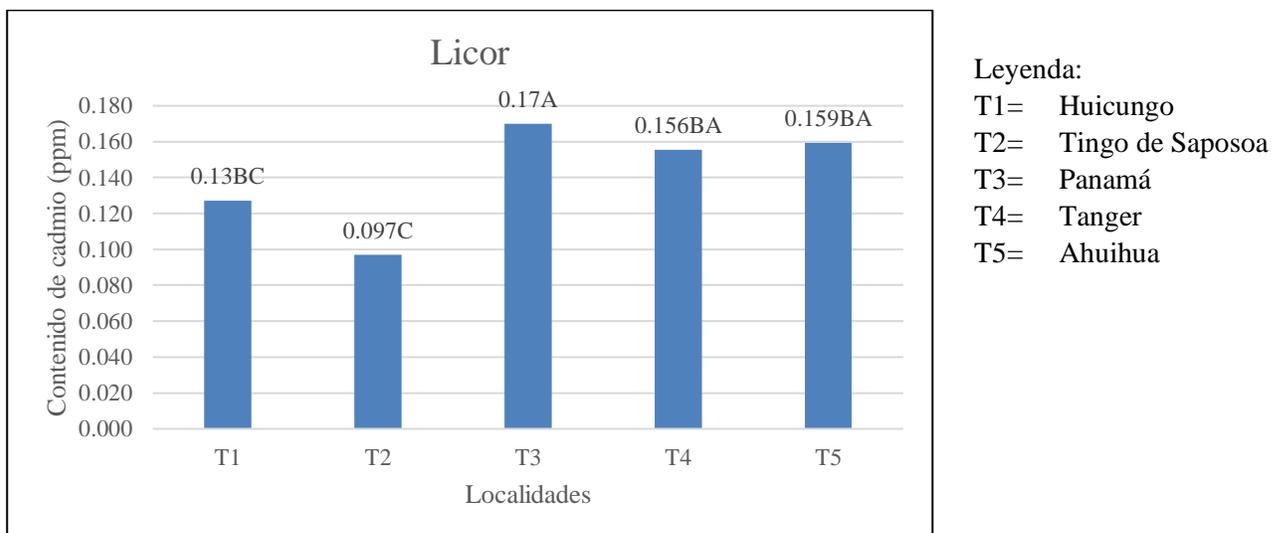


Figura 6. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Licor

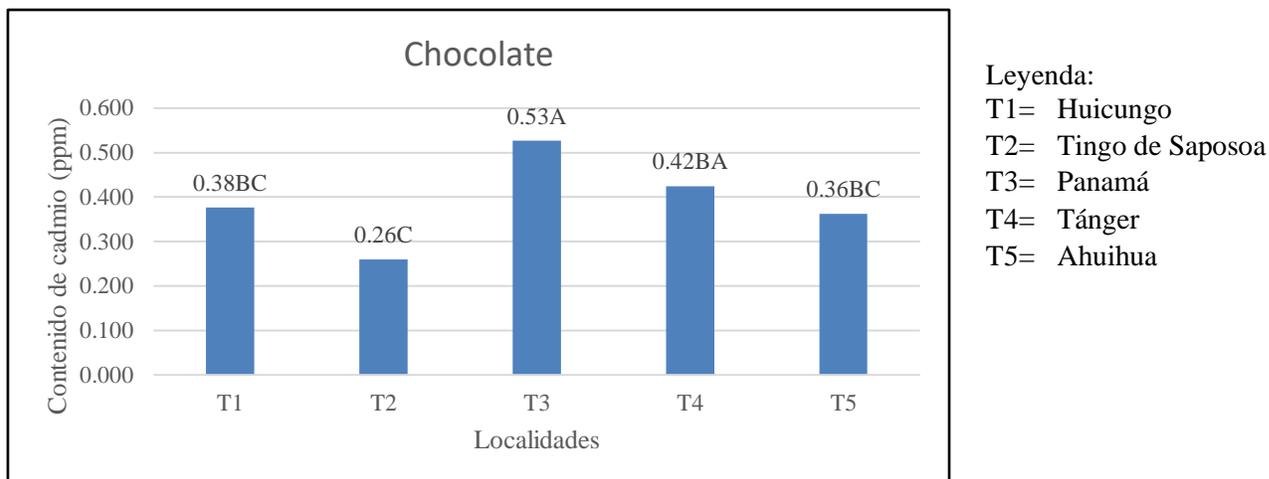


Figura 7. Análisis de niveles de significancia de cadmio en Chocolate

En la tabla 9, se presentan los valores del coeficiente de correlación de Pearson del contenido de cadmio en el suelo y en diferentes partes de las plantas de cacao, además de pH y conductividad eléctrica. Puede verse que hay correlación positiva y significativa entre el contenido de cadmio disponible en el suelo y el contenido de cadmio presente en las hojas, lo cual es concordante con los resultados obtenidos por Huamaní–Yupanqui (2012), así como en cotiledones y licor de cacao; mientras que la correlación es inversa para el caso de la testa y la almendra, comportamiento descrito por Crozier (2012) quien indica que la concentración de cadmio no se redujo con la eliminación de la testa.

Tabla 9

Valores promedio de contenido de cadmio, pH y conductividad eléctrica determinados en las zonas en estudio.

Procedencia	Contenido promedio de Cadmio (Cd), mg/kg							pH		Conductividad eléctrica (µs)	
	Suelo	Hojas	Cotiledón	Testa	Almendra	Licor	Chocolate	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa
Huingoyacu	0,521	0,264	0,054	0,027	0,045	0,127	0,376	6,088	3,674	1759,550	2101,166
Tingo Saposoa	0,451	0,688	0,066	0,048	0,044	0,097	0,259	6,476	3,518	1295,320	2326,256
Panamá	0,259	0,458	0,058	0,026	0,042	0,170	0,527	6,152	3,816	1512,784	2051,182
Tánger	0,698	0,518	0,073	0,027	0,037	0,156	0,425	5,380	3,254	1362,462	1920,722
Ahuihua	0,852	0,682	0,066	0,022	0,037	0,159	0,363	5,846	4,090	1283,450	1990,942
PROMEDIO	0,556	0,522	0,063	0,030	0,041	0,142	0,390	5,988	3,670	1442,713	2078,054

Tabla 10

Análisis de correlación de Pearson entre contenido promedio de cadmio en el suelo y en diferentes partes de la planta, pH y conductividad eléctrica.

Variable	Suelo	Hojas	Cotiledón	Testa	Almendra	Licor	Chocolate	pHcotil	pHtesta	CEcotil	CEtesta
Suelo	1,000000	0,314004	0,229555	-0,127185	-0,305074	0,116510	-0,172891	-0,411789	0,168279	-0,250379	-0,163206
Hojas	0,314004	1,000000	0,300631	0,305684	-0,270962	0,082570	-0,274074	-0,123545	0,133826	-0,626563	0,105934
Cotiledón	0,229555	0,300631	1,000000	0,183517	-0,242278	0,115102	0,182248	-0,152446	-0,352105	-0,318598	0,128635
Testa	-0,127185	0,305684	0,183517	1,000000	-0,124285	-0,391872	-0,218760	0,189924	-0,166403	-0,063421	0,532427
Almendra	-0,305074	-0,270962	-0,242278	-0,124285	1,000000	-0,140082	-0,256765	0,189540	-0,052250	-0,004012	-0,221802
Licor	0,116510	0,082570	0,115102	-0,391872	-0,140082	1,000000	0,495543	-0,291685	0,085688	0,013597	-0,500385
Chocolate	-0,172891	-0,274074	0,182248	-0,218760	-0,256765	0,495543	1,000000	-0,035400	-0,046461	0,163951	-0,088583
pH cotiledón	-0,411789	-0,123545	-0,152446	0,189924	0,189540	-0,291685	-0,035400	1,000000	-0,000988	0,029593	0,496503
pH testa	0,168279	0,133826	-0,352105	-0,166403	-0,052250	0,085688	-0,046461	-0,000988	1,000000	0,147683	-0,108763
CEcotiledón	-0,250379	-0,626563	-0,318598	-0,063421	-0,004012	0,013597	0,163951	0,029593	0,147683	1,000000	0,147549
CEtesta	-0,163206	0,105934	0,128635	0,532427	-0,221802	-0,500385	-0,088583	0,496503	-0,108763	0,147549	1,000000

Según la tabla 9, el contenido promedio de cadmio en el suelo (0,556 ppm) no sobrepasa el límite máximo permisible, por lo que no es de cuidado la presencia de cadmio en los suelos muestreados de las 5 localidades en estudio.

La Unión Europea establece que en suelos agrícolas la máxima concentración total permitida de cadmio es de 3 ppm (Acevedo, 2005). Reyes y María (2004) en República Dominicana encontraron en el cultivo de cacao orgánico, que el cadmio disponible del suelo, representa el 33% del cadmio total de la planta.

Según la tabla 10, la cantidad de cadmio en suelo con respecto a las diferentes partes de la planta presenta una baja correlación, no significativa, ya que presenta valores entre 0,1 y 0,3; con respecto al contenido de cadmio en hojas con relación a la conductividad eléctrica del cotiledón, existe una correlación medianamente significativa negativa, lo cual indica que, a mayor contenido de cadmio en las hojas, menor conductividad eléctrica del cotiledón, sucediendo lo mismo entre el contenido de cadmio en el suelo con respecto al pH del cotiledón, a mayor contenido de cadmio en el suelo, menor la conductividad eléctrica del cotiledón..

Finalmente, el contenido de cadmio en la testa presenta una correlación media positiva con respecto a su conductividad eléctrica, es decir mientras mayor contenido de cadmio mayor conductividad eléctrica.

CONCLUSIONES

La presencia de metales pesados (cadmio), se evaluó en suelos, hojas, almendras frescas (testa y embrión), almendras fermentadas secas, licor de cacao y tabletas de chocolate con 70% de contenido de cacao, en 02 provincias (Bellavista y Huallaga) y 05 localidades (03 en la provincia de Bellavista y 02 en la provincia de Huallaga); encontrándose la presencia de cadmio en todas las parcelas de las 05 localidades muestreadas en las siguientes cantidades promedios: 0,556 ppm en suelos; 0,522 ppm en hojas; 0,063 ppm en cotiledón; 0,030 ppm en testa; 0,041 ppm en granos fermentados secos; 0,142 ppm en licor de cacao y 0,390 ppm en tabletas de chocolate con leche con 70% de licor de cacao. Por lo que se concluye que estos niveles obtenidos en granos, licor de cacao y tabletas están dentro de los promedios aceptables y no superan el nivel máximo de cadmio para chocolates y derivados, acordado por el Codex Alimentarius para la Unión Europea.

Las zonas con mayor contenido promedio de cadmio en relación a suelos, diferentes partes de la planta, licor y tabletas de chocolate son las siguientes: Ahuihua (0,312 ppm), Tánger (0,276 ppm) en la provincia de Huallaga; seguido de Tingo de Saposoa (0,236 ppm), Panamá (0,220 ppm) y Huingoyacu (0,202 ppm), todos estos pertenecientes a la provincia de Bellavista.

Respecto al análisis fisicoquímico realizado en suelos, se encontró lo siguiente: en las localidades de Huingoyacu, Tingo de Saposoa y Panamá, se cuenta con texturas del suelo que varían desde arcilloso a franco arcilloso arenoso, el pH es moderadamente alcalino, la conductividad eléctrica en promedio es de 285,2 μ s (micro Siemens), en la localidad de Huingoyacu, 246,2 μ s en la localidad de Tingo de Saposoa y 224,8 μ s en la localidad de Panamá, no existiendo problemas de salinidad, el contenido de materia orgánica es medio, contenido de nitrógeno es normal, contenido de fósforo y potasio es medio, nivel de calcio que va de alto a muy alto, magnesio y sodio que va desde normal a alto respectivamente para ambos.

En cuanto a las localidades de Tánger y Ahuihua, pertenecientes a la provincia de Huallaga, se concluye que la textura del suelo va desde franco arcilloso a franco arcilloso

arenoso, el pH es moderadamente ácido, la conductividad eléctrica en promedio en la localidad de Tángers es de 138,56 μs (micro siemens) y en la localidad de Ahuihua es de 151,18 μs . No existe problemas de salinidad, contenido de materia orgánica es medio, contenido de Nitrógeno es normal, contenido de fósforo y potasio es medio, nivel de calcio es bajo, magnesio y sodio que va desde normal a bajo.

Así mismo con respecto a los granos fermentados al licor de cacao se realizó un análisis físico para determinar el porcentaje de granos fermentados y defectos. Obteniéndose los siguientes resultados: Huingoyacu, presenta un porcentaje de fermentación de 70,7%; Tingo de Saposoa de 40% y Panamá de 66,7%, todos estos pertenecientes a la provincia de Bellavista; mientras que los porcentajes de fermentación reportados en las localidades de Tángers es de 87,7% y de Ahuihua de 70%, pertenecientes a la provincia de Huallaga. En cuanto al análisis sensorial por localidades: Huingoyacu obtuvo un puntaje total promedio de 64,88 puntos; Panamá 66,31 puntos; Tingo de Saposoa 58,66 puntos; Tángers 61,69 puntos y Ahuihua 61,50 puntos.

Se realizó análisis de correlación de Pearson con los resultados del suelo, hojas, testa, embrión, granos fermentados y secos y tabletas de chocolate (70% de cacao) obteniéndose los siguientes resultados; para suelos, todas las localidades en estudio, presentan diferencias altamente significativas en contenido de cadmio con un coeficiente de determinación (R^2) de 73,49%, un coeficiente de variación (CV) de 27,97 y una media (X) de 0,556 ppm; para hojas los mayores valores corresponden a los sectores Tingo de Saposoa y Tángers no habiendo diferencias significativas entre ellas, sin embargo con otras localidades existe una diferencia altamente significativa con ($p < 0,001$) respecto a las otras tres zonas consideradas, con un coeficiente de determinación (R^2) de 83,36%, coeficiente de variación (CV) de 17,40 y una media (X) de 0,52 ppm; con respecto a cotiledones y testa: en cotiledones, aun cuando hay pequeñas diferencias entre los valores determinados para las zonas consideradas, estas diferencias no son significativas ($p > 0,05$) estadísticamente, con coeficiente de determinación (R^2) de 59,15% , un coeficiente de variación (CV) de 23,91 y una media (X) de 0,0634 ppm; para testa el mayor valor lo presenta la muestra de Tingo de Saposoa, siendo estadísticamente diferente a las demás zonas ($p < 0,05$); para almendras fermentadas y secas el contenido de cadmio son cercanos entre sí, no existiendo diferencia significativa entre las zonas

consideradas ($p > 0,05$), mientras que en el caso de licor la muestra de Tingo de Saposa fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$), estando todos los valores por debajo del máximo permisible y finalmente tabletas de chocolate existiendo diferencia significativa entre el valor correspondiente a la zona de Panamá en relación a las demás zonas ($p < 0,05$). De otro lado, es notorio el incremento de los valores de cadmio determinados en chocolate respecto al licor de cacao, insumo principal para la elaboración de chocolates, lo cual puede deberse a los ingredientes adicionales (leche, panela) o al equipo de proceso empleado.

RECOMENDACIONES

Desarrollar un trabajo de investigación en las mismas localidades en estudio, que utilicen sistemas de producción orgánica y convencional, de tal forma de medir la variabilidad del contenido de cadmio entre dichos sistemas.

Elaborar un mapa de contenido de cadmio para las 8 provincias productoras de cacao de la región San Martín.

Investigar sobre el impacto socio económico que podría tener la aplicación de niveles máximos para el cadmio en chocolate y productos derivados de cacao, según el Codex Alimentarius, en los productores de cacao del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKPOKPODION, P. (2012). Assesment of Heavy Metals Movility in Selected Contaminated Cocoa Soils in Ondo State, Nigeria. *Global Journal of Environmental Research* 6: 30-35.
- ALLOWAY, B. J. (2013). *Heavy metals in Soils: Trace Metals and Metallloids in Soils and their Bioavailability*, 3 ed. Springer.
- AMORES, F. (2012). Cadmio en suelos, almendras de chocolates: implicaciones para exportación del cacao.
- ANGA, JEAN-MARC. (2015). Latest Developments in the Global Cocoa Market. Presentación en el evento Seventh Multi-Year Expert Meeting on Commodities and Development (15-16 Abril 2015).
- ASOCIACIÓN PERUANA DE PRODUCTORES DE CACAO. (2014). *Manual Técnico del Cacao* (primera edición). Lima-Perú.
- AUGSTBURGER F., BERGER J., CENSKOWSKY U., HEID, P., MILZ, J.; STREIT C. (2000). *Agricultura Orgánica en el trópico y subtrópico*. In: *Guía de 18 cultivos*. 1ra Edición. Alemania. 24 p.
- ANGA, J.M. (2015). “Mercado Mundial del Cacao: Retos y oportunidades para productores de cacao en Nicaragua Managua.” Organización Internacional del Cacao.
- AOAC International. (1998). AOAC Official Method 991.20 - Nitrogen (Total) in Milk. En AOAC International, *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg: AOAC International.
- AOAC International. (1998). AOAC Official Method 974.27 - Natural mineral waters. En AOAC International, *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg: AOAC International.

- AOAC International. (1998). AOAC Official Method 971.27 - fruit juice. En AOAC International, *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg: AOAC International.
- AUGSTBURGER, F.; BERGER, J.; CENSKOWSKY, U.; HEID, P. (2000). Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico en guía de 18 cultivos. 1ra edición. Alemania. 24p.
- ATSDR. (2008). *Draft Toxicological Profile for Cadmium*. Atlanta, Georgia: US Department of Health and Human Services.
- BONOMELLI, C et al. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile
- CÁRDENAS, A. (2012). Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Tingo María, Perú. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco, Perú. 96 p.
- CAOBISCO/ECA/FCC. (2015). Drying and roasting of cocoa and coffee. Florida-Estados Unidos.
- CLEMENS, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 88:1707-1719.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. (2012). Comité sobre contaminantes de los alimentos. Niveles máximos de cadmio para chocolates y derivados. Maastricht, Países Bajos.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. (2015). Proposed draft maximum levels for cadmium in chocolate and cocoa-derived products. 9th Session New Delhi, India.
- COVARRUBIAS, S. y CABRIALES, J. (2017). “Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación.” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33(0):7–21.

- CROZIER, J. (2012). Heavy metals in cocoa. International workshop on possible EU regulations on cadmium in cocoa and chocolate products. Nature and Food Quality in the Netherlands (NLV), the European Cocoa Association (ECA) & CAOBISCO.
- CULLEN, J.; MALDONADO, M. (2013). Biogeochemistry of cadmium and its release to the environment. Springer Science Business Media Dordrecht. Vancouver-Canadá.
- DAHIYA, S.; KARPE, R.; HEGDE, A.G.; SHARMA, R.M. (2005). Lead Cadmium and nickel in chocolates and candies from suburban areas of Mumbai, India. Journal of food composition and analysis 18(6), 517-522 p.
- ECHEVERRY, A.; REYES, H. (2016). Determinación de la concentración de cadmio en un chocolate colombiano con 65% de cacao y chocolates extranjeros con diferentes porcentajes de cacao. Entre Ciencia e Ingeniería vol.10 no.19 Pereira June 2016.
- FAO/OMS. (2015). PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS COMITÉ DEL CODEX SOBRE CONTAMINANTES DE LOS ALIMENTOS. Anteproyecto de Niveles Máximos para el Cadmio en el chocolate y productos derivados 9na. Reunión. Nueva Delhi. India. 20p.
- FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA. (2011). Informe Técnico 2011. Primera Edición. La Lima, Cortes-Honduras.
- GARCÍA & DORRONSORO. (2002). Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola de España.
- GULDAS, M. (2008). Comparison of digestion methods and trace elements determination in chocolates with pistachio using atomic absorption spectrometry. J. Food Nutr. Res. 47, 92-99.
- GUO, H., LUO, S., CHEN, L., XIAO, X., XI, Q., WEI, W., ZENG, G., LIU, C., WAN, Y., CHEN, J. AND HE, Y. (2010). Bioremediation of heavy metals by growing

hyperaccumulaor endophytic bacterium *Bacillus* sp. L14. *Biores. Technol.* 101(22):8599 - 8605

HOYOS, J. (2018). Determinación del contenido de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao*, l.) Cultivado bajo tres sistemas de producción en San Alejandro – Ucayali. Ucayali-Perú

HUAMANI-YUPANQUI, H.A.; HUAUYA-ROJAS, A.; MANSILLA-MINAYA, L.G.; FLORIDA-ROFNER, N.; NEIRA-TRUJILLO, G.M. (2012). Presencia de Metales Pesados en Cultivo del Cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. Departamento de Ciencias Agrarias-Facultad de Agronomía. Tingo María-Huánuco-Perú.

ICCO. (2012). The world cocoa economy: past and present. One hundred and forty-second meeting. EX/146/7.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA. (2016). El cadmio en cacao, importancia, experiencias y soluciones. San José-Costa Rica.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. (2016). E. E. Tropical Pichilingue. Ecuador. 49p.

ICT-PDRS. (2008). Monitoreo de la presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y agua en San Martín y Amazonas. Tarapoto-Perú. 45p.

INDECOPI. (2007). Comisión de los reglamentos técnicos y comerciales. Normas técnicas sobre requisitos fisicoquímicos y microbiológicos en cacao y derivados. Lima-Perú.

INDECOPI. (2008). Comisión de los reglamentos técnicos y comerciales. Normas técnicas sobre cadmio en chocolate. Lima-Perú.

- IRAM 15945: (1999). Miel. Determinación de la conductividad eléctrica. Editado por Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.
- JALBANI, N., KAZI, T., AFRIDI, H., ARAIN, B. (2009). Determination of Toxic Metals in Different Brand of Chocolates and Candies, Marketed in Pakistan. *Pak. J. Anal. Environ. Chem.*, 10(1 & 2):48-52.
- JIMENEZ, C. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad.
- KABATA-PENDIAS, A. (2000). Trace elements in soils and plants. 3th Edition. CRC Press, Boca Raton, EE.UU. 413 p.
- KADOW, D.; NIEMENAK, N.; ROHN, S.; LIEBEREI, R. (2015). Fermentation-like incubation of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.)- Reconstruction and guidance of the fermentation process. *LWT - Food Sci. Technol.* 2015; 62: 357-361.
- LANZA, J; CHURION, P; LIENDO, N; LÓPEZ, V. (2016). Evaluación del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) de Santa Bárbara del Zulia, Venezuela. *Saber, Universidad de Oriente* 28(1):106–115.
- LEE, C.K; LOW, K.S. (1985). Determination of cadmium, lead, cooper and arsenic in raw cocoa, semifinished and finished chocolate products. *Pertanika* Vol.8, N° 2, Malasia. 248p.
- LONDÑO FRANCO, L. F, LONDOÑO MUÑOZ, P. T y MUÑOZ GARCÍA F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.
- LUX, A.; MARTINKA, M.; VACULIK, M.; WHITE, P. (2010). Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review.

- OC, W; GONZA, C; GUZMÁN, W; PARIENTE, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. Amazonas-Perú.
- PRIETO, J.; GONZALES, C.; y PRIETO, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Trop. Subtrop. Agroecosyst* 10 (1):29-44.
- PROCOLOMBIA. (2016). Cacaos finos de aroma en el contexto internacional. Bogotá-Colombia.
- PUGA, S.; SOSA, M.; LEBGUE, T.; QUINTANA, C.; CAMPOS, A. (2006). Contaminación por metales pesados en el suelo provocado por la industria minera. *Ecología Aplicada* 5(1-2): 149-155.
- RAMIREZ, D. (2018). Determinación de niveles de concentración de cadmio (Cd) en hojas de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro - distrito de Irazola - provincia de Padre Abad - departamento de Ucayali. Ucayali-Perú.
- RASCIO, N.; NAVARI-IZZO, F. (2011). Heavy metal hyper accumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Sci.* 180: 169-181.
- REYES, Y.; VERGARA, I.; TORRES.O.; DÍAZ, M.; GONZÁLEZ, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Vol. 16 N° 2, julio-diciembre 2016, pp. 66-77, Sogamoso-Boyacá. Colombia.
- ROBERTS, T. (2014). Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. *Procedia Engin.* 83:52 – 59
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA. (2016). La producción nacional de cacao (*Theobroma cacao*). Tingo María-Perú.

- VIOLANTE A. ; PIGNA M. (2002). Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils. *Soil Science Society of American Journal*, 66:1788-1796.
- WHO. (2010). *Exposure to cadmium: a major public health concern*, Geneva 27, Switzerland.
- YANUS, R. L., SELA, H., BOROJOVICH, E. J. C., ZAKON, Y., SAPHIER, M., NIKOLSKI, A., GUTFLAIS, E., LORBER, A., & KARPAS, Z. (2004). Trace elements in cocoa solids and chocolate: An ICPMS study. *Talanta*, 119:1–4.
- YADAV, S. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179.
- YAPO, K. D.; OUFFOUE, S, K.; N'QUESSAN, B.R.; OKPEKON, T.A.; DADE, J.; SAY, M.; KOUAKOU, T.H. (2014). Quality control by the determination of heavy metals in new variety of cocoa (cocoa mercedes) in Côte d'Ivoire. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*. Francia. 64p.
- ZIA-UR-REHMAN, M., SABIR, M., RIZWAN, M., SAIFULLAH, U., AHMED, H. R. AND NADEEM, M. (2015). Remediating Cadmium-Contaminated Soils by Growing Grain Crops Using Inorganic Amendments. *Soil Remediation and Plants* 367-396

ANEXOS

Anexo1. Análisis de Caracterización de Suelos-Localidad Huingoyacu

AGRICULTOR : WILFREDO SINARAHUA GUERRA
ZONA: HUINGOYACU
PROVINCIA: BELLAVISTA

FECHA DE MUESTREO: 13/09/2015
FECHA DE REPORTE: 13/12/2015
CULTIVO: CACAO



N° M	Análisis Físico							Elementos Disponibles			CIC	Análisis Químico meq/100g					
	Textura			Clase Textural	pH	C.E. (µS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al	Al+H
	% Are	% Arc	% Lim														
1	52	12	36	Franco arcillo arenoso	7,827	246	2,35	0,118	9,63	179	22,70	18,32	3,23	0,6900	0,458	0,00	0,00

pH	C.E. (µS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al	Al + H
7.827	246	2,35	0,118	9,63	178,96	18,32	3,23	0,6900	0,00	0,000
Moderada mente alcalino	No hay problemas de sales	Medio	Normal	Medio	Medio	Muy alto	Alto	Normal		

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y foliares FCA de la UNSM-T

Anexo 2. Análisis de Caracterización de Suelos-Localidad Panamá

AGRICULTOR : DANIEL PAREDES
ZONA: PANAMÁ
PROVINCIA: BELLAVISTA

FECHA DE REPORTE: 13/12/2015
CULTIVO: CACAO



N° M	Análisis Físico							Elementos Disponibles			CIC	Análisis Químico meq/100g				
	Textura			Clase Textural	pH	C.E. (μS)	% M.O	% N	P (ppm)	K (ppm)		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al
	% Are	% Arc	% Lim													
14	52	33	15	Franco arcilloso arenoso	7,85	178,36	2,96	0,148	12,69	145,3	17,99	14,23	2,53	0,8600	0,372	0,00

pH	C.E. (μS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al	Al + H
7,85	178,36	2,96	0,148	12,69	145,32	14,23	2,53	0,8600	0,00	0,00
Moderada mente alcalino	No hay problemas de sales	Medio	Normal	Medio	Medio	Alto	Normal	Normal		

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y foliares FCA de la UNSM-T

Anexo 3. Análisis de Caracterización de Suelos-Localidad Tingo de Sapoosa

AGRICULTOR : KELY VÁSQUEZ
ZONA: TINGO DE SAPOSOA
PROVINCIA: BELLAVISTA

FECHA DE MUESTREO: 13/09/2015
FECHA DE REPORTE: 13/12/2015
CULTIVO: CACAO



N° M	Análisis Físico							Elementos Disponibles			CIC	Análisis Químico meq/100g					
	Textura			Clase Textural	pH	C.E. (µS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al	Al+H
	% Are	% Arc	% Lim														
10	42	39	19	Franco arcillo	8,04	212	2,56	0,128	12,32	165,3	20,01	15,32	3,15	1,1200	0,423	0,00	0,00

pH	C.E. (µS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al	Al + H
8,04	212	2,56	0,128	12,32	165,3	15,32	3,15	1,1200	0,00	0,000
Moderada mente alcalino	No hay problemas de sales	Medio	Normal	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto		

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y foliares FCA de la UNSM-T

Anexo 4. Análisis de Caracterización de Suelos-Localidad Tánger



AGRICULTOR : JUAN M. PÉREZ PÉREZ
ZONA: TÁNGER
PROVINCIA: HUALLAGA

FECHA DE MUESTREO: 13/09/2015
FECHA DE REPORTE: 13/12/2015
CULTIVO: CACAO

N° M	Análisis Físico							Elementos Disponibles			CIC	Análisis Químico meq/100g					
	Textura			Clase Textural	pH	C.E. (µS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al	Al+H
	% Are	% Arc	% Lim														
16	59	32	9	Franco arcilloso	6,37	66,1	2,1	0,105	8,36	86,32	12,80	10,32	1,63	0,6300	0,221	0,00	0,00

pH	C.E. (µS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al	Al + H
6,37	66,1	2,1	0,105	8,36	86,32	10,32	1,63	0,6300	0,00	0,00
Moderada mente ácido	No hay problemas de sales	Medio	Normal	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Normal		

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y foliares FCA de la UNSM-T

Anexo 5. Análisis de Caracterización de Suelos-Localidad Ahuihua



AGRICULTOR : JORGE SOTO RENGIFO
ZONA: AHUIHUA
PROVINCIA: HUALLAGA

FECHA DE MUESTREO: 13/09/2015
FECHA DE REPORTE: 13/12/2015
CULTIVO: CACAO

N° M	Análisis Físico							Elementos Disponibles			CIC	Análisis Químico meq/100g					
	Textura			Clase Textural	pH	C.E. (µS)	% M.O	% N	P (ppm)	K (ppm)		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al	Al+H
	% Are	% Arc	% Lim														
24	41	39	20	Franco arcilloso	6,06	112,03	2,56	0,128	8,36	112	11,91	8,96	2,10	0,5600	0,286	0,00	0,00

pH	C.E. (µS)	% M.O.	% N	P (ppm)	K (ppm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al	Al + H
6,06	112,03	2,56	0,128	8,36	112	8,96	2,10	0,5600	0,00	0,00
Moderada mente ácido	No hay problemas de sales	Medio	Normal	Medio	Medio	Bajo	Normal	Bajo		

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y foliares FCA de la UNSM-T