UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELAPROFESIONAL DE AGRONOMÍA

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE CADMIO (Cd) EN HOJAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CULTIVADO BAJO TRES SISTEMAS DE MANEJO EN SAN ALEJANDRO - DISTRITO DE IRAZOLA - PROVINCIA DE PADRE ABAD – DEPARTAMENTO DE UCAYALI.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

DEYVIS ERICK RAMIREZ CHUJUTALLI

PUCALLPA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Pucallpa, a los 22 días del mes de Diciembre del 2017
Siendo las 11:05 am horas y de acuerdo a lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los integrantes del Jurado Calificador nombrados por la DECANATURA, con documento:

Memorando Multiple N° 127/2017 - UNU - VRACAD - D - FCA

Para proceder a la sustentación pública de tesis Titulada:
"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 dell cayali"

Presentado por el (la) Bachiller en Ciencias Agropecuarias
Deyvis Erick Ramirez Chuyutalli ... ante el Jurado
Conformado por los siguientes catedráticos:

ING: Edgar Diaz Zuñiga (Presidente)
ING: Hector Arbildo Paredes (Secretario)
ING: Glendy Sanchez Sunción (Miembro)
ING: Antonio López Ucañegue (Asesor)

Finalizada la sustentación de la misma se procedió a la evaluación respectiva y en seguida se deliberó llegando a las siguientes conclusiones: el (la) tesista ha sido

Aprobado por Mayoria quedando el (la) graduado (a) expedito para que se otorgue el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Siendo las 12:20 Pm horas del mismo día se dio por concluido la ceremonia.

Presidente

Secretario

Miembro

Asesor

ACTA DE APROBACIÓN.

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, integrado por los siguientes docentes:

Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga ----------
Presidente

Ing. Héctor Arbildo Paredes, M.Sc. ----------
Secretario

Ing. Glendy Sánchez Sunción, M.Sc. ----------
Miembro

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

Bach. Deyvis Erick Ramírez Chujutalli ----------
Tesista

DEDICATORIA.

A Dios, Supremo hacedor de la vida, cuyo espíritu llenó de suficiente esfuerzo mi alma y empujó mi voluntad a la consecución de este triunfo.

A mis padres Javier y Elvina Chujutalli, por todo el apoyo moral y el afecto que con el corazón paternal que tienen lo saben demostrar. Por enseñarme con su ejemplo que el éxito es algo que si se puede lograr.

A mis hermanos Max Víctor y Alexis Javier, que han sido el motor fundamental en mi vida, son la causa primordial de mi esperanza, de mis anhelos. Motivo especial para superarme día a día. Gracias por estar siempre a mi lado y llenar mi corazón de esa alegría.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco infinitamente a Dios, por ser compañero indispensable para alcanzar cada uno de mis logros.

Al Ing. Antonio López Ucariegue, M.Sc asesor principal de este trabajo, por su apoyo incondicional y conocimiento el cual contribuyó al desarrollo y finalizado exitoso del presente trabajo de investigación.

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

ÍNDICE.

Pág.

RESUMEN x

ABSTRACT xii

LISTA DE TABLAS xiv

LISTA DE CUADROS..... xv

LISTA DE FIGURAS xvi

I. INTRODUCCIÓN 1

II. REVISIÓN DE LITERATURA 3

2.1. Cultivo de cacao *(Teobroma cacao, L)* 3

2.1.1. Origen y distribución geográfica 3

2.1.2. Clasificación taxonomía 3

2.1.3. Importancia del cultivo 4

2.1.4. Producción mundial del cacao 4

2.1.4.1. Países productores de cacao fino o de aroma reconocidos por la ICCO 6

2.1.5. Producción nacional del cacao 8

2.1.6. Zonas de producción del cacao 10

2.1.7. Precios del cacao 12

2.1.8. Comercio exterior peruano de cacao en grano crudo 13

2.1.8.1. Exportaciones peruanas de cacao 13

2.1.8.2. Principales mercados 14

2.1.9. Sistemas de producción del cultivo de cacao 16

2.1.9.1. Manejo tradicional del cacao 16
2.1.9.2. Manejo químico del cacao 16
2.1.9.3. Manejo orgánico del cacao 16
2.1.10. Poda del cacao 17
2.1.10.1. Poda 17
2.1.10.2. Poda de formación 17
2.1.10.3. Poda de mantenimiento 17
2.1.10.4. Poda fitosanitaria 17
2.1.10.5. Poda de rehabilitación 18
2.1.10.6. Poda de sombra 18
2.1.11. Control de malezas 18
2.1.11.1. Control mecánico 18
2.1.11.2. Control químico 19
2.1.12. Fertilizantes usados en manejo del cacao 19
2.1.12.1. Urea 19
2.1.12.2. SFTC, Super Fosfato Triple de Calcio 19
2.1.12.3. Guano de Isla 19
2.1.12.4. Roca Fosfórica 20
2.1.12.5. Cloruro de potasio (KCL) 20
2.1.12.6. Micro elementos 20
2.2. Generalidades sobre metales pesados 21
2.2.1. Metales pesados 21
2.2.2. El cadmio 21

2.2.3. Fuentes de contaminación por metales pesados 22
2.2.3.1. En la agricultura 22
2.3. Vías de contaminación por Cadmio (Cd) 23
2.3.1. Consideraciones importantes 25
2.3.2. Otros factores que incrementan los metales pesados 26
2.3.3. El cadmio se encuentra más en 27
2.4. Contaminación de cacao por cadmio 27
2.5. Biodisponibilidad de metales pesados 28
2.6. Contenido de cadmio en el cacao: Preocupación mundial 29
2.7. Contenido de metales pesados admisibles en los alimentos según Comisión Europea 31
2.8. Reglamentaciones y rangos de cadmio en el cacao 31
2.9. Efectos del cadmio en la salud humana 32
2.10. Determinación de metales pesados mediante el método de Espectrofotometría de absorción atómica 33
2.11. Investigaciones similares 34
III. MATERIALES Y MÉTODO. 36
3.1. Ubicación 36
3.2. Características climáticas 36
3.3. Materiales y equipos 37
3.3.1. Material de estudio 37
3.3.2. Materiales de campo 38
3.3.3. Materiales de escritorio 38

3.3.4. Equipos 38
3.4. Población y muestra 38
3.4.1. Dimensión del área total 38
3.4.1.1. Del campo experimental 38
3.4.1.2. De la unidad experimental 39
3.5. Procesamiento de datos 39
3.6. Diseño experimental 39
3.6.1. Modelo matemático 39
3.6.2. Análisis de varianza (ANVA) 40
3.7. Ejecución del experimento 40
3.7.1. Reconocimiento de los productores participantes 40
3.7.2. Reconocimiento de las parcelas evaluadas 41
3.7.3. Recolección de muestras de hoja y suelo 41
3.7.4. Preparación de muestras y envió al laboratorio 42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 43
V. CONCLUSIONES 53
VI. RECOMENDACIONES 54
VII. LITERATURA CONSULTADA 55
VIII. ANEXO 60

RESUMEN.

El presente trabajo de investigación se realizó 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, evaluados mediante un diseño experimental BCA con 3 repeticiones por cada sistema de cultivo y en parcelas de 1 ha cada uno.

La metodología incluyó la colecta de 5 a 10 hojas frescas por planta de cacao en cada parcela seleccionada, obteniendo 60 hojas en total por parcela. Luego de recolectarlas, se procedió a embolsarlas, etiquetarlas y trasladarlas al laboratorio de suelos de la UNU, donde se procedió a secarlas 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. Este material se llevó a la UNA La Molina para la determinación del contenido 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 (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.

Palabras claves: cacao, cadmio, hojas, sistema de manejo.

ABSTRACT.

The present research work was carried out in the San Alejandro Aguaytía area, between the months of April to December 2016, with the purpose of evaluating the content of foliar cadmium in 9 CCN 51 cocoa plots of 8 years of age, under three management systems: traditional, organic and chemical, evaluated by means of an experimental BCA design with 3 repetitions for each cultivation system and in plots of 01 ha each.

The methodology included the collection of 5 to 10 fresh leaves per cocoa plant in each selected plot, obtaining 60 leaves in total per plot. After collecting them, they were bagged, labeled and transferred to the UNU soil laboratory, where they were dried by stove for 24 hours at 125 degrees and ground with the help of a manual mill, achieving an average weight of 20 g. ground dry leaf for each repetition, plot and system, respectively. This material was taken to UNA La Molina for the determination of cadmium content. For the extraction of soil samples, small pits of 40 x 40 cm wide by 10 cm deep were made, of which 3 subsamples were taken and mixed to obtain a sample of 1 kg of soil per plot.

It is concluded that the average contents of cadmium in leaves in the traditional system do not show statistical differences between plots, corresponding values of 0.75, 0.83 and 1.26 mg kg^{-1} of cadmium. For the case of the average content of foliar cadmium in the chemical system there were highly significant differences between plots, where the value of 2.21 mg kg^{-1} of cadmium is statistically higher than the values of 1.19 and 0.65 mg kg^{-1} of cadmium. And in the case of the average content of cadmium in leaves in the organic system, statistical

differences between plots are not shown, corresponding values between 1.31 and 1.74 mg kg^{-1} of cadmium, for the three evaluated plots.

However, in all the plots, the data are higher than those found by Huamaní (2012), with 0.21 mg kg^{-1} of cadmium in the areas of Huánuco and Ucayali and lower than those reported by Cárdenas in the same year, who found on average 2.84 mg kg^{-1} of cadmium in leaves in the Tingo María area. But in all cases, are superior to the permissible critical level of cadmium by the WHO in leaf which is 0.5 mg kg^{-1} of cadmium.

Keywords: cocoa, cadmium, leaves, management system.

LISTA DE TABLAS.

En el texto. **Pág.**

Tabla 1. Producción mundial de cacao en grano (2000-2013)..... 5

Tabla 2. Lista actualizada de países incluidos en el anexo “C” del convenio Internacional del cacao 2010..... 7

Tabla 3. Perú, exportaciones de cacao en grano crudo al mundo..... 15

Tabla 4. Contenido máximo admisible de metales pesados en productos nutricionales en humanos según Comisión Europea, 2013…….. 31

Tabla 5. Datos Meteorológicos del distrito de Irazola..... 37

Tabla 6. Esquema del análisis de varianza (ANVA)..... 40

Tabla 7. Contenido de Cd en el suelo por sistema…….. 43

Tabla 8. Contenido de Cd en hojas en el sistema químico…… 46

Tabla 9. Contenido de Cd en hojas en el sistema orgánico…… 47

Tabla 10. Contenido de Cd en hojas en el sistema tradicional…… 49

LISTA DE CUADROS.

En el anexo. **Pág.**

Cuadro 1A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en suelo por localidad..... 64

Cuadro 2A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en foliar en sistema químico……..... 65

Cuadro 3A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en foliar en sistema orgánico ……. 66

Cuadro 4A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en foliar en sistema tradicional…….…… 67

LISTA DE FIGURAS.

En el texto. **Pág.**

Figura 1. Principales productores de cacao en grano..... 6

Figura 2. Perú, superficie cosechada y producción de cacao..... 9

Figura 3. Perú, rendimiento y producción de cacao..... 10

Figura 4. Perú, principales regiones productoras de cacao en el 2015..... 11

Figura 5. Perú, rendimiento de cacao por regiones productoras…….. 12

Figura 6. Cacao, precio promedio anual en chacra..... 13

Figura 7. Perú, principales mercados en la Unión Europea año 2015..... 14

Figura 8. Asimilación de metales pesados a la planta..... 27

Figura 9. Cadmio en suelo por sistema químico…….. 44

Figura 10. Cadmio en suelo por sistema orgánico……. 44

Figura 11. Cadmio en suelo por sistema tradicional……..... 45

Figura 12. Cadmio en suelo por sistema……... 46

Figura 13. Cadmio en hojas en el sistema químico…….……..... 47

Figura 14. Cadmio en hojas en el sistema orgánico……..….. 48

Figura 15. Cadmio en hojas en el sistema tradicional……..... 49

Figura 16. Cadmio suelo-hojas en el sistema por localidad……. 50

Figura 17. Cadmio suelo-hoja en sistema químico……..... 51

Figura 18. Cadmio suelo-hoja en el sistema orgánico…….. 51

Figura 19. Cadmio suelo-hoja en el sistema tradicional……..…… 51

En el anexo.

Figura 20. Mapa de ubicación de las parcelas experimentales, San Alejandro - Irazola - Padre Abad- Ucayali…… 61

Figura 21. Resultados del análisis de tejido foliar para determinar el contenido de cadmio (Cd)……..…… 62

Figura 22. Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA)..... 68

Figura 23. Parcela de cacao manejada bajo un sistema orgánico..... 68

Figura 24. Parcela de cacao manejada bajo un sistema químico..... 69

Figura 25. Parcela de cacao manejada bajo el sistema tradicional…… 69

Figura 26. Recolección de muestras de hojas de cacao y su posterior embolsado..... 70

Figura 27. Secado y molienda de muestras de hojas de cacao..... 71

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao en la región Ucayali está considerado como un producto emblemático porque genera ingresos económicos sostenibles en los pequeños productores, además de ser un alimento rico en minerales, vitaminas y fibra, y poseer propiedades nutricionales y terapéuticas, aprovechadas para la elaboración de diversos productos.

Contrario al comportamiento mundial, la producción nacional de cacao muestra una tasa de crecimiento de 15,5% por año, en especial entre los años 2009 al 2015, con una producción de 87,3 mil toneladas y un área cosechada de 121,3 mil ha en el 2015, según refiere el Ministerio de Agricultura (2012).

El Perú está clasificado de acuerdo al Convenio Internacional del Cacao 2010 de la ICCO, como el segundo país productor y exportador de cacao fino (alrededor del 44% de la producción nacional) después de Ecuador, y por ello, desde hace algunos años, empresas chocolateras de todo el mundo visitan el país con el fin de cerrar contratos directamente con los productores de cacao, permitiendo al agricultor tomar conciencia en mejorar sus buenas prácticas agrícolas y manufactureras en toda la cadena de valor, y ofrecer un producto de calidad.

Teniendo en cuenta que la promoción estatal por incrementar las áreas de cultivo de cacao en la selva peruana, ha despertado aún más el interés de nuestros agricultores cacaoteros por la comercialización internacional, es necesario contar con productos que superen la valla de la calidad exigida por el mercado internacional en cuanto a los niveles permisibles de metales pesados y de una manera especial, el cadmio.

Según el Reglamento N° 488/2014 de la Comisión Europea (12/05/2014) en lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos derivados del cacao y chocolates, el límite máximo permitido de cadmio en granos de cacao es de 0,50 mg/kg peso fresco y que entrará en vigencia a partir del 1 de enero de 2019.

Por este motivo, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido de cadmio disponible a nivel foliar bajo tres sistemas de manejo del cultivo de cacao en la zona de San Alejandro provincia de Padre Abad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. CULTIVO DE CACAO *(Theobroma cacao L).*

2.1.1. Origen y distribución geográfica.

El árbol de cacao es una planta que crece de forma silvestre, cuyo origen se ubicaría hace más de cuatro mil años en la cuenca del río Amazonas. Las más antiguas referencias históricas indican que fue domesticado en América Central por la cultura Maya, que lo consumía como bebida amarga.

El cultivo del cacao, es relativamente exigente en cuanto a altitud, latitud y humedad. Por lo tanto, un 75% de las plantaciones comerciales se sitúan en una franja de 8° de latitud a ambos lados del Ecuador. El cultivo del árbol se ve favorecido con el clima cálido y húmedo, con temperaturas óptimas de crecimiento que oscilan entre los 18 y 32 °C y una precipitación anual de 1500-2000mm. En estas condiciones, la humedad relativa es del 70-80% durante el día y se eleva hasta el punto de rocío por la noche. El cacao se cultiva por lo general en áreas desde el nivel del mar hasta los 800 m de altitud, comercialmente es cultivado dentro del cinturón relativamente estrecho, alrededor de 15º Norte y 15º Sur del Ecuador, excepcionalmente se encuentran en las latitudes sub tropicales a 23°N y 25°S (Canessa, 2014).

2.1.2. Clasificación taxonómica.

Según Universal Taxonomic Services (2010) taxonómicamente se clasifica en:

- Clase: Angiosperma

- Subclase: Dicotiledónea
- Orden: Malvales
- Familia:Esterculiácea
- Género:*Theobroma*
- Especie: *cacao, L.*

2.1.3. Importancia del cultivo.

El cultivo de cacao, ha despertado gran interés en los agricultores por una alta demanda insatisfecha del mercado internacional, que se presenta como una oportunidad para mejorar la calidad de vida, y recientemente se abren nichos de mercados para los cacaos de buena calidad.

La industria cacaotera en la actualidad necesita de un abastecimiento en cantidad y calidad de cacaos, para lo cual es necesario realizar trabajos de investigación (Panduro, 2011).

2.1.4. Producción mundial de cacao.

En el 2013 la producción mundial de cacao bordeó los 3.9 millones de toneladas; África contribuyó con el 72%, América con un 15% y Asia con un 13%. Es importante anotar que solo dos países de África Occidental, Costa de Marfil (1,46 millones de toneladas) y Ghana (850,000 toneladas), representan más del 50% de la producción mundial. La tendencia de la producción ha sido creciente. Sin embargo, esta retrocedió casi 3% respecto al 2012, principalmente debido a la menor producción de los grandes productores, Costa de Marfil y Ghana, que ese año redujeron sus rendimientos en un 2,8% y un 5%, respectivamente (ICCO, 2014).

En el caso de Asia, resaltan Indonesia, India y Papua Nueva Guinea, los cuales representan actualmente el 12,7% de la producción mundial.

Asimismo, en América Latina, resalta la creciente producción de cacao ordinario en Brasil, Ecuador, México, Perú, Colombia y República Dominicana, debido a su fortaleza y mayor productividad. Sin embargo, en los últimos años hay un aumento del cultivo del cacao fino o aromático, gracias a la implementación de nuevos proyectos de inversión en la amazonía ecuatoriana, peruana y colombiana. Esta región participa con el 17,7% de la producción mundial al año 2013 (Transmar Group, 2014).

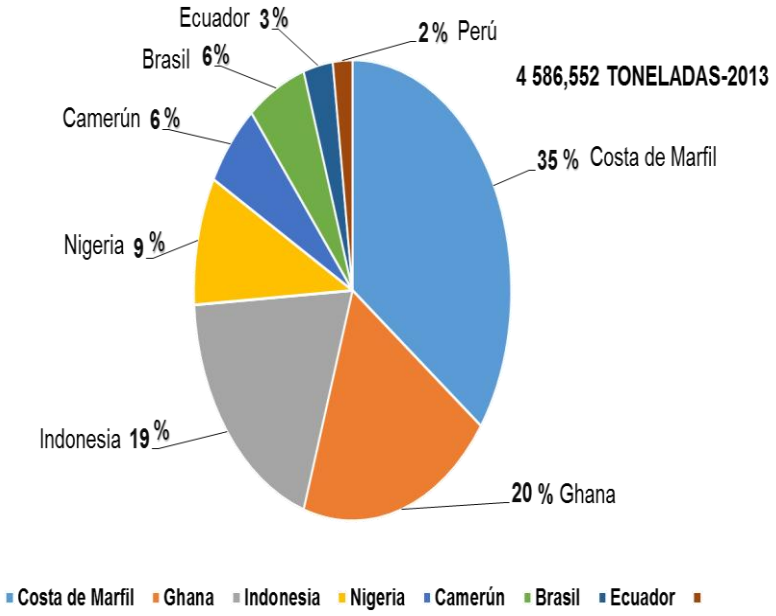
Asimismo, en la tabla 1 se puede apreciar a un total de quince países productores de cacao en grano, y que representan en promedio el 97% de la producción total del mundo en el año 2013.

Tabla 1. Producción mundial de cacao en grano (2000-2013) (en t).

	2000	2004	2008	2010	2011	2012	2013
Total general	3 373 428	4 069 090	4 265 737	4 341 353	4 627 339	4 645 682	4 585 552
Costa de Marfil	1 401 101	1 407 213	1 382 441	1 301 347	1 511 255	1 485 882	1 448 992
Ghana	436 600	737 000	680 781	632 037	700 020	879 348	835 466
Indonesia	421 142	691 704	803 593	844 626	712 200	740 500	777 500
Nigeria	338 000	412 000	367 020	399 200	391 000	383 000	367 000
Camerún	122 600	166 754	229 203	264 077	240 000	268 941	275 000
Brasil	196 788	196 005	202 030	235 389	248 524	253 211	256 186
Ecuador	99 875	89 680	94 300	132 100	224 163	133 323	128 446
México	28 046	43 975	50 000	61 000	83 000	82 000	82 000
Perú	25 049	25 921	34 003	46 613	56 499	62 492	71 175
Rep. Dominicana	37 104	47 985	45 518	58 334	54 279	72 225	68 021
Colombia	36 731	38 756	44 740	39 534	37 202	41 670	46 739
Papua Nueva Guinea	46 800	38 900	51 500	39 400	47 600	38 700	41 200
Venezuela	16 126	17 515	20 457	20 955	22 856	24 214	31 236
Uganda	3 950	4 500	13 000	15 000	18 000	16 000	20 000
Togo	6 600	21 700	111 000	101 500	142 500	34 500	15 000
Otros países	156 916	129 485	136 151	150 241	138 241	129 676	121 591

Fuente: FAO 2016.

En cuanto al Perú, se está incrementando paulatinamente su área y volumen de producción, de manera que actualmente se ubica en el 9° lugar en importancia en el mundo, (2% de la producción mundial). Sin embargo, muestra una tasa promedio de crecimiento de un 8,4% por año; solo superado por el incremento de México (8,6%) y Uganda (13,3%). El promedio mundial es de 2,4% entre los años 2000-2013 (Transmar Group, 2014).



Fuente: FAOSTAD Feb-2016 Elaboración: 2016

Figura 1. Principales países productores de cacao en grano.

2.1.4.1. Países productores de cacao fino o de aroma reconocidos por la ICCO.

El Convenio Internacional del Cacao 2010, incluye en el primer párrafo del art. 39 un mandato a fin que periódicamente el Consejo Internacional del Cacao revise la lista de países que forman parte del Anexo C de dicho Convenio, y la proporción que producen y exportan exclusiva o

parcialmente de cacao fino o de aroma, con el propósito de establecer un sistema estadístico de producción y comercio de cacao fino y de aroma; asimismo implementar programas de apoyo y cooperación técnica para la promoción de su consumo y hacer de este cultivo sostenible (ICCO, 2014).

Dicha lista ha sido revisada en tres oportunidades, en la primera pasó de 15 a 17 países y recientemente se ha ampliado a 23 países productores de cacao fino o de aroma.

Tabla 2. Lista actualizada de países incluidos en el anexo "C" del convenio Internacional del Cacao.

Países	Decisión del Consejo Mayo 2008	Decisión del Consejo Marzo 2011	Decisión del Consejo Mayo 2016	Producción Total	Cacao fino o Aromático para Exportación
Ecuador	75%	75%	75%	128 446	96 335
México	b/	100%	100%	82 000	82 000
Perú	100%	90%	75%	71 175	53 381
Colombia	100%	95%	95%	46 739	44 402
Papua Nva Guinea	75%	90%	90%	41 200	37 080
Venezuela	75%	95%	100%	31 236	31 236
Dominicana	40%	40%	40%	68 021	27 208
Madagascar	100%	100%	100%	9 000	9 000
Indonesia	1%	1%	1%	777 500	7 775
Guatemala	b/	b/	50%	13 127	6 564
Bolivia	b/	100%	100%	4 949	4 949
Nicaragua	b/	b/	100%	2 000	2 000

Fuente: FAOSTAT 2013. Elaboración: Informes del Consejo Internacional del Cacao.

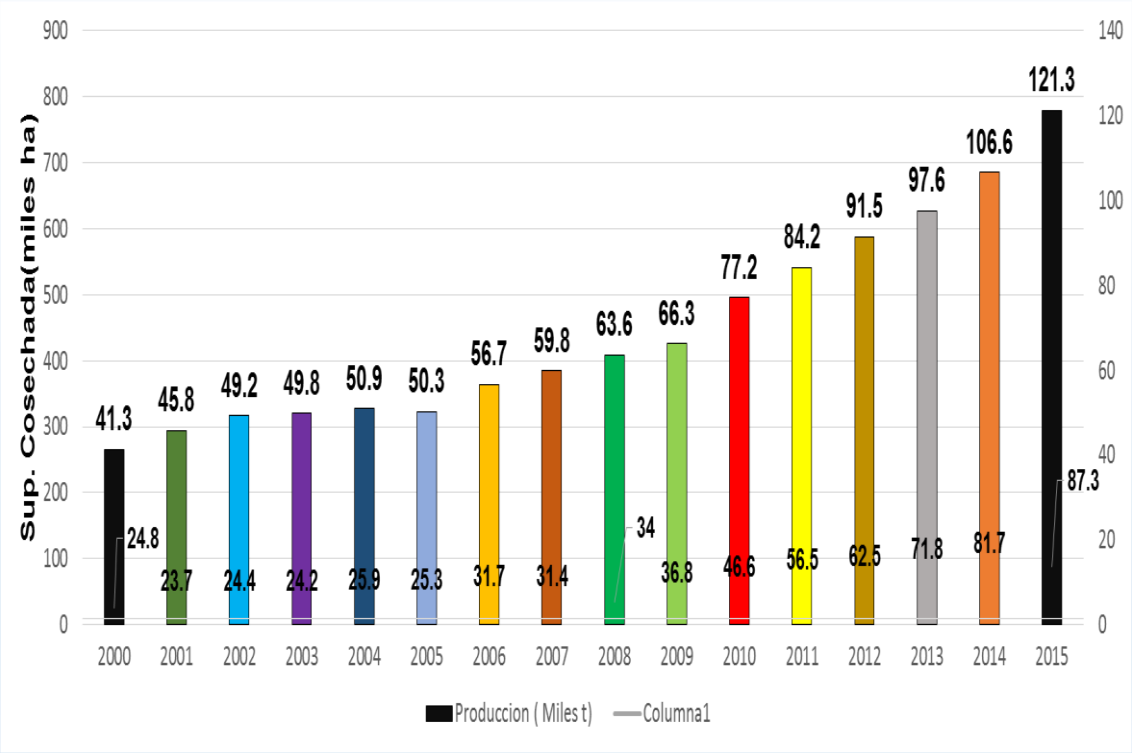
En el caso del Perú, se encuentra considerada desde el inicio; sin embargo su calificación de exportador neto de cacao fino o de aroma ha venido declinando de 100% en el 2008, a 90% en el 2011 y 75% en el 2016.

Asimismo, al haberse incluido a México en la segunda revisión de países que forma parte del Anexo C, ha desplazado al Perú del 2° al 3° lugar como país productor de cacao fino o de aroma en el mundo (ICCO, 2014).

En cuanto a la demanda de cacao en grano, la Unión Europea representa el 37% del consumo mundial, seguida por América del Norte con 24% y Asia con 16%. A pesar de la recesión sufrida en 2009, el consumo de chocolate está creciendo a un ritmo del 2% anual (LMC International, 2012).

2.1.5. Producción nacional del cacao.

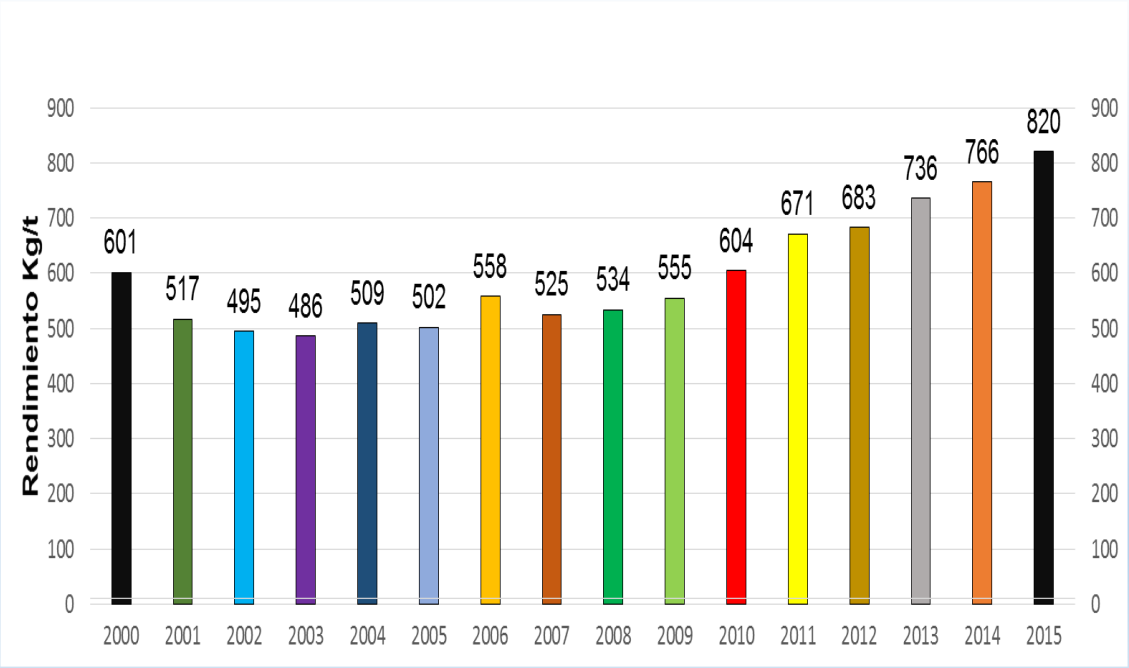
Entre los años 2000-2008, la producción de cacao presentó un crecimiento anual (promedio) de un 4%; y en una segunda etapa, entre los años 2009 y 2015, muestra un incremento promedio anual de un 15,5%. En el año 2000 la producción de cacao en grano es de 24,8 mil toneladas y al año 2008 se había elevado a solo 34 mil toneladas (37% aumento entre ambos años). Sin embargo, a partir del 2009 se observa un fuerte crecimiento de la producción nacional, de manera que de 36,8 mil toneladas producidas en el 2009, se eleva en los siguientes años hasta las 87,3 mil toneladas en el 2015 (137,2% de incremento entre ambos años) (Morales, 2015).



Fuente: MINAGRI-DGSEP-DEA, 2015.

Figura 2. Perú, superficie cosechada y producción de cacao.

En cuanto a las áreas cosechadas, es importante mencionar que el incremento de la producción nacional de cacao en grano es producto de la ampliación de las áreas cosechadas, aumentando éstas entre los años 2000 hasta el 2008 a una tasa promedio de 5,6% por año. Al 2015 se alcanza una extensión de 121,3 mil hectáreas. La ampliación del área cosechada en estos últimos años se sustenta en el impulso del cultivo de cacao como alternativa a la producción ilícita de la hoja de coca, siendo un gran porcentaje de este incremento desarrollado en la zona del VRAEM (Morales, 2015).



Fuente: MINAGRI-DGSEP-DEA, 2015.

Figura 3. **Perú, rendimiento y producción de cacao.**

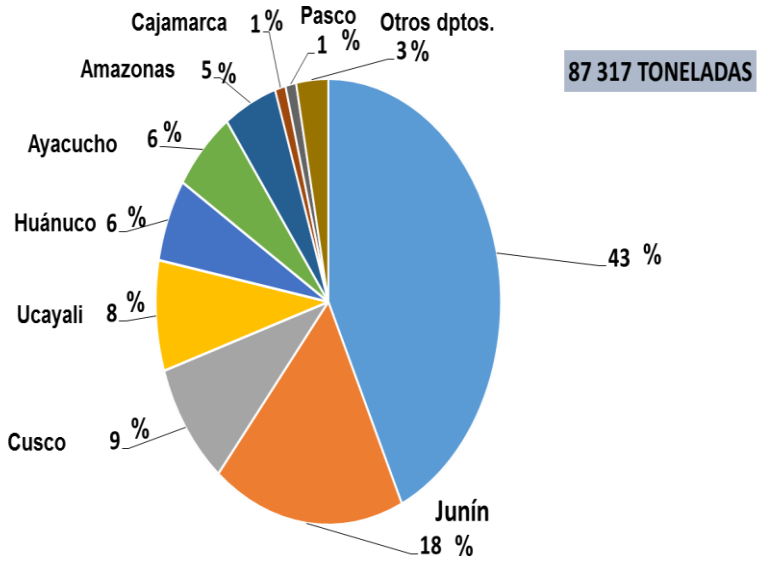
Respecto al rendimiento de las plantaciones de cacaoteros, entre los años 2000 y 2009 se mantienen entre 500 Kg y 600 Kg por hectárea, con una tasa media de disminución de 1,5%. Recién a partir de 2010 se aprecia un incremento sostenido del rendimiento de cacao, que alcanza los 736 Kg en el 2013. En el 2014 se registra un volumen de 766 Kg y en el 2015 el incremento de las áreas cosechadas hace disminuir el volumen del rendimiento medio a 720 kg/ha. La tasa de incremento anual promedio es de 4,4% entre los años 2009 y 2015.

2.1.6. Zonas de producción de cacao.

Con relación a las regiones donde se produce cacao en grano, destacan (2015) básicamente las regiones de San Martín con el 43%; Junín con el 18%, Cusco con 9%, Ucayali con 8% y Huánuco con 6%. Estas cinco regiones representan el 84% de toda la producción nacional. Regiones como

Ayacucho, Amazonas, Cajamarca, Tumbes, Loreto, Puno y Madre de Dios, también tienen producción de cacao en menores volúmenes (García, 2010).

San Martín, Junín y Ucayali son las regiones con mayor crecimiento en los últimos años. Así mientras en el año 2000 estas regiones apenas producían 1,1 mil toneladas, 2,1 mil toneladas y 393 toneladas, respectivamente, en los siguientes años han crecido a una tasa promedio anual de 26,4% en el caso de San Martín, 14,1% en el caso de Junín y 20,8% en el caso de Ucayali. En términos de volumen, en el año 2015, registra un volumen de producción de 37,3 mil toneladas (San Martín), 15,3 mil toneladas (Junín) y 6,7 mil toneladas (Ucayali) (García, 2010).



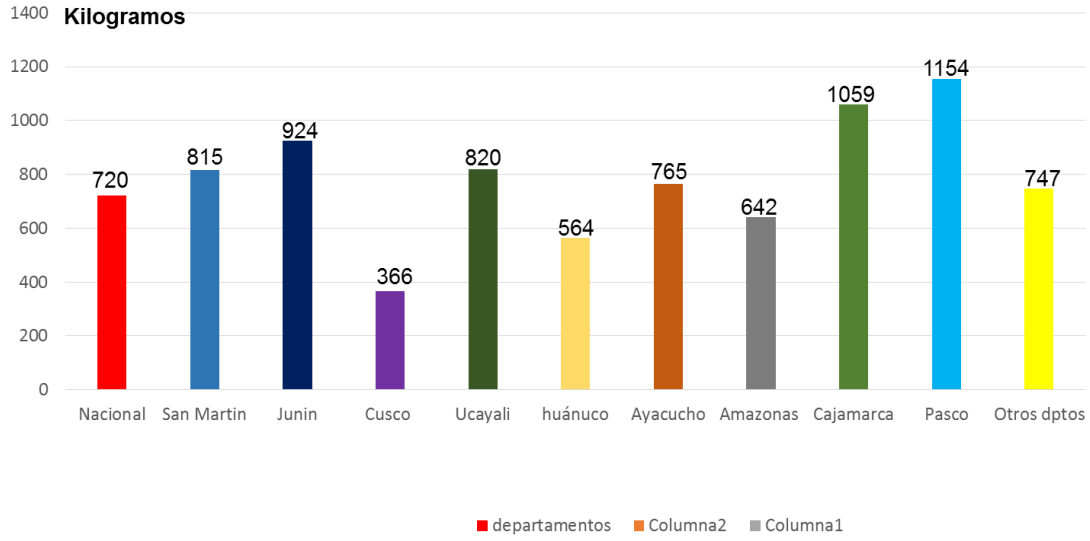
Fuente: MINAGRI-DGSEP-DEA ,2015.

Figura 4. Perú, principales regiones productoras de cacao en el 2015.

En cuanto al rendimiento promedio del cacao por regiones, en el 2015 fue de 720 kilogramos por hectárea. Entre las regiones que destacan por su elevada productividad tenemos a la región Pasco con 1 154 kilogramos por

hectárea, le sigue Cajamarca con 1 059 kilogramos por hectárea: aunque esta situación no refleja su participación en la producción a nivel nacional, donde apenas representan el 1% cada uno (García, 2010).

La región San Martín rinde 815 kilogramos por hectárea; Junín, 924 kilogramos por hectáreas; y en el caso del Cusco (primer productor nacional en décadas pasadas), éste muestra el rendimiento más bajo a nivel nacional con 366 kilogramos por hectárea, debido a ciertas enfermedades que están atacando sus plantaciones de cacao: el Gobierno Regional ha informado que viene adoptando una serie de medidas, a mediano plazo, a fin de mitigar este plaga (García, 2010).



Fuente: MINAGRI-DGSEP Elaboración: MINAGRI-DGPADEEIA

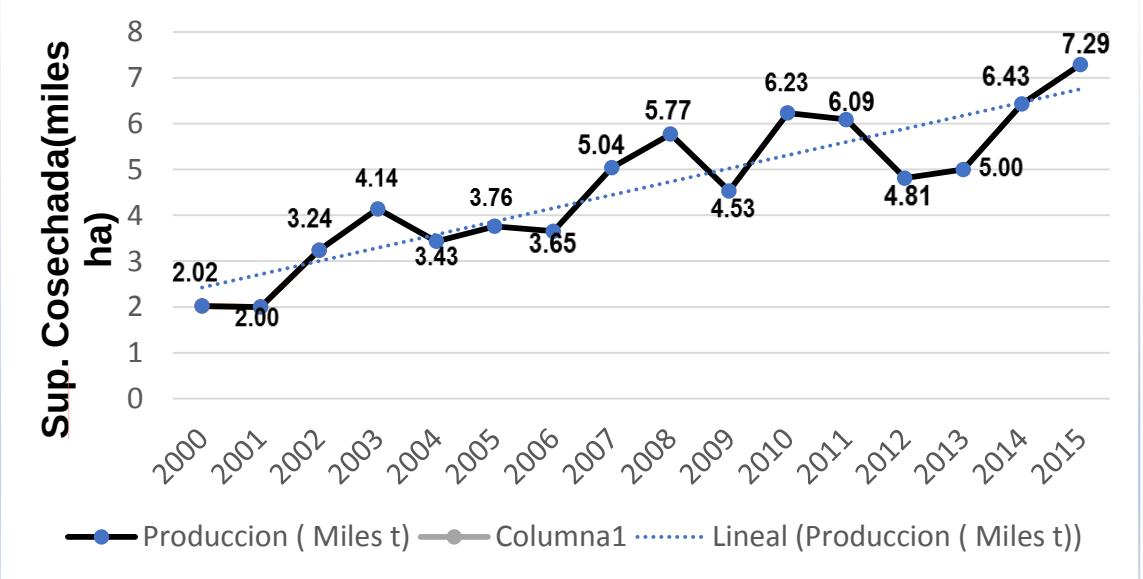
Figura 5: Perú, rendimiento de cacao por regiones productoras (kg/Tn).

2.1.7. Precios del cacao.

En cuanto al comportamiento del precio del cacao en chacra, a continuación se va efectuar un breve análisis de la evolución de los precios del cacao en chacra en el largo y corto plazo.

En el largo plazo, podemos observar en el gráfico 6 la evolución de los precios, entre los años 2000 y 2015, siendo muy inestables; sin embargo, tienden a ser crecientes.

Así, los precios en el año 2000 estaban alrededor de S/ 2,02 por kilogramo, éstos suben de manera alternada en los siguientes años hasta alcanzar un valor record de S/ 7,29 en el 2015 (SUNAT, 2015).



Fuente: MINAGRI-DGESEP, 2015.

Figura 6. Cacao, precio promedio anual en chacra (2000- 2015).

2.1.8. Comercio exterior peruano de cacao en grano crudo.

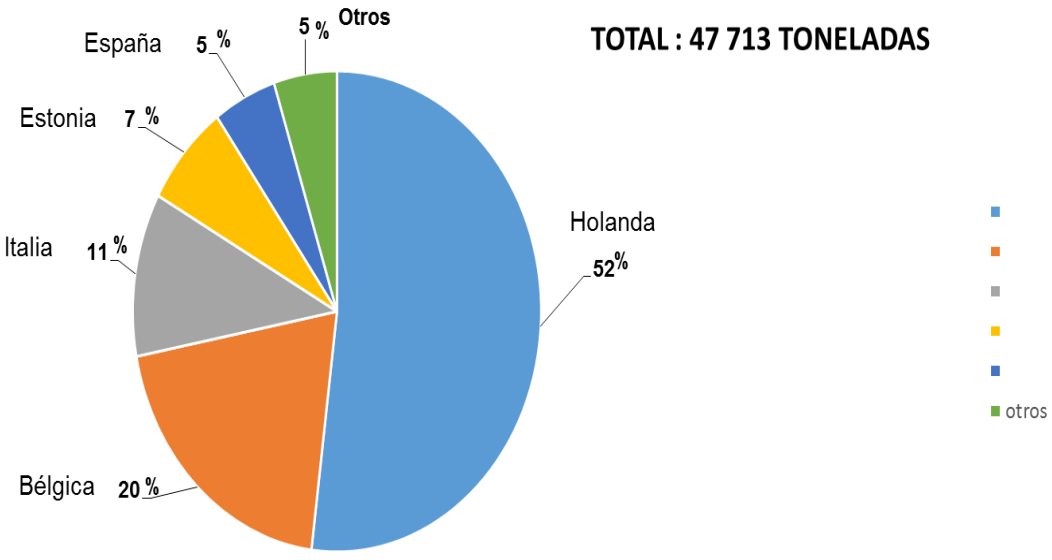
2.1.8.1. Exportaciones peruanas de cacao.

De acuerdo con las cifras tomadas de la SUNAT, las exportaciones de cacao en grano registraron cifras marginales en los primeros años del nuevo siglo, aunque se exportaba cacao en otras presentaciones. Desde 2013 se mantiene una tasa creciente de exportación, con un mayor aumento en términos absolutos, aunque continúa la tasa de crecimiento

porcentual: siendo esta de un 87% en el 2015, con un volumen récord de 56,5 mil toneladas. Entre los años 2000 y 2015 se estima que las exportaciones se han incrementado en un 62% por año, cifra bastante alta (SUNAT, 2015).

2.1.8.2. Principales mercados.

En cuanto a los principales mercados de destino de las exportaciones de cacao en grano del Perú, destaca la Unión Europea (UE), donde el grueso de las exportaciones se centra en cinco países miembros. En años anteriores a la UE se orientaba entre el 50% al 60% de las exportaciones totales, a partir del 2012 se eleva por encima del 70%. En los años 2013 y 2014 representa el 76% del total exportado por Perú al mundo (Transmar Group, 2014). En el 2015 se eleva hasta un 84%, con un volumen de 47,7 mil toneladas exportadas y una tasa de crecimiento de un 32% respecto al año anterior.



Fuente: MINAGRI- DGESEP Elaboración: DGPA-DEEIA.

Figura 7. Perú, principales mercador en la Unión Europea año 2015.

Entre los mercados que muestran un mayor dinamismo dentro de la Unión Europea respecto a las exportaciones peruanas se tiene: Holanda, cuyas importaciones solo de este país han sumado casi 25 mil toneladas (52% del total exportado a la Unión Europea); le sigue Bélgica con 9,6 mil toneladas (20% del total exportado a la Unión Europea); e Italia con 5 mil toneladas (11% del total exportado a la Unión Europea); otros países de importante participación son Estonia y España (Transmar Group, 2014).

En cuanto a los demás mercados fuera de la Unión Europea, destacan Estados Unidos con un 6,6% promedio. Las exportaciones hacia este mercado han caído en 9% en el 2014 y 17,5% en el 2015. Canadá muestra un incremento importante en el 2015 con 58,5% respecto al 2014. Otros mercados aunque con pequeños volúmenes son India, México y Japón.

Tabla 3. Perú, exportaciones de cacao en grano crudo al mundo (Tn).

PAÍSES	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TOTAL MUNDO	**11 084**	**19 727**	**24 939**	**30 212**	**46 991**	**56 529**
UNION EUROPEA	7 794	10 779	17 564	23 212	36 022	47 713
ESTADOS UNIDOS	603	1 749	1 284	3 098	2 819	2 325
CANADA	742	477	110	937	1 458	2 311
INDIA					399	1 102
MEXICO			1 275	1 550	200	750
INDONESIA				149	2 458	636
MALAYSIA			2 477	799	1 575	475
JAPON		25	13	75	89	326
SINGAPUR	1 165	26	150	0	225	303
COLOMBIA	684	5 123	241	85	393	179
HONG KONG					101	125
ARGELIA				50		100
AUSTRALIA	9	14	26	90	108	84
CHINA		11				51
ISRAEL		1	22	2	3	27
SUIZA		1 511	1 841	35	1 011	13
OTROS PAISES	88	14	53	129	130	8

Fuente: SUNAT, 2016. Elaboración: DGPA-DEEIA.

Sistemas de producción del cultivo de cacao. En la zona de estudio, generalmente existen tres sistemas de manejo, los cuales presentan las siguientes características:

SISTEMA DE MANEJO	CARÁCTERÍSTICAS
TRADICIONAL	Manejo de podas. Sin abono. Control manual de malezas. Sin control de plagas y enfermedades.
QUÍMICO	Manejo de podas. Uso de fertilizantes (Urea, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio). Control químico de malezas. Control químico de plagas y enfermedades.
ORGÁNICO	Manejo de podas. Abonos orgánicos (Guano, Roca Fosfórica, KCl y micro-elementos). Control manual de malezas. Control biológico y químico de plagas y enfermedades.

2.1.9. Sistemas de producción del cultivo de cacao.

2.1.9.1. Manejo tradicional del cacao.

Comprende lo siguiente: Poda, sin abono, control de malezas (mecánico), sin control de plagas y enfermedades.

2.1.9.2. Manejo químico del cacao.

Comprende lo siguiente: Poda, fertilizante (Urea: CON_2H^4, SFTC, KCl), control de malezas (con químicos), control de plagas y enfermedades (con químicos).

2.1.9.3. Manejo orgánico del cacao.

Comprende lo siguiente: Poda, abono (Guano, Roca Fosfórica, KCl y micro-elementos), control de malezas (mecánico), control de plagas y enfermedades (biológico y químico).

2.1.10. Podas del cacao.

2.1.10.1. PODA.

La poda es una práctica de manejo que consiste en quitar las ramas inservibles del árbol de cacao para dar a la planta una mejor formación de la copa y estimular la aparición de brotes, flores y frutos (INIAP, 2012).

2.1.10.2. Poda de formación.

Con esta poda se dejan de 3 a 4 ramas vigorosas y adecuadamente ubicadas y que luego constituirán la estructura principal de la planta. Es necesario podar las plantas desde el vivero (despunte) y en el campo definitivo a partir de los seis a ocho meses después de plantarlo. Se debe eliminar aquellas ramas que tienen crecimiento con tendencia horizontal y las que se dirijan al interior de la copa (INIAP, 2012).

2.1.10.3. Poda de mantenimiento.

Consiste en la eliminación de ramas sombreadas e improductivas, lo que proporciona suficiente luz y aireación al follaje. Con esta poda se eliminan los chupones, se entresacan las ramas mal formadas, improductivas o secas al interior de la copa y las ramillas conocidas como plumillas (INIAP, 2012).

2.1.10.4. Poda fitosanitaria.

Consiste en la eliminación de las partes del follaje y ramas que hayan sido afectadas por escoba de bruja, insectos y otras causas.

También se eliminan las mazorcas infectadas con monilla, y las parasitas que crecen sobre la copa del árbol, en cada cosecha (INIAP, 2012).

2.1.10.5. Poda de rehabilitación.

Se realiza en aquellos cacaotales antiguos que son improductivos y consiste en regenerar estos árboles mal formados o viejos con podas parciales, conservando las mejores ramas, o podando el tronco para estimular el crecimiento de chupones, eligiendo el más vigoroso y mejor situado, próximo al suelo, sobre el que se construirá un nuevo árbol (INIAP, 2012).

2.1.10.6. Poda de sombra.

Se realiza en las especies de sombra para evitar que éstas ramifiquen a baja altura e impidan el desarrollo de las plantas de cacao. Se podan una o dos veces al año para favorecer el manejo del cultivo. Se cortan las ramas bajas y sobrantes de las plantas de sombra permanente. El adecuado control de la sombra es muy importante para la obtención de buenos rendimientos del cacao, por lo que se recomiendan porcentajes de sombreo próximos a 30% (INIAP, 2012).

2.1.11. Control de malezas.

2.1.11.1. Control mecánico.

Consiste en el uso de machetes para realizar una roza alta (chapia) que beneficia a que los arboles tengan mayor porcentaje de raicillas vivas, las malezas deben dejarse regadas en el suelo para su descomposición e incorporación como abono orgánico.

2.1.11.2. Control químico.

Se realiza solo en casos justificados, cuando no hay disponibilidad de mano de obra, en épocas de alta incidencia (invierno) o por la presencia de una especie difícil de controlar. Es de indicar que los herbicidas matan los microorganismos del suelo que son favorables para la agricultura orgánica.

2.1.12. Fertilizantes usados en manejo del cacao.

2.1.12.1. Urea.

La urea es un compuesto químico cristalino e incoloro; de fórmula $CO(NH_2)^2$. El 91% de la urea producida se emplea como fertilizante. Se aplica al suelo y provee nitrógeno a la planta. La urea como fertilizante presenta la ventaja de proporcionar un alto contenido de nitrógeno, esencial en el metabolismo de la planta ya que se relaciona directamente con la cantidad de tallos y hojas, quienes absorben la luz para la fotosíntesis.

2.1.12.2. SFTC, Súper Fosfato Triple de Calcio.

Se pueden utilizar en todo tipo de cultivos y en todos los tipos de suelo. Se emplean a razón de 200 a 500 kilogramos por hectárea. Para aportes obligatorios donde el nivel de fósforo nativo es bajo, y también para aportes superficiales.

2.1.12.3. Guano isla.

El guano (del quechua 'wanu') es el sustrato resultante de la acumulación masiva de excrementos de murciélagos, aves marinas y focas en ambientes áridos o de escasa humedad. Como abono, el

guano es un fertilizante altamente efectivo debido a su excepcional contenido alto en los tres componentes principales para el crecimiento de las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio. El guano es un producto muy apreciado, especialmente en la agricultura ecológica.

2.1.12.4. Roca fosfórica.

Se conoce como roca fosfórica a todo mineral que contenga fósforo, estas rocas son finitas y no son un recurso renovable. Alrededor de todo el mundo se pueden hallar depósitos de estas rocas y su finalidad es el ser materia prima para la fabricación de fertilizantes y para la fabricación de jabones, detergentes y productos químicos.

2.1.12.5. Cloruro de potasio (KCl).

Es un fertilizante cuya composición es de 60% de óxido de potasio (K_2O) y soluble en agua.

2.1.12.6. Micro elementos.

Se consideran micro elementos todos aquellos elementos químicos presentes en concentraciones inferiores. Alguno de estos elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas, en cambio, en cantidades excesivas reducen el crecimiento, provocan acumulaciones indeseables en los tejidos y llegan a alterar irreversiblemente el metabolismo vegetal. La aplicación en exceso de elementos puede llegar a contaminar eventualmente los suelos, pudiendo reducir de forma importante su productividad o producir cosechas inaceptables.

2.2. GENERALIDADES SOBRE METALES PESADOS.

2.2.1. Metales pesados.

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y tóxica para el ser humano, aunque algunos son elementos esenciales en el ser humano, independientemente de que a determinadas concentraciones puedan ser tóxicos en algunas de sus formas. Sin embrago, hay una serie de elementos que en algunas de sus formas pueden presentar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos con el término de “metales pesados”.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, principalmente debido a la actividad industrial y minera, pueden permanecer en el ambiente cientos de años, contaminando el suelo y acumulándose en las plantas y los tejidos orgánicos. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a lo largo de la cadena alimentaria.

Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo y el cadmio (AESAN, 2013).

2.2.2. El cadmio.

El cadmio es considerado uno de los más peligrosos para el medio ambiente y la salud, por ser teratogénico y con un potencial cancerígeno comprobado. Es un componente de la corteza terrestre que se encuentra en pequeñas cantidades asociado a minerales de zinc, cobre o plomo (IARC, 2012).

Su contenido en el suelo es minoritario y está estimado en torno a 0,10 – 0,15 mg/Kg, asociado al Zinc, la principal especie de cadmio en la solución del suelo es Cd^{2+} aunque también puede formar los siguientes iones complejos: $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO^{3+}$, $CdCl^{3-}$, $CdCl^{42-}$, Cd $(OH)^{3-}$ y $Cd(OH)^{42}$ junto con complejos. En suelos contaminados las especies de cadmio soluble predominantes es el ión libre Cd^{2+} junto con otras especies neutras como $CdSO^{4}$ o $CdCl^{2}$, presentes en cantidades crecientes donde el pH es mayor que 6,5.

El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales (Amores, 2012).

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 (Yadav, 2010).

2.2.3. Fuentes de contaminación por metales pesados.

2.2.3.1. En la agricultura.

La agricultura constituye una muy importante fuente no puntual de metales, contribuyen significativamente a su concentración en los suelos en muchas partes del mundo en especial en regiones de agricultura extensiva (FHIA, 2011).

Fuentes relacionadas con la agricultura.

- Impurezas en fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn).

- Lodos de aguas residuales (Cd, Ni, Cu, Pb, Zn y otros).
- Compost derivado de Basura (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn).
- Corrosión de objetos metálicos (Zn, Cd).
- Estiércol (Cu, As, Zn).

2.3. VÍAS DE CONTAMINACIÓN POR CADMIO (Cd).

El cadmio presenta, mayoritariamente, un origen alimentario. Además, de todos los metales tóxicos emitidos al medio ambiente, éste es uno de los que más tienden a acumularse en los alimentos. Una característica del cadmio es su fácil transferencia del suelo a los vegetales, siendo uno de los metales que mejor absorben las plantas (COOPAIN, 2014).

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, 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, 2013).

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 causo 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 FHIA se determinó que el mayor factor que contribuye a la concentración de cadmio en cultivos es el pH del suelo. En suelos ácidos la absorción de cadmio es mayor (FHIA, 2011).

Por ello es importante 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 (FHIA, 2011).

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 (INIAP Ecuador, 2016).

2.3.1. Consideraciones importantes.

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 la 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 (Kadow, 2015).

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) (Kadow, 2015).

2.3.2. Otros factores que incrementan los metales pesados.

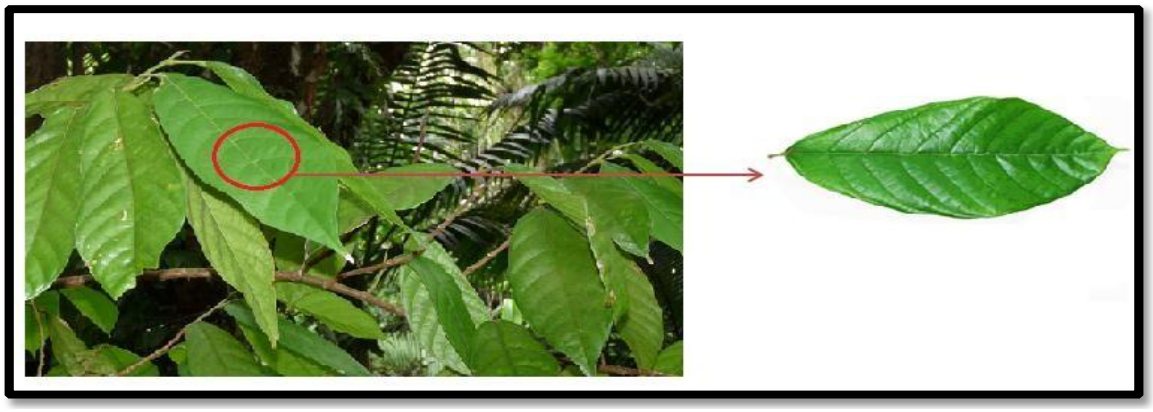
Una disminución del pH del suelo facilita la transferencia del cadmio al vegetal, por ello es importante, en zonas industrializadas, el fenómeno de la lluvia acida, ya que esta hace disminuir el pH del suelo, aumentando la absorción por parte de las plantas y, por tanto, la acumulación.

Se ha visto que el aumento puede llegar a ser de 2 a 20 veces superior que en zonas con suelos no contaminados o pH más elevados.

Aplicación de abonos naturales fosfóricos, dentro de su composición contiene el cadmio (COOPAIN, 2014).

2.3.3. El cadmio se encuentra más en:

Suelos concentrados arcillosos y pizarrosos, se concentra más en suelos de pH bajos, los depósitos sedimentarios originados, muestran una elevada concentración de cadmio (COOPAIN-2014).



Fuente: COOPAIN, 2014.

Figura 8. **Asimilación de metales pesados a la planta.**

2.4. CONTAMINACIÓN DE CACAO POR CADMIO.

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 (Huamaní, 2012).

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).

Los metales pesados en los alimentos tienen múltiples orígenes. En el caso del cacao es posible que la contaminación se de en las etapas de cultivo, producción y transformación (Martínez & Palacio, 2010).

2.5. BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS.

Se entiende por biodisponibilidad la fracción de metal pesado que está disponible para la absorción por las plantas, esta fracción está constituida por la parte soluble y adsorbida del metal. Los metales se encuentran en distintas formas o fracciones en el suelo: (1) soluble en la solución del suelo, (2) adsorbida en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo, (3) ligada a la materia orgánica, (4) precipitada como óxidos, hidróxidos y carbonatos, y (5) residual en las estructuras de los minerales silicatados). Para que se produzca extracción de los metales por la planta, éstos deben estar biodisponibles. La biodisponibilidad depende de la solubilidad y movilidad de los metales. Sólo los metales que se encuentran en la solución suelo y aquellos adsorbidos en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo (fracciones 1 y 2) están disponibles para las plantas, por ello, la concentración total de los metales en el suelo no refleja necesariamente los niveles de metales biodisponibles.

La biodisponibilidad de los metales depende de la solubilidad de los metales y de su capacidad de adsorción en la fracción coloidal del suelo. La interacción entre los distintos procesos que ocurren en el suelo, como intercambio catiónico, adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos, afectan la distribución de los metales entre la solución

suelo y la fase sólida, siendo responsables de su movilidad y biodisponibilidad dentro del sistema planta-suelo (Ministerio de Agricultura de Chile, 2012).

2.6. CONTENIDO DE CADMIO EN EL CACAO: PREOCUPACIÓN MUNDIAL.

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 trasmisión 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, del 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, que celebró su evento anual el pasado 17 de octubre en la ciudad Londres.

También por la gran importancia socio económica que representa, ya que Perú ocupa el segundo lugar en el mundo como exportador de cacao orgánico. El cacao es un cultivo que ha cobrado gran importancia económica en el Perú (234 millones de dólares en el 2014) y en el mundo (movimientos anuales en el mundo por más de 40 mil millones de dólares), y ya es reconocido como uno de nuestros productos bandera por la fina calidad de nuestro cacao de origen, que desarrolla en nuestras tierras altas de la Amazonía; en zonas de elevada pobreza y ausencia de los servicios del estado; así como por el objetivo de desarrollo alternativo que viene cumpliendo, como una formula posible y rentable para el reemplazo de cultivos cocaleros destinados al narcotráfico. En la actualidad existen en el Perú más 150 mil hectáreas cultivadas de cacao y hemos sobrepasado las 80 mil toneladas de producción anual (Agrodataperu, 2013).

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 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 (IICA, 2016).

2.7. CONTENIDO DE METALES PESADOS ADMISIBLES EN LOS ALIMENTOS SEGÚN COMISIÓN EUROPEA.

Los estándares máximos de metales pesados admisibles en productos alimenticios, y en especial en las almendras de cacao, se presentan en el cuadro. Estos niveles pueden variar por países.

En información no documentada, se comentó que lotes de almendras de cacao exportadas hacia Europa fueron reportadas con contenidos de metales pesados que sobrepasaban los máximos permisibles.

Tabla 4. Contenido máximo admisible de metales pesados en productos nutricionales en humanos según Comisión Europea, 2013.

Metal pesado	Unión Europea productos alimenticios	Unión Europea almendras de cacao	Codex almendras de cacao
cadmio (Cd)	1	0.5	
cobre (Cu)	350	50	30
níquel (Ni)	40		
plomo (Pb)	5	2	2
zinc (Zn)	500		
mercurio (Hg)	1	0.02	0.02
Cromo (Cr)	45		
selenio (Se)	0.5		

Fuente: (Comisión Europea, 2013).

2.8. REGLAMENTACIONES Y RANGOS DE CADMIO EN EL CACAO.

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).

Canadá: Para un chocolate de más 50% de sólidos de cacao tiene un rango de 0,02 a 0,86mg/kg (Jiménez, 2015).

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 (Jiménez, 2015).

Perú: Aun no hay consideraciones sobre cadmio en cacao o chocolate. La norma técnica que tenemos para los requisitos fisicoquímicos, microbiológicos técnicos que deben cumplir el cacao y sus derivados; no menciona exigencias alrededor de metales pesados (Comisión de los Reglamentos técnicos y Comerciales - INDECOPI), (Jiménez, 2015).

Jiménez, 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 el cadmio en el chocolate y/o sus derivados.

Australia: Según la legislación australiana y neozelandesa de metales pesados, el contenido máximo de cadmio para chocolates de cacao es de 0.50 ppm (Mera, 2017).

Estados Unidos: Según refieren Charley y Rusell, 2005 (citados por Mera, 2017) se debe cumplir con las disposiciones de la ley contra el bioterrorismo que rige en USA a partir del 2003, el cual se encuentra destinado a proteger la producción, distribución y venta de alimentos de origen norteamericano e importado en contra de posibles atentados terroristas.

2.9. EFECTOS DEL CADMIO EN LA SALUD HUMANA.

El cadmio es absorbido por las plantas. La toma por los humanos de cadmio tiene lugar mayormente a través de la comida como es el caso del

cacao. Los alimentos que tienen cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración de cadmio en los humanos; y producir efectos sobre la salud como diarreas, dolor de estómago y vómitos severos, daño al sistema nervioso central, debilitamiento óseo, daño al sistema inmune, fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad, desórdenes psicológicos, posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer (García y Azcona, 2012).

2.10. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

En la espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con llama (aspiración directa), permite la detección y determinación de metales en cualquier tipo de muestra siempre y cuando pueda ser solubilizada. Los límites de detección en este caso son del orden de la ppm (partes por millón). Esta técnica analítica está indicada para determinar elementos alcalinos, alcalinotérreos y metales pesados presentes en cualquier tipo de muestra susceptible de ser disuelta. Los niveles de concentración que se pueden analizar van desde % hasta ppb (partes por billón o 1mg/Tn (UMA, 2013).

La EAA, es una técnica mono elemental y está sujeta a muchas interferencias químicas o de matriz que se producen como consecuencia de diferentes procesos químicos que ocurren durante la atomización y que alteran las características de absorción de analito. El tipo más común de interferencia es el producido por aniones que forman compuestos de baja volatilidad con el analito y reducen así su velocidad de atomización lo que origina resultados menores de lo esperado (Martínez & Palacio, 2010).

2.11. INVESTIGACIONES SIMILARES.

Fernández (2016), al comparar el contenido de cadmio en el suelo bajo tres sistemas de manejo, concluye que, los sistemas tradicional y orgánico presentan mayor contenido de cadmio total con valores que se consideran ligeramente altos en el suelo. Asimismo, la profundidad a 10 cm presenta el mayor contenido de cadmio, lo cual indica que es el lugar de mayor acumulación de cadmio en los suelos evaluados. En las interacciones sistemas por profundidad los mayores valores de cadmio fueron encontrados a los primeros 10 cm para todos los sistemas y se determinó que existe correlación negativa entre pH y cadmio indicando que a menores niveles de pH existe niveles más altos de cadmio en el suelo.

Arévalo (2014), en una investigación efectuada para evaluar el contenido de cadmio en el suelo en varios departamentos cacaoteros, establece que, los mayores valores de Cd fueron en Tumbes y Piura, seguido de Amazonas y Junín, así como los valores Cd y Pb encontrados estuvieron por debajo de los límites considerados como fitotóxicos y solo encontró diferencias significativas del contenido de cadmio por profundidad de muestreo.

Huamaní (2012), evaluó los contenidos de cadmio y plomo en suelos y hojas del cacao en las regiones Huánuco y Ucayali. 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.

Cárdenas (2012), para evaluar la presencia de cadmio en los suelos, hojas y almendras de cacao se seleccionaron 20 parcelas de agricultores de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo ubicadas en la Región Huánuco y se tomaron muestras de suelo, foliar y almendras de cacao y se analizaron su contenido nutricional y de cadmio. También se determinó los órdenes predominantes de la macro fauna y la actividad biológica del suelo. Los resultados mostraron que en general los suelos presentaron condiciones físico químicas adecuadas para el cacao; sólo en el caso del potasio los contenidos estuvieron por debajo del nivel normal. El contenido de cadmio disponible tuvo un promedio de 0,66 ppm y sólo tres parcelas pasaron el límite crítico de 0,99 ppm. El promedio de cadmio foliar fue de 2,84 ppm y en este caso, en todas las parcelas este contenido fue superior al límite crítico de 0,50 ppm cadmio total. En almendras el valor promedio de cadmio total fue de 1,55 ppm.

III. MATERIALES Y MÉTODO.

3.1. UBICACIÓN.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las 9 parcelas de los cacaoteros de la localidad de San Alejandro capital del distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali.

Ubicada a 110 kilómetros de la ciudad de Pucallpa, la provincia de Padre Abad tiene una extensión de 8 822,50 Km² está situada en la selva oriental y al Noroeste de la Región Ucayali. Sus coordenadas geográficas son 09º02´13” de latitud Sur y 75º30´12” de longitud Oeste en el meridiano de Greenwich, a una altitud de 250 msnm (COOPAIN, 2014).

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

Clima: Predomina el clima cálido y húmedo con abundantes precipitaciones, con temperaturas elevadas durante el día y en la noche las temperaturas bajan hasta dar sensaciones de frío.

Precipitaciones: Los meses con mayor precipitación fluvial se encuentran de noviembre a marzo. La humedad relativa mensual promedio es de 89%.

Temperatura: La temperatura media oscila entre 24.93 ºC, con una máxima de 32.5 ºC y una mínima de 19.30 ºC, las temperaturas más altas se dan en los meses de octubre y diciembre y la más baja se da en el mes de julio durante horarios de la noche conocidos como friajes.

Tabla 5. Datos Meteorológicos del distrito de Irazola.

MESES	TEMEPERATURA (°C)	PRECIPITACION(mm)
Enero	26.2	378
Febrero	26.1	349
Marzo	26.3	393
Abril	26.2	301
Mayo	25.7	224
Junio	25.2	180
Julio	25.2	128
Agosto	25.8	116
Setiembre	26.5	164
Octubre	26.6	317
Noviembre	26.4	404
Diciembre	26.6	375
Total	**26.066**	**3,329**

Vientos: Los vientos que soplan de Este, Nor-Este y Sur, traen consigo nubes húmedas, y ello origina frecuentes lluvias que vienen a acompañadas con ventarrones, rayos y fuertes truenos. La velocidad de viento puede ser de hasta 1.8 m/s (COOPAIN 2014).

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.

3.3.1. Material de estudio.

Hojas secas y molidas de cacao de la localidad de San Alejandro; que comprenden a nueve (09) parcelas de 1 ha manejadas bajo tres diferentes sistemas de cultivo, las cuales se colectaron de la parte media de la planta de cacao según los tratamientos evaluados.

Los tratamientos fueron los sistemas manejo químico, orgánico y tradicional, medidos a través del contenido de cadmio foliar en tres parcelas por cada sistema y tres repeticiones por parcela.

3.3.2. Materiales de campo.

Los materiales empleados fueron: machetes, tijeras podadoras, bolsas plásticas, rafia, wincha de 30 m, bolsas herméticas, balanza digital, letrero.

3.3.3. Materiales de escritorio.

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

3.3.4. Equipos.

Los equipos utilizados fueron: cámara digital, balanza, motocicleta y moto taxi.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.

La evaluación contó con 9 tratamientos (3 sistemas x 3 parcelas) y 3 repeticiones por parcela, con un total de 27 unidades evaluadas.

3.4.1. Dimensión del área total.

3.4.1.1. Del campo experimental.

El campo experimental presentó las siguientes medidas:

- Largo: 100 m
- Ancho: 100 m
- Área total: 10,000 m^2
- Unidades experimentales: 27

3.4.1.2. De la Unidad experimental.

Cada unidad experimental tuvo las siguientes medidas:

- Largo: 10 m
- Ancho: 9 m
- Área total: 90 m^2

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.

3.5.1. Componentes en estudio.

Tres sistemas de producción del cultivo de cacao.

S1= sistema químico.

S2= sistema orgánico.

S3= sistema tradicional.

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

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.

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

3.6.1. Modelo matemático.

El modelo matemático para cada sistema se describió de la siguiente forma:

$$\mathbf{Y_{ijk}}=\mu+Bk+Tj+ +E_{ijk}$$

Dónde:

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

μ: media general.

Bi: Efecto del i-ésimo bloque.

T_i: Efecto del j-ésimo sistema en estudio.

E_{ijk}: Error experimental.

3.6.2. Análisis de varianza (ANVA).

Tabla 6. Esquema del análisis de varianza (ANVA).

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

3.7. EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.

3.7.1. Reconocimiento de los productores participantes.

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

Quedaron seleccionadas las localidades de la siguiente manera:

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

Sistema Orgánico = Vista Alegre de Chía, Tahuantinsuyo y Porvenir.

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

3.7.2. Reconocimiento de las parcelas evaluadas.

Después de seleccionar las parcelas, se procedió a recorrer cada una de ellas para realizar la recolección de muestras.

3.7.3. Recolección de las muestras de hoja y suelo.

Las muestras fueron recolectadas de 9 parcelas manejadas bajo 3 sistemas diferentes de producción (sistema químico, orgánico y tradicional).

Se colectó entre 5 a 10 hojas frescas por planta de cacao en cada parcela seleccionada, obteniendo un total de 60 hojas en promedio por cada parcela.

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

Luego de colectar las muestras de hoja, se procedió a embolsarlas y etiquetarlas convenientemente para luego trasladarlas al laboratorio de suelos de la UNU, donde se procedió a secar a estufa por 24 horas a 125 grados y de allí se realizó la molienda de las hojas secas con ayuda de un molino manual, lográndose un peso promedio de 20 g de hoja seca molida por cada repetición, parcela y sistema, respectivamente. Este material se llevó a la UNA La Molina para su determinación del contenido 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 por parcela.

3.7.4. Preparación de muestras y envío a laboratorio.

Las muestras de hojas de cacao fueron secadas y molidas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), posteriormente para cada análisis (27 muestras) se colocó 20 g de hojas por muestra en bolsas ziploc de doble cierre de medidas 16 x 5 cm con su respectivo código y puestos dentro de sobres de manila para ser enviados a la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima- Perú para su respectivo análisis.

Para el caso de muestras de suelo estás también fueron secadas, tamizadas, pesadas y posteriormente se colocó 100 g de suelo por muestra en 9 bolsas ziploc de doble cierre de medidas 16 x 5 cm para su respectivo envío y posterior análisis.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CONTENIDO DE CADMIO EN EL SUELO POR SISTEMA DE MANEJO.

En promedio de las localidades evaluadas, el contenido de cadmio disponible en suelo en los tres sistemas estudiados, no muestra diferencias, conforme se aprecia en la tabla 1; pero sus valores son ligeramente superiores a los reportados por la COOPAIN, quien sostiene que un suelo donde se cultiva cacao; los rangos de cadmio normal están entre 0.10 a 0.30 ppm y exceso de 0.60 ppm a más. De igual manera se corroboran los resultados obtenidos por Fernández (2016) quien al evaluar muestras de suelo de plantaciones cacaoteras en la localidad de San Alejandro bajo los tres sistemas mencionados encontró valores de cadmio que van desde los 0.80 a 0.92 ppm a una profundidad de 10 cm.

Tabla 7. Contenido de Cd en el suelo por sistema.

Sistema	Cd mg kg^{-1}	Significación
Tradicional	0.90	a
Químico	0.90	a
Orgánico	0.76	a

, ,

En el sistema químico, el contenido más alto de cadmio en el suelo fue encontrado en la localidad de Nuevo Ucayali, con un valor ligeramente superior a los reportados para las localidades de Vista Alegre de Chía y Valle Sagrado, conforme se observa en la figura 9.

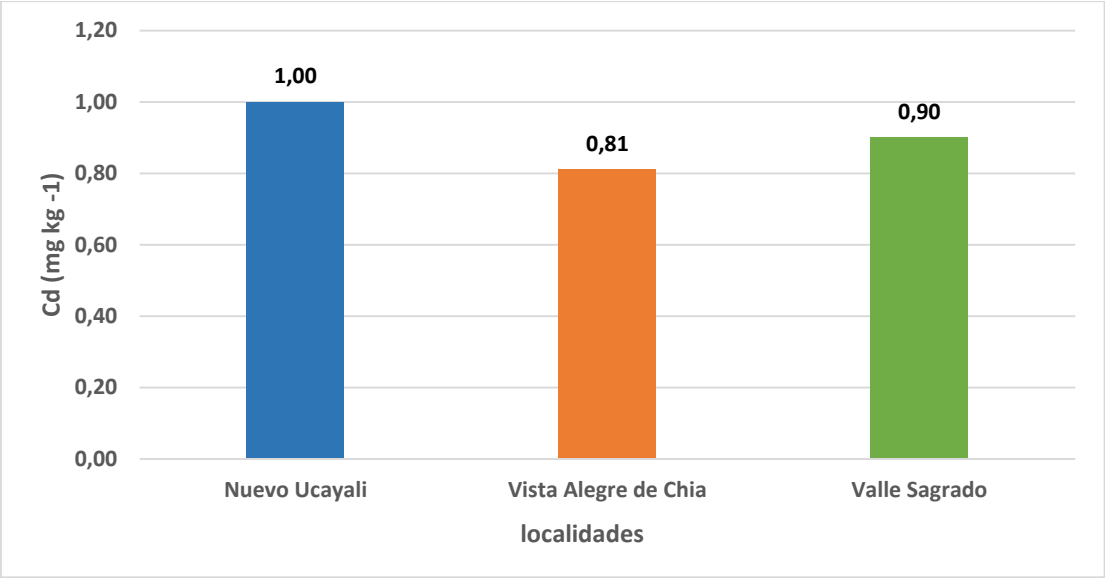


Figura 9. Cadmio en suelo por sistema químico.

En el sistema orgánico, el contenido más alto de cadmio en el suelo fue encontrado en la localidad de Vista Alegre de Chía, con un valor ligeramente superior a los encontrados en las localidades de Porvenir y Tahuantinsuyo, conforme se observa en la figura 10.

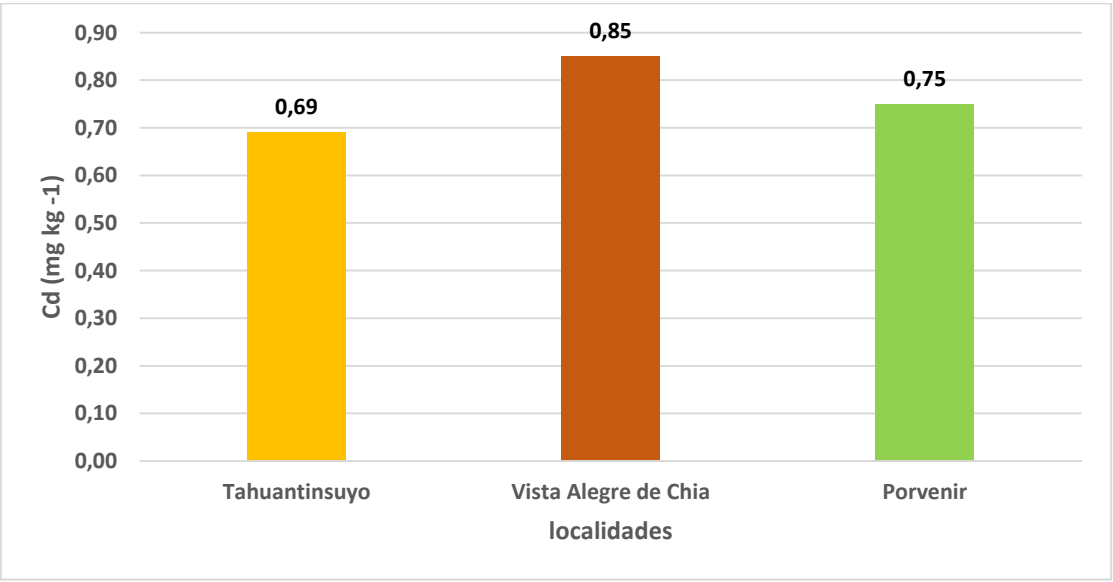


Figura 10. Cadmio en suelo por sistema orgánico.

En el caso del sistema tradicional, el contenido más alto de cadmio en el suelo fue encontrado en las localidades de Asunción de Aguaytillo y Vista Alegre de Chía, con un valor ligeramente superior al que mostro la localidad de Bajo Shiringal, conforme se observa en la figura 11.

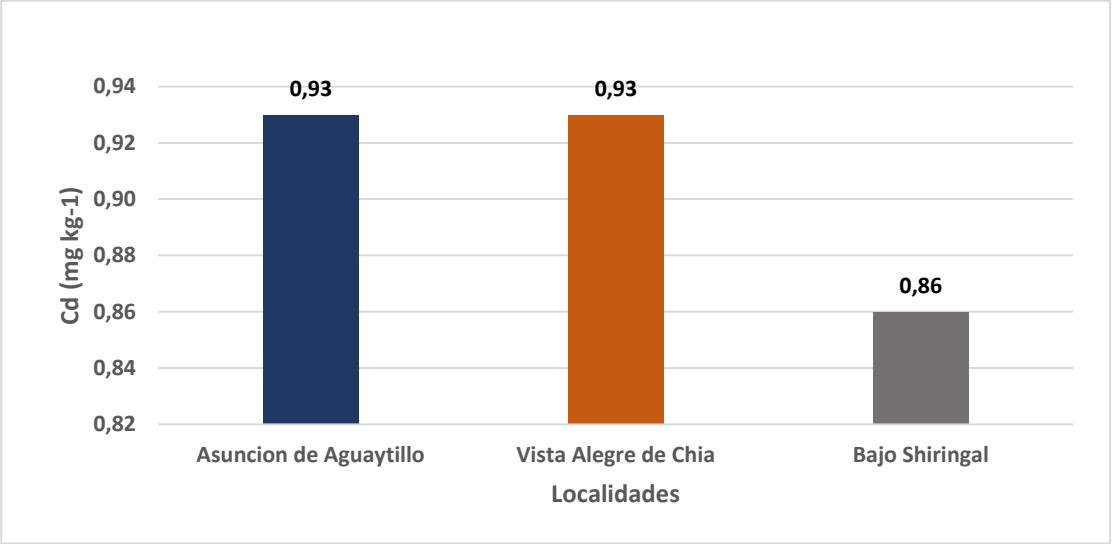


Figura 11. Cadmio en suelo por sistema tradicional.

Es de notar que, conforme se observa en la figura 4, los niveles más altos de cadmio en el suelo se encuentran en las localidades donde se evaluó el sistema de manejo químico, debido a la frecuente aplicación de fertilizantes fosforados, ya que la principal materia prima de estos es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita que además de fósforo (P) contiene cadmio (Cd) con contenidos medios que varían entre 8 y 500 mg de Cd/Kg de P (Bonilla *et al.*, 2002).

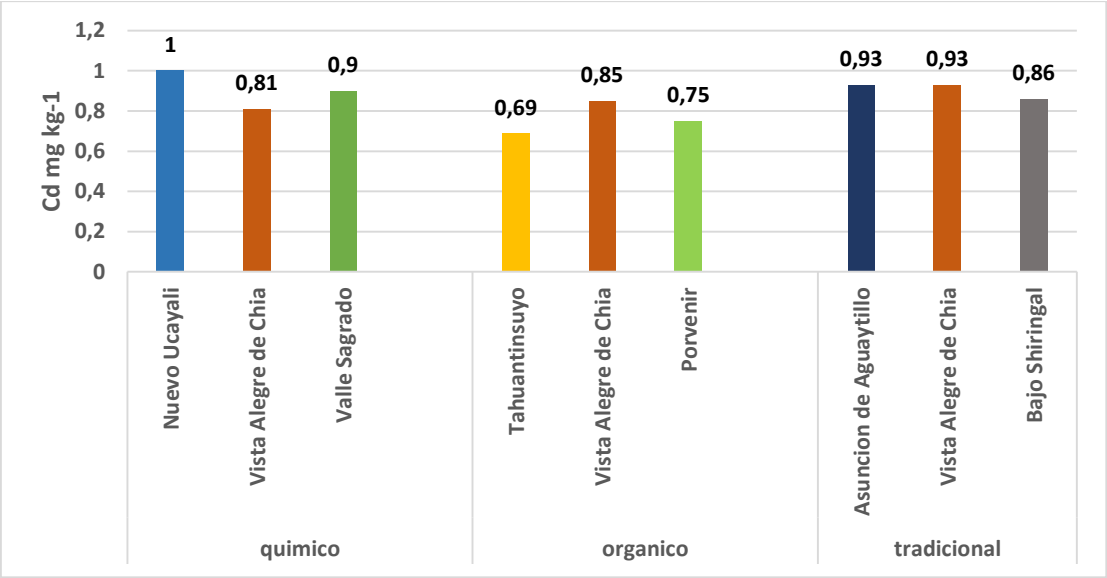


Figura 12. Cadmio en suelo por sistemas.

4.2. CONTENIDO DE CADMIO EN HOJAS POR SISTEMA.

En el sistema de manejo químico, los valores más altos del metal pesado en hoja fueron encontrados en la localidad de Valle Sagrado y Vista Alegre de Chía, superiores al que se encontró en la localidad de Nuevo Ucayali, conforme se observa en la tabla 8, probablemente porque el manejo de fertilización usado en Valle Sagrado fue a base se superfosfato triple de calcio y en la localidad de Nuevo Ucayali, se usó solo roca fosfórica.

Tabla 8. Contenido de Cd en hojas en el sistema químico.

Localidad	Cd mg kg^{-1}	Significación
Valle Sagrado	2.21	a
Vista Alegre de Chía	1.19	a b
Nuevo Ucayali	0.72	b

Sin embargo, conforme se aprecia en la figura 1, estos datos son similares a los encontrados por Arévalo (2017) en ocho departamentos

cacaoteros del Perú, con valores menores a 3 mg kg^{-1} de cadmio en hojas y superiores a los registrados por Huamaní (2012), con 0.21 ppm 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 ppm de cadmio en hojas en la zona de Tingo María. Y en todos los casos reportados por localidades, son superiores al nivel crítico permisible de cadmio en hoja que es de 0.5 ppm de cadmio.

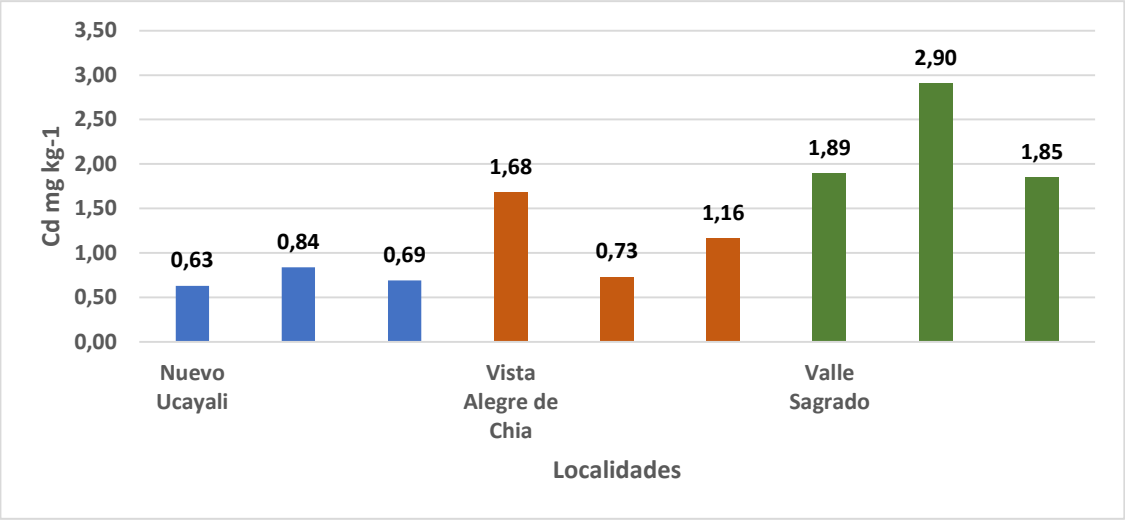


Figura 13. Cadmio en hojas en el sistema químico.

En el sistema de manejo orgánico, los valores de cadmio en hojas no presentan diferencias significativas entre localidades, sin embargo, el valor más alto fue reportado en la localidad de Valle Sagrado y el menor en la localidad de Porvenir, conforme se observa en la tabla 9.

Tabla 9. Contenido de Cd en hojas en el sistema orgánico.

Localidad	Cd mg kg^{-1}	Significación
Vista Alegre de Chía	1.74	a
Tahuantinsuyo	1.37	a
Porvenir	1.30	a

Sin embargo, conforme se aprecia en la figura 2, estos datos son menores a los encontrados por Arévalo (2017) en ocho departamentos cacaoteros del Perú, con valores menores a 3 mg kg^{-1} de cadmio en hojas y, superiores a los encontrados por Huamaní (2012), con 0.21 ppm 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 ppm de cadmio en hojas en la zona de Tingo María. Y en todos los valores reportados por localidad, son superiores al nivel crítico permisible de cadmio en hoja que es de 0.5 ppm de cadmio.

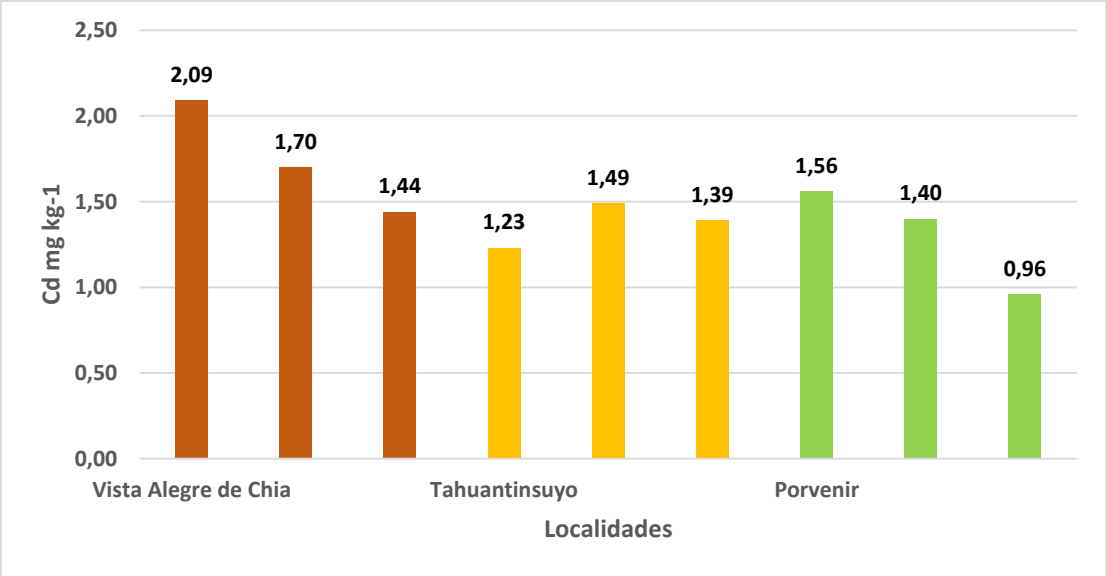


Figura 14. Cadmio en hojas en el sistema orgánico.

En el sistema de manejo tradicional, los valores de cadmio en hoja al igual que en el caso anterior, no presentan diferencias significativas entre localidades, sin embargo, el valor más alto fue reportado en la localidad de Asunción de Aguaytillo y el menor en la localidad de Vista Alegre de Chía, conforme se aprecia en la tabla 10.

Tabla 10. Contenido de Cd en hojas en el sistema tradicional.

Localidad	Cd mg kg^{-1}	Significación
Asunción de Aguaytillo	1.25	a
Bajo Shiringal	0.83	a
Vista Alegre de Chía	0.75	a

Sin embargo, conforme se aprecia en la figura 3, estos datos menores a los encontrados por Arévalo (2017) en ocho departamentos cacaoteros del Perú, con valores menores a 3 mg kg^{-1} de cadmio en hojas, pero superiores a los encontrados por Huamaní (2012), con 0.21 ppm 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 ppm de cadmio en hojas en la zona de Tingo María. Y en la mayoría de los valores encontrados en este sistema, son superiores al nivel crítico permisible de cadmio en hoja que es de 0.5 ppm de cadmio.

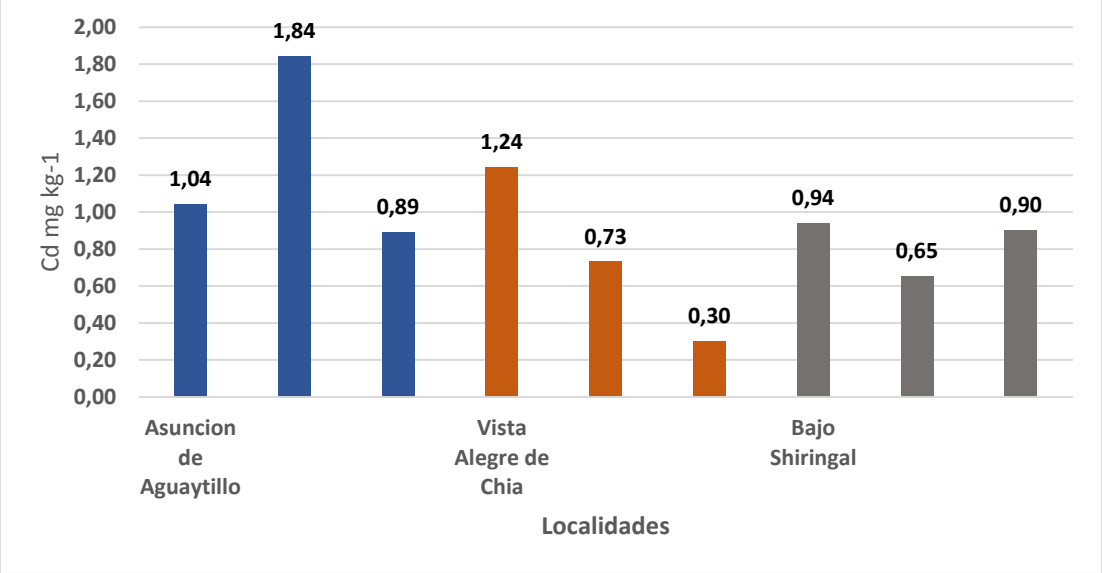


Figura 15. Cadmio en hojas en el sistema tradicional.

Finalmente, en cuanto se refiere al contenido de cadmio en hoja en comparación con el contenido de cadmio en el suelo; los resultados (Figura 16) demuestran que la planta está absorbiendo este metal en cantidades similares y/o superiores a lo contenido en el suelo, corroborando con las investigaciones realizadas por Cárdenas y Huamaní (2012).

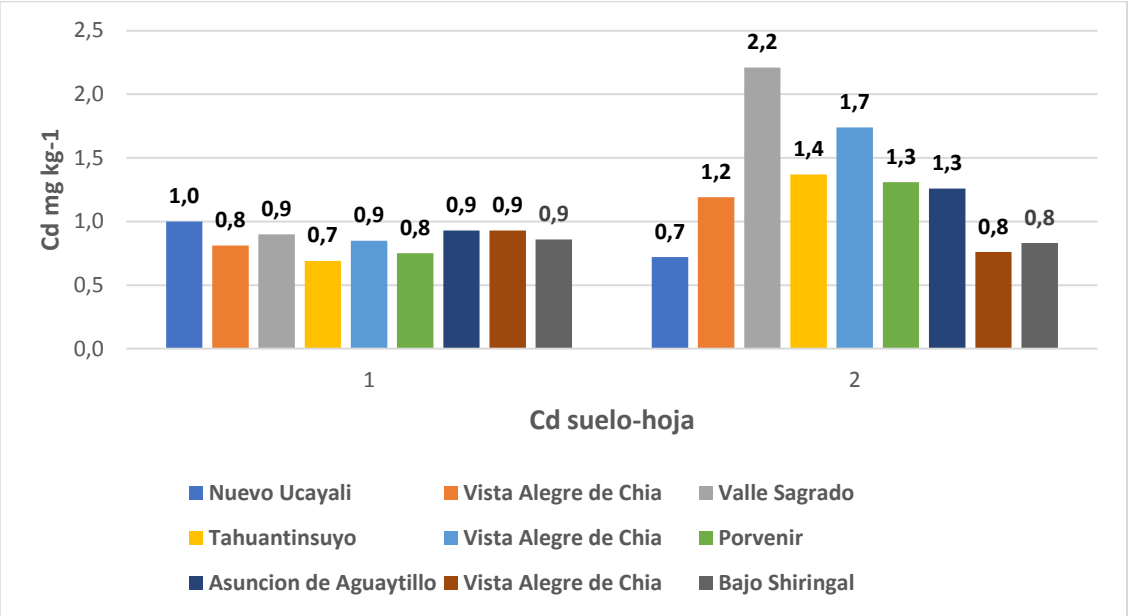


Figura 16. Cadmio suelo-hoja en sistema por localidad.

4.3. RELACIÓN ENTRE CADMIO EN SUELO Y HOJAS POR SISTEMA.

Los valores de cadmio en suelo y hoja para el sistema químico muestran una moderada relación, porque mientras se incrementa el cadmio en el suelo, se reduce el contenido de cadmio en las hojas, con un coeficiente de correlación de 38.6% posiblemente debido a la alta variación entre los valores presentados (Figura 17).

Esto también se explicaría porque la toma de muestras foliares se efectuó en la época de floración, donde hay mucha actividad fisiológica de traslocación de nutrientes por la planta.

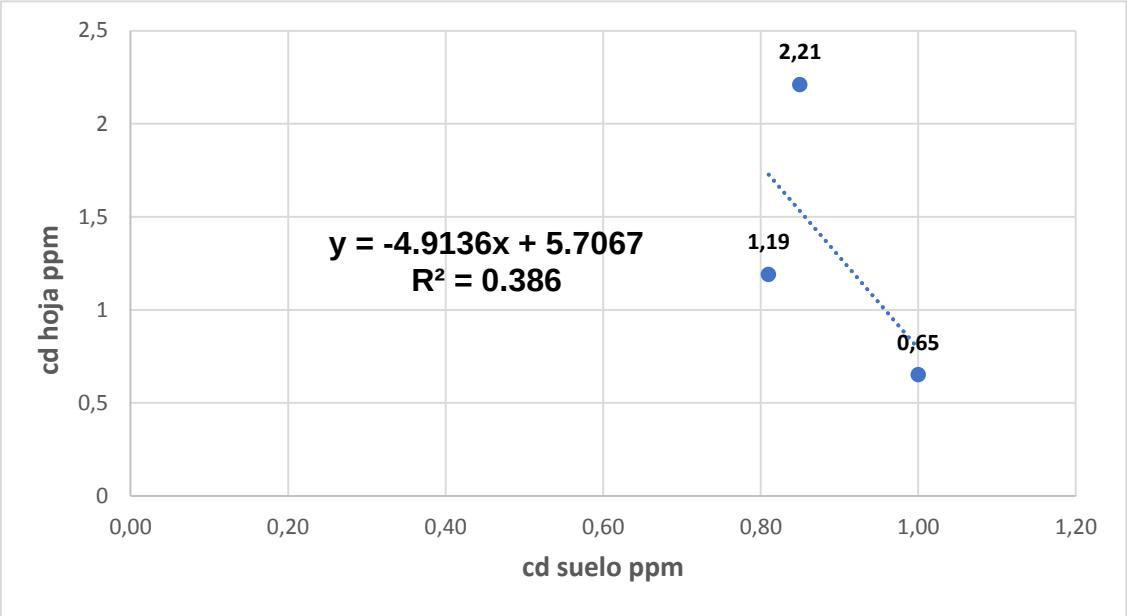


Figura 17. Cadmio suelo-hoja en el sistema químico.

4.4. CADMIO EN SUELO VS CADMIO EN HOJAS EN EL SISTEMA ORGÁNICO.

Por su parte, los valores de cadmio en suelo y hoja para el sistema orgánico muestran una escasa relación, donde el incremento de cadmio en el suelo y en las hojas no es muy significativa, con un coeficiente de correlación de 5.9% posiblemente debido a la reducida variación entre los valores presentados (Figura 18).

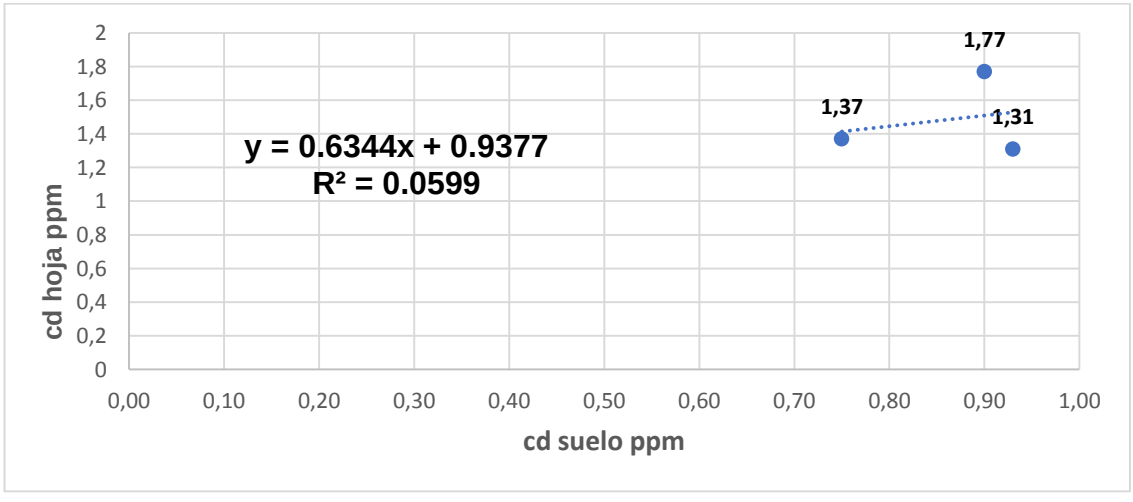


Figura 18. Cadmio suelo-hoja en el sistema orgánico.

4.5. CADMIO EN SUELO VS CADMIO EN HOJAS EN EL SISTEMA TRADICIONAL.

Finalmente, los valores de cadmio en suelo y hoja para el sistema tradicional muestran una alta relación, donde el contenido de cadmio en el suelo aumenta mientras el contenido de cadmio en las hojas disminuye, con un coeficiente de correlación de 65.2% posiblemente debido a la amplia variación entre los valores presentados.

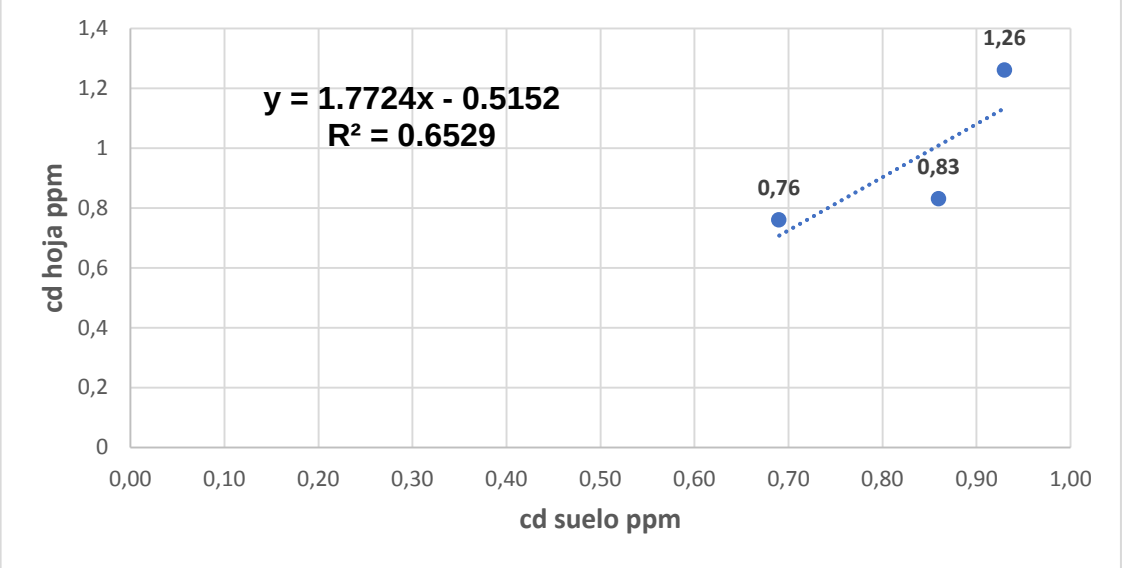


Figura 19. Cadmio suelo-hoja en el sistema tradicional.

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo al trabajo realizado se concluye lo siguiente:

1. No hubo diferencias por el contenido de cadmio en el suelo para los tres sistemas en las localidades evaluadas, aun cuando están por debajo de los niveles permisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

2. Los contenidos medios de cadmio en hojas por localidad en el sistema químico muestran diferencias altamente significativas y son superiores a los niveles permisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

3. Los contenidos medios de cadmio en hojas por localidad en el sistema orgánico no presentan diferencias entre localidades, pero están por encima de los niveles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

4. Los contenidos medios de cadmio en hojas por localidad en el sistema tradicional no presentan diferencias entre localidades, pero están por encima de los niveles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

5. Los valores medios de cadmio en suelo y hoja por parcela para los sistemas químico y tradicional muestran una buena correlación entre ellos, es decir a mayor contenido de cadmio en el suelo mayor es el valor del cadmio a nivel foliar.

VI. RECOMENDACIONES.

De acuerdo a las conclusiones planteadas en el trabajo de investigación, se recomienda lo siguiente:

1. Debido a la gran importancia que ha ganado el cultivo de cacao no solo a nivel local, nacional sino también internacional, se deben realizar más trabajos de investigación en lo que respecta al tema de este metal pesado para así evitar futuras perdidas en su comercialización.

2. Para mitigar el contenido de cadmio en el suelo y por ende en las partes vegetativas del cacao se recomienda realizar correcciones de suelo mediante el uso de enmiendas, ya que evitando suelos fuertemente ácidos es una alternativa agronómica para disminuir la absorción de cadmio y otros metales pesados.

3. Para futuras investigaciones en el cultivo, se recomienda que las parcelas a evaluar estén completamente certificadas por el sistema de manejo del cultivo que representan.

4. Futuras evaluaciones del contenido de este metal deben realizarse en diferentes estratos de la planta y en la parte basal y apical de la hoja.

VII. LITERATURA CONSULTADA.

AESAN. (2013). Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición - Cadmio. Consultado 05 nov. 2013 (en línea).

Agrodataperu. (2013). Exportaciones de cacao en granos de cacao. Consultado 05 nov. 2013 (en línea). Disponible en Página Web: http://www.agrodataperu.com/category/cacao-grano-exportacion.

Amores, F. (2012). Cadmio en suelos, almendras de chocolates: Implicaciones para exportación de cacao. 95p.

Arévalo, E. (2014). Estado de los metales pesados en suelos de los departamentos de mayor crecimiento de cacao en la Amazonía peruana. **In** XVI Congreso Nacional de la ciencia del suelo. Cuzco, Perú. 198p.

Arévalo, E. (2017). Situación actual del cadmio en el cultivo de cacao. Instituto de Cultivos tropicales ICT. In Reunión regional de investigaciones del cultivo de cacao. Tingo María, Huánuco. 135p.

Bonilla, *et al.,* (2002). "Presencia de cadmio en fertilizantes fosforados de diferente procedencia comercializados en chile". Revista SIMIENTE de la Sociedad Agronómica de Chile. Vol. 72 (1-2) enero-junio 2002. Pp.9-16.

Canessa, C. (2014). Futuros de cacao. Técnicas de trading. Boletín Informativo. Vol. 2. 12p.

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. 96p.

Clemens *et al.,* (2013). Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. Trends Plant Sci, 18(2), 93-99. doi:10.1016/j. tplants.2012.08.003.

Comisión Europea. (2013). Reglamento de modificación (EC) N° 1881/2006 en lo que respecta a los límites máximos de cadmio en los productos alimenticios.

COOPAIN. (2014). Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Área de producción. Contenido de cadmio (Cd) suelos cacaoteros, Naranjillo, Huánuco 2013-2014- análisis agronómico. Compilado de Huamaní, H. *et al.,* 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Tingo María, Perú. Acta agronómica. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco. Perú.

Cullen, J. y Maldonado, M. (2013). Biogeochemistry of cadmium and its release to the environment.115-210.

Fernández, V. (2016). Contenido de cadmio (Cd) en suelos cacaoteros bajo 3 niveles de manejo del cultivo en San Alejandro Distrito de Irazola – Provincia de Padre Abad – Departamento de Ucayali. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Perú. 105p.

FHIA. (2011). Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. Cacao y Agroforestería. Informe Técnico. Honduras. 15p.

García, C. (2010). Cultivares de Cacao del Perú. Lima, Perú. MINAGRI, DEVIDA (2014). Segunda Reimpresión, junio 2014. 108p.

García, P. y Azcona, M. (2012). “Los efectos del cadmio en la salud.” Espa. Med. Quir 17: 199-205.

Huamani, Y.; Huauya, R.; Mansilla, M.; Florida, N. & Neira, T. (2012). Presencia de Metales pesados en cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) Crop. ACTA AGRONÓMICA. 62 (4): 309-314.

IARC. (2012). A Reviiew of Human Carcinogens: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. Cadmium and Cadmium compounds. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum., 100C: 121-145.

ICCO. (2014). Organización Internacional del Cacao. Informe Anual 2007/08-2012/13. ICCO 2014. Londres, Reino Unido.

IICA. (2016). El cadmio en cacao – importancia, experiencias y soluciones.

INIAP Ecuador. (2016). Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao.

INIAP. (2012). Programa Nacional del cacao. “Rehabilitación de cacaotales tradicionales”. Boletín Técnico No. 150. Pp. 2-15.

Jiménez, C. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (Theobroma cacao): fantasía o realidad. Artículo de Revisión. Enero - Junio de 2015. Vol.10, No.1 - 89•104.

Kadow, D. (2015). Memoria de reunión: “Presencia de cadmio en cacao”. Publicado por Investiga Innova Cacao Chocolate. 28 de noviembre de 2015.

LMC International. (2012). Cocoa Sustainability. Oxford: LMC International.

Martínez, G. & Palacio, C. (2010). Tesis: determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 102p.

Mera, R. (2017). Manejo agronómico con énfasis en la nutrición de cultivos en el manejo de metales pesados en sistemas agrícolas. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas IPNI. **In** XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la Ciencia del Suelo. Ayacucho, Perú. 192p.

Ministerio de Agricultura de Chile. (2012). Análisis de antecedentes técnicos y regulaciones internacionales relativas a criterios de protección de calidad del suelo.

Morales, O. (2015). La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. Serie Gerencia para el Desarrollo 49. Lima, Perú. Universidad ESAN. 182p.

Panduro, K. (2011). Caracterización de la calidad de granos de cacao de los diferentes Clones del Semillero Interclonal, Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional de Ucayali. 56p.

SUNAT. (2015). Estadísticas de comercio exterior. www.sunat.gob.pe/estad-comExt/modelo_web/web_estadistica.htm.

Transmar Group. (2014). Situación y Perspectivas del Mercado Mundial de Cacao – Enfoque Américas. Marzo 2014.

UMA. (2013). Servicio de Espectrometría Atómica. Espectrometría de Absorción Atómica. Consultado 30 de nov. 2013.

Universal Taxonomic Services. (2010). “Taxon: Theobroma cacao Linnaeus-cocoa”. *www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14565/1/T-UCE-0004-A62-2018.pdf.*

Yadav, S. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany, 76(2), 167-179.

VIII. ANEXO.

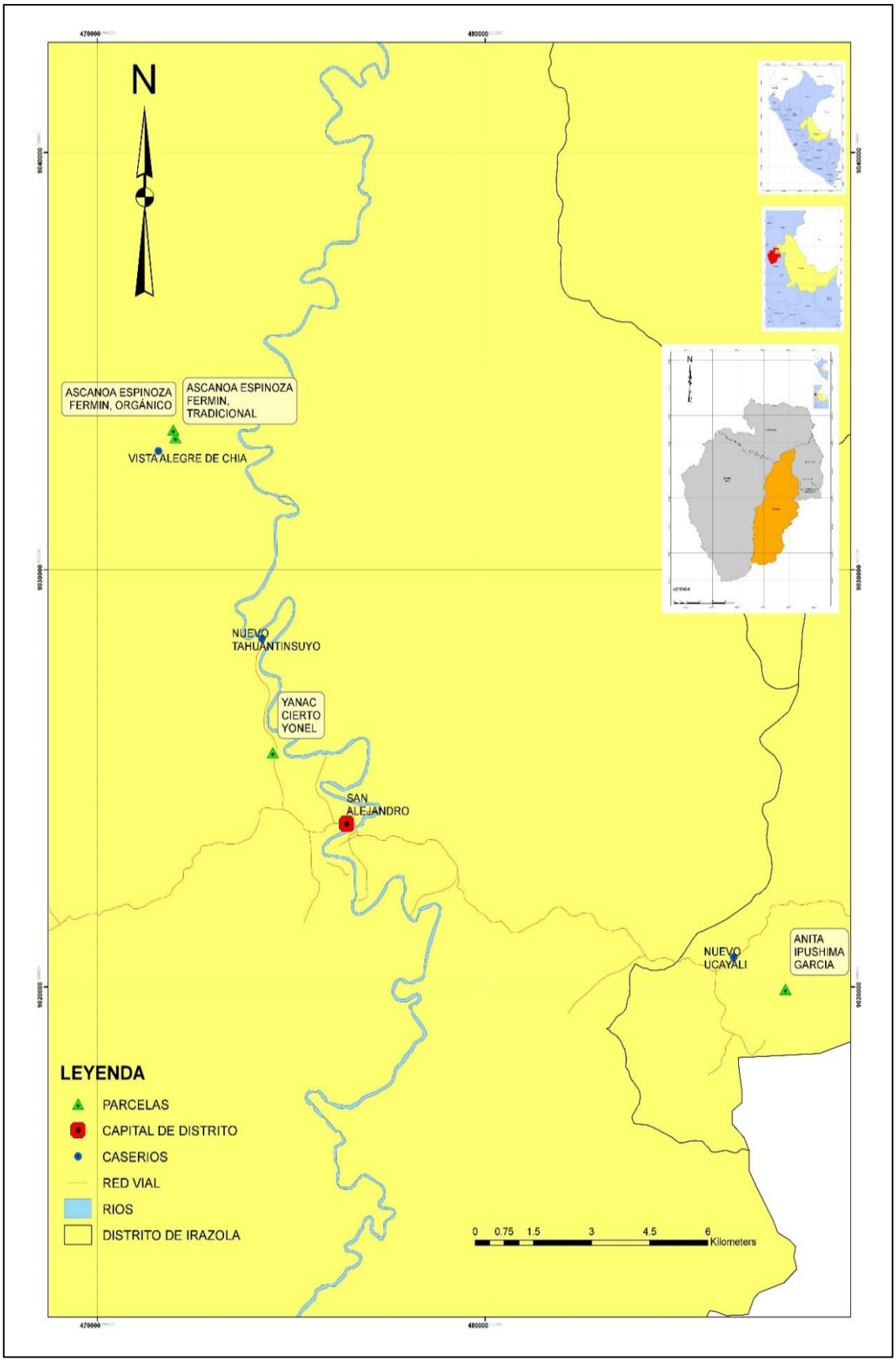
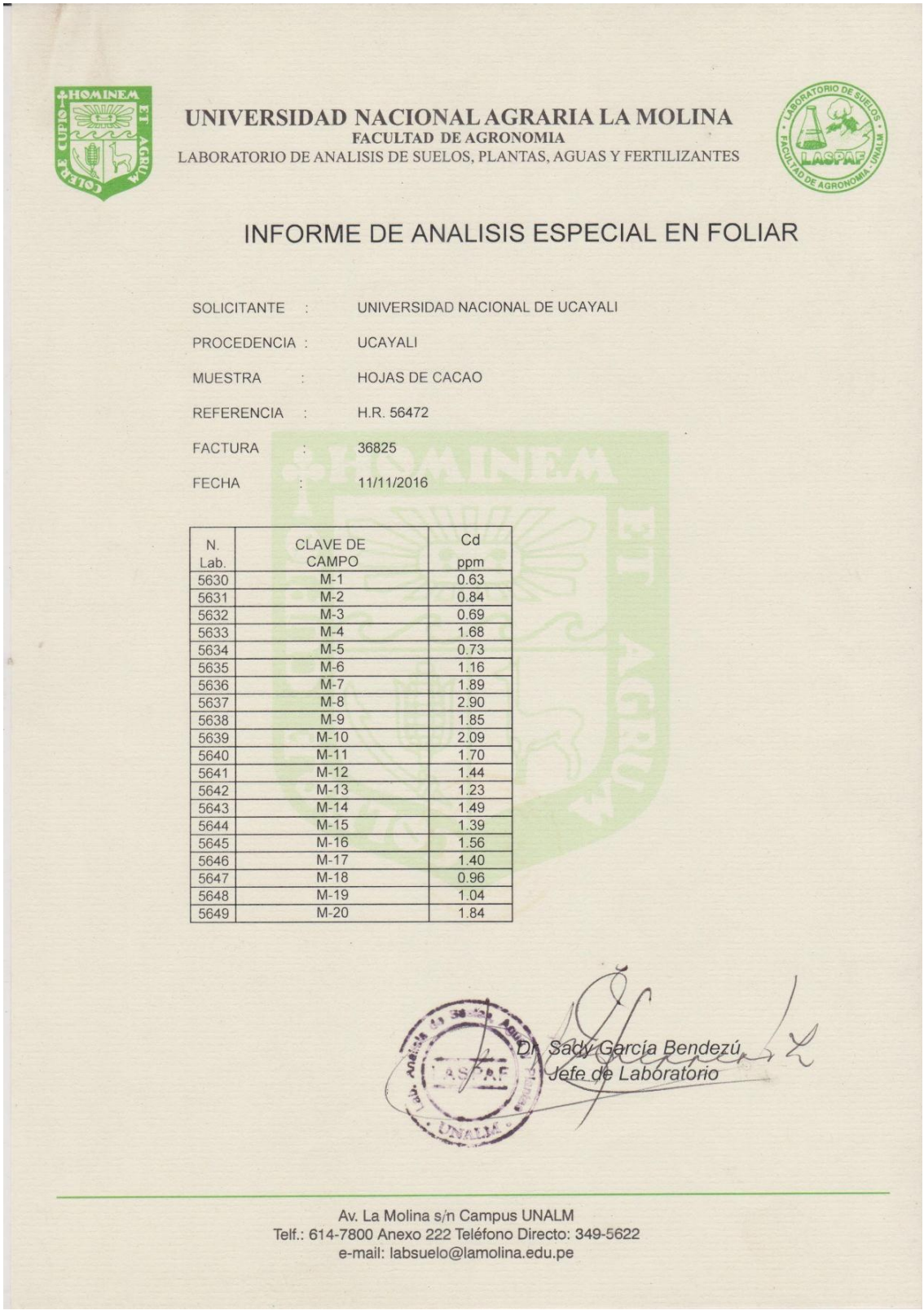


Figura 20. Mapa de ubicación de las parcelas experimentales, San Alejandro - Irazola - Padre Abad- Ucayali



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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
PROCEDENCIA : UCAYALI
MUESTRA : HOJAS DE CACAO
REFERENCIA : H.R. 56472
FACTURA : 36825
FECHA : 11/11/2016

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
5630	M-1	0.63
5631	M-2	0.84
5632	M-3	0.69
5633	M-4	1.68
5634	M-5	0.73
5635	M-6	1.16
5636	M-7	1.89
5637	M-8	2.90
5638	M-9	1.85
5639	M-10	2.09
5640	M-11	1.70
5641	M-12	1.44
5642	M-13	1.23
5643	M-14	1.49
5644	M-15	1.39
5645	M-16	1.56
5646	M-17	1.40
5647	M-18	0.96
5648	M-19	1.04
5649	M-20	1.84

Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

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

Figura 21. Resultados del análisis de tejido foliar para determinar el contenido de cadmio (Cd).

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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

PROCEDENCIA : UCAYALI

MUESTRA : HOJAS DE CACAO

REFERENCIA : H.R. 56472

FACTURA : 36825

FECHA : 11/11/2016

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
5650	M-21	0.89
5651	M-22	1.24
5652	M-23	0.73
5653	M-24	0.30
5654	M-25	0.94
5655	M-26	0.65
5656	M-27	0.90

Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

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

Cuadro 1A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en suelo por localidad.

Obs	bloq	trat	vr
1	1	1	1.00
2	1	2	0.69
3	1	3	0.93
4	2	1	0.81
5	2	2	0.85
6	2	3	0.93
7	3	1	0.90
8	3	2	0.75
9	3	3	0.86

Class Level Information		
Class	Levels	Values
Bloq	3	1 2 3
Trat	3	1 2 3
Number of observations	9	

Dependent Variable: vr					
	Sum of				
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.04231111	0.01057778	1.31	0.3993
Error	4	0.03224444	0.00806111		
Corrected Total	8	0.07455556			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.567511	10.46701	0.089784	0.857778

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.00215556	0.00107778	0.13	0.8786
Trat	2	0.04015556	0.02007778	2.49	0.1984

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.00215556	0.00107778	0.13	0.8786
Trat	2	0.04015556	0.02007778	2.49	0.1984

	Mean	N	trat
A	0.90667	3	3
A	0.90333	3	1
A	0.76333	3	2

	Mean	N	bloq
A	0.87333	3	1
A	0.86333	3	2
A	0.83667	3	3

Cuadro 2A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en hoja en el sistema químico.

Obs	bloq	trat	vr
1	I	1	0.63
2	I	2	1.68
3	I	3	1.89
4	II	1	0.84
5	II	2	0.73
6	II	3	2.90
7	III	1	0.69
8	III	2	1.16
9	III	3	1.85

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	3.59991111	0.89997778	3.33	0.1356
Error	4	1.08231111	0.27057778		
Corrected Total	8	4.68222222			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.768847	37.84590	0.520171	1.374444

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.10175556	0.05087778	0.19	0.8355
Trat	2	3.49815556	1.74907778	6.46	0.0558

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.10175556	0.05087778	0.19	0.8355
Trat	2	3.49815556	1.74907778	6.46	0.0558

Mean	N	trat
A	2.2133	3 3
B A	1.1900	3 2
B	0.7200	3 1

Sig	Mean	N	bloq
A	1.4900	3	II
A	1.4000	3	I
A	1.2333	3	III

Cuadro 3A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en hoja en el sistema orgánico.

Obs	bloq	trat	vr
1	I	1	2.09
2	I	2	1.23
3	I	3	1.56
4	II	1	1.70
5	II	2	1.49
6	II	3	1.40
7	III	1	1.44
8	III	2	1.39
9	III	3	0.96

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.54653333	0.13663333	2.39	0.2102
Error	4	0.22906667	0.05726667		
Corrected Total	8	0.77560000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.704659	16.24239	0.239305	1.473333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.21246667	0.10623333	1.86	0.2692
Trat	2	0.33406667	0.16703333	2.92	0.1655

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.21246667	0.10623333	1.86	0.2692
Trat	2	0.33406667	0.16703333	2.92	0.1655

Sig	Mean	N	trat
A	1.7433	3	1
A	1.3700	3	2
A	1.3067	3	3

Sig	Mean	N	bloq
A	1.6267	3	I
A	1.5300	3	II
A	1.2633	3	III

Cuadro 4A. ANVA para contenido de cadmio (Cd) en hoja en el sistema tradicional.

Obs	bloq	trat	vr
1	I	1	1.04
2	I	2	1.24
3	I	3	0.94
4	II	1	1.84
5	II	2	0.73
6	II	3	0.65
7	III	1	0.89
8	III	2	0.30
9	III	3	0.90

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.72117778	0.18029444	0.99	0.5047
Error	4	0.73017778	0.18254444		
Corrected Total		8	1.45135556		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.496899	45.07936	0.427252	0.947778

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.28375556	0.14187778	0.78	0.5186
Trat	2	0.43742222	0.21871111	1.20	0.3911

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bloq	2	0.28375556	0.14187778	0.78	0.5186
Trat	2	0.43742222	0.21871111	1.20	0.3911

Sig	Mean	N	trat
A	1.2567	3	1
A	0.8300	3	3
A	0.7567	3	2

Sig	Mean	N	bloq
A	1.0733	3	I
A	1.0733	3	II
A	0.6967	3	III



Figura 22. Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA).



Figura 23. Parcela de cacao manejada bajo un sistema orgánico.



Figura 24. Parcela de cacao manejada bajo un sistema químico.



Figura 25. Parcela de cacao manejada bajo el sistema tradicional.



Figura 26. Recolección de muestras de hojas de cacao y su posterior embolsado.



Figura 27. Secado y molienda de muestras de hojas de cacao.