UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

"CONTENIDO DE CADMIO (Cd) EN SUELOS CACAOTEROS BAJO 3 SISTEMAS DE MANEJO DEL CULTIVO EN SAN ALEJANDRO DISTRITO DE IRAZOLA - PROVINCIA DE PADRE ABAD – DEPARTAMENTO DE UCAYALI".

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÓNOMO

BLITO PAOLI FERNÁNDEZ VELÁSQUEZ

PUCALLPA - PERÚ

2018

DEDICATORIA.

A JEHOVA de los ejércitos por todas las bendiciones que me permite disfrutar, por su protección, cariño y amor a quien le estoy agradecido con todo el corazón, y por el éxito logrado en la ejecución de esta tesis, por estar siempre presente para mí y porque las cosas se dan conforme a su perfecta voluntad, porque tiene planes de bien para mí, de bendición y no de maldición.

A mis padres Abraham y Victoria Fernández, 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 toda mi familia por ser ese refugio de protección y amor.

AGRADECIMIENTO.

- A la Universidad Nacional de Ucayali y docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, por la invalorable contribución social y científica.
- Al Ing. Antonio López Ucariegue M. Sc., asesor principal de la tesis, por la esmerada orientación, enseñanza, y comprensión durante el desarrollo de la investigación.
- Al Fondo de Desarrollo Socio-económico de Camisea (FOCAM) por el aporte financiero para el desarrollo de la tesis.
- A la Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA), por el grato apoyo técnico valioso aportado para el trabajo.
- Al Ing. Efraín Mayer Coronado Naldos afiliado a ACATPA que gustoso accedió a aportar sus valiosos conocimientos y sabios consejos al trabajo de investigación.
- Al Tec. Juan Wicman Huaycama Murayari, por el valioso aporte de conocimientos de trabajo en laboratorio durante todo el periodo que duró las actividades.
- Al Lic. William Panduro y Dina Reyes de Panduro, por ser de inspiración y motivación para concluir con éxito este proyecto.
- A la Dra. Soledad Coloma Pavez, quien insistentemente propuso el reto de terminar este proyecto y tener un logro más.
- A mi hermana Andrea Fernández, por su apoyo y por creer que sí lograría la meta.
- A todas las personas que contribuyeron en la realización de esta tesis.

ACTA DE APROBACIÓN.

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

Dr. Fernando Pérez Leal …….
Presidente

Dr. Carlos Panduro Carbajal …….
Secretario

M. Sc. Glendy Sánchez Sunción ..……
Miembro

M. Sc. José Antonio López Ucariegue …….. ……..
Asesor

Bach. Blito Paoli Fernández Velásquez ……..
Tesista

ÍNDICE.

Pág.

RESUMEN……. viii

LISTA DE CUADROS……. xii

LISTA DE FIGURAS…… xiv

I. INTRODUCCIÓN…….. 1

II. REVISIÓN DE LITERATURA……. 4

2.1. Generalidades sobre metales pesados…… 4

2.2. El cadmio…… 5

2.3. Fuentes de contaminación por metales pesados…….…… 6

2.3.1. En la agricultura……..….. 6

2.3.2. Lodos de aguas residuales……..…. 7

2.3.3. Quema de combustibles fósiles……..….. 7

2.4. Capacidad de retención de metales pesados en el suelo…… 8

2.5. Vías de contaminación por cadmio (Cd)……..…. 10

2.6. Características de los suelos en tipos y pH……..…… 12

2.6.1. Textura del suelo…… 12

2.6.2. pH en los suelos…… 13

2.7. Materia orgánica…… 15

2.7.1. Materia orgánica oxidable……. 17

2.8. Biodisponibilidad de metales pesados……..... 17

2.9. Contenido de metales pesados admisibles en los alimentos

Según Europa…… 18

2.10. Efectos del cadmio en la salud humana……..…. 19

2.11. Espectrofotómetro de absorción atómica……. 20

2.11.1. Determinación de metales pesados mediante el método de espectrofotometría de Absorción Atómica…… 20

2.12. Cultivo de CACAO *(Theobroma cacao L*.)…… …. 22

2.12.1. Origen y distribución geográfica…… 22

2.12.2. Clasificación taxonómica…….. 22

2.12.3. Producción…….. 23

2.12.4. Contaminación y límites permisibles del cultivo de Cacao Por metales pesados en el mundo…….. 24

2.12.5. Importancia del cultivo…….…..... 24

2.12.6. Sistemas de manejo del cultivo de cacao…… 25

III. MATERIALES Y MÉTODOS……..…….. 33

3.1. Ubicación y duración del trabajo experimental……..…… 33

3.2. Características climáticas…… 33

3.3. Materiales y equipos…… 34

3.4. Población y muestra…… 35

3.5. Procesamiento de datos……..…… 38

3.6. Diseño experimental…… 39

3.7. Ejecución del experimento…….. 41

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN…….……. 50

4.1. Resultados…… 50

V. CONCLUSIONES……. 56

VI. RECOMENDACIONES…….…….. 57

VII. LITERATURA CITADA……..…….. 58

VIII. ANEXO……..…… 63

IX. ICONOGRAFÍA……. 76

RESUMEN.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el contenido de cadmio en suelos cacaoteros bajo tres sistemas de manejo del cultivo. El trabajo se realizó en conjunto con la Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA) ubicados en la localidad de San Alejandro, Padre Abad, Ucayali.

Se empleó el diseño de bloques completamente al azar, con tres tratamientos (que es la interacción de sistemas x profundidades), tres sistemas de manejo de cacao, que comprenden S1= sistema convencional; S2= sistemas orgánico; S3= sistema tradicional y tres profundidades de muestreo de suelo, que son p1=0-10cm; p2=10-20cm y p3=20- 40cm.

En los tres sistemas de manejo de cacao evaluados, se encontró que a menor profundidad de muestreo de suelo, existe mayor contenido de cadmio (corroborándose lo mencionado por Arévalo, 2014).

Asimismo los valores de cadmio encontrados en el suelo por cada sistema de manejo de cacao evaluados (S1=0,39 ppm, S2=0,52 ppm y S3=0,54 ppm) son superiores, respecto al valor máximo permisible según Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014.

Los valores de cadmio estadísticamente significativos (∞=0.05), se presentaron en los primeros 10cm del suelo, independientemente del sistema de manejo de cacao evaluado.

Se concluye que, en los suelos de los tres sistemas de manejo de cacao evaluados, los sistemas orgánico y tradicional presentaron mayor contenido de cadmio total, con valores s2=0,52ppm y s3=0,54ppm respectivamente, que

son superiores al valor máximo permisible mencionado por Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014.

La superficie de los suelos evaluados es el lugar de mayor acumulación de cadmio, siendo los primeros 10cm de suelo, donde se concentraron los valores superiores al valor máximo permisible como lo menciona Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014.

En las interacciones de sistemas de manejo de cacao por profundidad de muestreo de suelo, los mayores valores de cadmio fueron encontrados en los primeros 10cm de suelo para todos los sistemas evaluados, siendo el sistema de manejo de cacao tradicional, el que más alto contenido de cadmio revelo en sus valores.

De los datos adicionales evaluados se concluye que existe una Correlación negativa entre pH y cadmio (-0,11); porque cuando hay menos niveles de pH (ácidos) hay mayor contenido de cadmio en el suelo.

ABSTRACT.

The objective of this research work was to determine the content of cadmium in cocoa soils under three crop management systems. The work was carried out in conjunction with the Association of Technical Covered Sugarcane of Father Abad (ACATPA) located in the town of San Alejandro, Padre Abad, Ucayali.

The block design was used completely at random, with three treatments (which is the interaction of systems x depths), three cocoa management systems, comprising s1 = conventional system; s2 = organic systems; s3 = traditional system and three soil sampling depths, which are p1 = 0-10cm; p2 = 10-20cm and p3 = 20-40cm.

In the three systems of cocoa management evaluated, it was found that at a lower depth of soil sampling, there is higher cadmium content (corroborated by Arévalo, 2014).

Likewise, the values of cadmium found in the soil for each cocoa management system evaluated (s1 = 0.39 ppm, s2 = 0.52 ppm and s3 = 0.54 ppm) are higher than the maximum value allowed by the Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014

Statistically significant cadmium values (∞ = 0.05) were found in the first 10 cm of the soil, independently of the evaluated cocoa management system.

It is concluded that, in the soils of the three systems of cocoa management evaluated, the organic and traditional systems had a higher content of total cadmium, with values s2 = 0.52ppm and s3 = 0.54ppm respectively, which are

higher than the maximum value allowable mentioned by Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014.

The surface of the evaluated soils is the place of greater accumulation of cadmium, being the first 10cm of soil, where the values above the maximum permissible value were concentrated, as mentioned by Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014.

In the interactions of cocoa management systems by depth of soil sampling, the highest values of cadmium were found in the first 10 cm of soil for all the evaluated systems, being the traditional cocoa management system, the one with the highest content of Cadmium revealed in its values.

From the additional data evaluated it is concluded that there is a negative correlation between pH and cadmium (-0.11); because when there are less pH levels (acids) there is a higher cadmium content in the soil.

LISTA DE CUADROS.

		Pág.
Cuadro 1.	Características del cadmio (Cd)……..…	5
Cuadro 2.	pH en los suelos……..……	15
Cuadro 3.	Nivel y clasificación de materia orgánica en los suelos…	16
Cuadro 4.	Distribución de cadmio en los suelos..……	16
Cuadro 5.	Interpretación de materia orgánica…….	17
Cuadro 6.	Límite máximo de metales pesados en el suelo en ppm, según Ley Federal Alemana ……..……..	18
Cuadro 7.	Contenido máximo admisible de metales pesados en productos nutricionales en humanos según Europa…….	19
Cuadro 8.	Interpretación de fosforo asimilable…….	29
Cuadro 9.	Interpretación de potasio……	31
Cuadro 10.	Croquis de distribución de las parcelas……..	36
Cuadro 11.	Tratamientos en estudio……	39
Cuadro 12.	Esquema del análisis de varianza (ANVA) del estudio de contenido de Cadmio(Cd) en suelos cacaoteros bajo 3 niveles de manejo del cultivo en distrito de Irazola - Padre Abad - Ucayali……..	41
Cuadro 13.	Especificaciones básicas del equipo…….	44
Cuadro 14.	Promedio del contenido de cadmio (Cd) en ppm obtenido de tres sistemas de manejo del cultivo de cacao a tres profundidades de muestreo de suelo de la localidad de San Alejandro, distrito de Irazola, provincia	

de Padre Abad, departamento de Ucayali……. 50

Cuadro 15. Cadmio (ppm) bajo 3 sistemas…… 51

Cuadro 16. Cadmio (ppm) en 3 profundidades…… 52

Cuadro 17. Interacción sistemas x profundidad en el contenido de cadmio (ppm) en el suelo……. 53

Cuadro 18. Historia de croquis del área de evaluación por caseríos……. 66

Cuadro 19. Productores de cacao de la provincia de Padre Abad asociados a ACATPA. (Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad) seleccionados para la toma de muestras de suelo de sus parcelas a tres profundidades..... 67

Cuadro 20. Resultados del análisis de suelo para determinar cadmio (Cd)…… 68

Cuadro 21. Resultados de análisis de suelo……. 69

Cuadro 22. Correlación de Pearson para cadmio (Cd) / pH…… 70

LISTA DE FIGURAS.

		Pág.
Figura 1.	Asimilación de metales pesados a la planta……..	11
Figura 2.	Triángulo de textura del suelo……..…	13
Figura 3.	Dimensiones de una unidad experimental……..…	37
Figura 4.	Cadmio (ppm) bajo tres sistemas……..	51
Figura 5.	Cadmio (ppm) a tres profundidades……..	53
Figura 6.	Interacción sistemas por profundidad en contenido cadmio……..	54
Figura 7.	Área de trabajo Irazola-Padre Abad-Ucayali…….……	64
Figura 8.	Vista geográfica del área de trabajo San Alejandro…….	65
Figura 9.	Croquis del área de evaluación por caseríos……	66
Figura 10.	Datos comparativos sobre la alta Significación Estadística existente entre los valores de pH…….	70
Figura 11.	Datos comparativos sobre la alta Significación Estadística existente entre los valores de Cadmio…….	70
Figura 12.	Vías de entrada a las parcelas de cacao, distrito de Irazola……	77
Figura 13.	Parcela de cacao, distrito de Irazola……..	77
Figura 14.	Familia productora de cacao…….……..	78
Figura 15.	Limpieza y medición del terreno para construir una calicata……	78
Figura 16.	Preparacion de calicata para muestras de suelo……...	79
Figura 17.	Tumba, roso y quemas extensas de bosques dentro	

del área de las parcelas de cacao……. 79

Figura 18. Residuos de cenizas de la quema…….. 80

Figura 19. Zona de arrojo de basura en la entrada a las parcelas de cacao…….. 80

Figura 20. Secado y preparación de muestras de suelo…… 81

Figura 21. Materiales y equipos de laboratorio empleados para la preparación de muestras para ser enviados a un laboratorio certificado…… 81

Figura 22. Pesado de muestras de suelo……..... 82

Figura 23. Embolsado de muestras de suelo…….. 82

Figura 24. Pesado de suelo más catalizador y llenado de balones para detrminación de nitrógeno (N)…… 83

Figura 25. Quemando las muestras de suelo en equipo Kjedhal agregando ácido sulfúrico……. 83

Figura 26. Destilando el resultado obtenido en el equipo Kjedhal, agregando ácido ascórbico al 4%..... 84

Figura 27. Colocando bicarbonato líquido más suelo en los vasos de precipitado, para determinación de fósforo (P)…… 84

Figura 28. Filtración de mezcla de bicarbonato más suelo y resultado líquido de filtro en los tubos de ensayo……..... 85

Figura 29. Realizando la lectura de los resultados líquidos en el espectrofotómetro de luz visible…….. 85

Figura 30. Presentación de lectura de fósforo (P) mediante la curva estándar……. 86

Figura 31. Mezclando bicarbonato líquido más suelo para

determinación de potasio (K)……..... 86

Figura 32. Filtrando y llenando los tubos de ensayo con la solución líquida filtrada…….. 87

Figura 33. Resultado líquido de filtro en laboratorio para lectura de potasio (K)…….. 87

I. INTRODUCCIÓN.

El cacao (*Theobroma cacao L*), es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del Sur; sus almendras constituyen el insumo básico para la industria del chocolate y sus derivados.

Las exportaciones de cacao en grano o partido en Febrero 2012 alcanzan los USD FOB 1,69 millones frente a los USD FOB 1,30 millones del mismo período del 2011. En el mes de Febrero 2012 se exportaron 674 toneladas métricas de cacao en grano, a un precio promedio de USD FOB 2,52 por kilo frente a USD FOB 3,42 por kilo en el mismo periodo del año 2011, como se observa actualmente el Perú, es uno de los mayores exportadores de cacao orgánico hacia: Holanda, Suiza, Bélgica, Francia, Italia, entre otros; estos mercados son muy exigentes en calidad, atributos tecnológicos y medioambientales de las almendras de cacao. Así con relación al contenido de metales pesados con tenores permisibles son de 0,5 ppm de cadmio (Cd). (Organización Mundial de la Salud, Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2014).

Es así que en año 2011, la empresa chocolatera alemana GEPA, advirtió a la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo que solo comprarían cacao en grano con 0,3 ppm de cadmio y en casos extremos puede ser de 0,5 ppm (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

Debido a que los metales pesados causan daños a la salud, estos se acumulan en órganos del cuerpo humano, provocando la aparición de enfermedades, y en muchos casos, la muerte. (Perú Ecológico, 2012).

El cadmio y el plomo se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de minerales, de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomados de ellas por el ser humano, lo que constituye un riesgo potencial para la salud (Prieto, *et al.,* 2009).

La planta de cacao absorbe metales pesados del suelo y los concentra en las semillas (Augstburger, *et al.,* 2000).

La Unión Europea establece que en suelos agrícolas las máximas concentraciones totales permitidas de metales pesados es 3 ppm en el caso del cadmio, mientras que para el plomo es 300 ppm (Acevedo, 2005).

El cultivo de cacao viene registrando un marcado dinamismo y tiene perspectivas favorables para consolidarse en la región. Así, entre el 2000 y 2010 la producción aumentó de 400 a 1 000 toneladas métricas, tanto por el incremento de la superficie cosechada como por el rendimiento, debiendo destacarse que este último supera en 50 por ciento el promedio nacional. (Encuentro Económico Regional Ucayali, 2012)

La Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad, ubicada en la localidad de San Alejandro, Distrito de Irazola, Provincia de Padre Abad, tiene 8 años de actividad y está conformada por 361 productores, de los cuales el 64% posee certificación orgánica. La Asociación cuenta con 980 Ha en producción y 1500 Ha en crecimiento, y espera producir 450 toneladas métricas en el presente año. (Encuentro Económico Regional Ucayali, 2012)

La promoción del gobierno por acrecentar las áreas del cultivo de cacao ha despertado aún más el interés por la comercialización internacional de

nuestros productores, pero para lograr tal fin es necesario poder contar con productos que superen la valla de la calidad exigida por el mercado internacional en cuanto a los niveles de cadmio permitidos en los granos, que tienen incidencia en ser absorbidos por la planta, del suelo, en el que se encuentran y del manejo que recibe de parte de los mismos productores. Por lo que los objetivos de la presente investigación fueron los siguientes:

General:

- Determinar el contenido de cadmio en suelos cacaoteros bajo 03 sistemas de manejo del cultivo en san Alejandro, Distrito de Irazola, Provincia de Padre Abad.

Específicos:

- Determinar el contenido de cadmio en suelos cacaoteros bajo el Sistema de Manejo Tradicional.
- Determinar el contenido de cadmio en suelos cacaoteros bajo el Sistema de Manejo Orgánico.
- Determinar el contenido de cadmio en suelos cacaoteros bajo el Sistema de Manejo Químico o Convencional.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. GENERALIDADES SOBRE METALES PESADOS.

Metales Pesados:

La tabla periódica incluye unos 70 elementos metálicos, y de ellos 59 pueden ser considerados “metales pesados”, que son aquellos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol).

Estrictamente, y desde el punto de vista químico, los metales pesados están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el arsénico y selenio. Estos elementos tienen una gravedad específica significativamente superior a la del sodio, calcio, y otros metales ligeros. Por otro lado, estos elementos se presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua (Galán y Romero, 2004).

Una forma opcional de nombrar a este grupo es como “elementos tóxicos”, los cuales, de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a los siguientes elementos: Arsénico, cadmio, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, mercurio, titanio, selenio y plomo (Galán y Romero, 2004).

Los metales pesados debido a su fuerte resistencia a la degradación natural, conservan por mucho tiempo su carácter toxico. Por lo tanto, resulta de vital importancia mantener bajo control la concentración de los metales en el medio ambiente, y de modo específico la de los metales pesados. Entre los metales que tradicionalmente están considerados más tóxicos y dañinos para la salud así como fuertemente relacionados con actividades industriales y de

combustión cabe destacar: el cadmio, aluminio, zinc, plomo y mercurio. (Galán y Romero, 2004).

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 (Madeddu, 2005).

Cuadro 1. Características del cadmio (Cd)

Nombre	Cadmio
Número atómico	48
Valencia	2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,7
Radio covalente (Å)	1,48
Radio iónico (Å)	0,97
Radio atómico (Å)	1,54
Configuración electrónica	$[Kr]4d^{10}5s^2$
Primer potencial de ionización (eV)	9,03
Masa atómica (g/mol)	112,40
Densidad (g/ml)	8,65
Punto de ebullición (ºC)	765
Punto de fusión (ºC)	320,9
Descubridor	Fredrich Stromeyer en 1817

Fuente Maddedu, 2005.

Naturalmente el cadmio existe en el suelo en promedios de <1 ppm,,, asociado al Zinc , la principal especie de cadmio en la solución del suelo es Cd^{2+} aunque también puede formar los siguientes iones complejos: $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$, $CdCl_3^{-}$, $CdCl_4^{2-}$, $Cd(OH)_3^{-}$ y $Cd(OH)_4^{2}$ 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 (Alloway, 1995).

Casi todo el cadmio se obtiene como subproducto en el procesado de minerales de zinc, cobre y plomo. El cadmio es componente de algunas de las aleaciones de más bajo punto de fusión. Se emplea mucho en recubrimientos de acumuladores y rectificadores. También en muchos tipos de soldadura, baterías de níquel-cadmio recargables y reactores nucleares. Su óxido, hidróxido y cloruro se usa en galvanotecnia, su sulfuro como pigmento amarillo, los silicatos y boratos se emplean en los tubos de TV color, etc. (Jiménez, 2003).

2.3. FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.

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.

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)

Fuente: Alloway 1995, citado por Saavedra (2002).

Los cultivos en nuestro país utilizan regularmente fertilizantes y/o guano (excremento de animales como: cabra, vaca, aves) y en pocos casos se usa el compost (derivado de desechos vegetales) en el manejo de los mismos. Estos insumos agrícolas pueden ser fuentes potenciales de metales en cantidades apreciables. Se debe considerar aquellos insumos que acidifican el suelo, como por ejemplo los superfosfatos, ya que esto facilita la movilidad y bio-viabilidad de los metales pesados (Calderón y Concha, 2000).

2.3.2. Lodos de aguas residuales.

Estos lodos son el resultado del tratamiento de aguas residuales, ya sean domestica e industriales, y que se extraen de las lagunas de estabilización. Estos lodos se producen en grandes cantidades por todo el mundo. Estos lodos dada su procedencia, materia orgánica, son ricos en nutrientes para la planta, pero se han determinado en diferentes partes del mundo que contienen metales pesados en cantidades considerables (Calderón y Concha, 2000).

El problema de los metales en las aguas residuales deriva de la no separación de las aguas residuales domésticas y de las aguas residuales industriales, por lo que esta agua se sobrecargan de estos componentes sobretodo donde existen industrias generadoras de este tipo de contaminantes (Saavedra, 2002).

2.3.3. Quema de combustibles fósiles.

En general, la quema de combustibles fósiles resulta en la deposición de un amplio rango de metales pesados, los cuales pueden incluir.

Pb, Cd, Cr, Zn, As, Sb, Se, Ba, Cu, Mn y V, sobre una amplia área. No todos estos elementos están en concentraciones significativas en los combustibles fósiles. Los metales contenidos en el petróleo y sus derivados son emitidos al medio ambiente durante la combustión en forma de partículas aerotransportadas o acumuladas en las cenizas, las cuales pueden migrar y contaminar suelo o agua, o pueden ser lixiviadas *in situ*. Alloway (1995), citado por Saavedra (2002).

La combustión de gasolinas que contienen aditivos de plomo han sido las fuentes más importantes de metales en el medio ambiente, según Albert (1999) más del 50% de la producción mundial de plomo es utilizada en la industria automotriz (para la fabricación de baterías en relación con el cadmio) y la producción de compuestos antidetonantes derivados del tetra etilo (Calderón y Concha, 2000).

2.4. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE METALES PESADOS EN EL SUELO.

Los metales pueden llegar a la planta ya sea del suelo, del agua de riego o del aire. La planta tiene básicamente dos vías de comunicación con el medio ambiente la primera y la de mayor importancia, es que la planta recibe la mayor parte de los nutrientes necesarios para su desarrollo del suelo. En segundo lugar se encuentra la atmósfera, que es por donde recibe algunos nutrientes, la radiación solar, etc. La planta se comunica con el suelo a través de la raíz, específicamente por una capa superficial llamada rizósfera (1 – 2 mm), que es una parte muy activa desde el punto de vista biológico. Es a través de esta capa que la planta absorbe tanto los nutrientes como los

contaminantes que se encuentran disponibles en la solución del suelo. La comunicación de la planta con la atmósfera se realiza mediante las hojas, exactamente a través de las estomas, que son diminutos conductos por los que se realiza un intercambio tanto de la planta hacia la atmósfera como de la atmósfera hacia la planta (Calderón y Concha, 2000).

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

Los factores que afectan las cantidades de metales absorbidos por las plantas son: la concentración y tipo de metal que se encuentra en la solución del suelo, el transporte desde la superficie de la raíz hasta la raíz misma (a través de la rizósfora) y su translocación de la raíz a los brotes de la planta. La absorción de los metales pesados por la planta puede ser pasiva o activa o la combinación de ambas. La pasiva (no metabólica) involucra difusión de iones de la solución del suelo hacia la endodermis de la raíz. La activa tiene lugar en

contra del gradiente de concentración por lo que requiere energía metabólica y puede por lo tanto ser inhibida por toxinas (Saavedra, 2002).

2.5. 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. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

Las vías de contaminación al humano son:

- Aire- alimentos
- Agua- alimentos
- Suelo- planta- animal- alimentos
- Suelo- vegetal (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

Otros factores que incrementan los metales pesados son:

- 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. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

El cadmio se encuentra más en:

- Esta más concentrado en suelos arcillosos y pizarrosos.
- Se concentra más en suelos de pH bajos.
- Los depósitos sedimentarios originados, muestran una elevada concentración de cadmio. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014)



Fuente (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014)

Figura 1. Asimilación de metales pesados a la planta.

2.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EN TIPOS Y pH.

2.6.1. Textura del suelo.

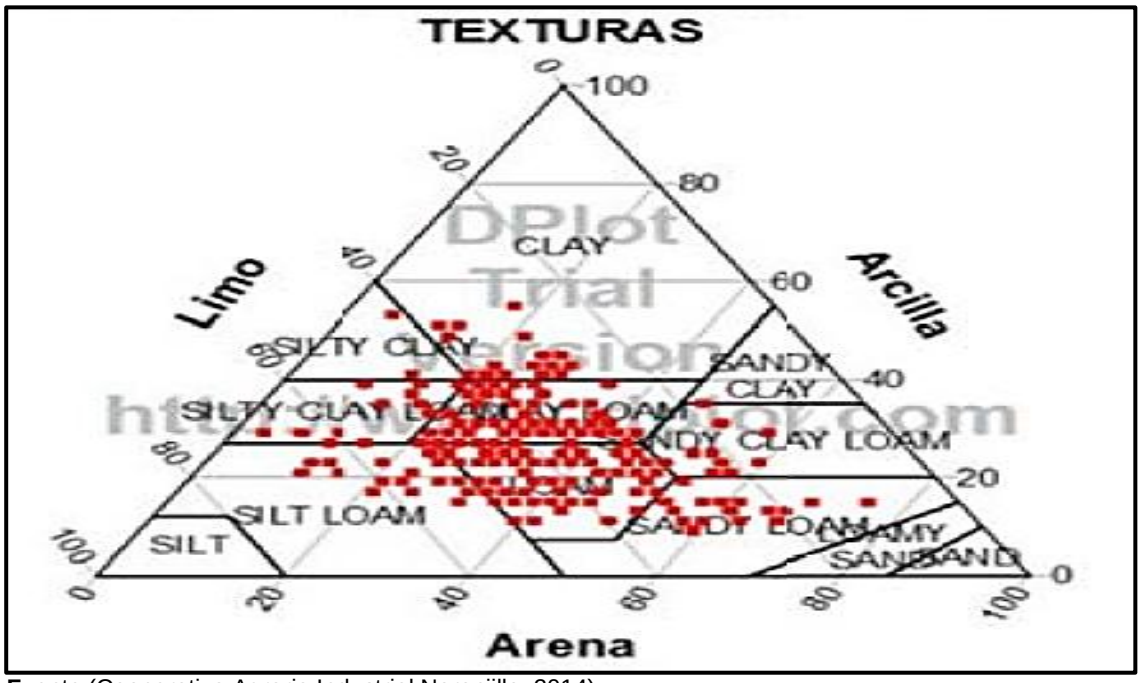
En la amazonia peruana los suelos son abundantes, ocupan las 2 terceras partes del territorio y la textura depende de la proporción de partículas minerales de diversos tamaños presentes en el suelo. La mayor parte de los suelos amazónicos son pobres en nutrientes y tienen un bajo potencial de retención, en especial en lo referente al calcio, al potasio y al fosforo. Sin embargo, sobre los suelos pobres crece una tupida vegetación, lo que ha llegado a confundir a muchos, porque se supone “que debajo de un bosque ubérrimo existen suelos fértiles”. Sin embargo la verdad es todo lo contrario. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

El cacao está instalado en el Perú en dos regiones que son:

Región acrisólica: En las partes medias e inferiores de la selva alta entre 500 y 2,800 msnm. Comprende algunos valles con buenos suelos. Predominan suelos profundos, de tonos amarillos y rojizos con buen drenaje (acrisoles) y arcillosos muy profundos (nitosoles). Hacia la selva baja aparecen suelos arcillosos ácidos y con fierro (acrisoles plinticos). En las pendientes los suelos son rocosos (litosoles).En los fondos de los valles los suelos son aluviales (fluvisoles), a veces con mal drenaje (gleisoles) y suelos arcillosos (vertisoles).

Región acrisolica ondulada: En la selva baja. Hay suelos rojos y amarillos, ácidos y de baja fertilidad natural (ultisoles), jóvenes de perfil poco diferenciado (entisoles), jóvenes con diferenciación en horizontes (inceptisoles),

mal drenados (aguajales), moderadamente fértiles y bien drenados (alfisoles, vertisoles, molisoles), muy infértiles arenosos (spodosales) de arenas blancas. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014)



Fuente (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

Figura 2. Triángulo de textura del suelo

2.6.2. pH en los suelos.

El pH es uno de los parámetros más importantes que influyen en la fertilidad del suelo. Indica si contiene niveles tóxicos de aluminio y plomo, si es bajo el contenido de elementos básicos como el calcio y el magnesio, y si se le puede regular con la adición de sustancias como el óxido de calcio. La disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH. Conociendo el valor de pH del suelo es posible diagnosticar problemas de nutrientes para un buen desarrollo de las plantas. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

La función del pH es similar al de una batería. Requiere de un electrolito para trabajar. La cantidad de sal en el suelo varía cada año y también con las estaciones, por lo que los valores de pH también se modifican. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

Todas las plantas son afectadas si existen valores extremos de pH, pero hay una variación tolerable a su acides o alcalinidad. Algunas plantas crecen apropiadamente en un amplio rango de valores de pH, mientras otras son muy sensibles a pequeñas variaciones. La actividad microbiana en el suelo también se afecta por el valor de pH. La mayor actividad ocurre a valores de pH en el rango de 5 a 7, fuera de este rango, algunas bacterias nitrificantes morirán. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

La disponibilidad de nutrientes para la planta depende de los valores de pH. De este modo, a un pH bajo, elementos básicos como el molibdeno (Mo), fosforo (P), magnesio (Mg) y calcio (Ca) están menos disponibles. Otros elementos como el aluminio (Al), el fierro (Fe) y el manganeso (Mn) pueden alcanzar niveles que pueden ser tóxicos para las plantas. Por lo tanto el conocimiento del pH del suelo y de la toxicidad de algunos elementos es esencial para lograr una producción de máxima eficiencia. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

También se puede clasificar de la siguiente manera:

Cuadro 2. pH en los suelos.

Escala	pH	Grado	Porcentaje
de 3,8 a 4,29	Acidez muy fuerte	6	2%
de 4,3 a 5,1	Acidez fuerte	102	41%
de5,12 a 6,00	Acidez media	91	37%
de 6,01 a 6,24	Acidez moderada	10	4%
de 6,3 a 6,9	Acidez ligera	17	7%
de 7,00 a 7,15	Neutralidad	13	5%
de 7,2 a 7,4	Alcalinidad Ligera	8	3%
de 7,41 a 8,0	Alcalinidad moderada	0	0%
de 8,01 a 9,00	Alcalinidad fuerte	0	0%

Fuente (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

2.7. MATERIA ORGÁNICA.

Constituido por microorganismos, restos de vegetales y animales en diferentes grados de descomposición. Como consecuencia de la actividad biológica que se desarrolla en el suelo la M.O. fresca se descompone en dos procesos de biodegradación que se realiza simultáneamente y cuyo resultante determinará el equilibrio húmico del suelo. En el primer proceso de degradación la M.O. fresca se transforma en humus, y el segundo proceso de evolución lenta el humus se desaparece al convertirse en elementos minerales CO_2, el primer proceso se denomina humificación y el segundo se denomina mineralización. La materia orgánica tiene funciones muy importantes en el suelo y en general, en el desarrollo de una agricultura acorde con las necesidades de preservar el medio ambiente y a la vez, más productiva. Para ello es necesario partir del conocimiento de los procesos que tienen lugar en el suelo (ciclo de nutrientes) y de la actividad biológica del mismo, con el fin de establecer un control de la nutrición, del riego y del lavado de elementos

potencialmente contaminantes como el Cadmio (Cd). (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014)

A modo indicativo, se citan a continuación todas las propiedades y los efectos de la materia orgánica sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo: En trabajos realizados anteriormente se recomendó aplicar materia orgánica en los suelos con problemas de contaminación de Cadmio (Cd), ya que las propiedades de estos disminuyen la absorción del metal por las plantas y le brinda una mayor nutrición. (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

Cuadro 3. Nivel y clasificación de materia orgánica en los suelos.

NIVEL	CLASIFICACIÓN
< de 3	BAJO
3,5 a 5,0	MEDIO
> de 5	ALTO

Fuente (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

Cuadro 4. Distribución de cadmio en los suelos, el rango aceptado como apropiado (ppm) es el siguiente:

Elemento	Deficiente	Normal			Exceso		
Cadmio (Cd)		0,10	-	0,30	0,60	-	+

Fuente Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014.

2.7.1. Materia orgánica oxidable, N (%).

Para su clasificación se ha seguido el método Walkley-Black, según el cual:

Cuadro 5. Interpretación de materia orgánica.

< 0,9	Muy bajo
1,0 – 1,9	Bajo
2,0 – 2,5	Normal
2,6 – 3,5	Alto
> 3,6	Muy alto

Fuente Rioja, 2002.

2.8. 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 bio-disponibles. La bio-disponibilidad depende de la solubilidad y movilidad de los metales Sólo los metales que se encuentran en la solución suelo y aquellos adsorbidos en los sitios de intercambio de los constituyentes

inorgánicos del suelo (fracciones1 y 2) están disponibles para las plantas, por ello, la concentración total de los metales en el suelo no refleja necesariamente los niveles de metales bio-disponibles. La bio-disponibilidad de los metales 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 bio-disponibilidad dentro del sistema planta-suelo (Ministerio de Agricultura de Chile, 2012).

Cuadro 6. Límite máximo de metales pesados en el suelo en Ppm, según Ley Federal Alemana (European Commission, 2001).

TIPO DE SUELO	Cd
Arcilloso	1,5 ppm
Limoso	1 ppm
Arenoso	0,4 ppm
Suelos con pH 5.5. – 7.0	1,5 ppm

Fuente Ministerio de Agricultura de Chile, 2012.

2.9. CONTENIDO DE METALES PESADOS ADMISIBLES EN LOS ALIMENTOS SEGÚN EUROPA.

Los estándares máximos de metales pesados admisibles en productos alimenticios, y en especial en las almendras de cacao, se presentan en el

cuadro 6. 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.

Cuadro 7. Contenido máximo admisible de metales pesados en productos nutricionales en humanos según Europa.

METAL PESADO	Unión Europea	Unión Europea	Codex
	Productos alimenticios	Almendras de cacao	Almendras de cacao
Cadmio (Cd)	1,00	0,50	
Cobre (Cu)	350,00	50,00	30,0
Niquel (Ni)	40,00		
Plomo (Pb)	5,00	2,00	2,00
Zinc (Zn)	500,00		
Mercurio	1,00	0,02	0,02
Cromo (Cr)	45,00		
Selenio (Se)	0,50		

Fuente: Azcue 1993, citado por García y Dorronsoro, 2000.

2.10. 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.

2.11. ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Los instrumentos para espectroscopia de absorción atómica constan de una fuente de radiación, un soporte de muestra, un selector de longitud de onda, un detector y un procesador de señal y lectura. (Robledo, 2012).

Atomizadores: la espectroscopia de absorción atómica requiere que los átomos del analito estén en fase gaseosa, los iones o átomos de la muestra deben de estar disueltos y vaporizados en una fuente de alta temperatura como una llama u horno de grafito. (Robledo, 2012).

Hornos de grafito: Los hornos se utilizan principalmente para atomizar sólidos, lodos y disoluciones para medidas por absorción atómica. Un diseño frecuentemente utilizado consiste en un tubo de grafito con un diámetro interno de unos pocos milímetros. Debido a que el tubo del horno se calienta al hacer pasar una corriente eléctrica a través del grafito (que actúa como una resistencia) el método también se llama atomización electrotérmica. (Robledo, 2012).

2.11.1. Determinación de metales pesados mediante el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.

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

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

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

Los límites de detección pueden disminuirse usando la técnica del horno de grafito o aumentarse usando una longitud de onda menos sensible o por rotación del mechero. Los límites de detección deben establecerse empíricamente para cada tipo de matriz analizada. Cuando se usa la técnica del horno de grafito, se debe asegurar la validez de los datos examinando las interferencias en cada matriz y, si se detectan, tratarlas con diluciones sucesivas, modificación de la matriz o con el método de adiciones de estándares. Pueden usarse, además del horno de grafito, procedimientos especiales como el método de la generación de hidruros para As y Se y la técnica del vapor frío para Hg. (Universidad de Concepción Facultad de Agronomía Chillán-Chile, 2007).

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

2.12.1. Origen y distribución geográfica.

El cacao es el fruto del árbol del cacao, una frágil planta tropical *Theobroma cacao L*, de la familia de las esterculiáceas. Originaria de América del sur, se conoció en el Siglo XVI.

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 1,500-2,000 m. En estas condiciones, la humedad relativa es del 70-80% durante el día y se eleva hasta el punto de rocío por la noche (Agell, 1991).

El cacao se cultiva por lo general en áreas desde el nivel del mar hasta los 800m 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.

2.12.2. Clasificación Taxonómica.

Según León (1987) citado por Agell, 1991 taxonómicamente se clasifica en:

División: Fanerógamas

Clase: Angiosperma

Subclase: Dicotiledónea

Orden: Malvales

Familia: Esterculiácea

Género: Theobroma

Especie: *Theobroma cacao L.*

2.12.3. Producción.

Desde su descubrimiento hasta hoy, su cultivo se ha extendido a otras zonas tropicales, sobre todo a África occidental, zona que actualmente suministra las dos terceras partes de la producción mundial. Los principales países productores de cacao son Costa de Marfil, Brasil, Ghana, Nigeria y Camerún. Ecuador, México, República Dominicana y Colombia son también productores notables. El cultivo del cacao en Malasia se ha desarrollado rápidamente en los últimos años, pero el producto suele ser de baja calidad y se vende a precios bajos. Ghana, produce el cacao de la más alta calidad (Agell, 1991).

El 90% del cacao consumido es de la variedad *forastero*, planta resistente, aromática y muy productiva, también suelen utilizarse híbridos de ésta (como el *trinitario*). Menos del 10% de todo el cacao es de la variedad noble *criollo*, muy delicada y menos productiva y aromática. Prácticamente el 90% del cacao proviene de minifundios (superficies de cultivo inferiores a 5Ha). Hay una creciente escasez de las áreas de cultivo: la producción mundial de 1984 al 2000 va a pasar de 1,5 a 3 M de toneladas, y a pesar de los datos, el aumento es debido al incremento de superficie, mientras que la productividad se mantiene baja (Agell, 1991).

2.12.4. Contaminación y límites permisibles del cultivo de cacao por metales pesados en el mundo.

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

Las primeras investigaciones sistemáticas sobre el contenido de cadmio en cacao y productos de cacao se realizaron en 1979. Las investigaciones del año 1983 arrojan coeficientes de 0,06 a 0,16ppm para variedades de consumo provenientes de Brasil (Bahía), Ghana, Costa de Marfil, Camerún y Nigeria.

En algunas variedades finas los coeficientes oscilan entre 0,66 y 2,60ppm (Granadina, Malasia, Trinidad, Venezuela, Ecuador). En la República Federal de Alemania no existe un reglamento regulador de contenidos máximos de metales pesados, sólo lineamientos de orientación que indican 0,6mg/kg como valores máximos para plomo y cadmio (Instituto de Cultivos Tropicales, 2008).

2.12.5. 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).

2.12.6. Sistemas de Manejo del Cultivo de cacao.

- **Manejo tradicional del cacao comprende lo siguiente:**

- Poda
- Sin abono
- Control de malezas (mecánico)

- **Manejo orgánico del cacao comprende lo siguiente:**

- Poda, abono (guano, roca fosfórica, KCl y micro-elementos)
- Control de malezas (mecánico).

- **Manejo convencional del cacao comprende lo siguiente:**

- Poda , Abono (Urea: CON_2H_4, SFTC, KCl)
- Control de malezas (con químicos). Fuente Asociación de cacaoteros tecnificados de Padre Abad.

- **Podas del cacao:**

Poda, es una técnica que consiste en eliminar todos los chupones y ramas innecesarias, así como las partes enfermas y muertas del árbol. La poda ejerce un efecto directo sobre el crecimiento y producción del cacaotero ya que se limita la altura de los árboles y se disminuye la incidencia de plagas y enfermedades. Hay varios tipos de poda:

- **Poda de formación.**

Se efectúa durante el primer año de edad del árbol, y consiste en dejar un solo tallo y observar la formación de la horqueta o verticilo, el cual debe formarse aproximadamente entre los 10 y 16 meses de edad de la planta, con el objeto de dejar cuatro o más ramas principales o primarias para que formen el armazón y la futura copa del árbol. Estas ramas principales serán la futura madera donde se formará la mayoría de las mazorcas, lo mismo que en el tronco principal. Cuanto más tierno sea el material podado, mejores resultados se obtienen. En el segundo y tercer año se eligen las ramas secundarias y así sucesivamente, hasta formar la copa del árbol. Se eliminarán las ramas entrecruzadas muy juntas, y las que tienden a dirigirse hacia adentro.

- **Poda de mantenimiento.**

Desde los dos o tres años de edad los árboles deben ser sometidos a una poda ligera por medio de la cual se mantenga el árbol en buena forma y se eliminen los chupones y las ramas muertas o mal colocadas. El objetivo de esta poda es conservar el desarrollo y crecimiento adecuado y balanceado de la planta del cacao.

- **Poda fitosanitaria**

Se deben eliminar todas las ramas defectuosas, secas, enfermas, desgarradas, torcidas, cruzadas y las débiles que se presenten muy juntas. Debe comprender también la recolección de frutos dañados o enfermos.

- **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. También es posible hacer injertos en los chupones y luego dejar crecer solamente los injertos.

- **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%.

- **Control de malezas.**

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. También se debe eliminar periódicamente las malezas existentes en la copa de los árboles,

al menos una vez al año, especialmente la hierba de pajarito y piñuelas, que son parásitas, y compiten por luz y nutrientes con el cacao.

Control químico: Se realiza solo en casos justificados, cuando no hay disponibilidad de mano de obra, en épocas de lata 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.

- **Fertilizantes usados en manejo del cacao.**

Urea: La urea es un compuesto químico cristalino e incoloro; de fórmula $CO(NH_2)_2$. Se encuentra abundantemente en la orina y en la materia fecal. Es el principal producto terminal del metabolismo de proteínas en el hombre y en los demás mamíferos. La orina humana contiene unos 20 g por litro, un adulto elimina de 25 a 39gr diariamente.

Fertilizante: 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.

Es necesario fertilizar, ya que con la cosecha se pierde una gran cantidad de nitrógeno. El grano se aplica al suelo, el cuál debe estar bien trabajado y ser rico en bacterias. La aplicación puede hacerse en el momento de la siembra o antes. Luego el grano se hidroliza y se descompone.

Súper Fosfato Triple de Calcio (SFTC): 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. Recomendado para cultivos en general.

Composición:

- Fósforo Expresado en P: 20%
- Grado 00- 20-00 (N: 0% P: 20% y K: 0% Ca: 13%)
- Grado equivalente 00 - 46 - 00 + Ca: 13%
- Forma Física Sólida en gránulos
- Color Gris Amarronado
- Reacción en el Suelo Neutra

Fósforo asimilable (método Olsen) en ppm, Se tiene el siguiente cuadro interpretativo.

Cuadro 8. Interpretación de fósforo asimilable.

0 – 6	Muy bajo
6 – 12	Bajo
12 – 18	Normal
18 – 30	Alto
> 30	Muy alto

Fuente Rioja, A. (2002).

- **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.

Composición. El guano de aves marina es rico en nitrógeno, oxalato amónico y urea, fósforo y fosfatos, además de sal terrestre e impurezas. El guano procedente de depósitos locales frescos, como los de las Islas Chincha en Perú, suelen contener de un 8 a un 16% de nitrógeno (la mayoría procedente del ácido úrico), de un 8 a un 12% de ácido fosfórico, y un 2 a 3% de potasa equivalente.

El suelo deficiente en materia orgánica puede hacerse más productivo abonándose con guano. Éste está compuesto de amoníaco, ácido úrico, fosfórico, oxálico y ácidos carbónicos, sales e impurezas de la tierra. Tiene color rojizo cuando proviene de los yacimientos del Plioceno y el Pleistoceno, y es amarillento cuando es de formación reciente.

- **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. El contenido de fósforo en las rocas fosfóricas se presenta en forma de apatita. Las rocas pueden presentar diferentes tipos de características físicas y químicas dependiendo de su origen y su historia geológica. Los factores que condicionan a la roca fosfórica para clasificar en la muestra que va a ser procesada como fertilizante son su reactividad, las propiedades del suelo y las condiciones climáticas. La roca fosfórica se caracteriza por ser un fertilizante natural de la que se puede decir que tiene un atractivo relación de precios por unidad de nutriente pero de menor concentración y poca solubilidad frente a otro tipo de fertilizantes industriales.

- **Cloruro de potasio (KCl).**

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

Potasio de cambio (meq/100gr), Se tiene el siguiente cuadro interpretativo:

Cuadro 9. Interpretación de potasio.

0,00 – 0,30	Muy bajo
0,30 – 0,60	Bajo
0,60 – 0,90	Normal
0,90 – 1,50	Alto
1,50 – 2,40	Muy alto

Fuente Rioja, A. (2.002).

- **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.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN Y DURACIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

El presente trabajo se llevó a cabo en las parcelas de 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 8822,50 Km² está ubicada en la selva oriental y al Noroeste de la Región Ucayali. Sus coordenadas geográficas se sitúan entre 09º02´13" latitud Sur y 75º30´12" de longitud Oeste en el meridiano de Greenwich, a una altitud de 250 msnm. (Figuras N° 7 y 8).

El trabajo de investigación se desarrolló en el periodo de octubre del 2014 a marzo del 2015, teniendo una duración de 6 meses.

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 frio.

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 24,93ºC, con una

máxima de 32,5ºC y una mínima de 19,30ºC, 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 friazos.

Vientos: Los vientos que soplan de Este, Nor-Este y Sur, traen consigo nubes húmedas, y ello origina frecuentes lluvias que vienen acompañadas con ventarrones, rayos y fuertes truenos. La velocidad de viento puede ser de hasta 1,8 m/s.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.

3.3.1. Material de estudio:

Suelos cacaoteros de la localidad de San Alejandro; que comprenden nueve (09) hectáreas de suelos destinados a la producción de cacao de los cuales se recolectaron muestras a tres profundidades 0-10cm, 10-20cm y 20-40cm, seleccionados bajo el criterio de los tres niveles de manejo del cultivo del cacao, a los cuales se les hicieron el análisis del contenido de cadmio.

Historia de campo: La Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA) tiene 12 años de actividad al 2016, las actuales parcelas de cacao antes de la inserción de este cultivo, fueron zonas de vegetación virgen y en casos de cultivos de consumo como hortalizas. (Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad - 2015).

3.3.2. Materiales de campo.

Los materiales de campo que se utilizaron fueron machetes, tijeras podadoras, nueve (9) palas, bolsas plásticas, envases de plásticos, micas A4, rafia, tijera, martillo, serrucho, listones de 1x1/2m, clavos, wincha 50m, aerosol de color anaranjado, láminas de metal, alambre galvanizado y Banner.

3.3.3. Materiales de escritorio.

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

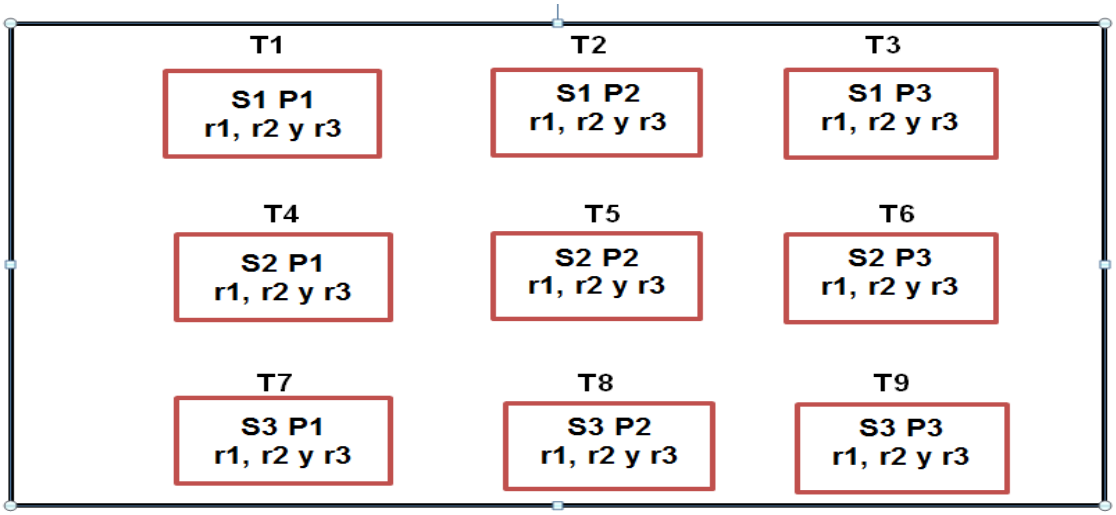
3.3.4. Equipos

Los equipos utilizados fueron cámara digital, balanza, motocicleta y mototaxi.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.

La evaluación contó con 9 tratamientos (3 sistemas de manejo del cultivo de cacao, 3 profundidades de muestreo de suelo y 3 interacciones de sistema por profundidad) por repetición, haciéndose un total de 27 unidades a evaluar.

Cuadro 10. Croquis de distribución de las parcelas. Diseño de bloque al azar.



Fuente elaboración propia.

Tratamientos:

S1 P1 = Manejo convencional a 10cm

S1 P2 = Manejo convencional a 20cm

S1 P3 = Manejo convencional a 40cm

S2 P1 = Manejo orgánico a 10cm

S2 P2 = Manejo orgánico a 20cm

S2 P3 = Manejo orgánico a 40cm

S3 P1 = Manejo tradicional a 10cm

S3 P2 = Manejo tradicional a 20cm

S3 P3 = Manejo tradicional a 40cm

3.4.1. Dimensión del área experimental.

- **Dimensión del área total**

  Largo: 300m

Ancho: 300m

Área total: 90 000m2

Unidades experimentales: 09

- **Dimensión de una unidad experimental**

  Cada unidad experimental contara con:

  Largo: 100m

  Ancho: 100m

  Área total: 10 000m^2

- **Dimensión de una calicata para toma de muestra.**

  Largo: 50cm

  Ancho: 50cm

  Área total: 2,5m

  Peso muestra: 1kg de suelo por cada profundidad muestreada.

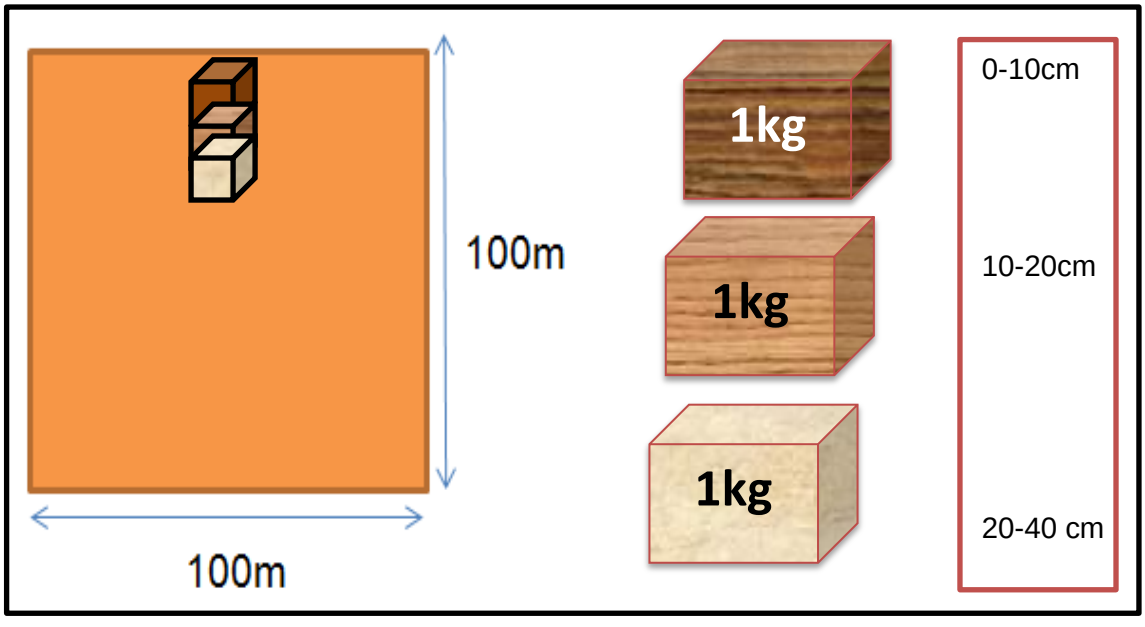


Figura 3. Dimensiones de una unidad experimental.

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.

3.5.1. Componentes en estudio.

Se consideró lo siguiente:

- **Se empleó nueve tratamientos:**

T1, T2, T3 = sistema convencional x prof p1, p2, p3

T4, T5, T6 = sistema orgánico x prof p1, p2, p3

T7, T8, T9 = sistema tradicional x prof p1, p2, p3

- **Con tres sistemas de manejo del cultivo de cacao:**

S1= manejo convencional

S2= manejo orgánico

S3= manejo tradicional

- **Por cada sistema se tomaron tres muestras por profundidades:**

p1= profundidad 1…….0-10cm

p2= profundidad 2…….10-20cm

p3= profundidad 3…….20-40cm

3.5.2. Tratamientos en estudio.

Para el estudio se establecieron nueve tratamientos y tres sistemas con tres profundidades por cada repetición.

Cuadro 11. Tratamientos en estudio.

	TRATAMIENTOS	SISTEMAS	PROFUNDIDADES
	T1, T2, T3	MANEJO ORGANICO	P1
			P2
			P3
			P1
			P2
			P3
			P1
			P2
			P3
	T4, T5, T6	MANEJO QUIMICO	P1
			P2
			P3
			P1
			P2
			P3
			P1
			P2
			P3
	T7, T8, T9	MANEJO TRADICIONAL	P1
			P2
			P3
			P1
			P2
			P3
			P1
			P2
			P3

Fuente elaboración propia.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se empleó el diseño bloque al azar con 9 tratamientos(3 sistemas de manejo del cultivo de cacao x 3 profundidades de muestreo de suelo y 3 interacciones de sistema por profundidad) donde **T1=** s1 x (p1, p2, p3); **T2=** S2 x (p1, p2, p3); **T3=** S3 x (p1, p2, p3); Con tres sistemas **S1=** Convencional, **S2=** orgánico **y S3=** tradicional; con profundidades que son **p1=** 0-10cm; **p2=** 10-20cm y **p3=** 20-40cm. Haciendo un total de 27 muestras que fueron evaluadas en laboratorio.

3.6.1. Modelo aditivo lineal.

$$\mathbf{Yijk}=\mu+Si+Pj+Si*Pj+Bk+Eijk$$

Dónde:

Yijk: Observación del i – ésimo primer factor, en el j - ésimo segundo factor y en el k – ésimo bloque

μ: media general

Si: Efecto del i-ésimo sistema en estudio

Pj: Efecto de la j- esima profundidad en estudio

Si*Pj: Efecto de la interacción del i-ésimo sistema por la j-ésima profundidad

Bk: Efecto del K-ésimo bloque

Eijk: Error residual. Es la variación del error asociado con las ijk unidades.

Para:

i= S1, S2 y S3 sistemas de manejo del cultivo de cacao.

j= P1, P2 y P3 profundidades por toma de muestra.

Si*Pj= Interacción entre sistemas por profundidades.

3.6.2. Análisis de varianza (ANVA)

El análisis de varianza está conformado por las siguientes fuentes de variabilidad: 9 tratamientos (3 sistemas de manejo del cultivo de

cacao x 3 profundidades de muestreo de suelo), tres repeticiones y el error experimental, como se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12. Esquema del análisis de varianza (ANVA) del estudio de contenido de Cadmio(Cd) en suelos cacaoteros bajo 3 niveles de manejo del cultivo en distrito de Irazola - Padre Abad - Ucayali.

Fuente de Variabilidad	G.L
Repeticiones	2
Tratamientos	8
Sistemas	2
Profundidades	2
Sistema x Prof.	4
Error	16
Total	26

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 se evaluó los métodos de manejo que aplican a sus cultivos donde se eligió los adecuados que fueron seleccionados para ser evaluados. Quedando conformado de la siguiente manera:

Para convencional = Livia, Juvenal y Nelson.

Para orgánico = Dedicación, Gregorio y Jhonel.

Para tradicional = Fermín I, Fermín II y Rosendo.

3.7.2. Reconocimiento de las parcelas evaluadas.

Nos dirigimos a conocer las parcelas para la toma de muestras encontrándonos con el siguiente escenario, parcelas accesibles y representativas para la toma de muestras (Ver Figuras 12, 13 y 14).

3.7.3. Toma de muestras de suelo.

Se construyeron calicatas de 50cm x 50cm las cuales fueron hechas en puntos representativos de toda la hectárea con ayuda del ingeniero encargado y de productores de la zona, de las cuales se extrajeron las muestras de 1 kg a 1,30 kg colocados en bolsas de polietileno transparente sellados, amarrados y rotulados con plumones indelebles, listos para ser trasladados al laboratorio (Ver Figuras 15 y 16).

3.7.4. Preparación y envió de muestras al laboratorio certificado.

Las muestras fueron secadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), molidos en morteros, vaciados en bolsas Ziploc de doble cierre de medidas 16cm x 5cm puestos dentro de otras bolsas de medidas 17cm x 19cm rotuladas con códigos CS 01 al CS 09 donde C= cacao, S= suelo, 01= número de parcela. Enviados a la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima- Perú.

Pasos para la determinación de cadmio (Cd) método espectrofotómetro de absorción atómica:

- **Equipos:** Espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA 7000, hornos de grafito pirolítico y convencional, lámpara de cátodo hueco de cadmio, balanza analítica de precisión y cabina de extracción de gases.

- **Reactivos:** Solución patrón de cadmio de 1000mg/L, ácido nítrico al 65%, fosfato de amonio, nitrato de magnesio hexahidratado, agua desionizada y gas argón.

- **Materiales:** Balones aforados clase A de: 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL; bureta clase A de: 50 mL; pipetas aforadas clase A de: 1 mL, 5 mL, 50 mL; pipetas graduadas clase A de: 10 mL; Beakers clase A de: 100 mL, 250 mL, 500 mL; Erlenmeyers clase A de: 250 mL, goteros, embudos, varillas de agitación, vidrio, reloj y espátula (Robledo, 2012).

- **Método de análisis:** Para la cuantificación de los metales se prepararon patrones, soluciones estándar y muestras naturales de concentraciones conocidas y posteriormente se midieron por medio de la técnica de espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito, empleando el espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA 7000, que consiste en una fuente de luz la cual emite el espectro de líneas de un elemento (lámpara de cátodo hueco o lámpara de descarga sin electrodos), un dispositivo para vaporizar la muestra (llama u horno de grafito), un medio de aislar una línea de absorción (monocromador o filtro y ranura de ajuste) y un detector fotoeléctrico con sus asociados electrónica de amplificación y equipos de medición (Robledo, 2012).

- **Especificaciones básicas del equipo.** En el cuadro 13 se muestran especificaciones básicas del espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA 7000 con el cual se trabajó.

Cuadro 13. Especificaciones básicas del equipo.

Sistema de medida	Rango de longitud de onda de medida	185,0 nm a 900,0 nm
	Ancho de banda	0,2; 0,7: 1,3; 2,0 nm
	Detector	Fotomultiplicador
	Método fotométrico	Flama: doble haz óptico Horno: alto rendimiento específico con un solo haz
	Corrección de fondo	Auto inversión de alta velocidad (BGC-D2) (185 a 430 nm)
	Número de conectores de lámparas	6 conectores para lámparas simultáneas.
	Modo de lámpara	Emisión, NON-BGC, BGC-SR, BGC-D2
Rango de temperatura de calentamiento	Ambiente – 3000°C	
Método de control de calentamiento	Secado: método actual de control (con función de calibración automática de temperatura). Atomización: método óptico de control de temperatura.	
Configuración de parámetros de calentamiento	Máximo: 20 etapas. Modo calentamiento: RAMP/STEP. Tipo de gas interno: interruptor de dos líneas. Configuración: modo de alta sensibilidad. Función programa de búsqueda óptima del horno. Tasa de flujo de gas interno.	
Características de seguridad	Monitor de tasa de flujo de agua refrigerante. Monitor de gas presurizado. Inspección de enfriamiento del bloque del horno.	

- **Procedimiento de validación.** Para cada uno de los ensayos realizados con cadmio se preparó un blanco y una serie de patrones, estándares, muestras naturales de diferentes concentraciones a las cuales se les adicionó ácido nítrico al 65% para su conservación, éstas se leyeron en el espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA 7000 por medio de la técnica de espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito.

  Las muestras se prepararon de acuerdo al procedimiento adoptado por el laboratorio:

BK= 1 mL ácido nítrico (65 %) en agua desionizada, hasta 100mL.

EB= estándares de concentración baja, que nos permitan calcular el LDM.

EM= estándares de concentración media; aproximadamente el 50% del rango.

EA= estándares de concentración alta; aproximadamente el 90% del rango.

M1= Muestra natural para ver efectos de la matriz real, concentración <50% del rango.

M2= Muestra natural para ver efectos de matriz real, concentración >> M1 del rango.

M1.A.b= M1 adicionada con un nivel bajo, máximo el 30% del valor de M1.

M1A.a = M1 adicionada con un nivel alto, mínimo el 50% del valor de M1.

- **Parámetros estadísticos a analizar.** Una vez obtenidos los datos se analizaron por medio de la Dócima de Grubbs para la aceptación o el rechazo de los mismos.

$$Gi = \frac{X - Xi}{S} \quad Y \quad Gn = \frac{Xn - X}{S}$$

Dónde:

Gi: se refiere al valor mínimo.

Gn: se refiere al valor máximo.

Ẋ: valor medio del grupo de datos x.

Xi: valor mínimo del grupo de datos.

Xn: valor máximo del grupo de datos.

Los criterios de aceptación o rechazo son los siguientes:

- Si el valor estadístico G es menor o igual al valor crítico correspondiente a un α de un 5% se acepta como correcto.
- Si el valor estadístico es mayor al de su valor crítico para una α de un 5% y menor o igual al de su valor crítico para un α de un 1%, se considera dudoso y se trata de localizar la causa, si se determina se rechaza y en caso contrario se acepta.
- Si el valor del estadístico es mayor al de su valor crítico para un α de un 1% se considera estadísticamente incompatible y se rechaza. (Robledo, 2012).

Análisis de diferentes elementos químicos como datos complementarios, para ver si también existía alguna relación entre su contenido en el suelo y la presencia de cadmio.

A. Pasos para la determinación de Nitrógeno (N) Método KJEDHAL Modificado:

- Se pesó 1 gr de cada muestra de suelo.
- Se lavó y seque los balones de digestión a 105°C.

- Se agregó a cada muestra 1 gr de catalizador completo (sulfato de potasio, sulfato de cobre y selenio) y se vació en los balones.
- Se agregó ácido sulfúrico 5 ml más a los balones.
- Se colocaron los balones al equipo KJEDHAL para que se quemen las muestras durante 8 horas.
- Se retiraron los balones se les agrego 1ml de agua a la muestra seca y se vació dentro del tubo perteneciente al destilador.
- Se colocó el tubo en el destilador durante 4 min 30 s.
- El equipo requiere un matraz con 5 ml de ácido ascórbico al 4% más gotas de indicador (verde de bromo crisol y rojo de metilo); para que ingrese el destilado mediante agua destilada e hidróxido de sodio hasta alcanzar el nivel de 25ml, teniendo un color celeste claro.
- Los matraces con la solución de 25ml se colocó bajo un soporte universal que contenía ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0,05 normal y se procedió a la titulación mediante la caída de las gotas de ácido sulfúrico; se hizo la lectura y se registró los datos (Ver Figuras 24 - 26).

B. Pasos para la determinación de Fósforo (P) Método OLSEN.

- Se seleccionaron 27 vasos de precipitado de 50 ml que fueron lavados y secados a 105°C.
- Se pesó 2,5 gr de muestras de suelo y se midió 25 ml de bicarbonato líquido que se colocaron sobre un vaso de precipitado de 50 ml.
- Los vasos se colocaron sobre el agitador por 5 minutos para diluir las muestras.

- Luego se trabajó con papel filtro de 12,5 cm que se dobló hasta hacer un embudo.
- Sobre otros vasos de precipitados limpios se colocaron los embudos de papel filtro para filtrar la solución proveniente de las agitaciones anteriores, filtrándose la parte líquida y quedando las muestras de suelo como residuo.
- Se seleccionaron 27 tubos de ensayo, rotulados correlativamente se lavaron y secaron a 105°C.
- Posteriormente la solución líquida filtrada se vació sobre tubos de ensayo puestos sobre una rejilla y tapados (sellados) con parafilm en la boca de los tubos.
- Se separó 2 ml de la solución en otros tubos a los cuales se les agregó 8 ml de agua a cada una y también se les agregó 10 ml de reactivo (molibdato + tartrato de antimonio de potasio).
- Los tubos se llevaron al espectrofotómetro de luz.
- Para la construcción de la Curva estándar se realizó lo siguiente: en cuatro tubos de ensayo se agregó 2 ml de: tubo 1 bicarbonato, tubo 2 reactivo 0,1 ppm, tubo 3 reactivo 0,2 ppm, tubo 4 reactivo 0,3 ppm; mas 8ml de agua a cada uno, tomaron colores azulejos excepto el tubo 1 (Ver Figuras 27 – 30).

C. Pasos para la determinación de Potasio (K) Método Químico con cloruro de potasio (KCl).

- Se seleccionaron 27 vasos de precipitado de 50ml que fueron lavados y secados a 105°C.

- Se pesó 2,5 gr de muestras de suelo y 25 ml de cloruro de potasio (KCl) en una probeta graduada que se vaciaron en los vasos de precipitado.
- Los vasos se colocaron sobre el agitador por 5 minutos para diluir las muestras.
- Luego sobre trabajo con papel filtro de 12,5 cm que se dobló hasta hacer un embudo.
- Sobre otros vasos de precipitados limpios se colocaron los embudos de papel filtro para filtrar la solución proveniente de las agitaciones anteriores, filtrándose la parte líquida y quedando las muestras de suelo como residuo.
- Se seleccionaron 27 tubos de ensayo, rotulados correlativamente se lavaron y secaron a 105°C.
- Posteriormente la solución líquida filtrada se vació sobre tubos de ensayo puestos sobre una rejilla y tapados (sellados) con parafilm en la boca de los tubos (Ver Figuras 31 – 33).

D. Pasos para Determinar pH.

- Se seleccionaron 27 vasos de precipitado de 50ml que fueron lavados y secados a 105°C.
- Se pesó 5gr de muestras de suelo y 25ml de agua destilada que se vaciaron en los vasos de precipitado.
- Los vasos se colocaron sobre el agitador por 5 minutos para diluir las muestras de suelo.
- Luego los vasos se llevaron al peachimetro para determinar el nivel de pH para cada una de las 27 muestras.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. RESULTADOS.

Los resultados del contenido de cadmio (Cd) en ppm, del análisis de las muestras de suelos donde se cultiva cacao bajo tres sistemas de manejo, del distrito de Irazola, provincia de Padre Abad departamento de Ucayali, se presentan en los Cuadros 20 y 21.

Cuadro 14. Promedio de contenido de cadmio (Cd) en ppm obtenido de tres sistemas de manejo del cultivo de cacao a tres profundidades de muestreo de suelo de la localidad de San Alejandro, distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali.

Profundidades de muestreo de suelo / **Sistemas de manejo del Cultivo de cacao**	**Profundidad P1= 0-10cm**	**Profundidad P2= 10- 20cm**	**Profundidad P4= 20- 40cm**
Convencional S1	T1 S1 P1 **(0,65)**	T2 S1 P2 **(0,29)**	T3 S1 P3 **(0,25)**
Orgánico S2	T4 S2 P1 **(0,86)**	T5 S2 P2 **(0,38)**	T6 S2 P3 **(0,32)**
Tradicional S3	T7 S3 P1 **(0,88)**	T8 S3 P2 **(0,39)**	T9 S3 P3 **(0,36)**

Fuente elaboración propia.

Dónde: T = tratamiento [interacción de sistemas(S) por profundidades (P)]

4.1.1. Cadmio en sistemas de manejo del culttivo de cacao.

Cuadro 15. Cadmio (ppm) bajo 3 sistemas.

SISTEMAS	CADMIO	SIGNIFICACIÓN
Tradicional	0,54	a
Orgánico	0,52	a
Convencional	0,39	**b**

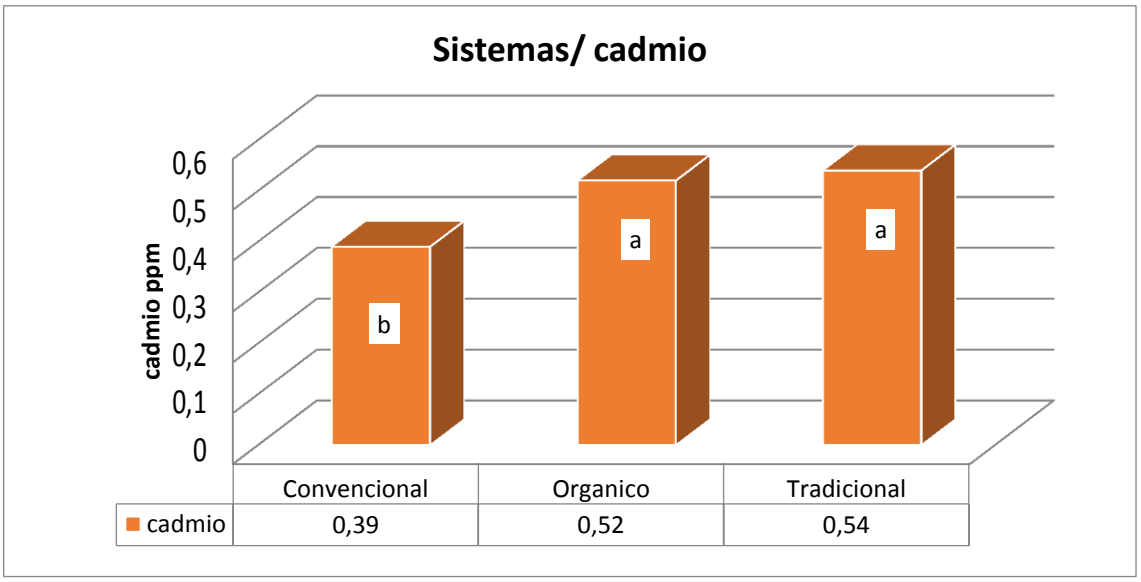


Figura 4. Cadmio (ppm) bajo tres sistemas.

Para el caso de contenido de cadmio total en los tres sistemas de manejo del cultivo de cacao evaluados, los resultados demuestran que los suelos evaluados en los tres sistemas tienen valores superiores (0,39ppm; 0,52ppm; 0,54 ppm) a los permisibles, reportados por la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014. Quien aduce que en suelos donde se cultiva cacao,

los rangos de cadmio (Cd) normal están entre 0,10 a 0,30ppm y exceso 0,60ppm a más.

Los niveles más altos de cadmio se encuentran en el sistema de manejo tradicional debido a que en la superficie de su suelo existe menor cantidad de materia orgánica (no descomposición) y no existen aplicaciones de abonos. Corroborando lo mencionado por Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo que menciona: “A modo indicativo, se citan a continuación todas las propiedades y los efectos de la materia orgánica sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo: En trabajos realizados anteriormente se recomendó aplicar materia orgánica en los suelos con problemas de contaminación de Cadmio (Cd), ya que las propiedades de estos disminuyen la absorción del metal por las plantas y le brinda una mayor nutrición” (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014).

4.1.2. Cadmio (Cd) en profundidades de muestreo.

Cuadro 16. Cadmio (ppm) en 3 profundidades.

PROFUNDIDAD (cm)	CADMIO	SIGNIFICACIÓN
00 – 10 cm	0,80	a
10 – 20 cm	0,35	b
20 – 40 cm	0,31	**b**

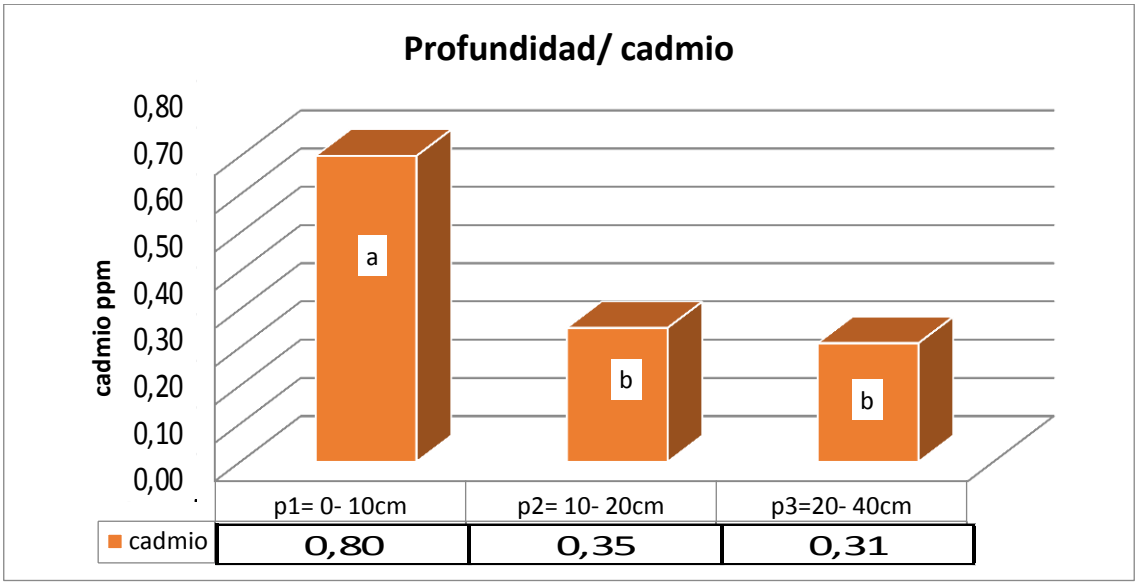


Figura 5. Cadmio (ppm) a tres profundidades.

En las profundidades de muestreo de suelo se corrobora lo mencionado por Arévalo, 2014. Quien sustenta a menor profundidad de muestreo existe mayor contenido de cadmio (Cd) y a la vez no encontró diferencia estadística significativa (p>0,05) de la presencia de metales pesados por profundidad de muestreo, excepto en el cadmio.

4.1.3. Cadmio (Cd) en la interacción de sistemas de manejo del cultivo de cacao por profundidades de muestreo.

Cuadro 17. Interacción sistemas x profundidad en el contenido de cadmio (ppm) en el suelo.

Sistemas	**Convencional**			**Orgánico**			**Tradicional**		
Prof. (cm)	**10**	**20**	**40**	**10**	**20**	**40**	**10**	**20**	**40**
Cadmio (Cd)	0,65	0,29	0,25	0,86	0,38	0,32	0,88	0,39	0,36
Significación	b	c	c	a	c	c	a	c	c

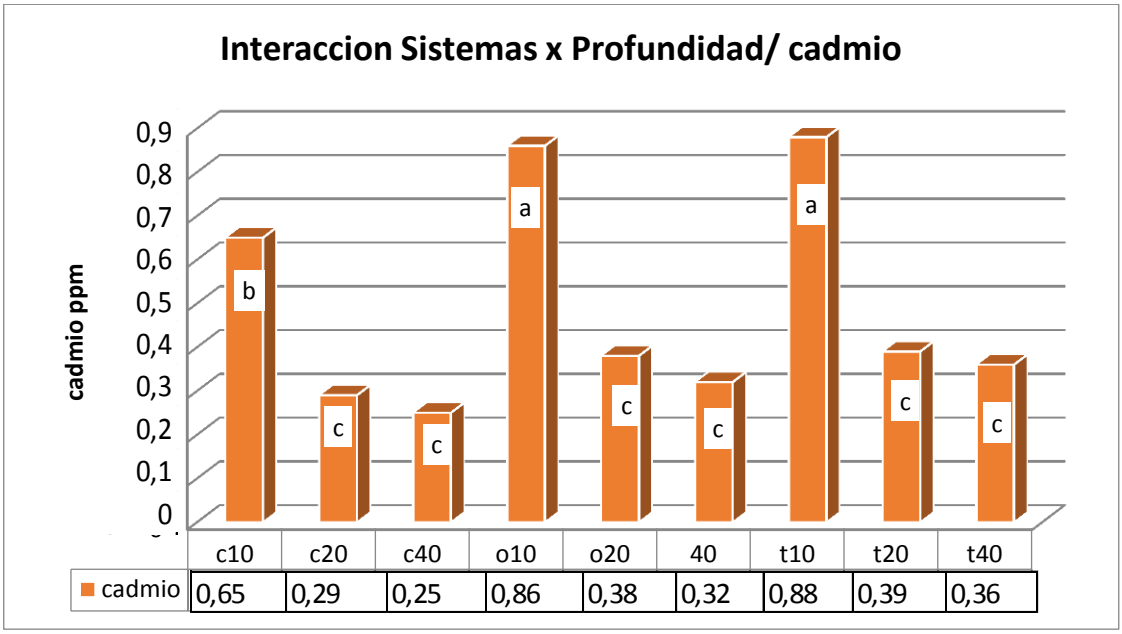


Figura 6. Interacción sistemas por profundidad en el contenido de cadmio.

Para el caso de la interacción sistemas de manejo del cultivo de cacao por profundidades de muestreo, independientemente de los sistemas, la profundidad de 0-10cm es el factor que más influye para lograr los valores de cadmio estadísticamente superiores a las demás profundidades. Esto concuerda con los resultados de Arévalo, 2014 que menciona que de todos los metales pesados el cadmio muestra diferencia en un suelo donde se cultiva cacao.

4.1.4. Correlación de PEARSON- SAS: para elementos químicos adicionales como datos complementarios (N, P, K y pH) y su interacción con cadmio (Cd).

La correlación de Pearson se realizó con los resultados del análisis de los elementos químicos adicionales, siendo solo el pH (ver Cuadro

22 y Figuras 10 y 11) el que muestra datos estadísticamente significativos (∞=0,05). Existe una correlación negativa entre pH y cadmio (0,11).

Los datos de pH obtenidos en los tres sistemas de manejo de cacao evaluados muestran suelos con acidez media con tendencia a acidez fuerte (5,40; 4,85 y 4,73) por lo que se encuentran valores superiores de cadmio (0,39ppm; 0,52ppm; 0,54ppm) con respecto al valor máximo permisible (0,30ppm), es decir en suelos más ácidos hay mayor cantidad de cadmio, como lo cita la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014 y el Ministerio de Agricultura de Chile, 2012.

Igualmente concuerda con lo expresado por la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014. Que aduce que el cadmio está más concentrado en suelos arcillosos, se concentra más en suelos de pH bajos. Los depósitos sedimentarios originados, muestran una elevada concentración de cadmio.

De igual modo resultados similares encontró el Ministerio de Agricultura de Chile, 2012; que reporta: el límite máximo de metales pesados en el suelo en ppm, según Ley Federal Alemana (European Commission, 2001); para suelos arcillosos 1,5 ppm y para suelos con pH entre 5,5 a 7,0 es de 1,5ppm de cadmio.

V. CONCLUSIONES.

Con respecto al estudio de cadmio en suelos cacaoteros bajo tres sistemas de manejo del cultivo en San Alejandro, distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali, se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Los tres sistemas de manejo del cultivo de cacao convencional, orgánico y tradicional poseen contenidos de cadmio total considerados como superiores con respecto al valor máximo permisible.

2. El sistema de manejo del cultivo de cacao tradicional, posee los valores más altos en contenido de cadmio que el sistema de manejo orgánico y convencional.

3. La profundidad que comprende entre 0-10cm, presenta los mayores contenidos de cadmio.

4. En todas las interacciones sistemas de manejo del cultivo de cacao por profundidad de muestreo, las profundidades de 0-10cm presentan los mayores valores de contenido de cadmio que las profundidades 10 a 20cm y 20 a 40cm.

VI. RECOMENDACIONES.

Luego de haber analizado los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se recomienda lo siguiente:

1. Para la recolección de muestras de suelo se deben seguir estándares de calidad.

2. El análisis de suelos debe ser realizado por laboratorios certificados para cimentar la veracidad y credibilidad de los resultados.

3. Es preferible la aplicación de los sistemas de manejo convencional y orgánico que cuenten con una correcta y adecuada certificación.

VII. LITERATURA CITADA.

Acevedo, E., Carrasco, M., León, O., Martínez, E., Silva, P., *et al.* (2005). *Criterios de calidad de suelo agrícola.* Ministerio de agricultura. Gobierno de Chile. 205p.

Agell, E. (1991). *La seguridad alimentaria del chocolate.* Costa Rica. Edición: Acribia – Cuba. 146p.

Alloway, B. (1995). *Heavy metals in soils, eds john wiley and-sons.* Disponible en (http://wwwbooks.google.es/books/about/heavy_ metals _in soils. html?hl=es.)

Arévalo, E., *et al.* (2014). *Estado de los metales pesados en suelos de los departamentos de mayor crecimiento de cacao en la Amazonia Peruana*. Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) Tarapoto – Perú. 207p.

Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad, 2015. Sistemas de manejo del cultivo de cacao, en San Alejandro, distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. 22p.

Augstburger, F., Berger, J. (2000). *Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico en guía de 18 cultivos*. 1ra edición. Alemania. 24p.

Calderón y Concha. (2000). *Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura*. Universidad Nacional de Piura. 89p.

Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo - COOPAIN. (2014). *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. 198p.

Encuentro Económico Región Ucayali. IES-Ucayali. (2012). Encuentro económico regional Ucayali. Realizado en la región Ucayali- Perú. 70p.

European Commision. (2001). Fito Extracción de metales pesados relación metal-planta. Disponible en: (http://wwwbooks.google.es/books/about/ about/barcelo/2003 fito extracción).

Galán y Romero. (2004). *Contaminación de suelos por metales pesados.* Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla 41071. 55p.

Instituto de Cultivos Tropicales. (2008). *Monitoreo de la presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en San Martin y Amazonas. Perú.* Perú. 84p.

León, S. (2009). *Catálogo de cultivares de cacao.* Informe final de consultoría dirección de promoción de competitividad - agosto, 2009 - Perú. 225p.

Jiménez, A. (2003). *La contaminación del suelo por metales pesados.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo - México. Pp 449-559.

Madeddu, R. (2005). *Estudio de la influencia del cadmio sobre el medio ambiente y el organismo humano*. Universidad de Granada. España. 98p.

Ministerio de Agricultura de Chile. (2012). *Análisis de antecedentes técnicos y regulaciones internacionales relativas a criterios de protección de calidad del suelo*. Disponible en: (htpp://www.bibliotecadigital.sag.gob./. /criterios_calidad_suelos…suelos/2_sint, artículo 2012).

Organización Mundial de la Salud- OMS, Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2014). *Guía para la generación de datos requeridos para la realización de la "Evaluación de la exposición al Cadmio en el cacao y los productos del cacao" por el comité conjunto de expertos FAO/OMS en aditivos para*

los alimentos (JECFA). Límites máximos permisibles de algunos metales pesados. Disponible en (http:www.itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/.../385/.../TESISmetales pesados).

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. Perú. 129p.

Perú Ecológico. (2012). *Río lima está contaminado con metales pesados*. Disponible en (http:www.noticias.masverdedigital.com/2012/ peru-rio-lima-esta-cont.)

Prieto, J., *et al*., (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. Trop. subtrop. Agroecosyst. Pp. 29 - 44.

Robledo, L. (2012). *Validación de la metodología para el análisis de los metales cadmio y plomo en agua tratada por absorción atómica con horno de grafito en el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo Químico. Colombia. 113p.

Saavedra, M. (2002). *Estudio de contaminación con metales pesados en las riberas del río Piura.* Maestría en Ingeniería Ambiental – Universidad Nacional de Piura. 179p.

Universidad de Concepción Facultad de Agronomía Chillán-Chile. (2007). *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*. Chile. 39 p.

VIII. ANEXO.

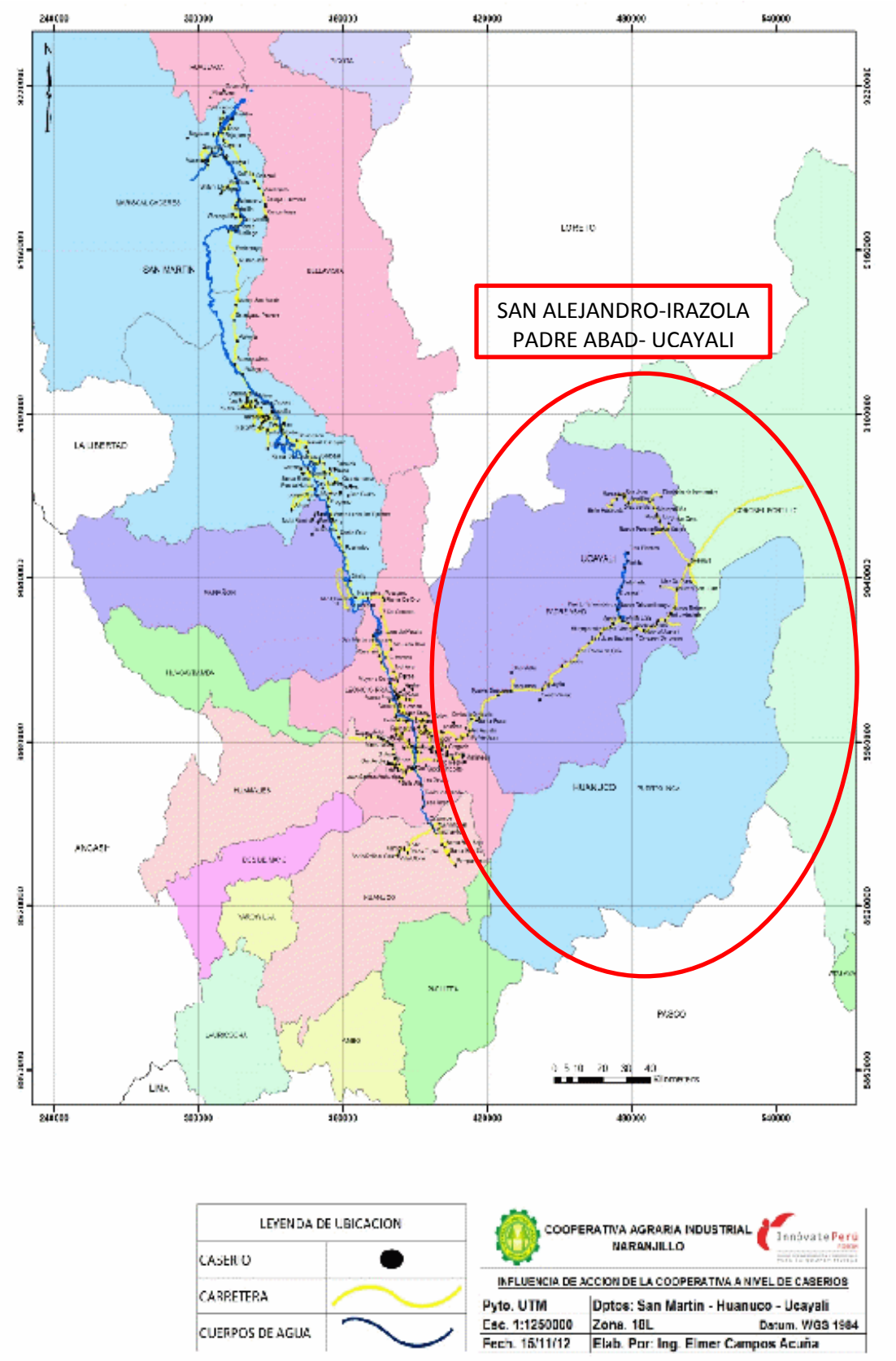


Figura 7 . Área de trabajo Irazola - Padre Abad - Ucayali.



Fuente Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, 2014.

Figura 8. Vista geográfica del área de trabajo San Alejandro.

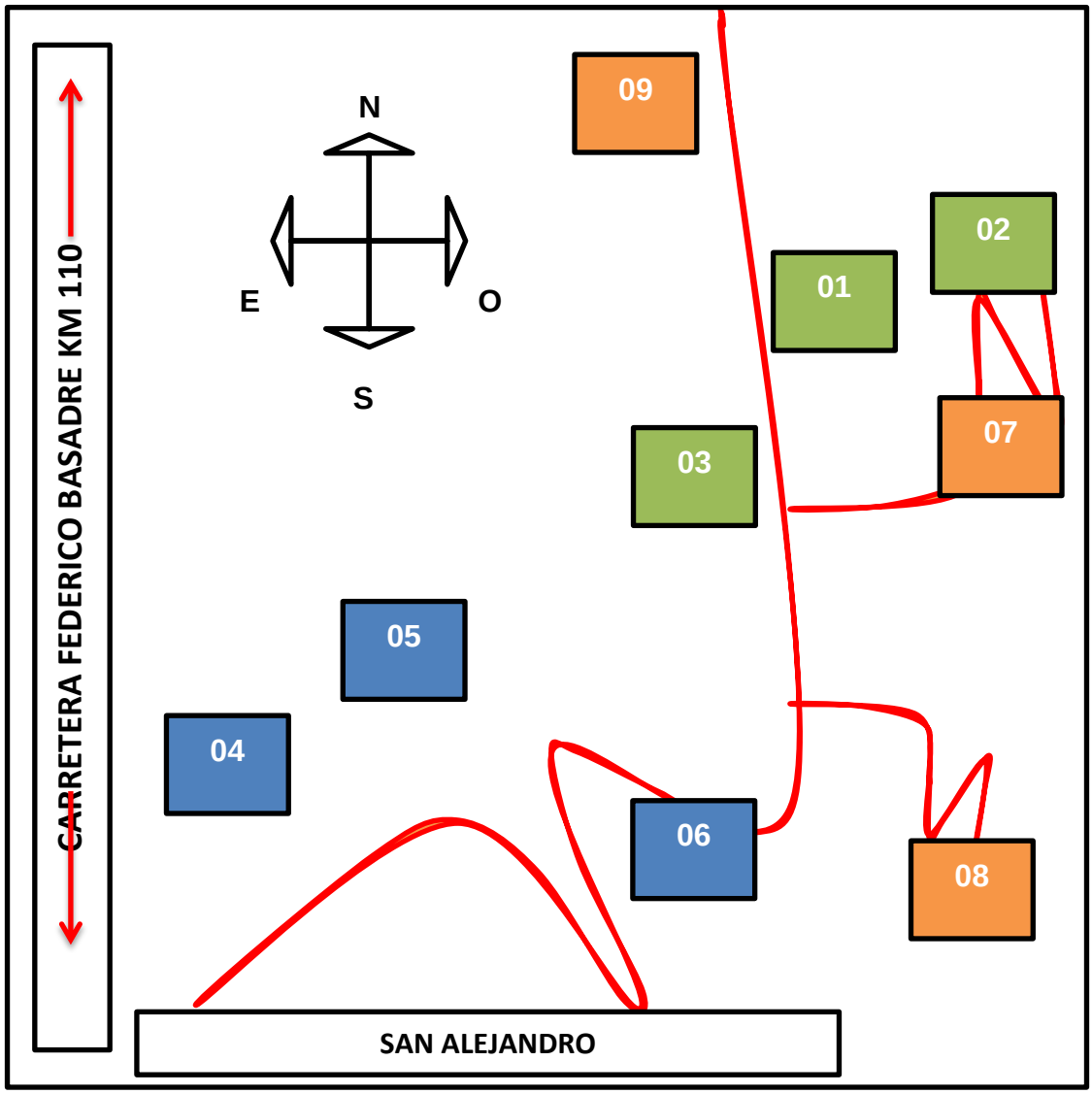


Figura 9. Croquis del área de evaluación por caseríos.

Cuadro 18. Historia de croquis del área de evaluación por caseríos.

PARCELA	PRODUCTOR	CASERIOS	MANEJO
01	LIVIA BUJAICO	VISTA ALEGRE	CONVENCIONAL
02	JUVENAL CARTAGENA LOPEZ	VISTA ALEGRE	CONVENCIONAL
03	NELSON	VISTA ALEGRE	CONVENCIONAL
04	GREGORIO MEJIA RIVERA	EL PORVENIR	ORGANICO
05	DEDICACION MURGA	EL PORVENIR	ORGANICO
06	JHONEL YANAC CIERTO	TAHUANTINSUYO	ORGANICO
07	FERMIN I ASCANOR	VISTA ALEGRE	TRADICIONAL
08	FERMIN II ASCANOR	VISTA ALEGRE	TRADICIONAL
09	ROSINDO PARIONA	INUYA	TRADICIONAL
	CARRETERA TRANSITABLE USADA COMO RECOORIDO PARA EXTRAER LAS MUESTRAS		

Cuadro 19. Productores de cacao de la provincia de Padre Abad asociados a ACATPA (Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad) seleccionados para la toma de muestras de suelo de sus parcelas a tres profundidades.

N°	NOMBRES (productores de cacao)	MANEJO	CASERIO
1	LIVIA BUJAICO	Convencional	Caserío Vista Alegre
2	JUVENAL CARTAGENA LOPEZ	Convencional	Caserío Vista Alegre
3	NELSON	Convencional	Caserío Vista Alegre
4	GREGORIO MEJIA RIVERA	Orgánico	Caserío el porvenir
5	DEDICACION MURGA	Orgánico	Caserío el porvenir
6	JHONEL YANAC CIERTO	Orgánico	Caserío Tahuantinsuyo
7	FERMIN ASCANOR	Tradicional	Caserío Vista Alegre
8	FERMIN ASCANOR	Tradicional	Caserío Vista Alegre
9	ROSINDO PARIONA	Tradicional	Caserío Inuya

Fuente elaboración propia 2015.

La Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA) tiene como al Sr. Jhony Guillermo Vela; la asociación tiene 13 años de actividad al 2017.

Cuadro 20. Resultados del análisis de suelo para determinar cadmio (Cd).

MUESTRA	PARCELA	MANEJO	PROFUNDIDAD (cm)	CADMIO (ppm)
CS 01	LIVIA	CONVENCIONAL	1	0.77
			2	0.38
			3	0.32
CS 02	JUVENAL	CONVENCIONAL	1	0.38
			2	0.16
			3	0.16
CS 03	NELSON	CONVENCIONAL	1	0.80
			2	0.32
			3	0.26
CS 04	GREGORIO	ORGANICO	1	0.81
			2	0.38
			3	0.32
CS 05	DEDICACION	ORGANICO	1	0.85
			2	0.32
			3	0.26
CS 06	JHONEL	ORGANICO	1	0.92
			2	0.44
			3	0.38
CS 07	FERMIN I	TRADICIONAL	1	0.89
			2	0.42
			3	0.38
CS 08	FERMIN II	TRADICIONAL	1	0.83
			2	0.39
			3	0.38
CS 09	ROSENDO	TRADICIONAL	1	0.91
			2	0.37
			3	0.33

Fuente: Datos tomados de la UNA La Molina (Hoja de Recepción N° 051509) Pucallpa octubre 2015.

Cuadro 21. Resultados de análisis de suelo.

N°	Elementos/ Sistemas	Prof.	Cd (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (meq/100gr)	pH
1	Convencional	1	0,77	1,07	1,54	0,60	5,44
2		2	0,38	1,04	0,41	0,42	5,10
3		3	0,32	1,01	0,72	0,43	5,03
4		1	0,38	1,57	22,15	0,51	5,11
5		2	0,16	1,04	3,39	0,44	5,09
6		3	0,16	0,96	0,52	0,42	5,07
7		1	0,80	1,02	10,8	1,50	4,91
8		2	0,32	1,00	3,61	0,72	4,82
9		3	0,26	1,01	3,50	0,63	4,77
10	Orgánico	1	0,81	1,20	10,82	0,57	4,80
11		2	0,38	0,96	5,15	0,51	4,73
12		3	0,32	0,90	0,10	0,46	5,29
13		1	0,85	1,30	9,47	0,60	4,91
14		2	0,32	1,00	6,50	0,72	5,02
15		3	0,26	1,00	1,34	0,58	5,00
16		1	0,92	1,20	15,24	0,79	4,64
17		2	0,44	1,00	7,52	0,55	4,67
18		3	0,38	0,90	1,55	0,54	4,62
19	Tradicional	1	0,89	1,50	9,68	0,50	4,73
20		2	0,42	1,03	1,85	0,63	4,66
21		3	0,38	1,02	1,31	0,69	4,58
22		1	0,83	1,98	7,31	0,76	4,64
23		2	0,39	1,30	3,39	0,55	4,60
24		3	0,38	1,02	1,65	0,54	4,53
25		1	0,91	1,42	10,10	0,64	5,02
26		2	0,37	1,40	9,06	0,98	5,00
27		3	0,33	0,52	0,21	0,68	4,84

Fuente: Elaboración propia 2015.

Cuadro 22. Correlación Pearson para cadmio (Cd) / pH.

	NITRÓGENO	FÓSFORO	POTASIO	pH
CADMIO	0,81	0,88	0,49	-0,11

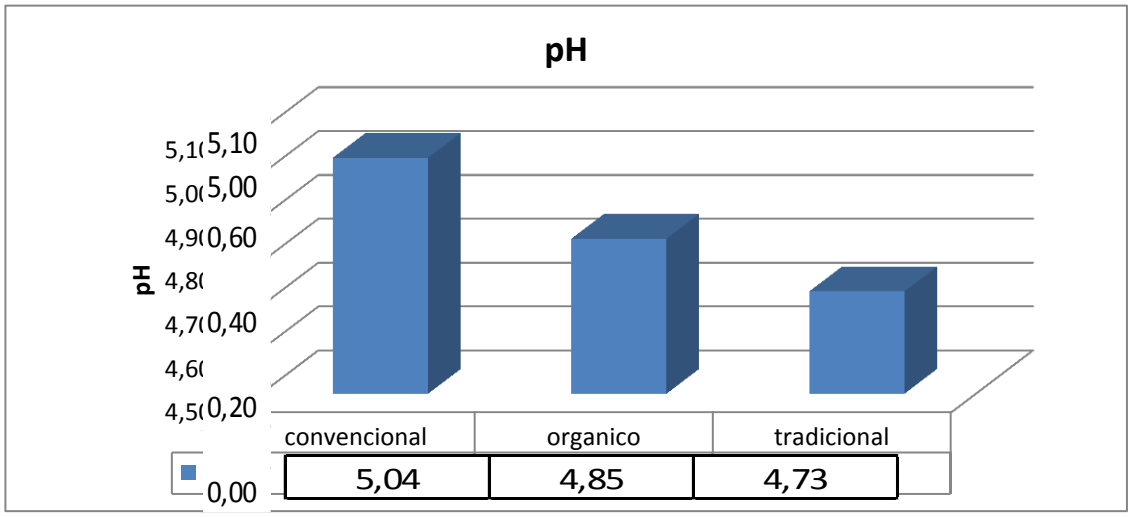


Figura 10. Datos comparativos sobre la alta significación Estadística (-0,11) existente entre los valores de Ph.

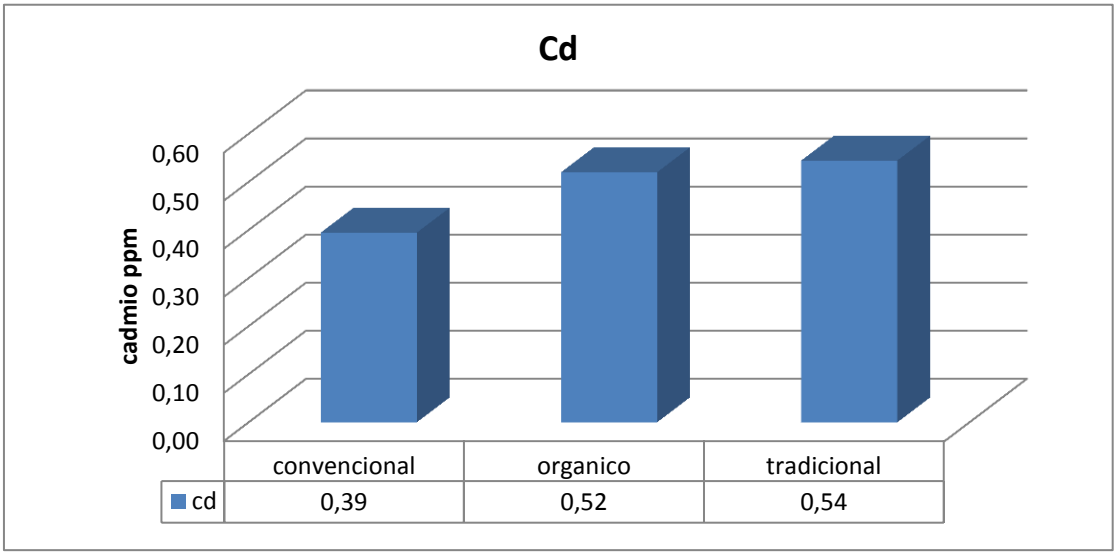


Figura 11. Datos comparativos sobre la alta significación Estadística (-0,11) existente entre los valores de cadmio.

FACTORIAL DUNCAN

Diseño de bloques completamente al azar

Obs	bloq	trat	sist	prof	vr
1	I	A	C	P1	0.77
2	I	B	C	P2	0.38
3	I	C	C	P3	0.32
4	I	D	O	P1	0.81
5	I	E	O	P2	0.38
6	I	F	O	P3	0.32
7	I	G	T	P1	0.89
8	I	H	T	P2	0.42
9	I	I	T	P3	0.38
10	II	A	C	P1	0.38
11	II	B	C	P2	0.16
12	II	C	C	P3	0.16
13	II	D	O	P1	0.85
14	II	E	O	P2	0.32
15	II	F	O	P3	0.26
16	II	G	T	P1	0.83
17	II	H	T	P2	0.39
18	II	I	T	P3	0.38
19	III	A	C	P1	0.80
20	III	B	C	P2	0.32
21	III	C	C	P3	0.26
22	III	D	O	P1	0.92
23	III	E	O	P2	0.44
24	III	F	O	P3	0.38
25	III	G	T	P1	0.91
26	III	H	T	P2	0.37
27	III	I	T	P3	0.33

Diseño de bloques completamente al azar
The GLM Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
bloq	3	I II III
trat	9	A B C D E F G H I
Number of observations	27	

Diseño de bloques completamente al azar
The GLM Procedure
Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	1.50639259	0.15063926	22.77	<.0001
Error	16	0.10583704	0.00661481		
Corrected Total	26	1.61222963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.934354	16.72468	0.081332	0.486296

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloq	2	0.06989630	0.03494815	5.28	0.0173
trat	8	1.43649630	0.17956204	27.15	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloq	2	0.06989630	0.03494815	5.28	0.0173
trat	8	1.43649630	0.17956204	27.15	<.0001

Diseño de bloquescompletamente al azar
The GLM Procedure
Duncan's Multiple Range Test for vr
NOTE: This test controls the Type I comparison wise error rate, not the experiment wise error rate.

Alpha	0.05							
Error Degrees of Freedom	16							
Error Mean Square	0.006615							
Number of Means	2	3	4	5	6	7	8	9
Critical Range	.1408	.1476	.1519	.1548	.1570	.1585	.1597	.1607

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan	Mean	N	trat
A	0.87667	3	G
A	0.86000	3	D
B	0.65000	3	A
C	0.39333	3	H
C	0.38000	3	E
C	0.36333	3	I
C	0.32000	3	F
C	0.28667	3	B
C	0.24667	3	C

Diseño de bloques completamente al azar
The GLM Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
bloq	3	I II III
sist	3	C O T
prof	3	P1 P2 P3

Number of observations 27

Diseño de bloques completamente al azar
The GLM Procedure
Dependent Variable: vr

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	1.50639259	0.15063926	22.77	<.0001
Error	16	0.10583704	0.00661481		
Corrected Total	26	1.61222963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	vr Mean
0.934354	16.72468	0.081332	0.486296

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloq	2	0.06989630	0.03494815	5.28	0.0173
sist	2	0.11658519	0.05829259	8.81	0.0026
prof	2	1.29960741	0.64980370	98.23	<.0001
sist*prof	4	0.02030370	0.00507593	0.77	0.5619

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloq	2	0.06989630	0.03494815	5.28	0.0173
sist	2	0.11658519	0.05829259	8.81	0.0026
prof	2	1.29960741	0.64980370	98.23	<.0001
sist*prof	4	0.02030370	0.00507593	0.77	0.5619

Diseño de bloques completamente al azar
The GLM Procedure
Duncan's Multiple Range Test for vr
NOTE: This test controls the Type I comparison wise error rate, not the experiment wise error rate. Alpha 0.05; Error Degrees of Freedom 16; Error Mean Square 0.006615

Number of Means	2	3
Critical Range	.08128	.08523

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan	Mean	N	sist
A	0.54444	9	T
A	0.52000	9	O
B	0.39444	9	C

Diseño de bloques completamente al azar
The GLM Procedure
Duncan's Multiple Range Test for vr
NOTE: This test controls the Type I comparison wise error rate, not the experiment wise error rate. Alpha 0.05; Error Degrees of Freedom 16; Error Mean Square 0.006615

Number of Means	2	3
Critical Range	.08128	.08523

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan	Mean	N	prof
A	0.79556	9	P1
B	0.35333	9	P2
B	0.31000	9	P3

CORRELACIÓN DE PEARSON

The SAS System

The CORR Procedure

5 Variables: CADMIO NITRÓGENO FÓSFORO POTASIO PH

Simple Statistics

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
CADMIO	9	0.48667	0.24495	4.38000	0.25000	0.88000
NITROGENO	9	1.12333	0.23648	10.11000	0.85000	1.63000
FOSFORO	9	5.51556	4.39446	49.64000	1.00000	11.84000
POTASIO	9	0.62778	0.11584	5.65000	0.49000	0.87000
PH	9	4.87444	0.15517	43.87000	4.65000	5.15000

Pearson Correlation Coefficients, N = 9
Prob > |r| under H0: Rho=0

	CADMIO	NITRÓGENO	FÓSFORO	POTASIO	PH
CADMIO	1.00000	0.80835	0.87641	0.48648	-0.10875
	0.0084	0.0019	0.1842	0.7806	
NITRÓGENO	0.80835	1.00000	0.68922	0.39134	-0.02498
	0.0084	0.0400	0.2976	0.9491	
FÓSFORO	0.87641	0.68922	1.00000	0.66868	0.12392
	0.0019	0.0400	0.0489	0.7508	
POTASIO	0.48648	0.39134	0.66868	1.00000	0.13413
	0.1842	0.2976	0.0489	0.7308	
PH	-0.10875	-0.02498	0.12392	0.13413	1.00000
	0.7806	0.9491	0.7508	0.7308	

REGRESIÓN LINEAL Cd / pH

The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: Y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.00568	0.00568	0.08	0.7806
Error	7	0.47432	0.06776		
Corrected Total	8	0.48000			

Root MSE	0.26031	R-Square	0.0118
Dependent Mean	0.48667	Adj R-Sq	-0.1293
Coeff Var	53.48805		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	1.32344	2.89238	0.46	0.6611
X	1	-0.17167	0.59311	-0.29	0.7806

REGRESION LINEAL
The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: Y

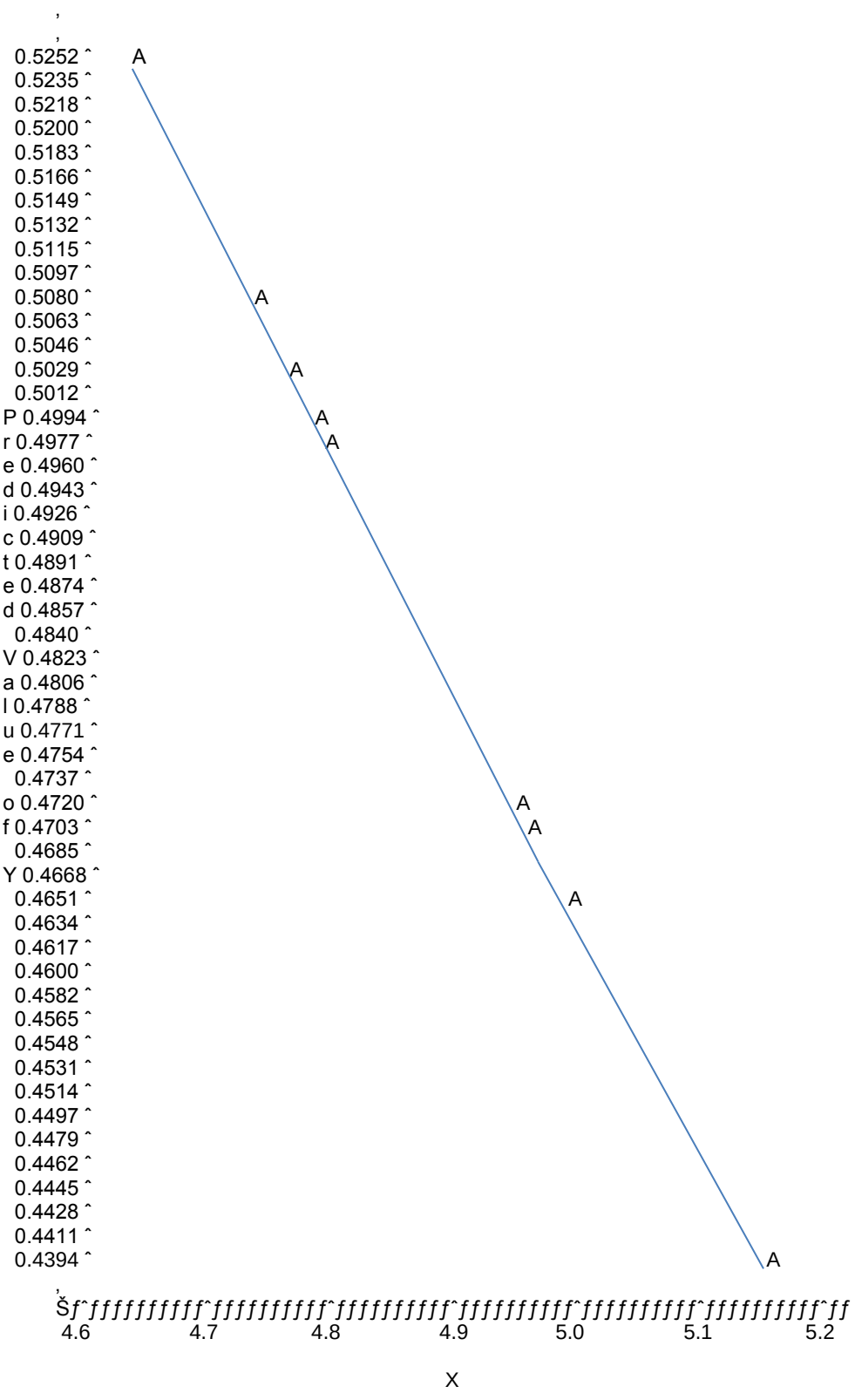
Output Statistics

Obs	Dep Var Y	Predicted Value	Residual
1	0.6500	0.4394	0.2106
2	0.2900	0.4651	-0.1751
3	0.2500	0.4720	-0.2220
4	0.8600	0.5029	0.3571
5	0.3800	0.4977	-0.1177
6	0.3200	0.4703	-0.1503
7	0.8800	0.4994	0.3806
8	0.3900	0.5080	-0.1180
9	0.3600	0.5252	-0.1652

Sum of Residuals	0
Sum of Squared Residuals	0.47432
Predicted Residual SS (PRESS)	0.81280

REGRESIÓN LINEAL Cd x pH

Plot of PRED*X. Symbol used is 'A'.



IX. ICONOGRAFÍA.



Figura 12. Vías de entrada a las parcelas de cacao, distrito de Irazola.



Figura 13 . Parcela de cacao, distrito de Irazola.



Figura 14. Familia productora de cacao, distrito de Irazola.



Figura 15. Limpieza y medición del terreno para construir una calicata.



Figuras 16. Preparacion de calicata, para obtener muestras de suelo.



Figuras 17. Tumba, roso y quemas extensas de bosques dentro del área de las parcelas de cacao.



Figura 18. Residuos de cenizas de la quema.



Figuras 19. Zona de arrojo de basura en la entrada a las parcelas de cacao.



Figura 20. Secado y preparación de muestras de suelo.



Figura 21. Materiales y equipos de laboratorio para la preparación de muestras de suelo para ser enviados a un laboratorio certificado.



Figura 22. Pesado de muestras de suelo.



Figura 23. Embolsado de muestras de suelo.



Figura 24. Pesado de suelo más catalizador y llenado de balones, para determinación de nitrógeno (N).



Figura 25. Quemando las muestras de suelo en equipo Kjedhal agregando ácido sulfúrico.



Figura 26. Destilando el resultado obtenido en el equipo Kjedhal, agregando ácido ascórbico al 4%.



Figura 27. Colocando bicarbonato líquido más suelo en los vasos de precipitado, para determinación de fósforo (P).

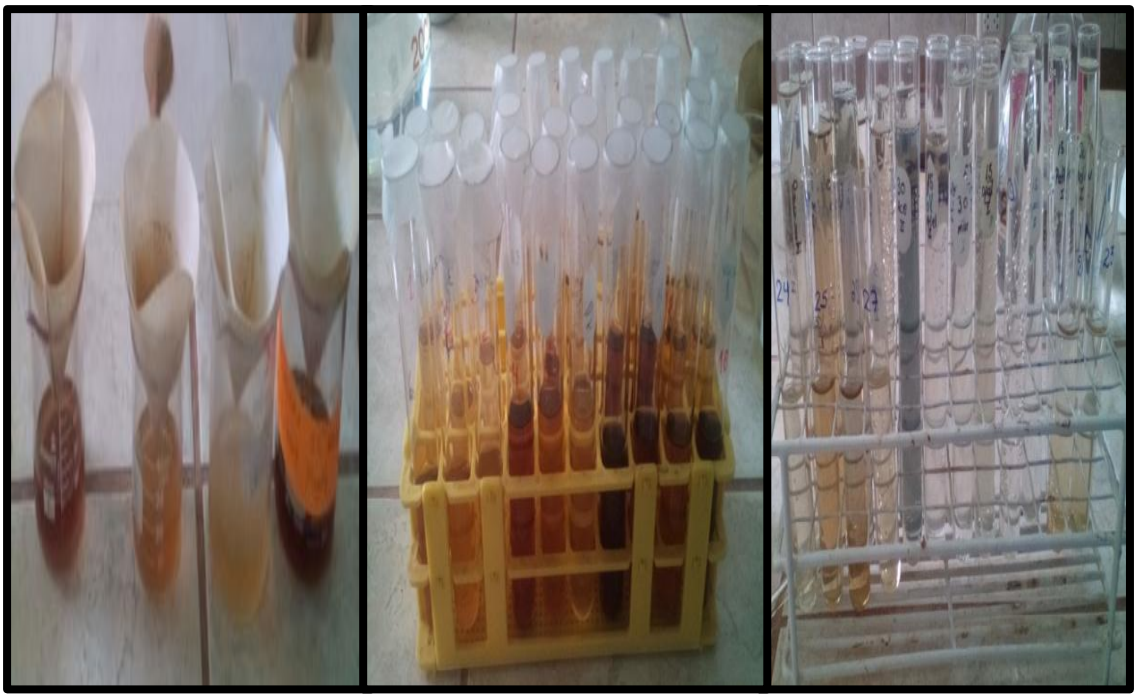


Figura 28. Filtración de mezcla de bicarbonato más suelo y resultado líquido de filtro en los tubos de ensayo.



Figura 29. Realizando la lectura de los resultados líquidos en el espectrofotómetro de luz visible.

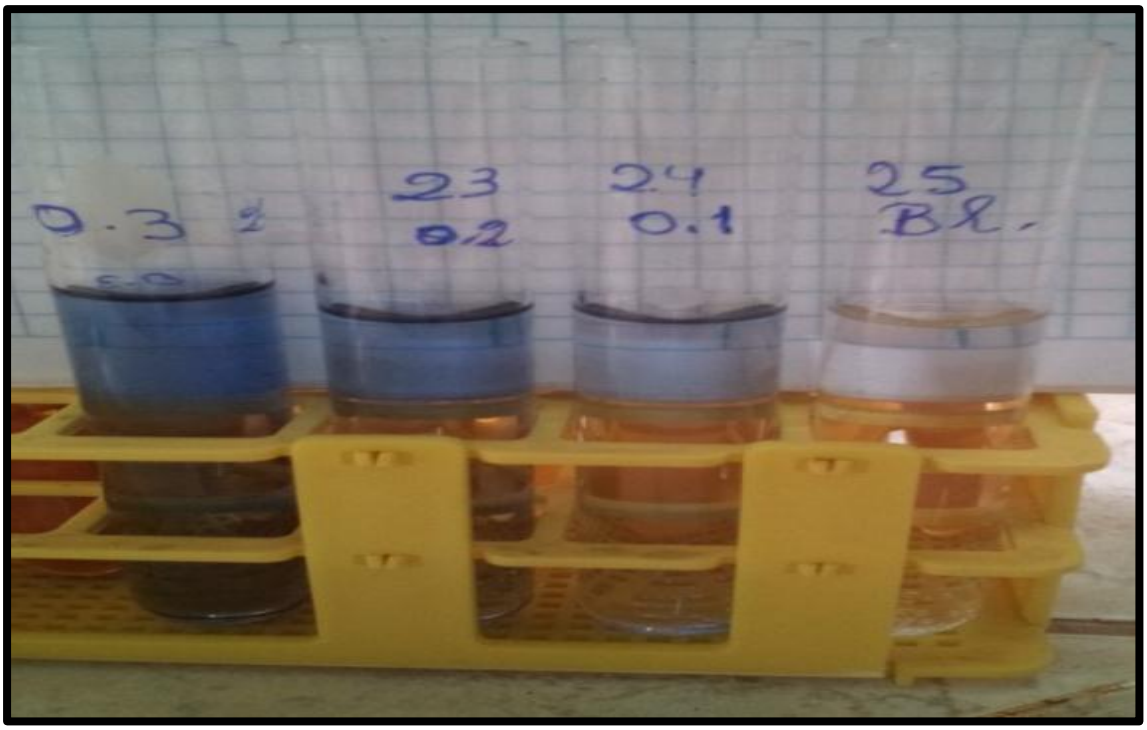


Figura 30. Presentación de lectura de fósforo (P) mediante la curva estándar.



Figura 31. Mezclando bicarbonato líquido más suelo para determinación de potasio (K).



Figura 32. Filtrando y llenando los tubos de ensayo con la solución líquida filtrada.



Figura 33. Resultado líquido de filtro en laboratorio para lectura de potasio (K).