

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**INFLUENCIA DE LA DOSIS DE APLICACIÓN DE DOLOMITA EN LA
CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LAS ALMENDRAS DE CACAO EN
PARCELAS DE LA COOPAIN**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

PRESENTADO POR:

MARIVEL LLACTAS FLORES

2016

DEDICATORIA

A Dios: sobre todas las cosas, por darme la vida e iluminarme y darme sus bendiciones durante todo el proceso de mi formación profesional.

A la memoria de mi madre: Perpetua Flores Oviedo, por darme la vida, y las enseñanzas brindadas.

A mi padre: Francisco Llactas de la Cruz, mi más profundo agradecimiento por sus sabios consejos y por su apoyo invaluable en mi formación académica y profesional.

A mis hermanos (as): Fortunata, Reymunda, Abigail, Francisco, Efraín Llactas Flores, a mi hijo Iker Emir y a mi sobrino Kaleb por su apoyo moral y sus consejos en el proceso de mi formación como profesional.

AGRADECIMIENTO

- A mi padre (Francisco Ll.), a mis hermanas y hermanos, sobrino; por su amor fraternal, apoyo moral y económico.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haberme forjado como profesional.
- A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica.
- Al Ing. Mg. Roberto Obregón Peña, al Ing. M.Sc. Hugo Huamaní Yupanqui, por su orientación profesional, durante el trabajo de campo y de gabinete, así como también durante la redacción de la tesis.
- A los miembros del jurado calificador de la tesis: Ing. M.Sc. José Lévano Crisóstomo, Ing. Jaime Torres García, Ing. M.Sc. Tania Guerrero Vejarano, por sus oportunas sugerencias.
- A mis amigas (Ing. Ana María Ríos, Duany Dávila y Tatiana Palomino) por su gran apoyo en el desarrollo y ejecución de la tesis.
- A todas aquellas personas que directa o indirectamente hicieron posible la culminación de la tesis.

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. El cacao | 3 |
| 2.2. Metales pesados en suelos agrícolas | 3 |
| 2.3. Origen de la contaminación del suelo por metales pesados | 7 |
| 2.3.1. Origen natural..... | 8 |
| 2.3.2. Origen antropogénico | 8 |
| 2.4. Elementos pesados en los suelos | 11 |
| 2.4.1. El pH..... | 12 |
| 2.4.2. Cadmio | 16 |
| 2.4.3. Cadmio en el suelo | 17 |
| 2.4.4. Fuentes de contaminación del cadmio | 18 |
| 2.4.5. Ingreso del cadmio en la cadena trófica | 19 |
| 2.4.6. Ingreso transporte y acumulación del cadmio en plantas | 20 |
| 2.4.7. Toxicidad del cadmio en plantas..... | 22 |
| 2.4.8. Estrategias de tolerancia al cadmio | 26 |

| | |
|---|----|
| 2.5. Efectos del cadmio en la salud humana..... | 27 |
| 2.6. Dolomita..... | 28 |
| 2.6.1. Formación de dolomita..... | 28 |
| 2.6.2. Usos de la dolomita..... | 28 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 30 |
| 3.1. Características de la zona de estudio..... | 30 |
| 3.1.1. Ubicación política..... | 30 |
| 3.1.2. Ubicación geográfica..... | 30 |
| 3.1.3. Zona de vida..... | 30 |
| 3.1.4. Clima..... | 31 |
| 3.1.5. Precipitación..... | 31 |
| 3.1.6. Temperatura..... | 31 |
| 3.1.7. Hidrografía..... | 32 |
| 3.1.8. Cultivo..... | 32 |
| 3.2. Materiales y equipos..... | 32 |
| 3.2.1. Material vegetativo..... | 32 |
| 3.2.2. Abono..... | 32 |
| 3.2.3. Materiales de campo..... | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.2.4. Equipo | 33 |
| 3.2.5. Reactivos | 33 |
| 3.3. Fase de campo..... | 33 |
| 3.3.1. Evaluación del suelo..... | 33 |
| 3.3.2. Evaluación de la almendra | 34 |
| 3.4. Metodología de evaluación | 35 |
| 3.4.1. Metodología de aplicación de la enmienda..... | 35 |
| 3.4.2. Evaluación del suelo..... | 35 |
| 3.4.3. Análisis de cadmio disponible..... | 35 |
| 3.4.4. Evaluación de la almendra | 36 |
| 3.4.5. Método de análisis de cadmio total en tejidos | 36 |
| 3.5. Fase gabinete | 37 |
| 3.5.1. Diseño estadístico | 37 |
| 3.5.2. Modelo aditivo lineal | 37 |
| 3.5.3. Variables dependientes | 39 |
| 3.5.4. Variables independientes | 39 |
| IV. RESULTADOS | 40 |
| 4.1. Metales pesados en suelos y almendras | 40 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Cadmio en el suelo en parcelas de cacao después de la aplicación de dolomita..... | 42 |
| 4.3. Cadmio en las almendras de cacao | 45 |
| 4.4. Relación entre las dosis de dolomita y el cadmio en la planta de cacao..... | 50 |
| V. DISCUSIÓN..... | 52 |
| 5.1. Contenido de metales pesados en suelos y almendras | 52 |
| 5.2. Contenido de cadmio en el suelo en parcelas de cacao después de la aplicación de dolomita..... | 53 |
| 5.3. Contenido de cadmio en las almendras de cacao..... | 56 |
| 5.4. Relación entre las dosis de dolomita y el cadmio en la planta de cacao..... | 60 |
| VI. CONCLUSIONES | 62 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 63 |
| VIII. ABSTRACT..... | 64 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 66 |
| ANEXO | 79 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 1. Metales pesados en suelos y plantas terrestres..... | 4 |
| 2. Concentración típica de metales pesados (mg/kg) en los principales tipos de rocas..... | 7 |
| 3. Propiedades del cadmio..... | 16 |
| 4. Coordenada de la parcela evaluada..... | 30 |
| 5. Esquema del análisis de varianza..... | 38 |
| 6. Tratamientos en la investigación..... | 39 |
| 7. Valores (ppm) de metales pesados en el suelo, pH y almendra de cacao al inicio de la aplicación de dolomita..... | 40 |
| 8. Análisis del contenido de cadmio (ppm) en el suelo en parcelas de cacao..... | 43 |
| 9. ANVA para el contenido de cadmio en el suelo en parcelas de cacao..... | 44 |
| 10. Prueba de Duncan del contenido de cadmio en el suelo de cacao..... | 44 |
| 11. Análisis del contenido de cadmio (ppm) en las almendras de cacao..... | 46 |
| 12. Análisis de variancia para el parámetro contenido de cadmio (ppm) en el las almendras de cacao..... | 47 |

| | |
|---|----|
| 13. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el parámetro contenido de cadmio (ppm) en el las almendras de cacao. | 48 |
| 14. Correlación entre los niveles de dolomita utilizado y la cantidad de cadmio presente en un cultivo de cacao..... | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1. Fuentes y factores de contaminación en el sistema suelo-planta..... | 11 |
| 2. Mecanismos de ingreso, secuestro y traslocación del cadmio en las raíces. | 22 |
| 3. Esquema de la respuesta celular al cadmio. | 25 |
| 4. Diseño experimental de instalación en campo. | 34 |
| 5. Distribución de bloques delimitados. | 34 |
| 6. Concentración de cadmio disponible en el suelo..... | 41 |
| 7. Concentración de cadmio total en almendras de cacao. | 42 |
| 8. Contenido de cadmio en el suelo de los tratamientos en estudio..... | 45 |
| 9. Contenido de cadmio en las almendras de los tratamientos aplicados. | 49 |
| 10. Relación del contenido de cadmio del suelo y almendras por tratamiento..... | 50 |
| 11. Muestreo del suelo. | 80 |
| 12. Muestreo del suelo de la parcela evaluada. | 80 |
| 13. Muestreo de las mazorcas de cacao. | 81 |
| 14. Parcela del bloque I y tratamiento 1. | 81 |

| | |
|--|----|
| 15. Parcela de cacao del tratamiento T ₃ | 82 |
| 16. Limpieza alrededor de la planta para la aplicación de dolomita. | 82 |
| 17. Pesando la dolomita a aplicarse en el suelo..... | 83 |
| 18. Cortando un recipiente con la medida exacta para aplicar dolomita. | 83 |
| 19. Aplicando dolomita al alrededor de la planta de cacao..... | 84 |
| 20. Muestra de una planta de cacao después del encalado..... | 84 |

RESUMEN

Del mes de mayo a octubre del 2013 se llevó a cabo la investigación que por título es “Influencia de la dosis de aplicación de dolomita en la concentración de cadmio en las almendras de cacao en parcelas de la COOPAIN”, se llevó a cabo en la parcela de un agricultor de cacao orgánico de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo (COPAIN), del sector “Afilador” que pertenece a la provincia Leoncio Prado, región Huánuco. En la investigación se utilizó el diseño experimental en Bloques Completamente al Azar (DBCA), con tres repeticiones y cinco tratamientos; los tratamientos fueron en base a las dosis de dolomita (g/planta) en el suelo de la parcela de cacao T₀ (0 g), T₁ (500 g), T₂ (1000 g), T₃ (1500 g) y T₄ (2000 g). Al finalizar el experimento se determinó que sí existe una influencia significativa de las cuatro dosis de dolomita en la reducción de niveles de cadmio (ppm) presentes en las almendras de cacao, el nivel de cadmio presente en las almendras de cacao en un suelo sin dolomita fue 0.980 ppm, con la aplicación de dolomita se redujo hasta 0.487 ppm; las mejores dosis de dolomita con mayor reducción de cadmio en la almendra fueron 2000 g (T₄) y 1000 g (T₂); también la aplicación de dolomita en la parcela de cacao redujo el nivel de cadmio (0.497 ppm) por efecto de la dosis de dolomita de 500 g (T₁), las mejores dosis de dolomita en la reducción de cadmio en el suelo fueron 2000 g (T₄) y 500 g (T₁); además, se encontró correlación negativa significativa entre las dosis de cadmio y el contenido de este metal pesado en las almendras de cacao.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el cacao orgánico representa uno de los principales cultivos de la provincia de Leoncio Prado – Huánuco, una importante actividad socio – económica, el principal mercado de este cultivo es el externo presentándose los mayores niveles de exportación hacia Holanda, Suiza, Bélgica, Francia, Italia, Alemania, Estados Unidos, Japón y otros. Estos países presentan determinadas condiciones para el ingreso y comercialización de cacao, y uno de ellos es la presencia de metales pesados; el mercado europeo está presentando observaciones respecto a la presencia del cadmio en el producto de cacao que se está enviando y que está superando los límites máximos permisibles, genera preocupación en relación a los posteriores envíos de este producto.

Es por ello que se hace imperioso evaluar la presencia y los niveles de contaminación del cadmio en el suelo y granos de cacao de los agricultores de la Cooperativa Agraria Naranjillo. La acumulación de cadmio y su influencia puede estar determinada por las aplicaciones de ciertos fertilizantes fosfatados o de manera natural, que llegan al suelo, y otras causas que se desconocen, como el cadmio está presente en nuestros suelos donde se cultiva el cacao.

Para los agricultores que se dedican al cultivo de cacao orgánico el cual representa para la provincia de Leoncio Prado una importante actividad

socio – económica, toda vez que gracias a la exportación principalmente al mercado europeo genera divisas para los agricultores. Es por ello que el reporte sobre la presencia de niveles de cadmio por encima de lo permitido en el producto enviado al extranjero genera preocupación en relación a los posteriores envíos de este producto, lo cual la aplicación de dolomita disminuirá el contenido de cadmio en las almendras del cacao.

Con esta investigación se quiere demostrar si la dolomita reduce el contenido de cadmio en el suelo y en las almendras del cacao. A nivel del suelo se tienen indicadores que son empleados como referencia respecto a la presencia de niveles tóxicos de cadmio, como es el caso de la macrofauna del suelo en especial las lombrices que son sensibles al envenenamiento por cadmio (BROWN y DOMÍNGUEZ, 2010). Bajo este contexto se planteó como objetivo general:

- Determinar la influencia de la dolomita en el contenido de cadmio en las almendras del cacao.

Y los objetivos específicos fueron:

- Evaluar los niveles de cadmio en los suelos del cultivo de cacao.
- Evaluar los niveles de cadmio en las almendras de cacao.
- Determinar la relación entre el contenido de cadmio en el suelo como en la almendra del cacao.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cacao

El nombre del género es *Theobroma* que significa "alimento de los dioses". Es cultivado por sus granos que constituyen la materia prima de diversas industrias. Se obtienen productos semielaborados como pasta de cacao, cacao en polvo y manteca de cacao, también productos elaborados destinados al consumo directo como chocolates en tabletas o en polvo y confituras de chocolate.

Subproductos como la cascarilla se utiliza en alimento de ganado y en jabonería; el polvo de cacao por contener fosfatos cálcicos es reconstituyente (analéptico) y tomado con leche es un gran alimento, pero no debe consumirse en exceso. La manteca de cacao tiene excelente propiedades emoliente; se usa como base para muchas pomadas por tener la propiedad de preservar la piel de sequedad, grietas y escoriaciones (LEÓN, 1987).

2.2. Metales pesados en suelos agrícolas

El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y/o peso sea venenoso o tóxico en concentraciones incluso muy bajas (LUCHO *et al.*, 2005).

GARCÍA y DORRONSORO (2005) mencionan que, los metales pesados son los que tienen densidad igual o superior a 5 g.cm^{-3} siendo de mayor peso que los minerales formadores de roca en su forma elemental. Además, su número atómico es superior a 20, excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos. La presencia de estos elementos en la corteza terrestre es inferior al 0.1 % y casi siempre menor de 0.01 % (Cuadro 1).

Cuadro 1. Metales pesados en suelos y plantas terrestres.

| Elementos | Suelos (mg/kg) | Plantas terrestres (mg/kg) |
|--------------------------------|----------------|----------------------------|
| Cadmio (Cd^{2+}) | 0.35 | 0.10 - 2.40 |
| Cobalto (Co^{2+}) | 8.00 | <1.00 |
| Cobre (Cu^{1+}) | 30.00 | xxx |
| Cromo (Cr^{2+}) | 70.00 | 0.03 - 10.00 |
| Hierro (Fe^{3+}) | 4.00 | 70.00 - 700.00 |
| Mercurio (Hg^{1+}) | 0.08 | <0.02 |
| Manganeso (Mn^{2+}) | 1000.00 | 20/700 |
| Níquel (Ni^{2+}) | 50.00 | xxx |
| Plomo (Pb^{2+}) | 35.00 | xxx |
| Selenio (Se^{2+}) | 0.4.00 | 0.03 |
| Zinc (Zn^{2+}) | 90.00 | 20-400 |
| Arsénico (As^{3+}) | 6.00 | 0.20 - 7.00 |

Fuente: Más y Azcue (1993), citado por REYES y MARÍA (2004).

Algunos autores consideran esta definición un tanto ambigua y prefieren utilizar la definición de metales traza (WARD, 1995). Bajo esta denominación se engloban a todos los elementos presentes en concentraciones no detectables mediante técnicas de análisis clásicas, de forma que se considera elemento traza a los elementos detectables en un rango de concentración de 100 a 0.01 mg/kg y se reserva el término ultratrazas a niveles comprendidos entre 0.01 mg/kg y 10 µg/kg.

Dentro de los metales pesados se distinguen dos grupos:

- Oligoelementos. Necesarios para el desarrollo de determinados organismos, son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran: arsénico (As^{3+}), boro (B^{3+}), cobalto (Co^{2+}), cromo (Cr^{2+}), cobre (Cu^{2+}), molibdeno (Mo^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), níquel (Ni^{2+}), selenio (Se^{2+}) y zinc (Zn^{2+})
- Metales pesados sin función biológica conocida: Metales cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos, resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de bioacumularse en los organismos vivos. Entre los principales tenemos: cadmio (Cd^{2+}), mercurio (Hg^{1+}), plomo (Pb^{2+}), cobre (Cu^{1+}), níquel (Ni^{2+}), antimonio (Sb^{3+}), bismuto (Bi^{3+}).

Los metales pesados han sido objeto de atención por sus características contaminantes peculiares (FACHINELLI *et al.*, 2001):

- Poseen carácter acumulativo: su concentración no disminuye con el tiempo.
- Son necesarios y beneficiosos para las plantas y otros organismos a determinados niveles, pero también son tóxicos cuando exceden unos niveles de concentración.
- Están siempre presentes en los suelos a unos niveles de concentración denominados niveles de fondo, cuyo origen no es externo, sino que proviene del material parental originario de las rocas y su transformación.
- Con frecuencia se encuentran como cationes que interactúan fuertemente con la matriz del suelo, lo que en condiciones se traduce en que incluso a altas concentraciones pueden encontrarse en forma química no dañina e inerte. Sin embargo estos metales pueden movilizarse y cambiar de forma química debido a cambios en las condiciones ambientales, cambios en el uso del suelo o por saturación de la capacidad de tamponamiento del suelo (STIGLIANI, 1993).

La composición química de la roca madre (Cuadro 2) y los procesos de meteorización condicionan, de forma natural, la concentración de diferentes metales pesados en los suelos (TILLER, 1989 y ROSS, 1994). Los

rangos presentados por (ROSS, 1994) son muy variables en función del tipo de roca de la que se trate y generalmente, las concentraciones son mucho mayores en rocas ígneas. Este hecho implica que los rangos de concentración natural de los metales en los suelos pueden ser amplios y están condicionados, básicamente, por el tipo de roca madre y el grado de meteorización de la misma. Estos factores dependen en gran medida de la zona de estudio, por lo que existe gran variabilidad espacial en la concentración de metales en suelos.

Cuadro 2. Concentración típica de metales pesados (mg/kg) en los principales tipos de rocas.

| Rocas | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | Sn | Zn |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|---------|----------|---------|-----------|
| Rocas ígneas | | | | | | | | | | |
| Ultrabásicas | 0.12 | 110 - 150 | 2000 - 2980 | 10 - 42 | 0.004 | 1040 - 1300 | 2000 | 0.1 - 14 | 0.5 | 50 - 58 |
| Básicas | 0.13 - 0.20 | 35 - 30 | 200.00 | 90 - 100 | 0.01 - 0.08 | 1500 - 2200 | 150 | 0.3 - 5 | 1 - 1.5 | 100 |
| Granito | 0.009 - 0.2 | 1.00 | 4.00 | 10 - 13 | 0.08 | 400 - 500 | 0.5 | 20 - 24 | 3 - 3.5 | 40 - 52 |
| Rocas sedimentarias | | | | | | | | | | |
| Calcáreas | 0.028 - 0.1 | 0.028 - 0.1 | 10.0 - 11.0 | 5.5 - 15 | 0.05 - 0.16 | 620 - 1100 | 7 - 12 | 5.7 - 7 | 0.5 - 4 | 20 - 25 |
| Areniscas | 0.05 | 0.05 | 35.00 | 30 | 0.03 - 0.29 | 4.0 - 60 | 2 - 9 | 8.0 - 10 | 0.5 | 16 - 30 |
| Metamórficas | 0.2 | 0.2 | 90 - 100 | 39-50 | 0.18 - 0.5 | 850 | 68 - 70 | 20 - 23 | 4 - 6 | 100 - 120 |

Fuente: ROSS (1994).

2.3. Origen de la contaminación del suelo por metales pesados

Los metales pesados están presentes en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas y en ese momento genera la contaminación ambiental.

2.3.1. Origen natural

Los metales pesados al meteorizarse, se concentran en los suelos y estas concentraciones naturales pueden llegar a ser tóxicas, debido a que pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los animales que la consumen. En suelos, los más abundantes (1 - 1500 mg/kg) son el manganeso, cromo, zinc, níquel y plomo (SÁNCHEZ, 2003).

2.3.2. Origen antropogénico

La concentración natural se incrementa por diversas actividades humanas, entre ellas destacan la minería, la fundición, la producción energética, la actividad industrial, la producción y uso de plaguicidas, el tratamiento y depósito/vertido de residuos, parque automotor, etc. (WEBER y KARCZEWSKA, 2004). En los suelos agrícolas, la entrada de metales se produce, mayoritariamente, desde los fertilizantes, plaguicidas, estiércol y, también, desde la atmósfera (ALLOWAY y JACKSON, 1991). Por ejemplo, los fertilizantes fosforados aportan una cantidad de Cd, y para el control de plagas se han utilizado sales de Zn, y arseniatos de Cu y Pb (TILLER, 1989). También el agua de riego y el uso, cada vez más extendido, de enmiendas orgánicas y biosólidos, entre los que destacan los lodos de depuradora y compost realizado a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) o residuos industriales, son importantes fuentes de metales en suelos agrícolas (NICHOLSON *et al.*, 2003).

En Europa, estas actividades han incrementado desde hace varias décadas. Este hecho hace que, hoy en día, sea muy difícil identificar una zona en la que se tenga la certeza de que nunca ha habido entrada de metales pesados de origen antrópico (KABATA-PENDIAS, 1995).

2.3.2.1. Origen por medio de residuos orgánicos

La utilización de residuos orgánicos como enmiendas a suelos hortícolas, produce incremento, entre otras características, del contenido de materia orgánica, un factor positivo en la agregación del suelo, y un mayor aporte de micronutrientes, que puede inducir a un aumento de la producción agrícola (ZHELJAZKOV y WARMAN, 2003).

El contenido de contaminantes orgánicos y metales pesado, que limita la cantidad que se puede adicionar sin suponer un riesgo para la salud humana, quizás mermen los efectos beneficiosos de las enmiendas orgánicas (SANCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2004). Por ello, para evitar problemas derivados de un exceso de metales se debe regular los niveles máximos permitidos con los residuos orgánicos para uso agrícola.

2.3.2.2. Origen del agua de riego y productos químicos

El uso de fertilizantes, principalmente sintéticos, representan un potencial de riesgo de contaminación de metales pesados a los acuíferos subterráneos cuando su aplicación se realiza en ausencia de las consideraciones agronómicas que contemplan el balance de nutrientes entre el

consumo de los cultivos y el aportado por el suelo (Reynoso *et al.*, 2004; citado por CUENCA, 2012).

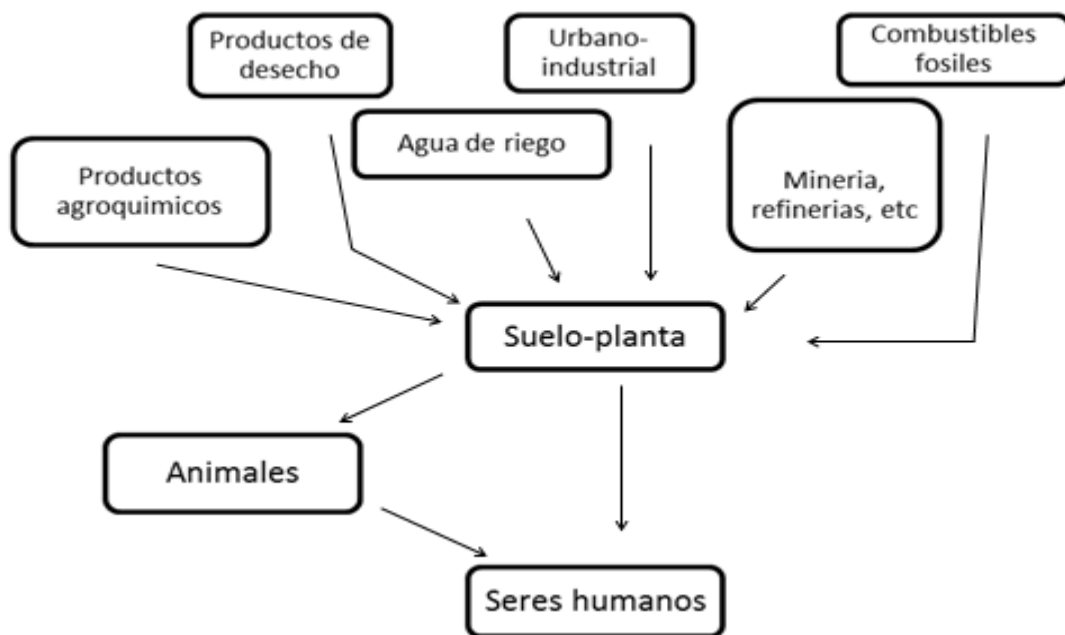
La aplicación de plaguicidas es otro problema de contaminación; se ha establecido que sólo el 0.1 % de la cantidad de plaguicidas aplicado llega a la plaga, mientras que el restante circula por el ambiente, contaminando posiblemente el suelo, agua y la biota; por lo tanto, se hace necesario caracterizar el destino final y la toxicidad no prevista de estos plaguicidas (CARVALHO *et al.*, 1998).

2.3.2.3. Origen de las actividades de minerías y refinerías

La industria minera es una de las actividades económicas de mayor tradición contaminante, la cual es mayoritariamente metálica y se dedica principalmente a la producción de Cu, Zn, Ag, Cd y Pb. Esta actividad tiene un alto impacto ambiental, ya que afecta desde el subsuelo hasta la atmósfera, incluyendo suelos y cuerpos de agua. Debido al procesamiento de los recursos minerales, se han generado grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que han ocasionado una gran cantidad de sitios contaminados a lo largo de todo el país (MONGE *et al.*, 2008).

Las posibles fuentes de metales al sistema agrícola, tanto al suelo como a los cultivos y la transferencia de los metales desde el sistema suelo-planta a los seres humanos (Figura 1), indican que la contaminación por metales pesados de los suelos puede afectar de manera directa a la salud

humana (NRIAGU, 1990). Los metales pueden llegar a los seres humanos bien por ingestión directa o a través de la ingestión de plantas y/o animales, aunque también a través del aire y aguas superficiales (OLIVER, 1997). De manera indirecta la contaminación por metales pesados tiene efectos sobre el bienestar del ser humano al interferir en la “salud” ambiental (NRIAGU, 1990).



Fuente: WEBER y KARCZEWSKA (2004).

Figura 1. Fuentes y factores de contaminación en el sistema suelo-planta.

2.4. Elementos pesados en los suelos

Los factores que afectan la disponibilidad de los metales están relacionados con la meteorización química de la roca madre (ROSS, 1994). La solubilidad de los elementos pesados puede estar afectada por las características presentadas por estos, pues existe una interacción entre ellos.

2.4.1. El pH

El pH del suelo es el principal factor que condiciona los procesos de adsorción en el suelo y la actividad de los metales (HOUBA *et al.*, 1996). La forma en que el pH afecta a la adsorción de los metales en el suelo ha sido explicada por diversos mecanismos. Algunos de estos mecanismos son la precipitación, la hidrólisis metálica seguida de la adsorción de las especies de metales y la competencia de los cationes metálicos por los sitios de intercambio (BASTA y TABATABAI, 1992) o la ionización de grupos superficiales, el desplazamiento del equilibrio en las reacciones de complejación superficiales, la competencia con H_3O^+ y Al^{3+} por los sitios negativos y los cambios en la especiación metálica (MSAKY y CALVET, 1990).

Generalmente los metales quedan retenidos en el suelo a pH básicos, mientras que a pH ácidos los metales están más solubles siendo, por lo tanto, mayor su disponibilidad para las plantas (ROSS, 1994). No obstante, existen excepciones, pudiendo estar algunos metales, como el arsénico, selenio y cromo, más biodisponibles a pH básicos (MCLEAN y BLEDSOE, 1992).

2.4.1.1. Intercambio catiónico

Todos los suelos presentan cargas negativas en la superficie de sus constituyentes (EVANS, 1989). De acuerdo con el principio del electro-neutralidad, la carga negativa en la superficie de los coloides son neutralizadas

por una cantidad equivalente de cationes en la solución suelo, los que pueden quedar adsorbidos (SILVA, 2004).

Esta adsorción de cationes por el suelo se denomina “adsorción no específica”, que se caracteriza porque el ion es atraído electrostáticamente por las superficies cargadas de la fracción coloidal del suelo, sin que haya una dependencia de configuración electrónica con el grupo funcional de la superficie del suelo, formando esfera externa (SPOSITO, 1989).

La cantidad de iones que pueden ser adsorbidos de forma intercambiable en el suelo se llama capacidad de intercambio catiónico o CIC. En la mayoría de casos existe selectividad o preferencia de un catión por otro, por lo tanto, es un proceso competitivo y reversible (SILVA, 2004).

La adsorción de los metales a las partículas del suelo reduce la concentración de los metales en la solución suelo. Así, un suelo con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta tiene más sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo, los que estarán disponibles para una mayor adsorción y posible inmovilización de los metales (SILVEIRA *et al.*, 2003).

2.4.1.2. Adsorción específica

La adsorción específica se produce por la afinidad de algunos cationes metálicos por un sitio particular de adsorción; por esta razón los metales son adsorbidos específicamente en cierto orden de preferencia, por

ejemplo $Cd < Zn < Cu < Pb$. Por lo tanto, los metales no siempre están afectados por la competencia de otros cationes (ALLOWAY, 1995).

La adsorción específica no es fácilmente reversible. La adsorción específica es un fenómeno de alta afinidad, involucrando mecanismos de intercambio entre el metal y el ligando de la superficie de los coloides por medio de enlaces covalentes o iónicos. Este término ha sido utilizado para explicar la razón por la cual algunos suelos adsorben determinados cationes en concentraciones superiores a su capacidad de intercambio catiónico (ALLOWAY, 1995).

Los metales pesados que se encuentran como aniones, arsénico (As), selenio (Se), molibdeno (Mo), también pueden presentar adsorción específica en las superficies de los óxidos e hidróxidos hidratados.

La adsorción específica es altamente dependiente del pH e involucra a los coloides orgánicos e inorgánicos (óxidos hidratados de Al, Fe y Mn y la materia orgánica), y ocurre que la concentración de los metales sea baja (SILVEIRA *et al.*, 2003).

2.4.1.3. Precipitación

Las reacciones de precipitación y dilución dependen del producto de solubilidad (K_{ps}) del sólido en agua. Los iones metálicos en la solución suelo pueden precipitar con un agente químico, generalmente aniones como fosfato, carbonato o sulfato (RIEUWERTS *et al.*, 1998). También pueden

precipitar como hidróxidos al reaccionar con los iones oxidrilos presentes en la solución (BASTA y TABATABAI, 1992).

La precipitación/disolución son procesos que, además se ven influenciados por el pH y el potencial redox del suelo (RIEUWERTS *et al.*, 1998). Las reacciones de precipitación están asociadas normalmente a suelos alcalinos y calcáreos con concentraciones relativamente altas de metales pesados, y además a condiciones que favorezcan una baja solubilidad de estos metales o a la presencia de pocos sitios de adsorción específica (SILVA, 2004). La precipitación es improbable que suceda en condiciones acidas, excepto cuando hay grandes cantidades de cationes y aniones. BOEKHOLD *et al.* (1993) sostienen que la precipitación de Cd es poco probable que ocurra en suelos neutros y ácidos, excepto cuando hay altas concentraciones de carbonatos, sulfatos o fosfatos.

2.4.1.4. Complejación y quelación

La complejación de metales se involucra a un ion metálico en solución que está siendo rodeado por uno o más ligandos orgánicos e inorgánicos (RIEUWERTS *et al.*, 1998).

La quelación ocurre cuando un ligando polidentado, generalmente una molécula orgánica grande, ocupa dos o más sitios de coordinación alrededor de un ion metálico central. (BOHN *et al.*, 1979). Dentro de los ligantes complejantes orgánicos se encuentran los ácidos cítrico, oxálico y gálico, además de ácidos complejantes más estructurados, aquellos incluidos

en fracciones húmica fúlvica solubles (EVANS, 1989). Los hidróxidos y el ion cloruro son considerados como los ligandos inorgánicos (SPOSITO, 1989).

2.4.2. Cadmio

El cadmio (Cd) es un elemento de naturaleza química muy similar al zinc, ambos pertenecen al grupo II de la tabla periódica y es sustituto de éste en forma de impurezas en los minerales de zinc, por esto el cadmio es un subproducto de las fundiciones de zinc y otros metales. El cadmio también se presenta como sustituto del calcio en la apatita y calcita, pudiendo aumentar sus impurezas en los fertilizantes fosfatados. El hecho de que el cadmio sea un metal pesado tóxico, y el zinc sea un elemento esencial, hace que de esta asociación puedan prevenir los efectos tóxicos del cadmio mediante un tratamiento preventivo con zinc (DAS *et al.*, 1998). Las características más remarcables del cadmio son su gran resistencia a la corrosión, su bajo punto de ebullición y su excelente conducción eléctrica.

Cuadro 3. Propiedades del cadmio.

| | |
|---------------------|-----------------------------|
| Símbolo químico | Cd |
| Forma | Blanco, metal suave |
| Características | Maleable, dúctil y flexible |
| Punto de fusión | 321°C |
| Punto de ebullición | 756°C |
| Número atómico | 48 |

| | |
|--------------|------------------------|
| Peso atómico | 112.41 |
| Densidad | 8.64 gcm ⁻³ |

Fuente: GARCÍA (2002).

El cadmio se emplea fundamentalmente en la fabricación de baterías recargables de níquel-cadmio. También se utiliza como recubrimiento o tratamiento electrónico para proteger a otros metales principalmente hierro y acero. Forma aleaciones con plomo, estaño y bismuto para la fabricación de extintores, alarmas de incendios y fusibles eléctricos, ya que disminuye el punto de fusión de los metales con los que forma aleaciones. Las sales de cadmio se usan en fotografía y fabricación de pigmentos y caucho (STOEPLER, 1991). El cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos (PINTO *et al.*, 2004).

2.4.3. Cadmio en el suelo

Es un metal pesado o elemento traza que circula ininterrumpidamente en las estructuras biológicas (unas 40 toneladas anuales en todo el mundo); es leve si se compara con la estimación de la emisión antrópicamente inducida (Tito, 2003; citado por CUENCA, 2012).

El cadmio se pierde del suelo o resulta inaccesible como consecuencia de la lixiviación, extracción de los cultivos, reacciona con los minerales o elementos del suelo especialmente bajo condiciones de suelo

calcáreos. La absorción de cadmio, por parte del cultivo depende críticamente de diferentes factores del suelo, entre los que se podría indicar:

- La acidez del suelo: su absorción se encuentra fuertemente relacionada con la acidez.
- Contenido de cadmio en el suelo: a mayor contenido de cadmio hay mayor absorción de este elemento por la planta.
- Temperatura del suelo: a mayor temperatura mayor absorción porque hay mayor velocidad de reacciones y mayor solubilidad.
- Unión de minerales del suelo: a mayor unión menor absorción de cadmio.
- Contenido de humus en el suelo: a mayor humus mayor CIC por lo que habría menor cadmio en solución, lo que permite menor absorción.

2.4.4. Fuentes de contaminación del cadmio

La contaminación ambiental por Cd ha aumentado en consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los diferentes ecosistemas (PINTO *et al.*, 2004). Entre las acciones antropogénicas de contaminación de cadmio (Cd), caben destacar los siguientes:

- Emisiones atmosféricas: Se originan a partir de las minas metalúrgicas, ya que el cadmio se extrae como subproducto del plomo, zinc, cobre y otros metales, las incineradoras municipales, y las emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías de níquel/cadmio, e insecticidas (MCLAUGHLIN y SINGH, 1999).
- Depósitos directos: Otra fuente de cadmio la constituyen los lodos procedentes de aguas residuales que se utilizan en agricultura (ALLOWAY y STEINNES, 1999).
- Los fertilizantes: El uso de fertilizantes fosforados es la principal fuente de contaminación de cadmio en suelos agrícolas. Los que son producidos a partir de la roca fosfórica constituyen la mayor entrada agrícola de cadmio al suelo. Los fertilizantes fosfatados constituyen más del 50 % de la entrada total de cadmio en los suelos (DE MEEÚS *et al.*, 2002).
- Contaminación accidental: Ocurre eventualmente debido a la contaminación de tierras por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas (Aguilar *et al.*, 2003; citado por CUENCA, 2012).

2.4.5. Ingreso del cadmio en la cadena trófica

La principal fuente de contaminación de cadmio en el ser humano es la ingesta de vegetales contaminados con este metal (NORVELL *et al.*,

2000). En los últimos años, la presencia de cadmio en los suelos y el riesgo de ingreso de este elemento a la cadena alimenticia, ha generado mundialmente una preocupación creciente, debido al efecto tóxico de este elemento en humanos y animales (MCLAUGHLIN y SINGH, 1999).

Químicamente, el cadmio se puede encontrar disuelto en el agua contenida en el suelo, adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas y estructuras biológicas. Pero, la biodisponibilidad del cadmio para la planta depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos que modifican su solubilidad y el estado del metal en el suelo. Uno de los principales factores es el pH del suelo, el potencial redox, la temperatura y el contenido en arcillas, materia orgánica, y agua (CHRISTENSEN y HAUNG, 1999). No todas las plantas acumulan Cd en igual medida (PRINCE *et al.*, 2002).

2.4.6. Ingreso transporte y acumulación del cadmio en plantas

Por ser un metal no esencial se asume que no existen mecanismos de entrada específicos para el cadmio. Entre las proteínas responsables de la entrada de cadmio a la célula cabe destacar el transportador específico del calcio LCTI (CLEMENS *et al.*, 1998), y la proteína IRTI, perteneciente a la familia de transportadores de Zn y Fe (ZIP) (GUERINOT, 2000).

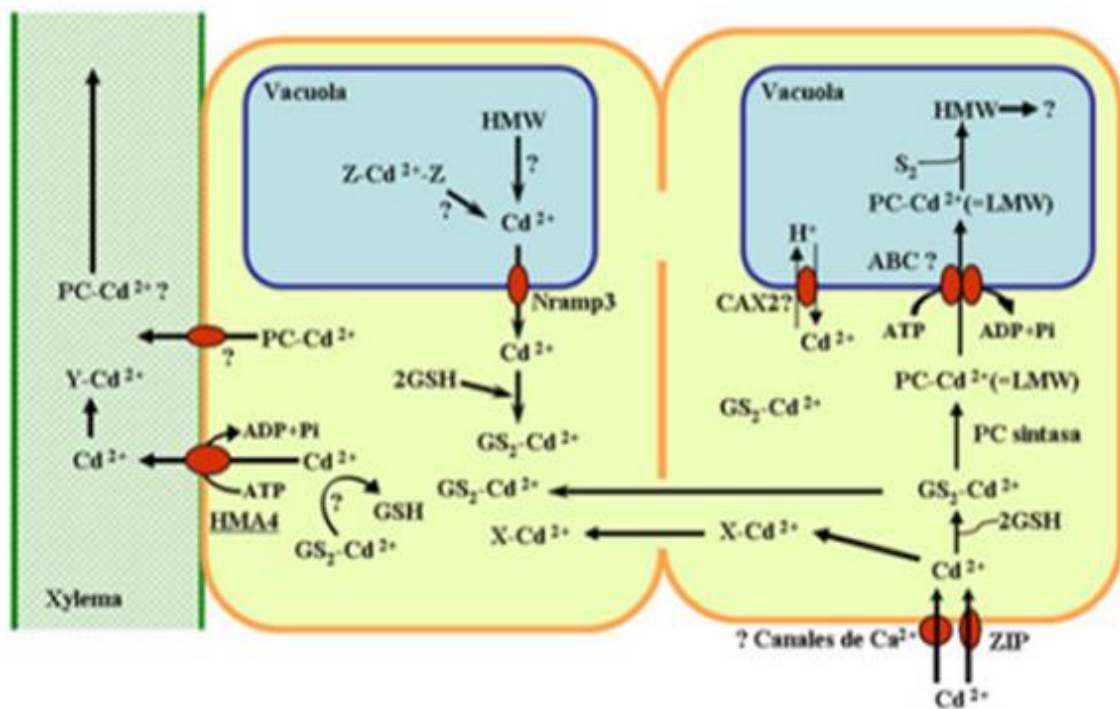
Otra familia de transportadores implicados es la Nramp, localizada en la membrana de la vacuola, por lo que probablemente tenga una función en la movilización del metal y no en el ingreso del mismo en la raíz (THOMINE *et al.*, 2000). Una vez dentro de la célula el cadmio puede coordinarse con

ligandos de Azufre como glutatión (GSH) o fitoquelatinas (PCs) y ácidos orgánicos como el citrato (CLEMENS, 2006).

Otras posibles moléculas responsables de la quelación del cadmio son pequeñas proteínas ricas en cisteína denominadas metalotioneinas (MTn). De esta forma, los complejos Cd-ligando pueden ser transportados al interior de la vacuola o a otras células (SHAH y NONGKYNRH, 2007).

En la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrada en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente. Se ha demostrado que el cadmio ingresa en la vacuola unido a fitoquelatinas (PCs) a través de un transportador de tipo ABC (ORTIZ *et al.*, 1995).

Otro posible mecanismo de entrada del cadmio en la vacuola es mediante un cotransportador de $\text{Cd}^{2+}/\text{H}^{+}$ ubicado en la membrana en el transporte de calcio a la vacuola, también transportan otros metales como el cadmio (PARK *et al.*, 2005). Una vez en la raíz, el cadmio puede pasar al xilema a través del apoplasto y/o a través del simplasto formando complejos (CLEMENS *et al.*, 2002). En la Figura 2, se muestra el ingreso del Cd a través de las células de la raíz, hasta llegar al xilema.



Fuente: CLEMENS (2006).

Figura 2. Mecanismos de ingreso, secuestro y traslocación del cadmio en las raíces.

2.4.7. Toxicidad del cadmio en plantas

Los efectos tóxicos del Cd sobre las plantas, han sido ampliamente estudiados (BENAVIDES *et al.*, 2005), sin embargo los mecanismos de su toxicidad aún no se conocen completamente. En general, el Cd interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) y el agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (SINGH y TEWARI, 2003). El Cd también reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos de la raíz al tallo, además de inhibir la actividad nitrato reductasa en tallos (GOUJA *et al.*, 2000). Las plantas expuestas a suelos contaminados

con cadmio presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración (SANDALIO *et al.*, 2001).

Uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por cadmio es la clorosis producida por una deficiencia en hierro (BENAVIDES *et al.*, 2005), fosfatos o por la reducción del transporte de Mn.

El tratamiento con cadmio produce una reducción de la actividad ATPasa de la membrana plasmática (ASTOLFI *et al.*, 2005), alteraciones en la funcionalidad de la membrana plasmática (SANDALIO *et al.*, 2001) y desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, inhibiendo la síntesis de clorofila y reduciendo la actividad de enzimas implicadas en la fijación de CO₂ (MAKSYMIEC *et al.*, 2007).

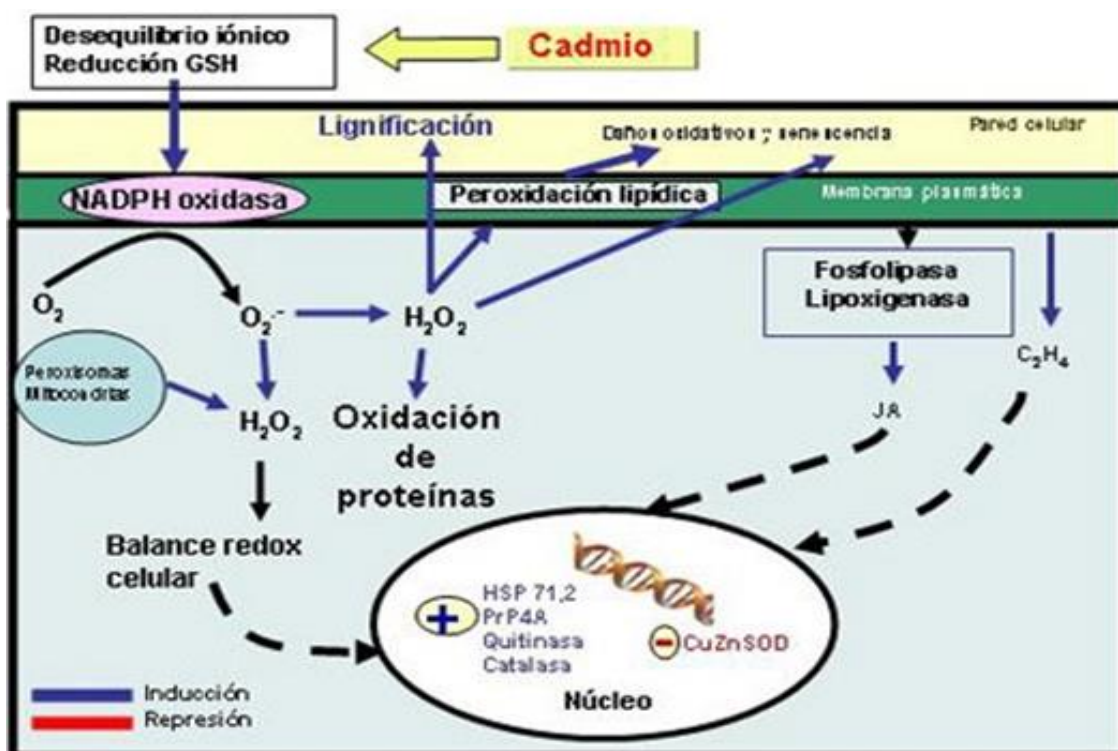
Los cationes metálicos Cd²⁺ y Pb²⁺ no experimentan cambios redox y por lo tanto, a diferencia del Fe²⁺ o Cu²⁺, no actúan directamente en la generación de especies reactivas de oxígenos (ROS). Sin embargo, pueden actuar como prooxidantes a través de la reducción del contenido de GSH, necesario para la síntesis de PCs, disminuyendo así su disponibilidad para la defensa antioxidante (PINTO *et al.*, 2003).

El estrés oxidativo producido por el cadmio se manifiesta por daños oxidativos a membranas tales como peroxidación lipídica (SANDALIO *et al.*, 2001), y también se han descrito daños oxidativos a proteínas por formación de grupos carbonilo. Las actividades de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD), glutatión reductasa (GR), ascorbato peroxidasa (APX),

peroxidasas (POD) y la catalasa (CAT), encargadas de la defensa celular frente a las ROS, experimentan reducciones o incremento de su actividad en función de la concentración de cadmio incluida en el medio de crecimiento, la duración del tratamiento, el tipo de tejido y la especie vegetal (SANDALIO *et al.*, 2001 y BENAVIDES *et al.*, 2005).

En los últimos años se ha incrementado el interés por el estudio de los mecanismos íntimos implicados en la producción de ROS en respuesta al Cd. Como consecuencia de ello, se ha demostrado la producción de ROS en distintos compartimentos celulares (membrana plasmática, mitocondrias, y peroxisomas) siendo la NADPH oxidasa una de las principales fuentes de ROS (GARNIER *et al.*, 2006).

En los últimos años se ha prestado una atención especial al estudio de la regulación de la producción de ROS y la síntesis de antioxidantes, así como la implicación de hormonas como el ácido jasmonico y el etileno. La respuesta al cadmio de la planta (Figura 3), según el esquema, el Cd podría inducir la NADPH oxidasa de membrana y la ROS que se formarían (O_2^- y H_2O_2) podrían intervenir en la lignificación de la pared celular que actúa como barrera de entrada del metal (SANITÁ DI TOPI y GABBRIELLI, 1999).



Fuente: SANITÁ DI TOPI y GABBRIELLI (1999).

Figura 3. Esquema de la respuesta celular al cadmio.

Las ROS pueden ser eliminadas por los sistemas antioxidantes pero cuando la intensidad y duración del tratamiento superan la barrera antioxidante, se produce un exceso de ROS que se traduce en años oxidativos a membranas y proteínas. Los daños a membranas van acompañados de un incremento en la síntesis de etileno y jasmonico (JA), que junto con el H_2O_2 van a regular la expresión de un gran número de proteínas de defensa (HSPs, quitinasa o antioxidantes, entre otras). Recientemente se ha demostrado un importante papel regulador del NO en distintos procesos de desarrollo en vegetales (DEL RIO *et al.*, 2004).

El papel de esta molécula está siendo estudiado y parece ser que el cadmio reduce considerablemente la acumulación de NO en tratamientos

largos, si bien no se conocen los mecanismos implicados en este proceso (RODRÍGUEZ-SERRANO *et al.*, 2006).

2.4.8. Estrategias de tolerancia al cadmio

Las plantas han desarrollado distintas estrategias para evitar la toxicidad de metales pesados. En general, la tolerancia a metales viene determinada por la reducción del transporte del mismo al interior de la célula y/o una mayor capacidad para secuestrar estos metales. La raíz constituye una de las principales barrera de defensa mediante la inmovilización del cadmio por pectinas de la pared celular. Los carbohidratos extracelulares (mucilago y calosa) de la raíz también pueden intervenir en la inmovilización del metal (BENAVIDES *et al.*, 2005).

La acumulación del metal en los tricomas de la superficie foliar también es un mecanismo de inmovilización y defensa celular (SALT *et al.*, 1995). Otro mecanismo consiste en la reducción del transporte o aumento de la extrusión del cadmio por transportadores de cationes de la membrana plasmática (THOMINE *et al.*, 2000).

Una vez dentro de la célula, el cadmio u otros metales, pueden ser secuestrados por ácidos orgánicos, aminoácidos, fitoquelatinas y metalotioneinas, y posteriormente compartimentalizados en la vacuola para prevenir su toxicidad. Las fitoquelatinas constituyen uno de los principales mecanismos de defensa frente a metales pesados. Su síntesis tiene lugar a partir del glutatión y se induce en presencia de metales pesados (CLEMENS,

2006). Plantas que sobre expresan la enzima fitoquelatina sintasa muestran una mayor tolerancia frente al cadmio (POMPONI et al., 2006). Otras posibles moléculas responsables de la acumulación del cadmio son las metalotioneinas (MTs), pequeñas proteínas ricas en cisteína, si bien en las plantas no son las principales responsables de la detoxificación del cadmio como ocurre en células animales (HAMER, 1986).

2.5. Efectos del cadmio en la salud humana

Los estándares de calidad pueden variar dependiendo del país, pero todos toman en consideración el contenido de elementos tóxicos (plomo, níquel, cobre, cadmio y manganeso, entre otros) en las almendras. Estos elementos se acumulan en órganos del cuerpo humano, provocando la aparición de enfermedades, y en muchos casos, la muerte. Por ejemplo, la ingestión de plomo por largo tiempo puede producir parálisis de los tobillos y muñecas, disminución de la inteligencia, deterioro de la memoria, problemas de audición y equilibrio.

El cadmio es la principal causa de los bebés azules, produce daños renales e hipertensión, lesiones óseas y pulmonares. También se le considera inductor del cáncer prostático y testicular (ENCICLOPEDIA ENCARTA, 2003).

El mayor desarrollo de la actividad industrial está trayendo consigo desequilibrios en los ecosistemas expresados mediante la contaminación de suelos, aguas y aire. El cadmio es vertido a las aguas a través de los relaves mineros y desagües de las industrias, depositándose en el barro de los ríos y

lagos (BRACK y MENDIOLA, 2000). Este elemento ingresa al organismo fundamentalmente a través de los alimentos, el agua y el cigarro y tiene un tiempo de vida media de más de 10 años en el hombre. No se encuentra distribuido uniformemente en el cuerpo humano y se almacena mayormente en hígado y riñón. Es altamente tóxico (KOJI, 1986).

2.6. Dolomita

La dolomita, denominada de esa forma en honor al geólogo francés Déodat Gratet de Dolomieu, es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$. Se produce una sustitución por intercambio iónico del calcio por magnesio en la roca caliza (CaCO_3).

2.6.1. Formación de dolomita

Es un importante mineral de rocas sedimentarias y metamórficas, encontrado como mineral principal de las rocas llamadas dolomías y meta dolomías, así como mineral importante en limolitas y mármoles donde la calcita es el principal mineral presente. También aparecen depósitos de dolomita en vetas hidrotermales, formando cristales que rellenan cavidades. Se ha encontrado también en serpentinitas y rocas similares.

2.6.2. Usos de la dolomita

La dolomita alta en magnesio, es una alternativa eficaz para corregir suelos ácidos sobre todo para corregir la relación calcio- magnesio en algunos suelos, la dolomita neutraliza la toxicidad del aluminio soluble,

desinfecta el suelo y lo nutre con calcio, magnesio y fósforo. La presencia de altas concentraciones de aluminio en el suelo aumenta la acidez, hace que la raíz de la planta se atrofie y se desarrollen pobremente, quedando las cosechas limitadas en productividad y rendimiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la parcela orgánica del agricultor Teddy Maíz perteneciente a la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, distrito de Mariano Dámaso Beraum, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

3.1.2. Ubicación geográfica

La coordenada se determinó del predio ubicado en el sector Afilador (Cuadro 4).

Cuadro 4. Coordenada de la parcela evaluada.

| Lugar | Coordenadas | Altitud |
|----------|------------------------|----------|
| Afilador | 0391952 E 8966760 N | 722 msnm |

3.1.3. Zona de vida

HOLDRIDGE (1986), nos dice que la provincia Leoncio Prado se encuentra en una zona de Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (BmH

PT) donde se desarrollan y cultivan especies de gran valor alimenticio, medicinal y comercial; con precipitación pluvial promedio anual 3300 mm y temperatura media anual de 24 °C.

3.1.4. Clima

La provincia se encuentra ubicada en la zona de selva alta (entre 660 msnm y 1,300 msnm), por lo que posee un clima tropical, cálido y húmedo y su morfología nos da como resultado climas que varían de acuerdo a su altitud y época del año, con características homogéneas en cuanto a su alta precipitación pluvial.

3.1.5. Precipitación

Las precipitaciones promedio anual están en 3,179 mm, en épocas de invierno éstas pueden alcanzar hasta los 3,860 mm, con un clima cálido-húmedo-lluvioso, con abundantes precipitaciones pluviales, sobre todo en los meses de noviembre a marzo. La humedad relativa mensual promedio es de 85.67 % y su ritmo de variación está de acuerdo al ciclo de lluvias, por lo que en las épocas de mayor precipitación se registra mayor humedad.

3.1.6. Temperatura

Tiene una temperatura promedio de 24.31 °C, una temperatura máxima de 25.70 °C y una mínima promedio de 19.5 °C, entre los meses de mayo-setiembre, la temperatura es variable.

3.1.7. Hidrografía

La red hidrográfica de la provincia Leoncio Prado, está conformada por la cuenca del río Huallaga, que lo atraviesa de sur a norte, formando la sub-cuenca del Alto Huallaga, desde su nacimiento en las alturas al sur de la cordillera Raura, hasta su confluencia con el río Marañón, en la Región Loreto.

Sus principales afluentes del río Huallaga dentro de la provincia son los ríos: Monzón, Cuchara, Supte Grande, Tulumayo, Bolaina, Río Negro, Cargatambo, Las Pavas, Tambillo, Las Palmas, Tres de Mayo, Cayumba, Topa, Huayhuantillo, Huayhuante, Marona, Flores de Belén, Trampolín, etc.

3.1.8. Cultivo

El trabajo de investigación se realizó en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) del clon CCN 51 bajo condiciones de cultivo orgánico en producción.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material vegetativo

Muestras de almendras de cacao.

3.2.2. Abono

Enmienda dolomita.

3.2.3. Materiales de campo

Libreta de campo, tijera de podar, cintas de colores, bolsas plásticas, barreno, etiquetas de identificación, machetes, cinta métricas, plumón y cámara fotográfica.

3.2.4. Equipo

Computadora, balanza de precisión, estufa y EAA (espectro fotómetro de absorción atómica).

3.2.5. Reactivos

Solución extractante (EDTA 0.05 M; pH 7), Leer en el EAA (lámpara de Cd 228.8 nm; celda 0.5 nm; patrones de cadmio: 1 ppm, 2 ppm y 3 ppm), agua destilada y HCl concentrado.

3.3. Fase de campo

Se delimitaron las áreas para su respectivo muestreo y luego la distribución de los bloques con los respectivos tratamientos en estudios.

3.3.1. Evaluación del suelo

Una vez delimitado los diseños se procedió a realizar el muestreo en forma de zigzag para el análisis de suelo de cadmio y pH al inicio de la aplicación de la dolomita.

3.3.2. Evaluación de la almendra

En cada parcela donde se obtuvo la muestra de suelo se obtuvieron también las muestras de 20 mazorcas, obteniendo los granos de cacao frescos los que fueron llevados al laboratorio de suelos de la UNAS para su análisis.

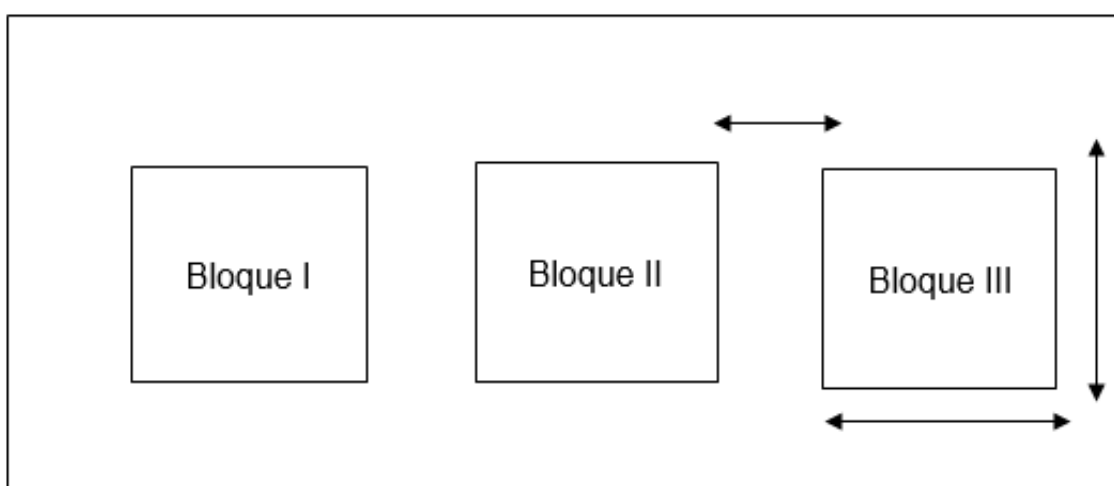


Figura 4. Diseño experimental de instalación en campo.

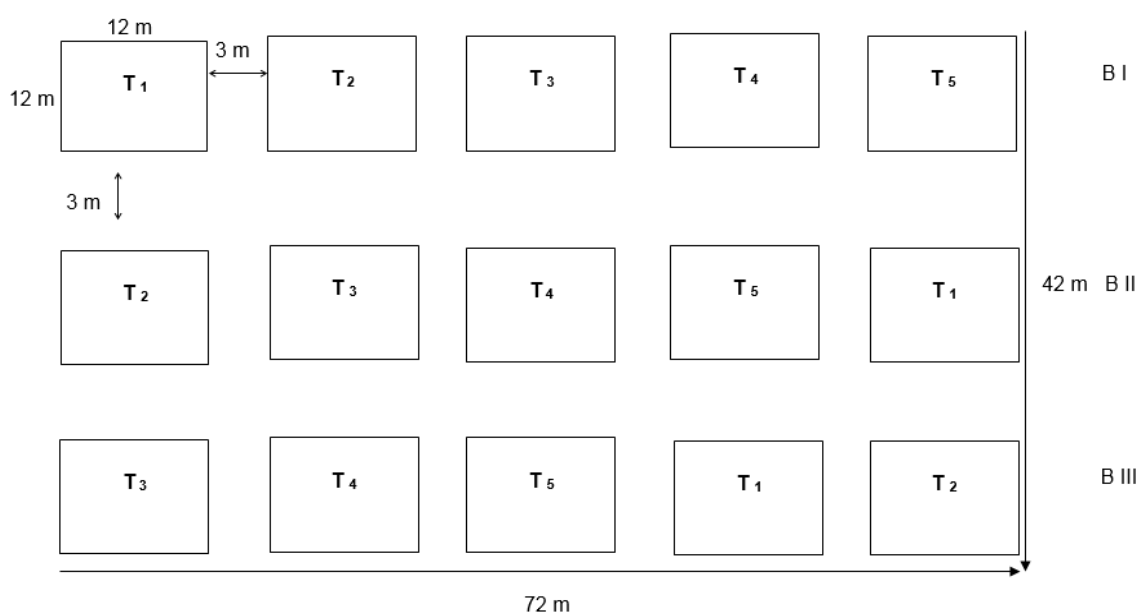


Figura 5. Distribución de bloques delimitados.

3.4. Metodología de evaluación

En cada parcela de cacao se procedió a realizar las siguientes evaluaciones:

3.4.1. Metodología de aplicación de la enmienda

La aplicación de la dolomita se realizó en todo las plantas de cacao, correspondiente a cada tratamiento, distribuyéndose de manera uniforme en cada planta. Previamente se cultivó el terreno antes de la aplicación.

3.4.2. Evaluación del suelo

Para cada tratamiento se obtuvo 10 sub muestras de preferencia ubicada bajo la proyección de la copa del árbol, empleándose para ello un tubo muestreador. Al final se obtuvo una muestra compuesta, los que fueron llevados al laboratorio de suelos en la que se realizó el análisis respectivo. Los métodos usados fueron:

3.4.3. Análisis de cadmio disponible

Método: Según WETERMAN (1990).

- Pesar 5 g de suelo y adicionar a un vaso.
- Luego agregar 20ml de solución extractante (EDTA 0.05M; pH7).
- Agitar constantemente por 15 minutos.

- Filtrar con papel filtro N° 40.
- Leer en el EAA (lámpara de Cd 228.8 nm; celda 0.5 nm; patrones de cadmio: 1 ppm, 2 ppm y 3 ppm).

3.4.4. Evaluación de la almendra

En cada tratamiento se obtuvo de cada planta una mazorca de cacao, obteniendo medio kilo de grano de cacao frescos los que fueron llevados al laboratorio de suelos de la UNAS para su análisis.

3.4.5. Método de análisis de cadmio total en tejidos

De acuerdo al Laboratorio de Análisis de Suelo de la Facultad de Agronomía se procedió a trabajar con la metodología por vía seca, la cual se realizó de la siguiente manera:

- Pesar 2 g de muestra molida y colocarla en un crisol identificado previamente.
- Colocar los crisoles en la estufa a 105 °C por 24 horas.
- Sacar las muestras de la estufa y realizar el pesado.
- Colocar los crisoles en la mufla, a 450°C por 8 horas.
- Apagar y dejar que enfríe antes de remover los crisoles.
- Humedecer las muestras calcinadas con agua destilada.
- Agregar lentamente 2 mL de HCl concentrado.

- Colocar los crisoles en plancha eléctrica, calentar lentamente hasta que el HCl se seque.
- Agregar 2 mL de agua destilada y 2 mL de HCl concentrado.
- Calentar lentamente hasta que el líquido agregado seque.
- Agregar 2 mL de HCl concentrado y calentar lentamente a fin de permitir la disolución.
- Transferir el contenido del crisol ayudándose con agua caliente y filtrar a una fiola de 100 mL.
- Lectura en el EAA (espectro fotómetro de absorción atómica).

3.5. Fase gabinete

Los datos obtenidos en el laboratorio, fueron procesados, evaluados y comparados, para poder redactar el informe final.

3.5.1. Diseño estadístico

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 3 repeticiones y 5 tratamientos cada una, para comparar la diferencia entre promedios se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0.05$), con la finalidad de determinar la comparación de medias.

3.5.2. Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Para:

$i = 1, 2, 3, \dots, t$ tratamientos (dolomita)

$j = 1, 2, 3, \dots, r$ bloques

Donde:

Y_{ij} = Es la variable respuesta, que corresponde a la unidad experimental que pertenece al j -ésimo bloque donde se instaló el i -ésimo tratamiento.

μ = Efecto de la media poblacional.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = Efectos aleatorio, Error Experimental.

Para realizar el análisis de varianza se ha procedido de la siguiente manera (PADRON, 1996).

Cuadro 5. Esquema del análisis de varianza.

| FV | GL | SC | CM | Fcal. |
|--------------------|--------------------|---------|--------|--------------|
| Bloques | ($r-1$) | SCbloq | CMbloq | CMbloque/CMe |
| Tratamiento | ($t-1$) | SCtrat | CMtrat | CMtrat/CMe |
| Error experimental | ($r-1$)($t-1$) | SCe | CMe | |
| Total | $tr-1$ | SCtotal | | |

Los tratamientos considerados en la investigación se han referido al factor dolomita, con sus respectivos niveles que fueron aplicados a las plantas de cacao.

Cuadro 6. Tratamientos en la investigación.

| Clave | Dosis de dolomita (g/planta) |
|----------------|------------------------------|
| T ₀ | 0 |
| T ₁ | 500 |
| T ₂ | 1000 |
| T ₃ | 1500 |
| T ₄ | 2000 |

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Variables dependientes

- Propiedades químicas en concentración de cadmio (ppm).

3.5.4. Variables independientes

- Niveles de dosis de abono orgánico (dolomita).

IV. RESULTADOS

4.1. Metales pesados en suelos y almendras

En contenido promedio de cadmio disponible fue de 0.63 ppm en el suelo y en la almendra 1.42 ppm, el valor del pH de los suelos fue variable en los diferentes lugares evaluadas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores (ppm) de metales pesados en el suelo, pH y almendra de cacao al inicio de la aplicación de dolomita.

| Lugar | pH | Suelo (Cd ²⁺) | Almendra (Cd ²⁺) |
|------------------------|-----|---------------------------|------------------------------|
| CD 1 - Afilador | 5.7 | 1.2 | 1.5 |
| CD 2 - Afilador | 4.7 | 0.55 | 2.45 |
| CD 3 - Castillo Grande | 5.1 | 0.43 | 1.29 |
| CD 4 - Afilador | 5.2 | 0.39 | 1.27 |
| CD 5 - Tulumayo | 5.6 | 0.42 | 1.38 |
| CD 6 - Tulumayo | 6.3 | 0.51 | 1.87 |
| CD 7 - Tulumayo | 7 | 0.59 | 0.98 |
| CD 8 - Tulumayo | 5.2 | 0.58 | 0.85 |
| CD 9 - Trampolín | 6.8 | 0.7 | 1.37 |
| CD 10 - Trampolín | 7.5 | 1.63 | 1.93 |
| CD 11 - Trampolín | 7.6 | 0.62 | 2.05 |
| CD 12 - Trampolín | 6.3 | 0.62 | 1.57 |

| | | | |
|---------------------|-----|------|------|
| CD 13 - Bella | 7.6 | 0.35 | 0.85 |
| CD 14 - Bella | 4.7 | 0.37 | 1.4 |
| CD 15 - Bella | 4.1 | 0.36 | 1.02 |
| CD 16 - Bella | 5.6 | 0.45 | 1.1 |
| CD 17 - Naranjillo | 5.2 | 1.03 | 1.85 |
| CD 18 - Naranjillo | 4.9 | 0.6 | 1.28 |
| CD 19 - Naranjillo | 7.3 | 0.58 | 1.44 |
| CD 20 - Naranjillo | 5.6 | 0.61 | 1 |
| Media | 5.9 | 0.63 | 1.42 |
| Desviación estándar | 1.1 | 0.32 | 0.43 |

Las parcelas que están por encima de los límites máximos permisibles de Cd^{2+} son las parcelas CD1 (Afilador), CD10 (Trampolin) y CD17 (Naranjillo); mientras que las parcelas que tienen menor concentración de cadmio fueron CD13, CD14, CD15 (Bella) y CD4 que el Afilador (Figura 6).

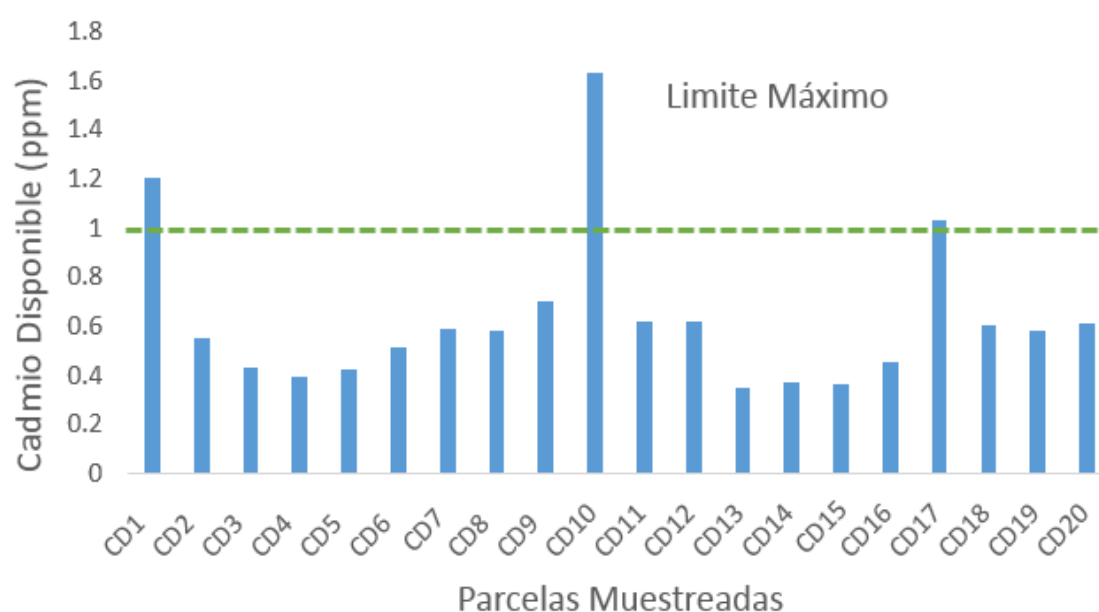


Figura 6. Concentración de cadmio disponible en el suelo.

En el caso de cadmio disponible en las almendras se presenta un valor promedio de 1.42 ppm; presentando una desviación estándar de 0.43 ppm. Asimismo, todas las parcelas muestreadas presentan valores de cadmio total (ppm) superiores a la referencia citada. Esto puede ser debido a las altas concentraciones de cadmio total en hojas, lo cual influenciaría en las concentraciones de cadmio total en almendras (Figura 7).

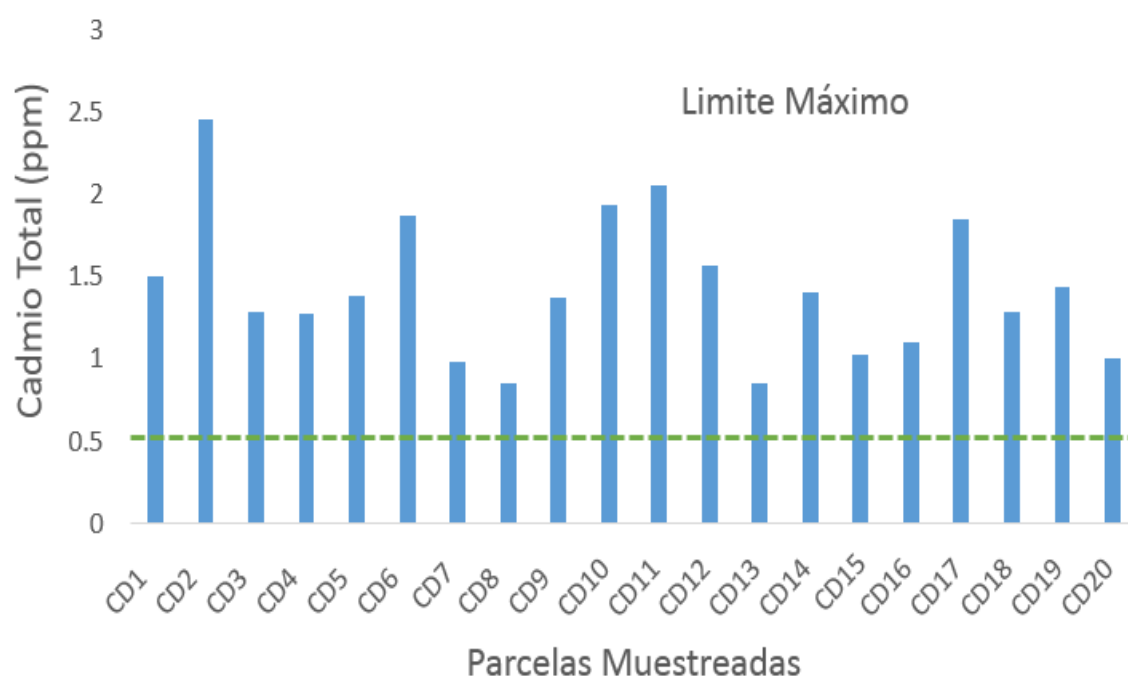


Figura 7. Concentración de cadmio total en almendras de cacao.

4.2. Cadmio en el suelo en parcelas de cacao después de la aplicación de dolomita

El contenido de cadmio en los suelos fluctuaron desde 0.34 ppm hasta 1.05 ppm, con una media de 0.7326 ppm, este comportamiento variable es concerniente a la aplicación de los diferentes dosis de dolomita, con la finalidad de determinar los efectos de dicho producto aplicado (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis del contenido de cadmio (ppm) en el suelo en parcelas de cacao.

| Subparcela | Datos | Cadmio (ppm) |
|------------|---------|--------------|
| 1 | BI-T0 | 1.050 |
| 2 | BI-T1 | 0.340 |
| 3 | BI-T2 | 0.464 |
| 4 | BI-T3 | 0.428 |
| 5 | BI-T4 | 0.420 |
| 6 | BII-T0 | 0.953 |
| 7 | BII-T1 | 0.720 |
| 8 | BII-T2 | 0.944 |
| 9 | BII-T3 | 0.856 |
| 10 | BII-T4 | 0.612 |
| 11 | BIII-T0 | 0.978 |
| 12 | BIII-T1 | 0.376 |
| 13 | BIII-T2 | 1.044 |
| 14 | BIII-T3 | 0.968 |
| 15 | BIII-T4 | 0.836 |

En el Cuadro 9, se muestra el análisis de variancia del parámetro del contenido de cadmio presente en el suelo en parcelas de cacao. Observándose así que no existe significancia entre los bloques y tratamientos.

El coeficiente de variabilidad fue 4.88 % indicando una excelente homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 9. ANVA para el contenido de cadmio en el suelo en parcelas de cacao.

| Fuente de variación | GL | SC | CM | Significancia |
|---------------------|----|-------|-------|---------------|
| Bloques | 2 | 0.278 | 0.139 | NS |
| Tratamientos | 4 | 0.457 | 0.114 | NS |
| Error experimental | 8 | 0.256 | 0.032 | |
| Total | 14 | 0.99 | | |

C.V (%): 4.88%, NS: No existen diferencias significativas.

En la prueba de comparación de medias para el cadmio (ppm) en el suelo en parcelas de cacao, se encontró que el tratamiento T₀ obtuvo mayor contenido de cadmio en los suelos que los tratamientos T₄ y T₁ (Cuadro 10).

Cuadro 10. Prueba de Duncan del contenido de cadmio en el suelo de cacao.

| Clave | Dosis de dolomita (g/planta) | Cadmio (ppm) | Significancia |
|----------------|------------------------------|--------------|---------------|
| T ₀ | 0 | 0.994 | a |
| T ₂ | 1000 | 0.817 | a b |
| T ₃ | 1500 | 0.751 | a b |
| T ₄ | 2000 | 0.623 | b |

| | | | |
|----------------|-----|-------|---|
| T ₁ | 500 | 0.479 | c |
|----------------|-----|-------|---|

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

La concentración de cadmio en el suelo de las parcelas de cacao de los tratamientos T₀ (0 g/planta), T₂ (1000 g/planta), T₃ (1500 g/planta), T₄ (2000 g/planta) y T₁ (500 g/planta) fueron de 0.994, 0.817, 0.751, 0.623 y 0.479 ppm respectivamente (Figura 8).

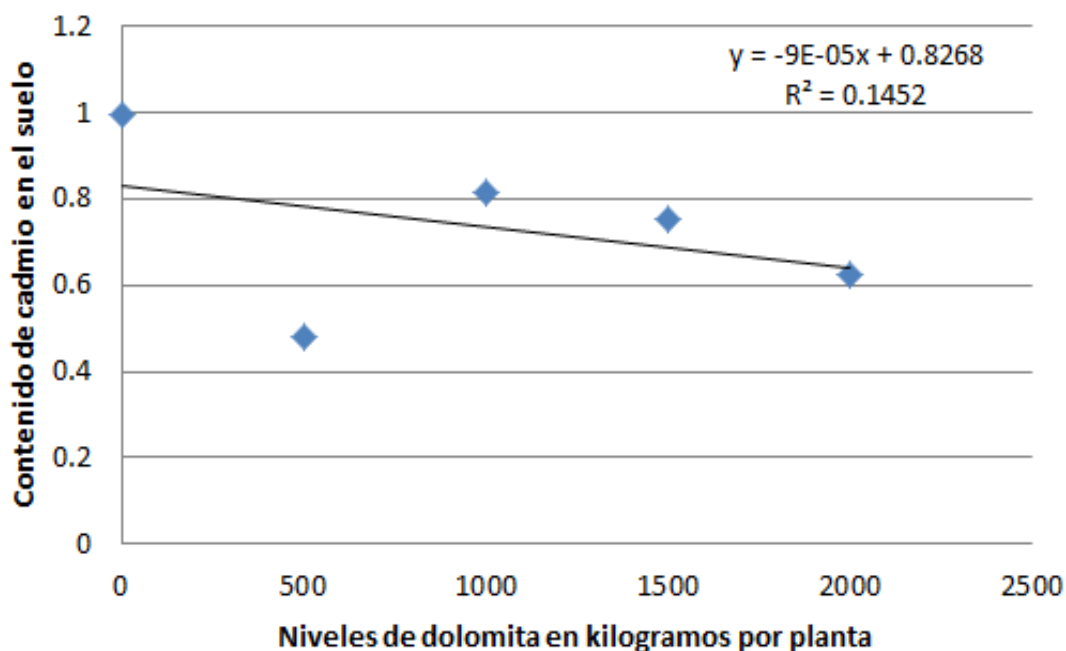


Figura 8. Contenido de cadmio en el suelo de los tratamientos en estudio.

4.3. Cadmio en las almendras de cacao

En la diferentes subparcelas donde se utilizó la dolomita para determinar su influencia sobre el cadmio en las almendras de cacao, se determinó que el menor valor registrado fue de 0.47 ppm, la mayor cantidad encontrada en los granos alcanzó un valor de 1.08 ppm.

El valor promedio del cadmio registrado en los granos de cacao alcanzó 0.662 ppm (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis del contenido de cadmio (ppm) en las almendras de cacao.

| Subparcelas | Datos | Cd (ppm) |
|-------------|---------|----------|
| 1 | BI-T0 | 1.08 |
| 2 | BI-T1 | 0.535 |
| 3 | BI-T2 | 0.51 |
| 4 | BI-T3 | 0.65 |
| 5 | BI-T4 | 0.535 |
| 6 | BII-T0 | 0.99 |
| 7 | BII-T1 | 0.65 |
| 8 | BII-T2 | 0.47 |
| 9 | BII-T3 | 0.71 |
| 10 | BII-T4 | 0.54 |
| 11 | BIII-T0 | 0.87 |
| 12 | BIII-T1 | 0.655 |
| 13 | BIII-T2 | 0.48 |
| 14 | BIII-T3 | 0.705 |
| 15 | BIII-T4 | 0.55 |

En el Cuadro 12, se muestra el análisis de variancia para el parámetro contenido de cadmio presente en las almendras de cacao. Observándose que no existe significancia entre los bloques, existe diferencias altamente significativa entre los tratamientos en estudio. El coeficiente de variabilidad es 1.96 % que indica sí existe una excelente homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 12. Análisis de variancia para el parámetro contenido de cadmio (ppm) en el las almendras de cacao.

| Fuente de variación | GL | SC | CM | Significancia |
|---------------------|-----------|--------------|-------|---------------|
| Bloques | 2 | 0.001 | 0.000 | NS |
| Tratamiento | 4 | 0.448 | 0.112 | AS |
| Error experimental | 8 | 0.034 | 0.004 | |
| Total | 14 | 0.483 | | |

C.V (%): 1.96 %

AS: Diferencias significativas al 1 % de probabilidad.

NS: No existen diferencias significativas.

En la prueba de comparación múltiple de los promedios a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ para el parámetro contenido de cadmio (ppm) presente en las almendras de cacao, se determinó que el tratamiento considerado como testigo T_0 (0 g/planta) estadísticamente obtuvo mayor contenido de cadmio en las almendras que los demás tratamientos en estudio; el tratamiento T_3 donde se utilizó 1500 g/planta de dolomita, estadísticamente

obtuvo un mayor contenido de cadmio en las almendras que los tratamientos T₄ donde se utilizó 2000 g/planta de dolomita y el T₂ donde el nivel de dolomita aplicado fue 1000 g/planta.

Cuadro 13. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el parámetro contenido de cadmio (ppm) en el las almendras de cacao.

| Clave | Dosis de dolomita (g/planta) | Cadmio (ppm) | Significancia |
|----------------|------------------------------|--------------|---------------|
| T ₀ | 0 | 0.980 | a |
| T ₃ | 1500 | 0.688 | b |
| T ₁ | 500 | 0.613 | b c |
| T ₄ | 2000 | 0.542 | c |
| T ₂ | 1000 | 0.487 | c |

Entre tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

El nivel de cadmio en los tratamientos T₀ (0 g/planta), T₃ (1500 g/planta), T₁ (500 g/planta), T₄ (2000 g/planta) y T₂ (1000 g/planta) es de 0.980, 0.688, 0.613, y 0.542 y 0.487 ppm respectivamente (Figura 9).

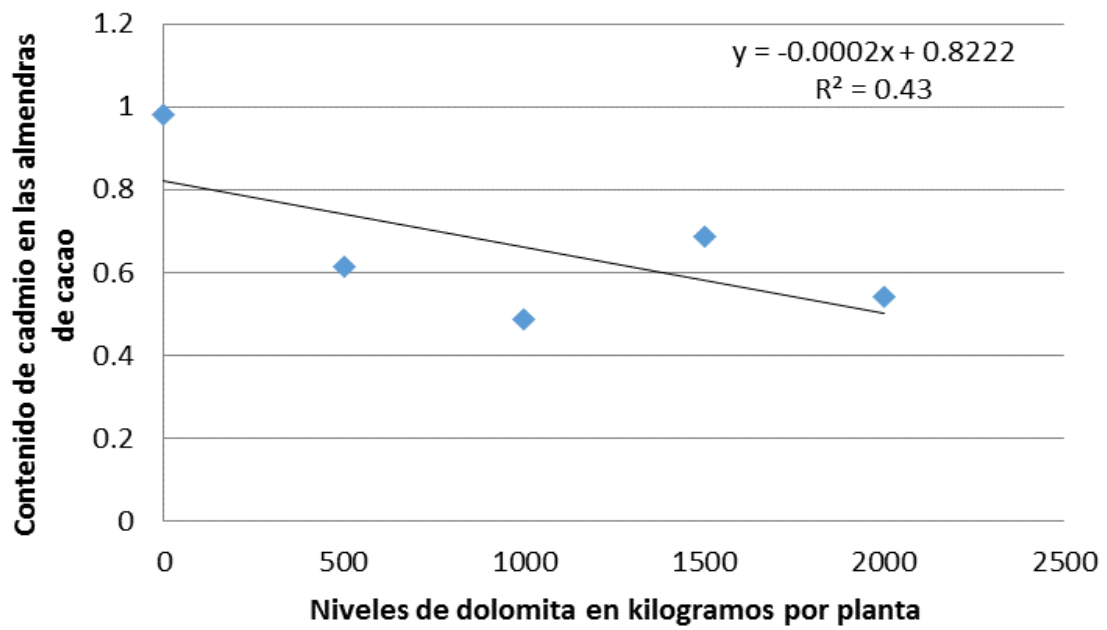


Figura 9. Contenido de cadmio en las almendras de los tratamientos aplicados.

Existe una relación de concentración de cadmio en los suelos de las parcelas de cacao con las almendras de cacao a excepción del tratamiento T_2 , donde el nivel de cadmio del suelo es más alto que el nivel de Cd^{2+} de la almendra aritméticamente (Figura 10)

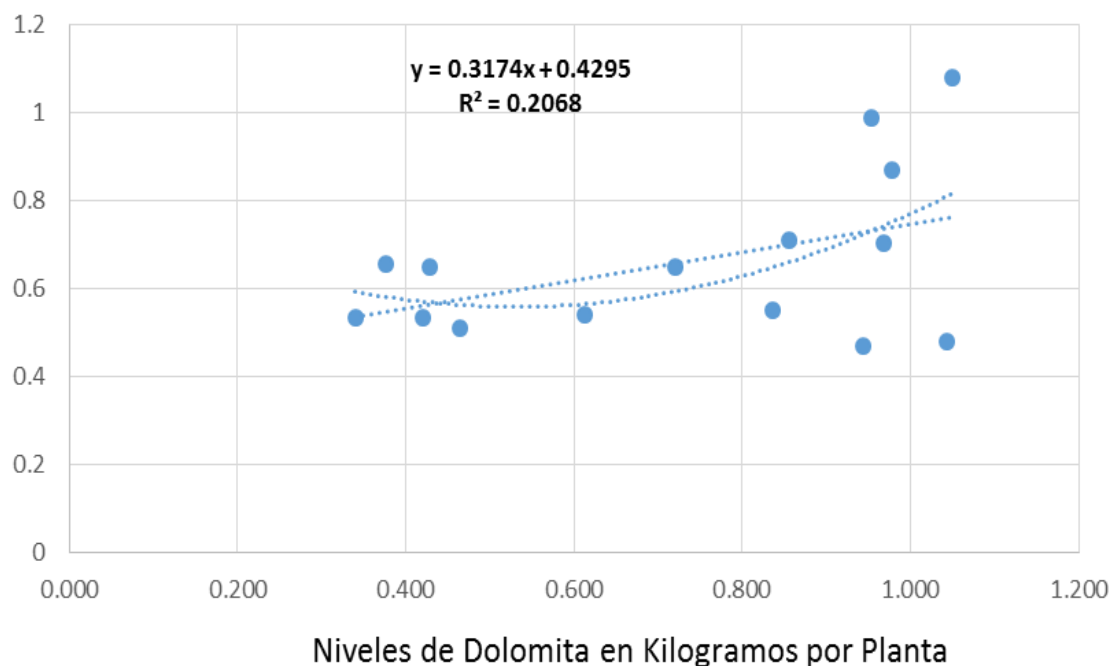


Figura 10. Relación del contenido de cadmio del suelo y almendras por tratamiento.

4.4. Relación entre las dosis de dolomita y el cadmio en la planta de cacao

La relación que presenta entre el uso de la dolomita y el contenido de cadmio encontrado en suelos con cultivos de cacao y granos de cacao es negativa, la cual se traduce en que mientras mayor sea la dosis de dolomita utilizada, menor será el contenido de cadmio. Esta relación es significativa solo para el contenido de este metal pesado en las almendras, mientras que en el suelo existe relación negativa pero sin significancia estadística, la cual no puede replicarse esta conclusión para otras investigaciones respecto a la segunda relación (Cuadro 14).

Cuadro 14. Correlación entre los niveles de dolomita utilizado y la cantidad de cadmio presente en un cultivo de cacao.

| Factor | Estadístico | Cadmio en almendras (ppm) | Cadmio en el suelo (ppm) |
|-----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Dosis de dolomita (g) | Correlación de Pearson | -0,632* | -0.259 ^{ns} |
| | Sig. (bilateral) | 0.011 | 0.352 |

*Relación significativa a un 95 % de acertabilidad.

ns: no presenta relación estadística.

V. DISCUSIÓN

5.1. Contenido de metales pesados en suelos y almendras

El contenido de cadmio disponible fue de 0.63 ppm en el suelo y en la almendra 1.42 ppm. La Unión Europea establece que en suelos agrícolas las máximas concentraciones totales permitidas de metales pesados es 3 ppm para el caso del cadmio (ACEVEDO, 2005), la cual aún es favorable este contenido en las áreas muestreadas.

REYES y MARÍA (2004) al evaluar el contenido de metales pesados en el cultivo de cacao orgánico en República Dominicana establecieron que el cadmio disponible representa el 33 % del cadmio total. Teniendo en cuenta la referencia del comité mixto OMS – FAO (1992) se puede determinar como valor máximo permitido 0.99 ppm de cadmio disponible en el suelo.

Los metales pesados están presentes en los suelos como componentes naturales o como consecuencia de las actividades antropogénicas (PRIETO et al., 2009). CÁRDENAS (2012) en parcelas con cultivos orgánicos de la región Huánuco encontró que los mayores valores de cadmio disponible en el suelo (1.63 y 1.20 ppm) se presentan en las riberas de los ríos Huallaga y Tulumayo.

Más y Azcue (1993), citados por REYES y MARÍA (2004), establecen el valor 0.5 ppm cadmio total en almendras como referente.

De acuerdo con la Figura 7 se puede ver que todas las parcelas muestreadas presentan valores de cadmio total (ppm) superiores a la referencia citada. Esto puede ser debido a las altas concentraciones de cadmio total en hojas, lo cual influenciaría en las concentraciones de cadmio total en almendras. Según IDIAF (2004), al evaluar la concentración de cadmio en almendras secas de cacao encontró valores de cadmio por encima de valor máximo permitido en la asociación Los Bledos (0.6 ppm).

5.2. Contenido de cadmio en el suelo en parcelas de cacao después de la aplicación de dolomita

La concentración de cadmio en el suelo de las parcelas de cacao de los tratamientos T₀ (0 g/planta), T₂ (1000 g/planta), T₃ (1500 g/planta), T₄ (2000 g/planta) y T₁ (500 g/planta) fue 0.994, 0.817, 0.751, 0.623 y 0.479 ppm de Cd respectivamente el contenido de cadmio en los suelos de las parcelas del cultivo de cacao varían de 0.479 a 0.994 ppm; el contenido de cadmio en el suelo del tratamiento T₀ sin dolomita es mayor al promedio para Guía de Protección Ambiental (1995), citado por ADAMS (1996), el contenido promedio de cadmio en suelos agrícola (0.8 mg/kg); los resultados obtenidos son mayores al contenido de cadmio en los suelos del cultivo de cacao en Venezuela reportado por IZQUIERDO y RAMÍREZ (2000), citado por SÁNCHEZ *et al.* (2011) que los niveles disponibles en suelos varían entre 0.25

y 1.25 mg/kg; los niveles de cadmio en los suelos de cacao están dentro del rango de los niveles de Cd en los suelos de cacao en Venezuela reportados por MARTÍNEZ y PALACIO (2010), se encontró un rango de concentración de cadmio de 0.33 a 6.00 mg/kg.

Los datos obtenidos de cadmio en el suelo están por debajo de 1 ppm, estudios en Venezuela demostraron que la concentración de Cd en suelo y granos de cacao están por debajo del nivel máximo permisible de Cd²⁺ en suelo no contaminado, que es 1 mg/kg (MARTÍNEZ y PALACIO, 2010); por ello el valor máximo de Cd²⁺ reportado es aquel en que no se aplicó dolomita (T₁) con 0.994 ppm, la unión Europea establece que en los suelos agrícolas las máximas concentraciones totales son permitidas de metales pesados es 3 ppm para cadmio (ACEVEDO *et al.*, 2005); según REYES y MARÍA (2004) en República Dominicana reportaron en cacao orgánico que el Cd disponible del suelo representa 11.7 %; el cadmio no es un elemento esencial para las plantas, ya que no existen mecanismos de absorción específicos (HUAMANÍ *et al.*, 2012).

En suelos de cultivo orgánico de cacao en las cooperativas de las regiones Huánuco y Ucayali, HUAMANI *et al.* (2012) encontraron que los valores promedio de cadmio disponible en los suelos fueron 0.53 ppm y en las hojas de cacao de 0.21 ppm; con una aplicación de 500 g/planta de dolomita se redujo de 0.994 ppm a 0.479 ppm de Cd, valor casi igual a lo reportado en suelos de dichas regiones de Perú. El contenido de cadmio fue inferior a los resultados que reportó CÁRDENAS (2012) en parcelas con cultivos orgánicos

de la región Huánuco encontró que los mayores valores de cadmio disponible en el suelo (1.82 y 1.63 ppm) de las riberas de los ríos Huallaga - Tulumayo, respectivamente; Washl (s.d.), citado por CÁRDENAS (2012), observó presencia de cadmio en los sedimentos del río Huallaga, siendo más alta en la época seca (mayo - agosto) con valores entre 1.28 y 2.57 ppm. Las concentraciones de cadmio en los suelos del cultivo de cacao es absorbido por la planta y distribuido en todas las partes vegetativas, para Kabata - Pendias (2000), citado por HUAMANÍ *et al.* (2012) consideran que en hojas maduras las concentraciones máximas tolerables es 0.5 ppm para Cd^{2+} ; para HUAMANÍ *et al.* (2012), considera que los suelos de textura franco a franco arcillosa favorecen una mayor presencia de Cd disponible que estaría adsorbido a la matriz del suelo en este caso a la arcilla.

Por otro lado los valores reportados (Cuadro 10) están dentro del rango al análisis de cadmio en las muestras de suelo de las regiones Piura y Tumbes, que el rango promedio de concentración es de 0.14 a 1.30 $mg\ kg^{-1}$ y 0.43 a 0.78 $mg.kg^{-1}$ respectivamente (REMIGIO, 2015), sin embargo siendo inferior al contenido promedio de cadmio disponible en suelos de Amazonas que fue 0.53 ppm (ZUÑIGA *et al.*, 2008). Sin embargo los valores de cadmio en ppm encontrado en suelos de cacao es inferior a la presencia de cadmio disponible en suelos de cacao en regiones Amazonas y San Martín reportándose concentraciones medias de Cd^{2+} de 0.21 y 0.14 ppm, respectivamente (ZUÑIGA *et al.*, 2008). CÁRDENAS (2012) al evaluar la presencia de Cd en localidades de la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, registró un contenido medio de 0.66 ppm en suelos de cacao orgánico; sin

embargo que las concentraciones de cadmio reportado en suelos de cacao son aceptables. La Unión Europea se ha establecido para suelos agrícolas la máxima concentración total permitida es 3 ppm de cadmio (ACEVEDO *et al.*, 2005), la concentración de cadmio máximo fue 0.994 ppm de cadmio, por otro lado la concentración de cadmio es un suelo no contaminado es inferior a 1 mg kg⁻¹ (EPA – United States, 1999; citado por VILLANUEVA, 2005). Los niveles altos de cadmio puede perjudicar directamente el entorno edáfico de las plantas del cultivo de cacao, la macrofauna del suelo que responde a la contaminación de metales pesados tales como Cd²⁺, Cu¹⁺, Pb²⁺ y Hg¹⁺, siendo un indicador de la contaminación de los suelos, para evaluar la calidad del suelo (Li *et al.*, 2010, citado por HUAMANÍ y HUAUYA, 2014).

5.3. Contenido de cadmio en las almendras de cacao

Se encontró diferencias estadísticas entre los efectos de los tratamientos utilizados para el contenido de cadmio en las almendras de cacao. Existe una relación de concentración de cadmio en los suelos de las parcelas de cacao con las almendras de cacao a excepción del tratamiento T₂, dónde el nivel de cadmio del suelo es más alto que el nivel de Cd²⁺ de la almendra aritméticamente.

El cadmio en las almendras de cacao de las parcelas investigadas varía de 0.487 a 0.980 ppm de Cd²⁺. Las exportaciones de cacao de Perú, pueden estar amenazado por el rechazo de los mercados europeos por contaminación de Cd²⁺ en las almendras de ese cacao que se exporta, por

ejemplo a uno de los países que se exporta es Alemania, consumidor de cacao peruano, el Instituto Alemán ha propuesto un contenido máximo permitido de cadmio de 0.1 a 0.3 mg por kg de chocolate (MITE *et al.*, 2010); de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) los límites máximos permitidos de cadmio en los granos de cereales (incluyendo los chocolates) es 0.1 mg kg⁻¹ (MARTÍNEZ y PALACIO, 2010), sin embargo las investigaciones del año 1983 arrojan coeficientes de 0.06 a 0.16 ppm para variedades de consumo provenientes de Brasil (Bahía), Ghana, Costa de Marfil, Camerún y Nigeria (NATURLAND, 2000); los valores de Cd²⁺ que se registró en las almendras de cacao de las parcelas investigadas son mayores a los valores permisibles (Cuadro 13) por la organizaciones de salud y de control alimentaria; la legislación de la Comunidad Económica Europea establece que todo producto final de chocolate no debe tener más de 0.3 mg/kg de Cd²⁺ (FHIA, 2012), que la calidad del grano de cacao reportado hace inadmisible la entrada a Europa.

Los valores reportados de cadmio en las almendra están de 0.487 a 0.688 de los tratamientos T₃, T₁, T₄ y T₂, valores inferiores a los reportados en Ecuador por MITE *et al.*, (2010) que encontró un promedio de 0.84 mg kg⁻¹ de Cd en las muestras de almendras de cacao analizadas, sin embargo el nivel de cadmio reportado por el tratamiento T₀ (0.980) es superior a lo reportado por el autor; en Venezuela, CARRASQUERO (1997) registró que los niveles de cadmio en almendras fue 0.05 mg/Kg; se han reportado concentraciones de 1.8 mg/kg en almendras secas desgrasadas en España (VALENTE, 1995);

ESPINOZA *et al.* (2012), encontró el contenido de metales pesados tóxicos (cadmio y plomo) en granos de cacao en Honduras, niveles de cadmio relativamente altos, con 47 % de las muestras, arriba del límite propuesto de 0.4 mg/kg de semilla (Rankin *et al.*, 2005; citado por ESPINOZA *et al.*, 2012). El contenido reportado en las almendras analizadas no serían recibidas en un mercado estricto como Suiza, las autoridades suizas tienen un rango de contenido máximo para el chocolate de 0.50 mg/kg de cadmio (GUERRERO, 2007).

En parcelas de cacao orgánico de la cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Tingo María, CÁRDENAS (2012), encontró en la evaluación del contenido de cadmio en las semillas de cacao en parcelas niveles superiores al permitido (0.5 ppm), valores de Cd que también se encontró en nuestras almendras analizadas; sin embargo los máximos niveles tolerables de Cd²⁺ en chocolate y polvo de cacao en Alemania, Finlandia, Europa Central y Malasia son de 0.4, 0.5 y 1.0 mg/kg respectivamente (MARTÍNEZ y PALACIOS, 2010).

En Colombia, MARTÍNEZ y PALACIOS (2010), en un estudio verificó que las fincas analizadas poseen granos de cacao contaminados con cadmio en un rango de 4 a 7 mg/kg, que superan los niveles de cadmio establecidos para alimentos por la Organización Mundial de la Salud de 0.1 mg/kg de Cd²⁺, valores que también superan nuestros resultados (Cuadro 10); Un estudio en Honduras, FHIA (2012), encontraron en las almendras de cacao que los niveles de cadmio se encontraron relativamente altos, con 47 % de las muestras arriba del límite propuesto de 0.4 mg/kg de semilla. La concentración

de cadmio en almendras de cacao, en la Región Piura, se encuentra en un rango promedio de 0.84 a 3.14 mg kg⁻¹, y la concentración de cadmio en almendras de cacao, de Tumbes, se encuentran en un rango promedio de 0.80 a 2.21 mg kg⁻¹(REMIGIO, 2015), son valores que superan a nuestros resultados y valores que superan lo establecido por las organizaciones de salud mundial, una de las razones que las almendras de cacao contengan altos contenidos de cadmio es, porque la planta de cacao absorbe metales pesados del suelo los concentra en las semillas (Augstburger *et al.*, 2000; citado por CÁRDENAS, 2012), para MARTÍNEZ y PALACIO (2010) la existencia de los metales pesados en frutos tiene una relación directa con la composición del suelo, y con la disponibilidad de estos elementos y los procesos metabólicos intrínsecos de las plantas.

LIAO y SEHIM (2009), encontraron que el proceso de adsorción de cadmio en los suelos está relacionado principalmente con CICE y el contenido de calcio, CONTRERAS *et al.*, (2005) estudiaron el efecto de la adición de calcio en los suelos de texturas contrastantes, encontrado que éste disminuye la cantidad de cadmio disponible a medida que se incrementa la dosis de calcio aplicada, debido a la afinidad química entre los cationes Ca²⁺ y Cd²⁺, este último tiende a competir por los sitios activos de adsorción en el suelo, generando un problema ambiental; por otra parte BENAVIDES *et al.* (2005), citado HUAMANÍ *et al.* (2012), consideran que la absorción de cadmio a nivel radicular está en la competencia directa con otros nutrientes como calcio, potasio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, zinc, por lo que pueden ser absorbidos por las mismas proteínas transportadoras.

5.4. Relación entre las dosis de dolomita y el cadmio en la planta de cacao

Estadísticamente los niveles de cadmio se redujeron de 0.980 (T_0) a 0.688 (T_3), 0.613 (T_1), 0.542 (T_4) y 0.487 (T_2) ppm, la aplicación de dolomita en varias concentraciones redujo la concentración de Cd^{2+} presente en las almendras de cacao, CETARSA (2000), encontró que la dolomita influyó en la disminución de los contenidos cadmio en una plantación de tabaco; la dolomita acelera la descomposición de la materia orgánica en el suelo, BRAVO *et al.* (2014), reporta que la calidad de la materia orgánica tiene un efecto muy significativo, una mejor calidad redonda en menor movilidad de cadmio, previniendo contaminación de aguas subterráneas y toxicidad por bioacumulación de Cd^{2+} ; el mayor porcentaje de materia orgánica y ácido húmico en el suelo estimula la formación de enlaces entre Cd^{2+} y los grupos carboxílicos y fenólicos, incrementando la retención del metal por los ácidos, los ácidos húmicos contribuyen en la retención del cadmio impidiendo su movilidad; LIAO y SELIM (2009), citado por BRAVO *et al.* (2014), encontraron que el proceso de adsorción de Cd^{2+} está relacionado principalmente con el contenido de Ca^{2+} y la CIC_e ; explicando así porque el nivel de cadmio que está presente en la almendra en la parcela de cacao sin dolomita se reduce de forma significativa cuando se aplica dolomita.

El nivel del cadmio del suelo estadísticamente se reduce cuando se aplica 2000 y 500 g/planta de dolomita, lo que no pasa con el nivel de cadmio reducido en las almendras, se reduce con toda las aplicaciones de dolomita,

inclusive aplicaciones de 1000 y 2000 g/planta de dolomita reducen el nivel de cadmio que aquello que es reducido con aplicaciones de 1500 g/Planta de acuerdo a nuestros resultados; para reducir a niveles óptimos de cadmio en almendra de cacao propuestos por las organizaciones mundiales de la salud, se podría aplicar mayor cantidad de dolomita (g/planta), sin embargo esto aumentaría el costo de producción. Varios autores han puesto de manifiesto la tendencia de asociación del cadmio hacia los carbonatos del suelo mediante diversos mecanismos tales como la competencia con cationes calcio en sitios de intercambio (Pickering *et al.*, 1982; citado por CALA *et al.*, 1997).

VI. CONCLUSIONES

1. Sí existió influencia de las cuatro dosis de dolomita (g/planta) en almendras de cacao al reducir significativamente el nivel de cadmio presente en ella, de 0.980 a 0.487 ppm de cadmio en las almendras de cacao.
2. Las dosis de dolomita 2000 g/planta (T₄) y 1000 g/planta (T₂) redujeron de 0.980 ppm a 0.542 y 0.487 ppm de cadmio respectivamente, resultando favorable las dosis en la reducción de cadmio en la almendra de cacao.
3. Según el estudio las dosis de dolomita 2000 g/planta (T₄) y 500 g/planta (T₁) significativamente redujeron el nivel de cadmio en ppm presente en el suelo de las parcelas de cacao, de 0.994 ppm a 0.623 (T₄) y 0.497 ppm (T₁) respectivamente; siendo las mejores dosis de dolomita
4. La relación que presenta entre el uso de la dolomita y el contenido de cadmio encontrado en suelos con cultivos de cacao y granos de cacao es negativa, siendo significativa solo para el contenido de cadmio en las almendras.

VII. RECOMENDACIONES

1. Seguir investigando la dosis de dolomita (g/planta), que reduzca los niveles altos de cadmio presentes en las almendras de cacao, a niveles de cadmio recomendables presente en la almendra de cacao, para el consumo humano.
2. Determinar la relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con la presencia de cadmio en el suelo de las parcelas de cacao, y en las almendras de cacao.
3. Realizar evaluaciones de los niveles de cadmio en base a las almendras frescas y secas, teniendo en cuenta los procesos de fermentación y secado.

**INFLUENCE OF THE DOSE OF APPLICATION OF DOLOMITE IN THE
CONCENTRATION OF CADMIUM IN THE COCOA ALMONDS IN PLOTS OF
LAND OF THE COOPAIN**

VIII. ABSTRACT

Of the month from May to October of 2013 investigation took effect that for title she is influence of the dose of application of dolomite in the concentration of cadmium in the cocoa almonds in plots of land of the COOPAIN, it washed out to stub in the plot of land of a farmer of organic cocoa of the Agrarian Industrial Cooperative Little Orange Tree (COPAIN), of the Sharpening sector that belongs to the province Leoncio Prado, region Huanuco. In investigation the experimental design in Blocks Completamente was used at random (DBCA), with three repetitions and five treatments; treatments were on the basis of the doses of dolomite (g/ plants) in the ground of the cocoa plot of land T₀ (0 g), T₁ (500 g), T₂ (1000 g), T₃ (1500 g) and T₄ (2000 g). When finalizing the experiment it was determined that definitely there is a significant influence of the four doses of dolomite in the multilevel reduction of cadmium (ppm) present in the cocoa almonds, the level of present cadmium in the cocoa almonds in a ground without dolomite was 0.980 ppm, with the dolomite application it decreased to 0.487 ppm; The best doses of dolomite with bigger reduction of cadmium in the almond were 2000 g (T₄) and 1000 g (T₂); also the dolomite application in the cocoa plot of land reduced the level of cadmium

(0.497 ppm) for dosage effect of dolomite of 500 g (T₁), the best doses of dolomite in the reduction of cadmium in the ground were 2000 g (T₄) and 500 g (T₁); furthermore, it found significant negative correlation between the doses of cadmium and the content of this heavy metal in the cocoa almonds.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, E., CARRASCO, M., LEÓN, O., MARTÍNEZ, E., SILVA, P. 2005. Criterios de calidad de suelo agrícola. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 205 p.
- ADAMS, M. 1996. Determinación de los procesos asociados a la contaminación con cadmio en la región Centro Norte Costera de Venezuela. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Edafología. 43 p.
- ALLOWAY, B., JACKSON, A. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludgeamended soil. *The Science of the Total Env.* 100:151-176.
- ALLOWAY, B.J. 1995. Chapter 2: Soil process and the behavior of the heavy metals. In: Alloway, B.J. (Ed.). *Heavy metals in soils*. Blackie Academic and Professional, London. 1:1-37.
- ALLOWAY, B.J., STEINNES, E. 1999. Anthropogenic additions of cadmium to soils. En *Cadmium in Soils and Plants* (eds. McLaughlin, M.J. y Singh, B.R.). p. 97-123. [En línea]: *Revista ecosistemas*, (www.revistaecosistemas.net/pdfs/558.pdf, artículos, 10 Ago. 2015).
- ASTOLFI, S., ZUCHI, S., PASSERA, C. 2005. Effect of cadmium on H (+) ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from roots of

- different S-supplied maize (*Zea mays* L.) plants. *Plant Science*. 169:361-368.
- BASTA, N.T., TABATABAI, M.A. 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: II. Effect of pH. *Soil Science*. 153:195-204.
- BENAVIDES, M., GALLEGRO, S., TOMARO, M. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17:21-34.
- BOEKHOLD, A.E., TEMMINGHOFF, E.J.M., VAN DER ZEE, S. 1993. Influence of electrolyte composition and pH on cadmium sorption by an acid sandy soil. *Journal of Soil Science*. 44:85-96.
- BOHN, H., MCNEAL, B., O'CONNOR, G. 1979. *Soil Chemistry*. New York. 329 p. [En línea]: Degruyter, (<http://www.degruyter.com/view/j/intag.2012>, documentos, 10 Ago. 2015).
- BRACK, A., MENDIOLA, C. 2000. *Ecología del Perú*. Lima, Perú, Bruño. 495 p.
- BRAVO, I., ARBOLEDA, C., MARTÍN, F. 2014. Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia. Colombia. *Acta Agronómica*. 63 (2):164-174.
- CARVALHO, F., ZHONG, N., KLAINE, S. 1998. Rastreo de plaguicidas en los trópicos. *Boletín del OEIA* N° 40. [En línea]: Reduas, (<http://www.reduas.fcm.unc.edu.ar>, documentos, 10 Ago. 2015).

- CALA, V., DE LA FLOR, M., VIGIL DE LA VILLA, R. 1997. Influencia de las características físico – químicas y mineralógicas en la distribución de metales pesados en suelos de cultivo. Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. 21:205-213.
- CÁRDENAS, A. 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Tingo María, Perú. Tesis Ingeniero Agrónomo. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 96 p.
- CARRASQUERO, A. 1997. Determinación de los procesos asociados a la contaminación con cadmio en cacao en Ocumare de la costa, estado Aragua. Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. 225 p.
- CETARSA. 2000. Reducción de metales pesados en el cultivo del tabaco: Resultado de ensayos con aplicación de dolomita. Extremadura, España. Compañía Española de Tabaco en Rama S.A. Informe Técnico. 36 p.
- CHRISTENSEN, T.H., HAUNG, P.M. 1999. Solid phase cadmium and the reactions of aqueous cadmium with soil surfaces. En: Cadmium in Soils and Plants (eds. McLaughlin, M.J. y Singh, B.R.). p. 65-96. [En línea]: Orbit, (<http://orbit.dtu.dk/>, documentos, 20 May. 2015).
- CLEMENS, S. 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie. 88:1707-1719.
- CLEMENS, S., ANTOSIEWICZ, D., WARD, J., SCHACHTMAN, D., SCHROEDER, J. 1998. The plant cDNA LCT1 mediates the uptake of

- calcium and cadmium in yeast. Proceedings of the National Academy of Sciences. 95:12043-12048.
- CLEMENS, S., PALMGREN, M., KRAMER, U. 2002. A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. Trends in Plant Science. 7:309-315.
- CONTRERAS, F., HERRERA, T., IZQUIERDO, A. 2005. Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Thebroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda. Venesuelos. 13:52-63.
- CUENCA, E. 2012. Efecto de la materia orgánica y fuentes de calcio en la toxicidad de cadmio en maíz (*Zea mays* L.). Tesis para optar el grado de magister scientiae en suelos. Lima, Perú. UNALM. p. 64-72.
- DAS, P., SMANTARAY, S., ROUT, G.R. 1998. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. Environmental Pollution. 98:29-36.
- DE MEEÚS, C., EDULJEE, G., HUTTON, M. 2002. Assessment and management of risks arising from exposure to cadmium in fertilizers. The Science of the Total Environment. 291:167-187.
- DEL RIO, L., CORPAS, F., BARROSO, J. 2004. Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. Phytochemistry. 65:783-792.
- ENCICLOPEDIA DE CONSULTA ENCARTA. 2003. Microsoft Corporation. Derechos Reservados. p. 375-378.

- ESPINOZA, H., COTO, J., HERRERA, J., SÁNCHEZ, J. 2012. Determinación del contenido de metales pesados tóxicos (cadmio y plomo) en granos de cacao: reporte de avance. La Lima, Cortés, Honduras. FHIA - Programa de Cacao y Agroforestería Informe Técnico. 60 p.
- EVANS, L.J. 1989. Chemistry of metal retention by soils. *Environmental Science and Technology*. 23:1046-1056.
- FACCHINELLI, A., SACCHI, E., MALLEEN, L. 2001. Multivariate statistical and GIS- based approach to identify heavy metal source in soils. *Environmental Pollution*. 114:313-324.
- FHIA. 2012. Programa de cacao y agroforestería. La Lima, Cortés, Honduras. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Informe Técnico. p. 60-61.
- GARCÍA, I., DORRONSORO, C. 2005. Contaminación por metales pesados. En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. p. 256-267.
- GARNIER, L., SIMON-PLAS, F., THULEAU, P., AGNEL, J., BLEIN, J., RANJEVA, R., MONTILLET, J. 2006. Cadmium affects tobacco cells by a series of three waves of reactive oxygen species that contribute to cytotoxicity. *Plant Cell and Environment*. 29:1956-1969.
- GOUIA, H., GHORBAL, M.H., MEYER, C. 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology and Biochemistry*. 38:629-638.

- GUERINOT, M. 2000. The ZIP family of metal transporters. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1465:190-198.
- GUERRERO, M. 2007. Diagnóstico y propuesta de parámetros para la estandarización y homogenización del tratamiento poscosecha de cacao. Lima, Perú. Unidad de Coordinación de Préstamos Sectoriales – UCPS - Ministerio de economía y finanzas - Corporación Andina de Fomento - Proyecto Competitividad – Programa de Apoyo a la Competitividad - Gobernabilidad e Inversión Social. 58 p.
- HAMER, D. 1986. Metallothionein. *Annual Review of Biochemistry*. 55:913-951.
- HOUBA, V., LEXMOND, T.H., NOVOZAMSKY, I., VAN DER LEE, J. 1996. State of the art and future developments in soil analysis for bioavailability assessment. *The Science of the Total Environment*. 178:21-28.
- HUAMANÍ, H., HUAUYA, M. 2014. Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *The Biologist*, Lima. 12(1):45-55.
- HUAMANÍ, H., HUAUYA, M., MANSILLA, L., FLORIDA, N., NEIRA, G. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*. 1(4):339-344.
- KABATA - PENDIAS, A. 1995. Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. En: *Heavy metals problems and solutions* (eds

- W. Salomons *et al.*). p. 3-18. [En línea]: Revistas, (www.revistas.unal.edu.co/, artículos, 15 May. 2015).
- KOJI, N. 1986. Critical concentration of cadmium in kidney cortex of humans exposed to environmental cadmium. *Environ. Res.* 40:251-60.
- LEON, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. San José. Costa Rica. IICA, Colección Libros y Materiales Educativos 84. p. 224-225.
- LIAO, L., SELIM, M. 2009. Competitive sorption of nickel and cadmium in different soils. *Soil Sci.* 174(10):549-555.
- LUCHO, C.A., ALVAREZ, M., BELTRAN, R.I., PRIETO, F., POGGI, H. 2005. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. [En línea]: Researchgate, (<http://www.researchgate.net/publication/>, documentos, 10 Ago. 2015).
- MAKSYMIEC, W., WOJCIK, M., KRUPA, Z. 2007. Variation in oxidative stress and photochemical activity in *Arabidopsis thaliana* leaves subjected to cadmium and excess copper in the presence or absence of jasmonate and ascorbate. *Chemosphere.* 66:421-427.
- MARTÍNEZ, G., PALACIO, C. 2010. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de llama. Tesis Ing. Químico. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 32 p.

- MCLAUGHLIN, M.J., SINGH, B.R. 1999. Cadmium in soils and plants: a global perspective. In: McLAUGHLIN, M. J.; SINGH, B. R (Ed.). Cadmium in soils and plants. Dordrecht: Kluwer Academic. p. 1-19.
- MCLEAN, J., BLEDSOE, B. 1992. Behavior of metals in soils. Environmental Protection Agency. 18:1-25.
- MITE, F., CARRILLO, M., WUELLINS, D. 2010. Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 13 p.
- MONGE, O., VALENZUELA, J., ACEDO, E., CERTUCHA, M., ALMENDÁRIZ, F. 2008. Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en zeolita natural (clinoptilolita). Int. Contam. Ambient. 24:107-115.
- MSAKY, J., CALVET, R. 1990. Adsorption behavior of copper and zinc in soils: influence of pH on adsorption characteristics. Soil Science. 150:513-522.
- NATURLAND. 2000. Cacao. Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico Asociación Naturland. 1 ed. México. 12 p.
- NICHOLSON, F., SMITH, S., ALLOWAY, B., CARLTON-SMITH, C., CHAMBERS, B. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. The Science of the Total Environment. 311:205-219.

- NORVELL, W.A., WU, J., HOPKINS, D.G., WELCH, R. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chlorine and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Science Society of America Journal*. 64:2162-2168.
- NRIAGU, J. 1990. Global metal pollution. Poisoning the biosphere *Environment*. 32:28-33.
- OLIVER, M. 1997. Soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science*. 48:573-592.
- ORTIZ, D., RUSCITTI, T., MCCUE, K., OW, D. 1995. Transport of metal-binding peptides by HMT1, a fission yeast ABC-type vacuolar membrane protein. *Journal of Biological Chemistry*. 270:4721-4728.
- PARK, S., CHENG, N., PITTMAN, J., YOO, K., PARK, J., SMITH, R., HIRSCHI, K. 2005. Increased Calcium levels and prolonged shelf life in tomatoes expressing *Arabidopsis* H⁺/Ca²⁺ transporters. *Plant Physiology*. 39:1194-1206.
- PINTO, A.P., MOTA, A.M., DE VARENNES, A., PINTO, F.C. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the Total Environment*. 326:239-274.
- PRINCE, W., KUMAR, S., DOBERSCHUTZ, K., SUBBURAM, V. 2002. Cadmium toxicity in-mulberry plants with special reference to the nutritional quality of leaves. *Journal of Plant Nutrition*. 25:689-700.
- REMIGIO, J. 2015. Proyecto "Determinación y zonificación de las fuentes contaminantes que afectan la concentración de cadmio en los granos de

cacao en las organizaciones socias de CEPICAFE de Piura y Tumbes". Piura, Perú. Central Piurana de Cafetaleros CEPICAFE NORANDINO – FINCYT. p. 51-53.

REYES, E., MARIA, A. 2004. Contenido de metales pesados tóxicos (níquel, plomo, cobre, cadmio y manganeso) en el cacao de la provincia Monseñor Nouel. En: Cacao. Resultados de Investigación. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Santo Domingo. p. 62-73.

RIEUWERTS, J.S., THONTON, I., FARAGO, M.E., ASHMORE, M.R. 1998. Factors influencing metals bioavailability in soils: preliminar/ investigations for the development of a critical loads approach for metals. Chemical Speciation and Bioavailability. 10:61-65.

RODRIGUEZ-SERRANO, M., ROMERO-PUERTAS, M., ZABALZA, A., CORPAS, F., GÓMEZ, M., DEL RÍO, L., SANDALIO, L. 2006. Cadmium effect on the oxidative metabolism of pea roots. Imaging of ROS and NO production in vivo. Plant Cell and Environment. 29:1532-1544.

ROSS, S. 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems (ed S.M. Ross). p. 3-25.

SALT, D., PRINCE, R., PICKERING, I., RASKIN, I. 1995. Mechanism of cadmium mobility and accumulation in indian mustard. Plant Physiology. 109:1427-1433.

- SÁNCHEZ, I. 2003. Determinación de metales pesados en suelos de medicina del campo (Valladolid). Contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia. 275 p.
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M., MONDINI, C., DE NOBILI, M., LEITA, L., ROIG, A. 2004. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter. *Waste Management*. 24:325-332.
- SÁNCHEZ, N., SUBERO, N., RIVERO, C. 2011. Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. p. 190-197.
- SANDALIO, L., DALURZO, H., GÓMEZ, M., ROMERO-PUERTAS, M., DEL RÍO, L. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of Experimental Botany*. 52:2115-2126.
- SANITÁ DI TOPPI, L., GABBRIELLI, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*. 41:105-130.
- SHAH, K., NONGKYNRIH, J. 2007. Metal hyperaccumulator and bioremediation. *Biología Plantarum*. 51:618-634.
- SILVA, C. 2004. Adsorcao competitiva de cadmio, cobre, niquel e zinco em solos. Tesis Mestreem agronomía, área de concetracao: Solos e nutricao de plantas. Piracicaba, Estado de Sao paulo, Brazil. 79 p.

- SILVIERA, M.L.A., ALLEONI, L.R.F., GUILHERME, L.R.G. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agrícola*. 60:793-806.
- SINGH, P., TEWARI, R. 2003. Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants. *Journal of Environmental Biology*. 24:107-112.
- SPOSITO, G. 1989. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University. 277 p.
- STIGLIANI, W.G. 1993. Overview of the Chemical Time Bomb problem in Europe. In: Meulen GRB Stigliani WG; Salomons W; Bridges EM; Imenson AC. (Eds.) *Chemicals in Soils and Sediments*. Veldhoven, the Netherlands, 1992. Hoofddorp, the Netherlands. p. 13-29.
- STOEPPLER, M. 1991. Cadmium. In: Merian E. (ed). *Metals and their compounds in the environment*. VCH, New York. p. 803-851. [En línea]: Marinepolicy, (www.marinepolicy.net/, documentos, 27 Set. 2015).
- THOMINE, S., WANG, R., WARD, J., CRAWFORD, N., SCHROEDER, J. 2000. Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in *Arabidopsis* with homology to Nramp genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 97:4991-4996.
- TILLER, K. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. *Advances in soil science*. 9:113-142.
- VALENTE, C. 1995. Estudio de la composición de la fibra alimentaria de cacao crudo y procesado. *Food. Techn.* 378:127-132.

- VILLANUEVA, L. 2005. Evaluación del impacto de los fertilizantes fosfatados en la acumulación de cadmio en los suelos cultivados con maíz. Chile. Universidad de Chile. 30 p.
- WARD, N.T. 1995. Trace elements. Environmental Analytical Chemistry. Ed. By FW Fifield and P.J. Haines. Capman. 156 p.
- WEBER, J., KARCZEWSKA, A. 2004. Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment. Geoderma. 322:105-107.
- WETERMAN, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 75 p.
- ZHELJAZKOV, V., WARMAN, P. 2003. Application of high Cu compost to Swiss chard and basil. The Science of the Total Environment. 302:13-26.
- ZUÑIGA, C., ARÉVALO, E., LANDSBER, E., BALIGARV, H., ALVARADO, C., ROBLES, R. 2008. Evaluación preliminar de cadmio (Cd) en suelos tropicales y almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) en la región San Martín y Amazonas. En: XI Congreso Nacional y IV Internacional de la Ciencia del Suelo. Tarapoto, Perú. 59 p.

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 11. Muestreo del suelo.



Figura 12. Muestreo del suelo de la parcela evaluada.



Figura 13. Muestreo de las mazorcas de cacao.



Figura 14. Parcela del bloque I y tratamiento 1.



Figura 15. Parcela de cacao del tratamiento T₃.



Figura 16. Limpieza alrededor de la planta para la aplicación de dolomita.



Figura 17. Pesando la dolomita a aplicarse en el suelo.



Figura 18. Cortando un recipiente con la medida exacta para aplicar dolomita.

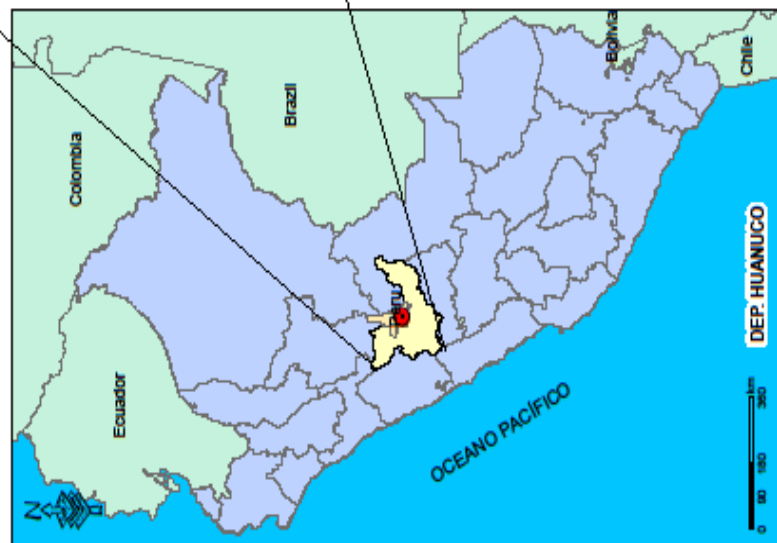


Figura 19. Aplicando dolomita al alrededor de la planta de cacao.



Figura 20. Muestra de una planta de cacao después del encalado.

MAPA DE UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA
MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO
"INFLUENCIA DE LA DOSIS DE APLICACIÓN DE DOLOMITA EN LA CONCENTRACION DE CADMIO EN LAS ALMENDRAS DE CACAO EN PARCELAS DE LA COOPAN"

Escala: Indicada
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S

Fecha: 3/12/2015
Fuente: Carta Nacional IGN

Teñido: Maribel Usco Flores