

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“EFECTO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA ABSORCIÓN DE
CADMIO POR EL SUELO, EN LA LOCALIDAD DE SUPTE”**

Tesis

Para optar el título de:

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

HUAYNATES NATIVIDAD, José Luis

PROMOCIÓN: 2011 - II

**Tingo María - Perú
2013**



T
CSA

Huaynates Natividad, José Luis

“Efecto de la Materia Orgánica en la Absorción de Cadmio por el Suelo, en la Localidad de Supte” - 2013

89 páginas; 12 cuadros; 12 fgrs.; 36 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

- | | | |
|--------------------|-------------|------------------|
| 1. CADMIO | 2. COMPOST | 3. GUANO DE ISLA |
| 4. METALES PESADOS | 5. SINERGIA | 6. CACAO |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de junio de 2013, a horas 7:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“EFECTO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA ABSORCIÓN DE CADMIO EN EL SUELO, EN LA LOCALIDAD DE SUPTE”

Presentado por el Bachiller: **JOSÉ LUIS HUAYNATES NATIVIDAD**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 13 de setiembre de 2013.

Ing. M.Sc. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ**
PRÉSIDENTE

Ing. Mg. **ROBERTO OBREGÓN PEÑA**
VOCAL

Ing. M.Sc. **TANIA GUERRERO VEJARANO**
VOCAL

Ing. M.Sc. **VICENTE POCOMUCHA POMA**
ASESOR



DEDICATORIA

A Dios padre Nuestro: único poseedor de la verdad y la vida.

A mis padres Francisco y Susana con eterna gratitud, por ser ejemplo de sacrificio, abnegación y lucha que han marcado firmes derroteros en mi vida y trabajo profesional.

A mi tía Liz por ser como una segunda madre en mi vida por el apoyo moral y económico que me brindó en los años de estudio, por su gran apoyo y fuerza motivadora.

Al amor de mi vida Sybila, compañera desinteresada durante los años de estudio universitario, por el apoyo que me da cada día, Mi querida abuela Susana por haber estado ahí en toda mi carrera profesional por el constante apoyo y comprensión.

A mis queridos hermanos que de una u otra manera les sirva como ejemplo esta tesis.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a todas las personas que han colaborado en la culminación del presente trabajo, entre ellos.

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Al Ing. M.Sc. POCOMUCHA POMA VICENTE, asesor de la presente tesis, por sus acertadas orientaciones, durante la ejecución y redacción, las cuales reflejan su gran profesionalismo alcanzado.
- Al Ing. LEVANO CRISOSTOMO JOSE, Co asesor de la presente tesis.
- Al Ing. M.Sc. DAVID NATIVIDAD BARDALES, por el apoyo que me dió en la redacción, lo cual refleja el gran profesionalismo alcanzado.
- A la señora CLOTILDE RUIZ TINEO, por su invaluable apoyo desinteresado en la tramitación y sustentación de mi trabajo.

INDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Metales pesados.....	4
2.2. Metales pesados en la agricultura	5
Cadmio.....	5
2.3. Fuentes de cadmio.....	9
Minería.....	10
Explotación de petróleo.....	10
Actividades agrícolas.....	10
Actividades industriales.....	11
Instalación de servicios.....	11
Efectos en la salud.....	12
2.4. Metales pesados en ecosistemas.....	14
2.5. Contaminación en el suelo.....	16
Efectos de los contaminantes.....	18
2.6. Movilización de metales pesados en el suelo.....	19
2.7. Mecanismos implicados en el proceso de remoción de metales pesados.....	20

Mecanismos físico químicos.....	20
Intercambio iónico.....	20
Quelación.....	21
Adsorción.....	22
Factores que afectan la bioadsorción.....	23
pH.....	23
Concentración inicial de metal.....	24
Temperatura.....	25
2.8. La espectrometría.....	25
Tipos de espectrometría.....	26
Espectrometría de absorción.....	26
Espectrometría de fluorescencia.....	26
Espectrometría de rayos x.....	27
Espectrometría de llama.....	28
2.9. Materia orgánica en los suelos.....	28
Contenido de materia orgánica.....	30
Beneficios de la materia orgánica.....	31
Propiedades físicas.....	32
Propiedades químicas.....	32
Biológicas.....	33
2.10. Abonos orgánicos.....	33
Guano de isla.....	36
Compost.....	38

2.11. Concepto ácido y base.....	40
Naturaleza y origen.....	40
Remoción de nutrientes.....	40
Aluminio intercambiable.....	41
Otras causas.....	42
Consecuencias de la acidez.....	43
Materiales utilizados.....	43
2.12. Método para determinar el pH.....	45
Potenciómetro.....	45
2.13. Antecedentes históricos.....	46
Fitorremediación.....	46
Abonos orgánicos.....	47
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.1. Campo experimental.....	49
Ubicación del estudio.....	49
Tipo de suelo.....	50
Análisis físico químico del experimento.....	50
3.2. Materiales.....	53
Materia prima.....	53
Materiales, equipos y reactivos.....	54
Materiales de campo.....	54
Materiales de laboratorio.....	54
Reactivos.....	54

3.3.	Metodología.....	55
	Componentes en estudio.....	55
	Tratamientos en estudio.....	56
	Diseño experimental.....	57
	Modelo aditivo lineal.....	58
3.4.	Ejecución del experimento.....	60
	Limpieza y delimitación de la parcela.....	60
	Preparación del terreno.....	61
	Encalado.....	62
	Aplicación de tratamientos.....	63
	Muestreo final del suelo.....	64
	Obtención y codificación de las muestras.....	64
	Análisis químico.....	65
3.5.	Metodología.....	68
	Metodología para la extracción de cadmio total en el suelo.....	69
3.6.	Análisis estadístico.....	70
	Unidades a evaluar.....	70
	VARIABLES ESTUDIADAS.....	71
	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	71
	VARIABLES DEPENDIENTES.....	71

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
Absorción de cadmio en el suelo.....	72
Efecto de los niveles del factor compost.....	73
Efectos de los niveles del factor guano de isla.....	74
Efecto de la interacción de los niveles del factor a en b.....	75
Efecto de la interacción de los niveles del factor b en a.....	78
Efectos generales de los tratamientos.....	81
V. DISCUSION.....	85
VI. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES.....	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
IX. ANEXO.....	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Actividades que generan contaminación de cadmio en los ecosistemas.....	15
2. Composición química de los diferentes tipos de estiércoles.....	35
3. Composición química del guano de isla.....	37
4. Composición química del compost.....	39
5. Parámetro para los análisis físico del suelo.....	51
6. Resultado de los análisis de suelo.....	52
7. Descripción de los tratamientos de estudio.....	56
8. Esquema de análisis de varianza.....	58
9. Resultado de análisis de varianza.....	72
10. Prueba de Duncan para medir el efecto del factor compost en la disminución de cadmio en el suelo a un nivel de significación de 0.05..	73
11. Prueba de Duncan para medir el efecto del factor en la disminución de cadmio en el suelo a un nivel de significación de 0.05.....	74
12. Prueba de Duncan para los tratamientos.....	82

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Movilización de los metales pesados en los ecosistemas.....	13
2. Limpieza y poda de la parcela de estudio.....	61
3. Aplicación de dolomita al suelo como enmienda.....	62
4. Aplicación de los tratamientos compost y guano de isla en la parcela....	63
5. Muestra final para análisis de suelo.....	64
6. Toma de muestras de suelo.....	61
7. Pesado de las muestras de suelo para análisis de cadmio total.....	66
8. Codificación de las muestras.....	66
9. Calentado de las muestras para aplicar el extracto químico.....	67
10. Aplicación de ácido clorhídrico.....	67
11. Espectrofotómetro de la Universidad Agraria de la Selva.....	68
12.Efectos de los niveles de los tratamientos.....	75

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el sector de Supte en el distrito de Rupa Rupa ; contaminado con cadmio el año 2011, según resultado de los análisis que se realizó en éste lugar; consistió en la determinación de la concentración de cadmio en el suelo y aplicación de 2 fuentes de materia orgánica para disminuir la concentración de este metal y determinar la sinergia que existen entre los mismos, siendo los tratamientos compost, guano de isla, que se aplicaron en dosis de 0.5 kg, 1 kg y 1.5 kg durante los meses de Junio- Noviembre del 2013, para determinar si los tratamientos tienen mejor efecto independiente o combinado; se aplicó el diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 4 x 4 con 3 repeticiones cada uno. Los resultados demostraron que la aplicación de abonos orgánicos disminuyo la concentración de cadmio total en el suelo; existe interacción significativa entre los niveles de compost y guano de isla para la disminución de cadmio en el suelo, no existe interacción significación para los bloques respecto al experimento, Se evidencia una sinergia positiva entre el compost y el guano de isla con respecto a la disminución de cadmio en el suelo; siendo la interacción de las concentraciones menores de ambos la que mejores resultados proporciona. La concentración de cadmio varió de 3.5 ppm y 0.3 ppm en los tratamientos a_1b_3 , a_1b_1 y a_2b_1 .

I. INTRODUCCION

En los últimos años; la presencia de cadmio en los suelos y el riesgo de ingreso de éste elemento a la cadena alimenticia, ha generado mundialmente una preocupación creciente, debida al efecto tóxico de éste elemento en humanos y animales. El cadmio una vez consumido, puede acumularse en el riñón y en el hígado, puede alterar el sistema óseo, produciendo una enfermedad denominada Itai-Itai que fue detectada por primera vez en Japón (GODGUL 1995).

La Organización mundial de la salud (OMS, 1987); define a un suelo contaminado de cadmio cuando este sobrepasa el límite máximo permisible, que es 0.5 ppm o mg/kg, siendo potencialmente peligroso para la salud humana causando daños adversos.

En suelos agrícolas; las principales fuentes de cadmio, provienen de la fertilización con productos fosforados, uso de lodos y residuos industriales (ALLOWAY, 1990). Con relación a los fertilizantes fosforados, la principal materia prima de éstos es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita, que, además de fósforo, contiene cadmio en cantidades que varían entre 8 y 500 mg kg⁻¹ (LAMPKIN, 1998). Por ejemplo, en Tingo María se ha determinado que la roca fosfórica de la Villa Cooperativa de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo contiene alrededor de 12 ppm de cadmio

(HUAYNATES, 2011). Investigaciones recientes indican que los contenidos de cadmio en fertilizantes comercializados en Perú, Brasil varían entre 0,6 y 3,5 mg kg⁻¹ (GUERRERO, 1996). En los Estados Unidos, Australia y Nueva Zelandia existen diversos estudios acerca de la concentración de este elemento en los fertilizantes y el efecto de su acumulación en suelos y plantas (WRITE, 1985). Todos estos estudios indican que la aplicación reiterada de fertilizantes fosforados incrementa las cantidades de cadmio en el suelo.

Es clara la necesidad de estrategias de remediación durables y con un costo beneficio positivo, puesto que las opciones de remediación generalmente aplicados a suelos contaminados con metales pesados, son frecuentemente de elevado costo y también, destruyen los componentes bióticos del suelo.

Una de las alternativas para disminuir o precipitar el cadmio es la materia orgánica ya que se une a los metales pesados formando quelatos y estos lo retienen al cadmio de manera no disponible para los cultivos. Además interviene en la disminución de pH y aumento del contenido de materia que influye en la absorción de metales pesados a la planta (CHEN, 2000).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la materia orgánica en la disminución de cadmio en el suelo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones óptimas del guano de isla y del compost para la disminución de cadmio en el suelo.
- Evaluar la sinergia que existe entre el guano de isla y el compost en la disminución de cadmio en el suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Metales pesados

Los metales pesados; son todos aquellos que tienen una densidad mayor a 5 g/cm^3 , poseen una conductividad eléctrica alta, son dúctiles, la mayoría son elementos de transición con capacidad para formar compuestos que pueden o no sufrir actividad redox. De los 902 elementos que se encuentran naturalmente 21 son no metales, 16 son metales ligeros y los tres restantes, incluyendo al Arsénico, son metales pesados. Se incluye el cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, cobalto, mercurio, níquel, plomo, aluminio y selenio (WELCH, 1995).

El contenido de metales pesados en suelos; debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables. De hecho la entrada de metales pesados en el suelo ha ido aumentando desde que comenzó la industrialización (HAN, 2003).

2.2. Metales pesados en la agricultura

2.2.1. Cadmio

El cadmio es un elemento de naturaleza química muy similar al cinc, ambos pertenecen al grupo II de la tabla periódica y es sustituto de éste en forma de impureza en los minerales de cinc, por esto el cadmio es un subproducto de las fundiciones de cinc y otros metales. El cadmio también presenta como subtítulo del calcio en la apatita y la calcita, pudiendo aumentar sus impurezas en los fertilizantes fosforados. El hecho que el cadmio sea un metal pesado tóxico y cinc sea un elemento esencial hace que de ésta asociación se puedan prevenir los posibles efectos tóxicos de cadmio mediante un tratamiento preventivo con cinc (DAS, 1998).

El cadmio es uno de los metales traza del suelo más solubles (JAMES, 2002) y peligrosos, debido a su alta movilidad y que en pequeñas concentraciones tiene efectos nocivos en las plantas. Es soluble en estados oxidados. Bajo condiciones de reducción precipita como sulfuro de cadmio, por ellos el contenido de cadmio en arroz es mayor si el cultivo se establece en suelos no anegados. Aunque el arroz se cultiva generalmente en suelos mal drenados, no hay una relación directa ente las concentraciones de cadmio en el suelo y el arroz cosechado (CHEN, 2000).

El comportamiento del cadmio incorporado al suelo; está en función del tipo de reacción química y en los diversos procesos físicos y biológicos que

ocurren en el suelo. Las principales reacciones involucradas en las interacciones entre los metales y los componentes del suelo son las de adsorción, precipitación y formación de complejos (AHUMADA y SCHALSCHA, 1999). En suelos incubados con cadmio, (BURLO, 1997) encontró que éste se mantiene en solución a través del tiempo, lo que conserva su efecto tóxico. (LAMPKIN, 1998) señalan que la disponibilidad y movilidad del cadmio en el suelo dependen del pH, humedad, materia orgánica, tipo y cantidad de arcilla, además de la cantidad y número de años de aplicación de fertilizantes fosforados. El cadmio puede ser absorbido por las plantas como Cd^{2+} y se encuentra en mayor cantidad en aquellas hortalizas como lechuga, espinacas y apio, que finalmente son consumidas por el hombre (MCKENNA, 1993). Recientes estudios en Brasil han demostrado que en plantas de fréjol el cadmio se acumula en las raíces, afectando a los rizobios que participan en el proceso de fijación simbiótica de nitrógeno (CHEN, 2000).

Investigaciones realizadas en Chile señalan que la incorporación de cadmio a los suelos se debe principalmente a la actividad mineral e industrial, encontrándose este elemento en mayor cantidad en áreas industrializadas. Además se han realizado estudios relacionados con la absorción de cadmio en algunos cultivos en suelos contaminados, en suelos del orden Andisol no cultivados y prospecciones de los niveles de cadmio total en distintas regiones de Chile (GARCIA, 2000). Sin embargo, no existen antecedentes sobre el efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido y acumulación de cadmio en los suelos en el tiempo. El cadmio es un elemento

no deseable en los fertilizantes y aunque no representa un peligro inmediato debido a su baja concentración (MCKENNA, 1993), la industria de fertilizantes está trabajando en bajar su contenido mediante técnicas de eliminación y purificación de los fertilizantes (IGNATIEFF, 1997). Actualmente la estrategia está orientada al uso de los fertilizantes fosforados con bajas concentraciones de este metal. Por ésta razón, en lugares como Japón, Australia y algunos países de Europa se han propuesto límites de tolerancia en la concentración de cadmio de los fertilizantes fosforados que se comercializan. Cuando el contenido excede el valor límite se debe declarar su concentración en el producto fertilizante. Los países de la Organización para el Desarrollo y Cooperación Económica también han propuesto niveles de tolerancia en el contenido de cadmio por kg de P que aportan, siendo menor de 50 ppm de P para Suiza y Finlandia, menor de 100 ppm de P para Noruega y Suecia, menor de 210 ppm de P en el caso de Bélgica y Alemania y hasta 340 ppm de P en el caso de Japón y Australia (LAMPKIN, 1998).

En las plantas, los síntomas más generales de toxicidad por cadmio son atrofia y clorosis. La clorosis puede aparecer debido a una interacción directa o indirecta con el hierro, el cinc, fósforo y manganeso. Altos contenidos de cadmio en el medio de crecimiento inhiben la absorción de hierro en las plantas. Aun cuando los efectos de cadmio varían a nivel de especie, e incluso varietal, en general el cadmio interfiere en la absorción y transporte de varios elementos (Ca, Mg, P, K) y del agua (DAS, 1998).

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48; peso atómico de 112.40 una y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68 °F), valencia química 2. Su punto de fusión de 320.9°C (610 °F) y de ebullición de 765°C (1410 °F). Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado.

No se encuentra en estado libre en la naturaleza, y la greenockita (sulfuro de cadmio) es el único mineral de cadmio, aunque no es una fuente comercial del mismo. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc, pigmentos de industrias textiles, reciclaje de subproductos a base de hierro y aceites para motores y el uso de fertilizantes y pesticidas (LASAT, 2000).

Este metal se encuentra en forma de sales como el sulfato de cadmio ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) (REDESC, 2008), el cual se utiliza como astringente. El sulfuro de cadmio (CdS), que aparece como un precipitado amarillo brillante cuando se pasa sulfuro de hidrógeno a través de una disolución de sal de cadmio, es un pigmento importante conocido como amarillo de cadmio. El seleniuro (CdSe), se utiliza también como pigmento (TERRY, 2000).

El nivel natural de cadmio en el suelo es generalmente <1 ppm. Puede existir de forma natural en altas concentraciones cuando se encuentra asociado a minerales de cinc, o en áreas cercanas a depósitos de cadmio. Básicamente se recupera como subproducto de los procesos de fundición y refinamiento de concentrados de cinc en una proporción de 3.0-3.5 kg/tm de cinc.

En suelos contaminados; las especies de cadmio soluble predominantes es el ion libre Cd^{2+} junto con otras especies neutras como CdSO_4 o CdCl_2 , presentes en cantidades crecientes donde el pH es mayor que 6.5. El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales (ADRIANO, 2001).

2.3. Fuentes de cadmio

El cadmio y sus derivados; en especial hidróxido de cadmio, se emplean además en los procesos de galvanoplastia y electro plateado en la fabricación de acumuladores alcalinos y lámparas de vapor; para moderar la velocidad de fusión de las sustancias radiactivas en los reactores nucleares. El sulfuro de cadmio se utiliza para dar color amarillo o naranja, los sulfuros de selenio y cadmio se utilizan para conseguir pinturas rosas, rojas y marrones; estos pigmentos son particularmente útiles para aplicaciones que requieren altas temperaturas o presiones, por eso se utilizan comúnmente en la fabricación de plásticos, cerámicos, pinturas y abrigos. Los pigmentos de cadmio también se utilizan en las señales de tráfico y en las botellas de vidrio; y los carboxilatos de cadmio como estabilizadores de cloruro de polivinilo (PVC) (MONREAL, 2006)

Actualmente es por todos conocido que la contaminación de suelos y cuerpos de agua es provocada por diversas actividades antropogénicas, alguna de estas son:

Minería. Más de cuatrocientos años de actividades mineras, en muchos casos ininterrumpidas, han dejado tras de sí montañas de residuos mineros conteniendo diversos materiales potencialmente tóxicos, a los cuales se exponen las poblaciones, la flora y la fauna, a través del suelo, aire o de las aguas contaminadas. En otros casos, existe el riesgo de fenómenos de bioacumulación en las distintas fases de las cadenas alimenticias. Dos de los contaminantes más frecuentes en las zonas mineras del país son el arsénico y el plomo, a los cuales se suma el cadmio en algunas de ellas.

Explotación de petróleo. Las intensas actividades petroleras y de obtención de los derivados del petróleo en diversas regiones del país y en el mar, incluso aquellas donde existe una vulnerabilidad ecológica, han contribuido a una severa contaminación por hidrocarburos y otro tipo de sustancias potencialmente tóxicas, que han penetrado al suelo y contaminando cuerpos de agua (GARBISU y ALKORTA, 2001)

Actividades agrícolas. El empleo de agroquímicos en las actividades agropecuarias, frecuentemente mediante prácticas inadecuadas, constituye una de las formas de contaminación más importante, que impactan no solo los suelos de las áreas en donde se aplican sino que llegan a través de los ríos hasta las zonas costeras afectando las especies marinas. La aplicación de plaguicidas genera conflictos sociales por el elevado número de trabajadores del campo intoxicados por estos productos, con un alto índice de mortalidad, así como también por la sospecha de efectos adversos sobre la salud de las comunidades vecinas, la flora y la fauna (GARBISU y MORRAL 1994)

Actividades industriales. La producción de bienes de consumo a lo largo y ancho del territorio nacional ha generado importantes focos de contaminación, en primer término por la falta de conciencia ecológica que prevaleció por muchos años y en segundo por el manejo inadecuado de materiales y todo tipo de residuos, lo cual representa un serio problema en aquellos lugares donde se desarrollan éstas actividades.

Instalaciones de servicios. Se han acumulado las evidencias de graves problemas de contaminación de suelos, que conlleven al riesgo de contaminación de acuíferos, por fugas en contenedores de materiales peligrosos, así como por derrames continuos de lubricantes, solventes orgánicos y otro tipo de sustancias, por practica inadecuadas en su manejo, principalmente en estaciones de servicio de gasolina, talleres de reparación de autotransportes, estaciones e instalaciones de ferrocarriles, terminales de autobuses, aeropuertos y diversas industrias (MORRAL, 2001; PORTA, 1994).

Uso de aguas residuales en irrigación de campos agrícolas. El empleo de aguas residuales para riego de cultivos agrícolas por su alto contenido de materia orgánica, que actúa como fertilizante, y otras sustancias nocivas, implica el riesgo de que los suelos y los cultivos se contaminen con los residuos químicos provenientes de descargas industriales y municipales

Basureros a cielo abierto. La disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales, que pueden contener residuos peligrosos,

representa una seria amenaza de contaminación a los suelos y cuerpos de agua.

Las principales sustancias que se consideran causante principales de problema de contaminación son: metales (Pb, Cd, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Ba, Hg), compuestos inorgánicos, compuestos aromáticos y poliaromaticos, hidrocarburos clorados y agroquímicos (MORRAL, 2001).

2.3.1. Efectos en la salud

Cuando el Cd es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular (MORRAL, 1999).

El ser humano incorpora cadmio al organismo vía la inhalación de aire y la ingestión tanto de agua como de alimento. La mayor parte de la carga total de cadmio acumulada en el organismo se localiza en el hígado y riñones, excretándose la parte no absorbida a través de la orina. La toxicidad de cadmio en los organismos ocurre cuando los iones Cd desplazan los iones de elementos como Zn, en el centro reactivo de enzimas esenciales.

Las principales afecciones producidas por intoxicación aguda de estos elementos son daño alveolar, gástrico y alteraciones reproductivas. Como consecuencia de exposición crónica puede provocar enfisema pulmonar, anemia. Alteración del sistema nervioso central y alteraciones del metabolismo mineral (osteoporosis). Es cancerígeno para el hombre (ADRIANO, 2002).

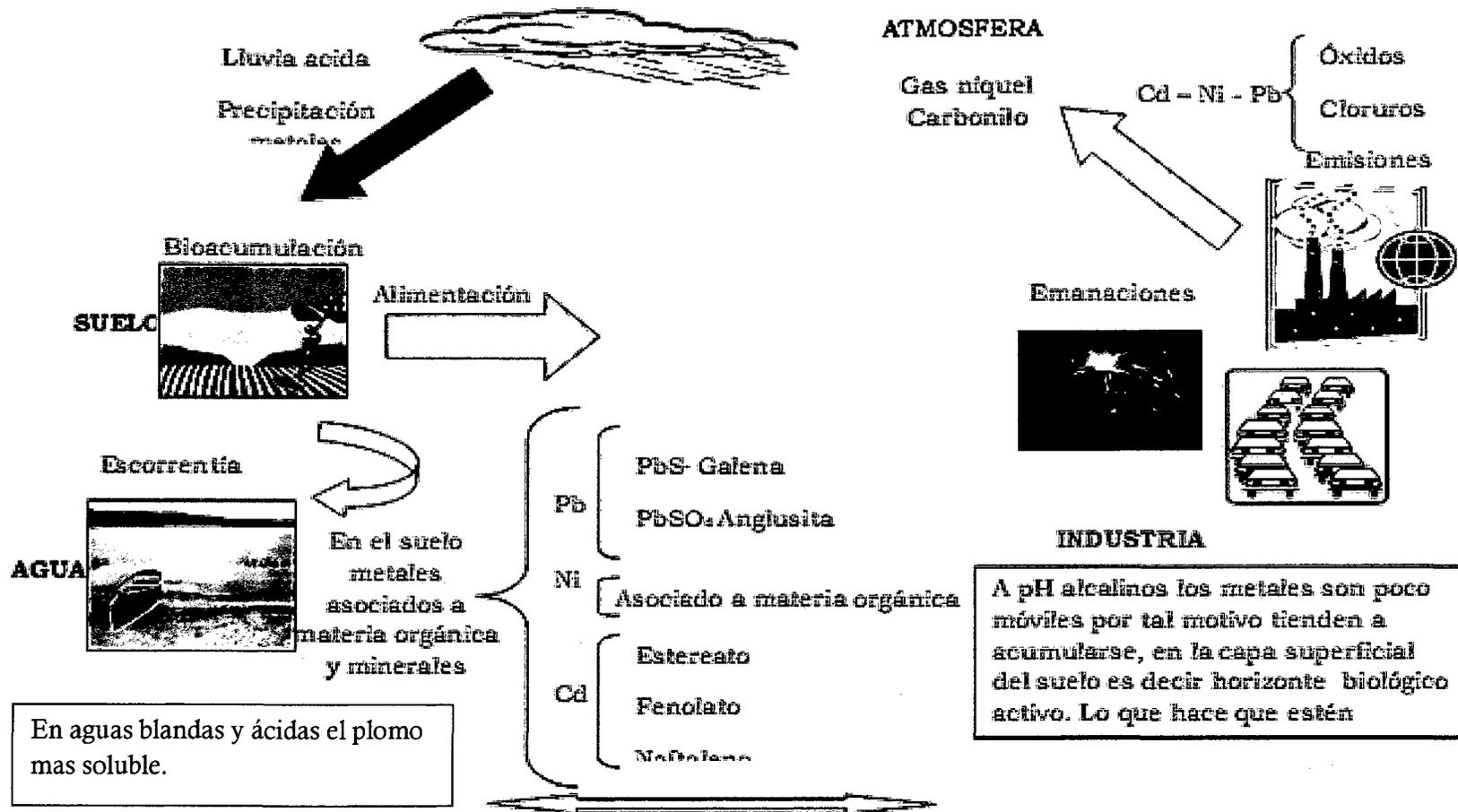


Figura 1. Movilización de los metales pesados en los ecosistemas

2.4. Metales pesados en ecosistemas

A partir de actividades industriales, se han generado problemas de contaminación por vertimientos con alta carga de metales pesados como el cadmio, plomo y níquel.

Debido a su movilidad en los ecosistemas y toxicidad, los metales se han considerado como uno de los contaminantes que más afectan al medio ambiente, pues aún cuando se encuentren presentes en cantidades bajas e indetectable, su persistencia en el suelo, implica que a través de procesos naturales como la meteorización de la roca madre, su concentración puede llegar a ser tan elevada que empieza a ser toxica (HOLDRIDGE, 1987)

Cuadro 1. Actividades industriales y comerciales que general contaminación de cadmio en los ecosistemas.

Tipo de industria	Parámetro a considerar como mínimo
	(puede haber otros parámetros relevantes)
Acumuladores/bacterias	Plomo, cromo, níquel, cadmio, arsénico
Refinerías	Aceite/ diesel, plomo
Pinturas/lacados	Disolventes, arsénico, cromo, cobre, cadmio, plomo, cinc, estaño, ftalatos
Curtidos	Disolventes, cromo, cobre, cadmio, níquel, arsénico, cinc
Fabricas de gas	Fenoles, cianuros, azufre
Galvanización	Disolventes, cromo, cadmio, cinc, arsénico, plomo, cianuro
Industria de plástico	Disolventes, flalatos, plomo, cadmio
Química de síntesis	Disolventes (clorados y otros), arsénico, cromo
Astilleros	Disolventes (clorados y otros), aceite, cadmio, cobre, cromo, níquel, estaño y cinc
Fertilizantes fosforados	Cadmio, cinc, níquel, cobre, arsénico y mercurio

Fuente: MONREAL (2006)

Los metales pesados difieren de otros contaminantes por no ser biodegradables y por bioacumularse en casos en los que no hacen parte de los

elementos traza necesaria para el organismo como el cinc, el hierro, el cobre, el manganeso, molibdeno y níquel (ADRIANO, 2001)

Poseen una gran habilidad para unirse con gran variedad de moléculas orgánicas, como es el caso del cobre, níquel y cadmio. Los procesos de bioacumulación son debidos básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, para eliminar el contaminante, lo que hace que poco a poco incrementa la concentración en el interior del mismo. Una vez incorporados a los tejidos, sus efectos tóxicos dependen de las interacciones que allí formen pues los metales muestran gran afinidad por grupos sulfhidrilo y en menor medida por grupos amino, fosfato, carboxilo, imidazol e hidroxilo, pertenecientes a enzimas y otras proteínas esenciales (HOLDRIDGE, 1987).

El estar presentes en altos niveles en los vertimientos de industrias, pueden causar cambios físicos, químicos y biológicos dentro de los cuerpos de agua, tales como turbidez, viscosidad, aumento de la demanda de oxígeno, cambios bruscos en el pH, entre otros. Igual pueden generar a la muerte de organismos superiores, además de comprometer seriamente la calidad del agua que sea requerida para consumo humano (HOLDRIDGE, 1987).

2.5. Contaminación en el suelo

En los suelos, los metales pesados, pueden quedar retenidos o disueltos en la solución del suelo por procesos de adsorción, complejación y precipitación o estar absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasar a la atmósfera por volatilización o moverse a

las aguas superficiales o subterráneas.. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez vertidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Todo el proceso y persistencia de los metales pesados en el ambiente, desencadena un sin número de efectos nocivos para todos los seres vivos que dependen de las plantas y animales, y así sucesivamente hasta llegar a los niveles más altos de la cadena trófica, donde las concentraciones de metal pesado son mayores (HAN, 2003).

Según la FAO/OMS en 1972 el cadmio puede ingerirse como máximo semanalmente 0.4-0.5mg por persona y en el agua de 10ug/l, debido a su toxicidad, mientras que para el plomo es de 3mg/kg por persona y la concentración de níquel es de 4.8mg/l de agua bebida por una persona. Las concentraciones de estos metales van a generar efectos agudos y crónicos. Entre los efectos agudos, en el hombre, las principales manifestaciones son la aparición de trastornos gastrointestinales tras la ingestión y las neumonitis químicas, mientras por último los efectos crónicos, se relacionan con la disfunción renal y los trastornos pulmonares, neurológicos, sobre el sistema cardiovascular, reproductor y carcinogenicidad (OMS, 1987).

El cadmio se libera al aire, al suelo y al agua por actividades humanas. Se introduce al suelo a través de residuos sólidos de la producción de metales y de la manufactura de artículos que contienen cadmio, así como la cenizas producto de la incineración de residuos urbanos; está también presente en pequeñas cantidades en los fertilizantes fosfatados, desde donde puede

cederse al suelo y de este a los vegetales, por otra parte, los ríos contaminados con cadmio pueden contaminar al suelo por medio de la irrigación para propósitos agrícolas (JINADASA y MEJARE, 1992).

La absorción de cadmio por las plantas es la principal ruta de entrada de éste metal en la cadena alimentaria, siendo su concentraciones en el suelo y el pH del mismo los factores determinantes del proceso (ALLOWAY, 1997).

La normatividad mundial FAO clasifica al suelo como normal cuando contienen menos de 0.35 mg Cd/kg y se considera un suelo peligroso cuando este nivel aumenta a 3 – 5 mg Cd/kg de suelo (OMS, 1987).

2.5.1. Efectos de los contaminantes

El suelo se puede degradar al acumularse en él, sustancias a unos niveles tales que se repercuten negativamente en el comportamiento de los suelos. Los efectos desfavorables de los contaminantes en el suelo como sistema son:

- Destrucción del poder de autodepuración por proceso de regeneración biológica normal, al haber superado la capacidad de aceptación del suelo.
- Disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento normal de los microorganismos del suelo, o bien alteración de su diversidad.

- Disminución del rendimiento de los cultivos con posibles cambios en la composición de los productos con riego para la salud de los consumidores, al entrar determinados elementos a la cadena trófica.
- Contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencias. Se alcanzan concentraciones superiores a las consideradas aceptables.
- Disminución de las funciones de soporte de actividades de esparcimiento. Los espacios contaminados presentan problema de salubridad para los usuarios.

2.6. Movilización de metales pesados en el suelo

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, éstos pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (MORRAL, 2003).

Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (HAN, 2003).

2.7. Mecanismos implicados en el proceso de remoción de metales por tratamiento biológico

2.7.1. Mecanismos físico químicos

La pared celular realiza la retención del metal mediante una interacción fisicoquímica del metal con grupos amino e hidroxilo propios de la quitina presentes en la pared, al igual que grupos fosfato, sulfidrilo y carboxilo. Esta interacción se traduce en la formación de un enlace covalente coordinado pues el ión metálico actúa como un átomo central que dispone de orbitales vacíos capaces de aceptar pares de electrones. Estos pares de electrones son precisamente donados por los grupos funcionales nombrados.

La formación de este enlace, puede estar acompañada por la dislocación de protones y dependiente en parte del grado de protonación de la pared que es determinado por el pH (GODGUL 1995).

- Intercambio iónico

El intercambio iónico se expresa como una reacción en equilibrio en donde los reactivos que actúan, están en cantidades químicamente equivalentes y se desarrolla hasta que se ha agotado la capacidad estequiometría (CASTRO, 1998).

En otras palabras, implica que al captar iones metálicos por parte de la pared va acompañado de la liberación al medio de cationes tales como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1} , Na^{+2} y H^{+1} hasta alcanzar el equilibrio de la reacción (IABAL, 2007).

En procesos convencionales, este tratamiento permite reducir concentraciones de metales, del orden de mg/l, y se utiliza como tratamiento secundario después de la precipitación en sistemas de potabilización, cuando las concentraciones iniciales de metal no son excesivamente altas, porque su costo de inversión y de operación es elevado (HIDALGO, 2004).

- **Quelación**

La quelación implica inmovilizar un ión metálico con ligandos de bajo peso molecular para crear un complejo o una molécula químicamente estable. Algunos estudios revelan que la resistencia de los hongos de la pudrición blanca y café de la madera a sales de metales pesados, se debe al desarrollo de sideróforos o quelantes, entre los que se destacan el catecol y el ácido oxálico. El catecol moviliza hacia el interior de la célula fúngica el hierro.

El ácido oxálico es capaz de inmovilizar iones metálicos para formar sales de oxalato en forma de cristales disminuyendo la solubilidad por ende la disponibilidad de estos en el medio. Malagré y colaboradores

(2002) encontraron que bajo condiciones normales en procesos de degradación de la lignina, se encuentran cristales de oxalato de calcio asociados a la hifa de hongos de la podredumbre, así mismo propone que en presencia de iones metálicos el calcio es intercambiado por estos (REYES, 2007).

- **Adsorción**

La adsorción de iones tiene lugar sobre materiales altamente porosos (adsorbente), como: carbón activo, óxidos de hierro y aluminio, arcilla, materiales sintéticos y otros substratos de origen biológico. En éste proceso la sustancia adsorbida se une a la superficie del adsorbente mediante fuerzas físicas (fuerzas de Van der Waals) que son enlaces débiles lo que lo hace un proceso reversible por otro tipo de fuerzas químicas o enlaces covalentes (PATTERSON y MALDONADO, 2007).

El proceso de adsorción se puede dividir en tres fases que incluyen la transferencia de las moléculas del adsorbato (que se refiere a las especies que van a ser adsorbidas contenidas en un solvente) a través de la capa que rodea el adsorbente (que hace referencia a la fase sólida capaz de atraer el sorbato), difusión a través de los poros y adsorción de las moléculas del adsorbato por la superficie activa (HOLDRIDGE, 1987).

El proceso de adsorción depende fuertemente del pH y cada metal tiene un pH óptimo para ser extraído. La temperatura, el tiempo de equilibrio, la concentración de metal y la presencia de otros iones en disolución

son factores que influyen también en el proceso de adsorción (Patterson, 1991), pues en soluciones con más de un metal, se pueden generar tres tipos de comportamiento, sinergismo: el efecto (adsorción) de la mezcla es mayor que cuando los componentes están por individual; antagonismo: el efecto de la mezcla es inferior al de cada uno de los metales; sin interacción: cuando el efecto de la mezcla no es diferente al de los componentes por individual (QUINGBIAO, 2004).

2.7.2. Factores que afectan la bioadsorción.

La eliminación de sustancias mediante procesos de extracción sobre sólidos solventes requiere un conocimiento previo de las condiciones más favorables en que se produce éste fenómeno. El proceso de adsorción se ve influenciado por diferentes factores como el pH, la temperatura, la naturaleza del adsorbente, el tipo y concentración de adsorbato, entre otros (CASTRO y HIDALGO, 2004).

- pH

Los metales en disolución acuosa se encuentran en forma de diferentes especies químicas en función del pH de la disolución, de aquí la fuerte dependencia que existirá entre el pH de la disolución y la disponibilidad de extracción del metal, ya que según el tipo de suelo y cultivo, los mecanismos de sorción varían (CASTRO, 1998).

Los metales son sustancias electropositivas ya que ceden cargas positivas a la superficie del coloide, el cual va aumentando el número de cargas negativas para lograr la adsorción, lo cual se facilita en soluciones ácidas. En una solución alcalina los metales pesados tienden a formar hidroxocompuestos, los cuales posteriormente se precipitan (NAVARRO, 2006).

- **Concentración inicial de metal**

Para determinar la efectividad de un material sorbente hay que conocer cuál es la cantidad máxima de metal (la capacidad máxima) que puede adsorber. Los materiales establecen diferentes equilibrios de extracción cuando se ponen en contacto con concentraciones distintas de metal. Éstos equilibrios dependen en todos los casos de las condiciones experimentales y son diferentes para cada temperatura, son equilibrios isotérmicos. Idealmente los modelos teóricos que se utilizan para describir los resultados experimentales deben ser capaces de predecir los procesos de sorción a bajas y altas concentraciones, además de permitir una interpretación física del mecanismo de sorción (HIDALGO, 1998).

- Temperatura

La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado. La cantidad de material que se acumula depende del equilibrio dinámico que se alcanza entre la tasa a la cual el material se adsorbe a la superficie y la tasa a la cual se puede liberar, y que normalmente dependen de forma importante de la temperatura (CARRERA, 2008).

2.8. La Espectrometría

Surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda (λ). En un principio se refería al uso de la luz visible dispersada según su longitud de onda, por ejemplo por un prisma. Más tarde el concepto se amplió enormemente para comprender cualquier medida en función de la longitud de onda o de la frecuencia. Por tanto, la espectroscopía puede referirse a interacciones con partículas de radiación o a una respuesta a un campo alternante o frecuencia variante (ν). Una extensión adicional del alcance de la definición añadió la energía (E) como variable, al establecerse la relación $E=h\nu$ para los fotones. Un gráfico de la respuesta como función de la longitud de onda (o más comúnmente la frecuencia) se conoce como espectro.

La espectrometría es la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo (MORRAL, 2003).

2.8.1. Tipos de espectrometría

- Espectrometría de absorción

La espectrometría de absorción es una técnica en la cual la energía de un haz de luz se mide antes y después de la interacción con una muestra. Cuando se realiza con láser de diodo ajustable, se la conoce como espectroscopia de absorción con láser de diodo ajustable. También se combina a menudo con una técnica de modulación, como la espectrometría de modulación de longitud de onda, y de vez en cuando con la espectrometría de modulación de frecuencia a fin de reducir el ruido en el sistema.

- Espectrometría de fluorescencia

La espectrometría de fluorescencia usa fotones de energía más elevada para excitar una muestra, que emitirá entonces fotones de inferior energía. Esta técnica se ha hecho popular en aplicaciones bioquímicas y médicas, y puede ser usada con microscopía confocal, transferencia de energía entre partículas fluorescentes, y visualización de la vida media de fluorescencia.

- Espectrometría de rayos x

Cuando los rayos X con suficiente frecuencia (energía) interaccionan con una sustancia, los electrones de las capas interiores del átomo se excitan a orbitales vacíos externos, o bien son eliminados completamente, ionizándose el átomo. El "agujero" de la capa interior se llena entonces con electrones de los orbitales externos. La energía disponible en éste proceso de excitación se emite como radiación (fluorescencia) o quitará otros electrones menos enlazados del átomo (efecto Auger). La absorción o frecuencias de emisión (energías) son características de cada átomo específico. Además, para un átomo específico se producen pequeñas variaciones de frecuencia (energía) que son características del enlace químico. Con un aparato apropiado pueden medirse estas frecuencias de rayos X características o energías de electrones Auger. La absorción de rayos X y la espectroscopia de emisión se usan en química y ciencias de los materiales para determinar la composición elemental y el enlace químico. La cristalografía de rayos X es un proceso de dispersión. Los materiales cristalinos dispersan rayos X en ángulos bien definidos. Si la longitud de onda de los rayos X incidentes es conocida, se pueden calcular las distancias entre planos de átomos dentro del cristal. Las intensidades de los rayos X dispersados dan información sobre las posiciones atómicas y permiten calcular la organización de los átomos dentro de la estructura cristalina.

- **Espectrometría de llama**

Las muestras de solución líquidas son aspiradas en un quemador o una combinación de nebulizador/quemador, desolvatadas, atomizadas, y a veces excitadas a un estado electrónico de energía más alta. El uso de una llama durante el análisis requiere combustible y oxidante, típicamente en forma de gases. Los gases combustibles comunes que se usan son el acetileno (etino) o el hidrógeno. Los gases de oxidante suelen ser el oxígeno, el aire, o el óxido nitroso. Estos métodos son a menudo capaces de analizar elementos metálicos en partes por millón, billones, o posiblemente rangos más bajos de concentración. Son necesarios detectores de luz para detectar la luz con información que viene de la llama (MORRAL, 2003).

2.9. Materia orgánica en los suelos

La materia orgánica de los suelos de cultivos, representa en si misma un sistema complejo integrado por diversos componentes. Su dinamismo está determinado por la incorporación al suelo de restos de origen vegetal, animal y microbiano y la transformación, evolución de estos, mediado por la interacción de múltiples procesos.

El papel de la materia orgánica; en la protección de los cultivos frente a las enfermedades se puso en evidencia por primera vez cuando se constató que las mejoras en el rendimiento debidas a la aplicación de abonos orgánicos y compost eran mayores de lo que podría explicarse tan solo en

términos de contenidos de nutrientes. Posteriores investigaciones muestran que este (efecto humus) está asociado con un incremento de la actividad microbiana, una reducción de virus y una disminución de la fatiga o toxicidad del suelo. El empleo de abonos orgánicos permite también que las plantas absorban directamente moléculas químicas específicas como los fenoles, necesarios para el desarrollo de su sistema inmunitario (LAMPKIN, 1998).

El producto de la mineralización es compuesto más sencillo y soluble pueden ser asimilables por las plantas una vez que pasan a formas inorgánicas bien solubles (NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , H_2O , CO_2), etc.

La cantidad de humus presente en el suelo depende del equilibrio dinámico que se alcance entre la formación (humificación) y la destrucción (mineralización) del mismo (DOMINGUEZ, 1997).

En el suelo las partículas coloidales se hallan en contacto con la solución acuosa del mismo. Normalmente las partículas coloidales del suelo (arcillas, humus, etc.), se hallan en estado floculado o precipitado, sirviendo de nexo de unión a partículas mayores para formar agregados. En cualquier caso, se encuentra en contacto con la solución del suelo; por su gran superficie de contacto y la carga negativa que se distribuye a lo larga de la misma, el complejo coloidal arcilloso – húmico del suelo tiene gran capacidad de absorber cationes (DOMINGUEZ, 1997).

La mejora de la estructura está relacionada con la resistencia que ofrece el suelo frente a la acción degradativa de diversos agentes, fundamentalmente el agua y el viento. La materia orgánica en condiciones

adecuadas ejerce una acción óptima sobre la estabilidad de la estructura, e indirectamente también, sobre todos los parámetros relacionados con ella: circulación de agua, del aire, del calor, la penetración de las raíces de la planta, etc. Igualmente favorece la resistencia del suelo frente a la erosión (LABRADOR, 1996).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el cadmio, que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cd, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente. La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (LAMA , 1995).

2.9.1. Contenido de materia orgánica.

La cantidad de materia orgánica que un suelo puede acumular depende de la temperatura, humedad, aireación, cantidad y tipo de arcilla y otras características del suelo, y de la cantidad y naturaleza de los residuos orgánicos devueltos al suelo. Los suelos que tienen más de un 20% de materia orgánica se clasifican como suelos orgánicos y corresponden generalmente a

pantanos o turberas. En Chile, la mayoría de los suelos de uso agrícola tienen 1,5 a 6% de materia orgánica, excepto los suelos trumaos que por sus características poseen contenidos notablemente mayores, a veces superiores a 15% (LAMA , 1995).

2.9.2. Beneficios de la materia orgánica

- Contribuye a que las partículas minerales individuales de suelo formen agregados estables, mejorando así la estructura del suelo y facilitando su laboreo.
- Favorece una buena porosidad, mejorando así la aireación y la penetración del agua.
- Aumenta la capacidad de retener agua.
- Por las razones anteriores, disminuye el riesgo de erosión.
- Proporciona partículas de tamaño coloidal con carga negativa (humus), que tiene una alta capacidad de retener e intercambiar cationes nutritivos.
- Actúa como agente amortiguador al disminuir la tendencia al cambio brusco del pH del suelo cuando se aplican sustancias de reacción ácida o alcalina.
- Hace posible la formación de complejos órgano-metálicos, estabilizando así micronutrientes del suelo que de otro modo no serían aprovechables.
- Es una fuente de elementos nutritivos, los que son aprovechables por las plantas después que la materia orgánica ha sido descompuesta por los microorganismos.

- **Propiedades físicas**

- Incrementa la formación de agregados del suelo (arenoso).
- Mejora la retención y absorción de agua.
- Suelos cohesionados, los suelta.
- Mejora el régimen gaseoso.

- **Propiedades químicas**

- Disponibilidad de elementos nutritivos (mineralización)
- Incrementa la Capacidad de Intercambio Catiónico – CIC.
- Aumenta el poder tampón buffer del suelo.
- El color – pardo – oscuro.
- Promueve la formación de quelatos.

- **Biológicas (vida – suelo)**

- Incrementa la actividad biológica :
 - Microflora
 - Fauna
- Incrementa la población de microorganismos fijadores libres de Nitrógeno (Azotobacter).
- Producción de sustancias activadores de crecimiento (ácido indol acético)
- Antibióticos.

2.10. Abonos orgánicos

Son aquellas sustancias que desempeñan diversas funciones, directas o indirectas, que influyen sobre el crecimiento de las plantas y sus cosechas, obrando como nutrientes, agente movilizador de sustancias, catalizador de procesos vitales (tanto en el suelo como en las plantas), modificador de la flora microbiana útil, enmienda mejoradora de las propiedades del suelo y otras.

El término abono orgánico; se emplea aquí para abarcar todo tipo de enmienda orgánica al suelo, influyendo tanto los estiércoles animales como los restos vegetales. Su importancia estriba no solamente en la forma de los nutrientes que reciben las plantas, sino también en que los estiércoles orgánicos es una fuente de nutrientes y energía para el ecosistema del suelo, siendo los microorganismos los que ponen luego los nutrientes a disposición de las plantas en una proporción equilibrada y distribuida a lo largo de la estación de crecimiento.

Otra característica importante de las enmiendas orgánicas es su habilidad para estimular el complejo de microorganismos beneficiosos que ayudan a mantener bajo control las potenciales plagas y patógenos (LAMKPKIN, 1998).

Cuando se aportan nutrientes mediante la aplicación de materia orgánica al suelo, se incrementa su reserva al mismo y su fertilidad. La liberación lenta y progresiva, es una garantía de que los elementos móviles dentro del suelo como el nitrógeno, permanecen retenidos y no se pierden parcialmente por lavado (KABATA, 2000). Este mismo autor, señala que la disponibilidad de nutrientes en la fracción orgánica es muy variable, comparando con los fertilizantes químicos o minerales. En el caso de elementos ligados a la materia orgánica, su disponibilidad no es inmediata ya que requieren una mineralización previa.

Cuadro 2. Composición química de diferentes tipos de estiércoles (abonos orgánicos).

Calcio (%)	Tipo de estiércol				
	vacuno	Gallinaza	porcino	equino	caprino
Humedad (%)	36	30	20	25	18
pH (relación 1:2)	8	7.4	7.2	7	7.5
Materia orgánica (%)	70	70	68	60	55
Nitrógeno total (%)	1.5	3.7	3.7	1.2	2.5
Fósforo (%)	0.6	2.2	2	0.2	0.6
Potasio (%)	2.5	2.7	30	2.5	2.2
Calcio (%)	3.2	5.7	7.5	6	8
Magnesio (%)	0.8	1	2.3	0.2	0.2
Sodio (%)	1.6	1.1	0.3	0.1	0.1
Zinc (ppm)	130.6	516	-	-	-
Manganeso (ppm)	264	474	-	-	-
Hierro (ppm)	<354	4902	-	-	-
Relación C/N	26	11	13	33	18
Mineralización (%) 1er. Año)	35	90	65	30	32

Fuente: ROMERO (1997).

2.10.1. Guano de isla

El guano de isla, o desperdicios de aves, pueden ser utilizados como fertilizantes para el suelo, y es reconocido como un excelente recurso de nutrientes tales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Adicionalmente, estos desperdicios reponen materia orgánica y otros nutrientes tales como calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) al suelo — ayudando a fortalecer la calidad y fertilidad del mismo.

El excremento de las aves de isla contiene más nutrimentos para la planta que cualquier otro estiércol, sin embargo requiere un manejo eficaz para que no pierda rápidamente el nitrógeno.

Varias razones explican la insignificante utilización de guano de isla, entre otras, la falta de información acerca de su valor como abono y los cuidados que necesita, el desconocimiento de cómo y cuándo utilizarlo). Actualmente, algunos granjeros están considerando la posibilidad de comercializar la gallinaza ya que la demanda de este estiércol está incrementándose. (AGRIAMERI, 1965).

Cuadro 3. Composición química del guano de isla.

Nutriente		Contenido	
Macro elementos			
Nitrógeno	N	10 - 14	%
Fósforo	P ₂ O ₅	10 - 12	%
Potasio	K ₂ O	2 - 3	%
Elementos secundarios			
Calcio	CaO	8	%
Magnesio	MgO	5	%
Azufre	S	16	%
Micro elementos			
Hierro	Fe	320	p.p.m.
Zinc	Zn	20	p.p.m.
Cobre	Cu	240	p.p.m.
Manganeso	Mn	200	p.p.m.
Boro	B	160	p.p.m.

También contiene

Flora microbiana

Hongos y bacterias benéficas

Fuente: Romero (1997)

2.10.2. Compost

Desde el punto de vista microbiológico, el compost se define como la degradación microbiana de la materia orgánica que implica una respiración aeróbica, pasando por un estado termofílico y que crea un producto final estable. A medida que cada tipo de microorganismo ataca y digiere el material, empieza un cambio químico. Los productos liberados por la actividad de un grupo están a la vez bajo la acción de otro grupo, transformando el material hacia un estado de descomposición (PARR, 1978; citado por THIENHAUS, 1988).

El compost o compuesto, es una mezcla de materia orgánica de origen animal o vegetal, o de ambos, parcialmente desintegrada que puede contener sustancias como: ceniza, cal y sustancias químicas (IGNATIEFF y PAGUE, 1967).

Los aportes de estiércol, independientemente de su acción beneficiosa como enmienda orgánica, ponen a disposición del cultivo elementos fertilizantes que se liberan lentamente y que los cultivos aprovechan en sucesivos años. Entre los estiércoles suele haber bastantes diferencias, en

primer lugar por la especie de animal de que proceden y también por el grado de humedad, tiempo de elaboración y forma en que está hecho (GUERRERO, 1996).

Cuadro 4. Composición química compost.

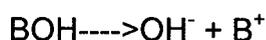
Nutrientes	Porcentaje
Materia orgánica	65-75 %
Humedad	40-45 %
N2	1.5-2 %
P2O5	2-2.5 %
K2O	1-1.5 %
C-N	10-11
Ácidos húmicos	2.5-3
PH	6.8-7.2
Carbono org.	14-30 %
Calcio	2-8 %
Magnesio	1-2.5 %
Sodio	0.02 %
Cobre	0.05 ppm
Hierro	0.02 %
Manganeso	0.06 pm

Fuente: Romero (1997)

2.11. Concepto de ácidos y bases

El concepto más antiguo de ácidos y bases fue propuesto por Arrhenius que definía los ácidos como sustancias que, en solución son capaces de donar protones (iones H^+), en cuanto las bases son sustancias donadoras de hidroxilos (iones OH^-), (QUAGGIO, 2000).

Esta teoría puede ser mejor entendida a través de la reacción hipotética de disociación de ácido HA o de base BOH



2.11.1. Naturaleza y origen de la acidez del suelo

Los suelos pueden ser naturalmente ácidos en razón de la pobreza de bases (calcio, magnesio y potasio) del material de origen; o a través de procesos de formación o de manejo de suelos que causan la pérdida de estas bases y por tanto la acidificación (QUAGGIO, 2000).

2.11.2. Remoción de nutrientes

La acidificación del suelo se inicia con la pérdida de cationes (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na), debido en parte a la absorción por las raíces y en parte a la pérdida de nutrientes en el agua de percolación, es decir, la precipitación es

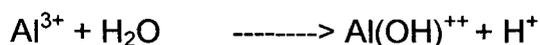
mucho mayor que la evapotranspiración, éste lavado se facilita por la formación del ácido carbónico, cuando el agua entra en el suelo que se puede ver en la siguiente reacción:



El hidrógeno desplaza a las bases de las sedes de intercambio. La planta al absorber cationes libera H^+ que contribuye a la reducción del pH del suelo. De ahí que es necesario durante el manejo de los suelos, el aporte de estas bases que salen del sistema para no agravar el proceso de acidificación. (VALENCIA, 1998).

2.11.3. Aluminio intercambiable

Las plantas pueden crecer normalmente a pH relativamente bajo (3,5 – 4,0) si la fuente de acidez es solamente el H^+ en la solución del suelo. Sin embargo a pH menores a 5,5 existen otros factores asociados con la acidez que realmente limitan el crecimiento de las plantas. Se ha reconocido ampliamente que uno de los principales factores asociados con el desarrollo de la acidez es la presencia de aluminio (Al^{+3}) en la solución del suelo. Los iones Al^{+3} desplazados de los minerales arcillosos por otros cationes se hidrolizan (reaccionan con una molécula de agua) para formar complejos monoméricos y poliméricos hidroxialumínicos. Las reacciones de hidrólisis del Al^{+3} liberan iones H^+ (VALENCIA, 1998).



Cada una de estas reacciones libera H^+ y contribuye a la acidez del suelo. Este incremento en acidez promueve la presencia de más Al^{+3} listo para reaccionar nuevamente. El Al^{+3} aparece en la solución del suelo a pH 5,3 y arriba de este pH se inicia la formación de Al(OH)_3 que se precipita eliminando el Al de la solución.

La presencia de Al^{+3} en la solución del suelo afecta dramáticamente el crecimiento radicular impidiendo que la planta pueda absorber nutrientes y agua normalmente. La presencia de Al^{+3} inhibe la división celular de los tejidos meristemáticos de la raíz. (VALENCIA, 1998).

2.11.4. Otras causas de la acidez del suelo

La inundación de los suelos, vegetación natural que pueden producir restos orgánicos con alta relación C/N (por ejemplo CONÍFERAS), profundidad del suelo excepto en áreas de baja precipitación, sustancia húmicas precursoras, ácidos fúlvicos. Se puede dar por la deposición atmosférica de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y amoníaco (NH_3). (AGROPECSTAR, 2006).

2.11.5. Consecuencias de la acidez

La acidez edáfica provoca disminución en la disponibilidad del fósforo, calcio y magnesio, menor disponibilidad del nitrógeno aumento de la solubilidad de elementos como el aluminio y manganeso, pérdida de la estructura del suelo al disminuir los contenidos de calcio y magnesio y disminución de la producción. (VALENCIA, 1998).

2.11.6. Materiales utilizados para neutralizar la acidez de los suelos

El encalado es la adición de compuestos que contienen calcio y/o magnesio, el cual neutraliza la acidez. El encalado se puede hacer utilizando varios compuesto tales como; el carbonato de calcio (CaCO_3), el carbonato de calcio y magnesio (dolomita), u óxidos e hidróxidos de calcio. Normalmente la neutralización del suelo se hace con carbonato de calcio (CaCO_3).

La cal aplicada al suelo causa una serie de reacciones químicas que elevan el pH y disminuyen la acidez, reduciendo las concentraciones de aluminio e hidrógeno a niveles no tóxicos para las plantas. La cal dolomita es una fuente que contiene carbonatos de calcio y magnesio cuya fórmula química es $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ y que las características de esta son en que es semidura, no muy pesada, es infusible, ya que se descompone en todos los carbonatos y frágil. El origen de ésta es principalmente sedimentario o hidrotermal en filones

minerales, también posiblemente a la transformación de las calizas bajo las soluciones magnesianas.

La dolomita es más atractiva que la cal calcítica debido a que la mayoría de los suelos ácidos son deficientes en magnesio, el uso de la dolomita proporciona un mejor balance en el suelo, pero sin embargo es una fuente que debe de ser importada; una relación adecuada de Ca:Mg en el material de encalamiento, es de 10:1. La dolomita tiene un valor de neutralización relativa del 95 al 108%. Los procesos y reacciones en la cual la cal reduce la acidez del suelo son complejos. Sin embargo, un enfoque simplificado de estos procesos explica cómo funciona la cal. El pH del suelo es una expresión de la actividad del H^+ y la principal fuente de H^+ en la mayoría de los suelos de pH menores a 5,5 es la reacción de Al con el agua. La cal reduce la acidez del suelo al convertir parte del H^+ en agua. Cuando el pH es mayor a 5,5 el Al se precipita como $Al(OH)_3$ eliminando su acción tóxica y la principal fuente de H^+ . Las reacciones del encalado funcionan de la siguiente forma: Los iones de Ca^{+2} de la cal reemplazan al Al^{+3} en los sitios de intercambio, y el ion carbonato reacciona con el agua de la solución del suelo creando un exceso de iones OH^- , que a su vez reaccionan con el exceso de H^+ , formando agua (AGROPECSTAR, 2006).

2.12. Método para determinar el pH

2.12.1. Potenciómetro

Éste método es el más usado para determinar el pH del suelo. El potenciómetro, como su nombre lo indica, mide una diferencia de potencial en mili voltios entre un electrodo de referencia, y otro electrodo de vidrio inmerso en la muestra. Generalmente se utiliza un electrodo combinado que lee directamente el pH.

Éste aparato consta de dos electrodos, de vidrio y de calomel. El electrodo de vidrio es la parte sensible a cambios de pH a través de una membrana de vidrio se desarrolla un potencial eléctrico que es proporcional a la diferencia de la actividad de iones H, entre la solución en el interior del electrodo de vidrio y la suspensión en el exterior. Esta diferencia de potencial es registrada en un galvanómetro y transformada a una escala en la que se lee el pH respectivo. (ZEVALLOS, 2003)

2.13. Antecedentes históricos

2.13.1. Fitoremediación

Según (GARBUSU y ALKORTA, 2001) realizaron una investigación acerca del estudio en el suelo contaminado con plántulas de frijol y acelga y obtuvieron como resultado que las plántulas de frijol mostraron mayor tolerancia a los efectos tóxicos de los metales pesados (Cd y Pb) en comparación a las plántulas de acelga.

Las dos especies redujeron la concentración de plomo y cadmio en el suelo a niveles similares; sin embargo hubieron marcadas diferencias en el tiempo de proceso; *Phaseolus vulgaris* requirió el menos tiempo, 1 día en el caso del plomo como contaminante y 6 días en el caso de cadmio: en tanto que *Beta vulgaris* requirió de 11 y 26 días respectivamente.

Se identificó a *Phaseolus vulgaris* como especie potencialmente útil en la fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados.

2.13.2. Aplicación de abonos orgánicos

Según (EDISSON WILFREDO CUENCA CUENCA – UNALM FACULTAD DE AGRONOMIA – TESISISTA) realizado una investigación acerca del Efecto de la materia orgánica en la toxicidad de Cadmio en el maíz donde aplico materia compost y calcio en suelos contaminados por cadmio en el cultivo de maíz donde llegó a los siguientes resultados:

La mejor fuente de calcio la obtuvo el tratamiento en que se hizo la combinación, aumentando su peso seco foliar (3.56 g) en comparación con el tratamiento que no se le hizo aplicación de ninguna fuente. Mientras que con la aplicación de materia orgánica las plantas incrementaron su peso seco, tanto en la parte foliar (37.53 g) como en raíz (14.78). Con la aplicación de materia orgánica se redujo la absorción de cadmio en forma significativa. Para ambas fases trabajó con un Diseño Completos al Azar (DCA) con la prueba de significación de Duncan al 0.05%.

Bajo las condiciones en las cuales se efectuó el concluyó que:

- A mayor concentración de cadmio aplicado al suelo se reduce el crecimiento vegetativo y se incrementa la extracción de dicho metal por las plantas de maíz.
- Con la aplicación de calcio al suelo; se reduce la absorción de cadmio por las plantas de maíz.

- La aplicación de materia orgánica; permite que la planta tenga un mejor desarrollo, y alivia al cultivo de maíz con la toxicidad de cadmio reduciendo su extracción.
- La adición de la materia orgánica y calcio reducen la concentración de cadmio en la planta.
- A mayor tiempo de reacción del cadmio aplicado al suelo menor efecto toxico causara a la planta.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental

3.1.1. Ubicación del estudio

El estudio de investigación se realizó en una parcela cacaotera del señor Braulio Ríos Rojas, un agricultor socio de la Cooperativa Agraria Industrial, en un área de 25 m² donde se determinó una alta concentración de cadmio en el suelo (3.6 ppm), el año 2012 según el reporte de análisis de cadmio que la Cooperativa solicitó a la Certificación Peruana de la ciudad de Lima, el área de estudio está situada en la provincia de Leoncio Prado, Distrito Rupa Rupa, Departamento de Huánuco, en las siguientes coordenadas.

Cuadro 5. Ubicación de la parcela experimental

Coordenada norte	8973061.907
Coordenada este	391522.419
Altura m.s.n.m	649
Temperatura media anual (°C)	24
Precipitación media anual. (mm)	3200 – 3500
Humedad relativa (%)	85

De acuerdo con la clasificación ecológica basada en zonas de vida hechas por Holdridge (1987), esta parcela se encuentra comprendida en la zona bosque húmedo tropical.

3.1.2. Tipo de suelo

El suelo del área de estudio, es de textura franco – arcillo – arenoso según los resultados de análisis físico del suelo elaborado en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Desde el año 1970 este suelo fue cultivado con cultivos como:

1970 - 1984	:	Cultivo de coca.
1985 - 1993	:	Coca, yuca y fréjol de palo
1993 - 2003	:	Cacao común, abandonado.
Mayo. 2012 – Noviembre 2012	:	Cacao mantenido.

Estos suelos son moderadamente profundos a profundos, bien drenados, su pH está considerado de medianamente ácido, se encuentran en pendientes casi planas, tiene permeabilidad y capacidad de humedad disponible moderada, zona radicular profunda y densidad aparente baja. El contenido de materia orgánica es bajo.

3.1.3. Análisis físico – químico del experimento

Las muestras de suelo durante la ejecución de las dos etapas se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la UNAS. A continuación se detalla los parámetros analizados del suelo.

Cuadro 5. Parámetros para los análisis.

Parámetro	Método empleado
Análisis físico del suelo	
Ao, Lo y Ar (%)	Hidrómetro
Clase textural	Triángulo Textural
Análisis Químico del suelo	
pH (1/1)	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	Walkley y Black
Nitrógeno total (%)	% M.O x 0.045
Fósforo disponible (ppm)	Olsen modificado
Potasio	Absorción atómica
	Acetato de Amonio 1N pH: 7.0 (suelos
CIC	con pH>5.5)
Ca (meq./100 g suelo)	Absorción atómica
Mg (meq./100 g suelo)	Absorción atómica
Cd (ppm) Total	Extrantante EDTA 0.05M PH 7
CIC e	KCl 1 N (Suelos en pH<5.5)
Análisis Químico de suelo	
Análisis químico de compost, guano de isla, dolomita y roca fosfórica	Absorción Atómica

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS (2013)

Cuadro 6. Resultado del análisis de suelo.

Arena	46,96 %
Arcilla	33,76 %
Limo	19,28 %
Textura	Franco Arcillo Arenoso
pH	3,93
%Materia Org.	0,46 %
%Nitrógeno	0,02 %
Fosforo	11,27 ppm
K ₂ O	92,75 ppm
CIC	----
Calcio	2,64 %
Magnesio	0,48 %
Potasio	0,00 %
Sodio	0,00 %
Aluminio	0,81 %
Hidrogeno	0,81 %
CIC e	4,74
%BC	65,74

%AC	34,26 %
%Sat. Al	17,13 %

Como se puede apreciar, el campo experimental presentó una clase textural franco arcillo arenoso propio de los suelos ácidos del Alto Huallaga, con pH de 3.93, (extremadamente ácidos), un porcentaje de materia orgánica y nitrógeno medio bajo, fósforo y potasio disponible bajos mientras que la CICE es considerada por Sánchez (1981) como adecuada para el suelo de trópico con una saturación de acidez cambiante de 34.26% considerada alta para el cultivo de cacao.

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima

Para el estudio en campo se utilizó abonos orgánicos como el compost y el guano de isla que se obtuvo de la ciudad de Tingo María- Vidagro.

Para el encalado se utilizó la dolomita con bajo contenido de cadmio, según los análisis que se hizo a 2 fabricantes de dolomita en la ciudad de Tingo María, siendo utilizada la dolomita que venden en la Consultora Agrícola Tropical ubicado en la Av. Alameda Perú cuadra 2.

3.2.2. Materiales, equipos y reactivos

- **Materiales de Campo**

- Pala, machete, bolsas negras de 1 kg de cada unidad, guantes, costal, GPS.

- **Materiales de laboratorio**

- Termómetro, vasos de precipitación, enlenmeyers, agitador de vidrio, cocina calentadora, luna de reloj, extracto para filtrar, probetas, buretas y pipetas, embudos, papel toalla, guillotina, navaja y bolsas de plástico.

- **Equipos de laboratorio**

- Espectrómetro, estufa, balanza análoga, balanza analítica de laboratorio.

- **Reactivos**

- Ácido clorhídrico, ácido nítrico, agua, cloruro de magnesio, hipoclorito de sodio, etc.

3.3. Metodología

3.3.1. Componente en estudio

Compost (A)

$a_0 = 0$ g/planta (testigo).

$a_1 = 500$ g/planta.

$a_2 = 1000$ g/planta

$a_3 = 1500$ g/planta

Guano de isla (B)

$b_0 = 0$ g/planta (testigo).

$b_1 = 500$ g/planta.

$b_2 = 1000$ g/planta

$b_3 = 1500$ g/planta

3.3.2. Tratamientos en estudio

Cuadro 7. Descripción de los tratamientos en el estudio

Tratamiento	Clave	Descripción
T ₀	a ₀ b ₀	(0 g de C + 0 g de G)/planta
T ₁	a ₀ b ₁	(0 g de C + 500 g de G)/planta
T ₂	a ₀ b ₂	(0 g de C + 1000 g de G)/planta
T ₃	a ₀ b ₃	(0 g de C + 1500 g de G)/planta
T ₄	a ₁ b ₀	(500 g de C + 0 g de G)/planta
T ₅	a ₁ b ₁	(250 g de C + 250 g de G)/planta
T ₆	a ₁ b ₂	(166.67 g de C + 333.33 g de G)/planta
T ₇	a ₁ b ₃	(125 g de C + 375 g de G)/planta
T ₈	a ₂ b ₀	(1000 g de C + 0 g de G)/planta
T ₉	a ₂ b ₁	(500 g de C + 500 g de G)/planta
T ₁₀	a ₂ b ₂	(333.33 g de C + 666.67 g de G)/planta
T ₁₁	a ₂ b ₃	(250 g de C + 750 g de G)/planta

T_{12}	a_3b_0	(1500 g de C + 0 g de G)/planta
T_{13}	a_3b_1	(750 g de C + 750 g de G)/planta
T_{14}	a_3b_2	(500 g de C + 1000 g de G)/planta
T_{15}	a_3b_3	(375 g de C + 1125 g de G)/planta

3.3.3. Diseño experimental

Se usó el diseño Bloque Completamente al Azar con arreglo factorial de 2 x 4, dos factores A: Compost y B: Guano de isla con cuatro niveles cada uno (uno de los niveles fue el testigo) cuyo esquema del análisis de varianza se muestra en el Cuadro 8. Para las diferencias de medias se aplicó la prueba de significación estadística de Duncan a una significación de 0.05.

Cuadro 8. Esquema del análisis de varianza

Análisis de varianza

Fuente de variación	GL
Bloques	2
Tratamientos	
A	3
B	3
AxB	9
Error experimental	30
Total	47

Fuente: Steell Y Torrie (1996)

3.3.4. Modelo aditivo lineal

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} + \varepsilon_k$$

Donde:

Y_{ijk} = Contenido de cadmio determinado en la k-ésima unidad experimental, tratada con la i-ésima dosis de compost y la j-ésima dosis de guano de isla.

μ = Es el efecto de la media general

- α_i = Efecto del i-ésimo nivel de compost.
- B_j = Efecto del j-ésimo nivel de guano de isla
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del guano de isla y compost.
- ϵ_k = Efecto de la k-esima repetición
- ϵ_{ijk} = Es el efecto aleatorio del error experimental obtenido en la unidad experimental correspondiente al k-ésimo bloque al cual se asignó el i-ésimos tipos de abonos orgánicos (compost y guano de isla).

Para:

I= 0, 1, 2,3 dosis de compost o niveles del factor A.

J: 0, 1, 2,3 dosis de guano de isla o niveles del factor B.

K: 1, 2,3 parcelas (bloques).

3.3.5. Diseño experimental

- **Características de los bloques**

Número de bloques	3
Largo de bloques	18
Ancho de bloques	15
Área de cada bloque	290 m ²

- **Características de las parcelas**

Número de parcelas (tratamientos) por bloque	16
Largo de cada parcela	4.20 m
Ancho de cada parcela	3.00 m
Área de cada parcela	12.6 m ²

3.4. Ejecución del experimento

3.4.1. Limpieza, poda y demarcación de la parcela

Se eligió el área intoxicada de cadmio, ya muestreada por la Cooperativa Naranjillo el año 2011, un terreno agrícola con cacao en producción, se demarcó el terreno más representativo de la zona, presentaba malezas, exceso de sombra con características propias de los suelos ácidos. Luego del desmalezado, podas manuales, se hizo la demarcación y muestreo del suelo a 20 cm de profundidad por cada tratamiento (planta).

3.4.2. Preparación del terreno

Consistió en analizar el suelo previo a la limpieza, para determinar el pH y así encalarlo para mejor efecto de asimilación de los abonos orgánicos



Figura 2. Limpieza y poda de la parcela de estudio.

3.4.3. Encalado

El material de encalado fue cal dolomita, la cual tiene una concentración de 50% de carbonato de calcio y un 40% de carbonato de magnesio, Se encaló antes de aplicar los tratamientos previo a un análisis de cadmio y a su aplicación posterior del mismo .



Figura 3. Aplicación de dolomita 2.5 kg/planta al boleó.

3.4.4. Aplicación de tratamientos

La aplicación del compost y guano de isla se hizo al boleó en forma circular respecto a la copa del árbol durante 4 meses cada vez por mes, en dosis como se muestra en el cuadro 7.



Figura 4. Aplicación de los tratamientos (abonos guano de isla y compost)

3.4.5. Muestreo final del suelo

A los 6 meses de evaluación se realizó el muestreo en el mes de noviembre por cada tratamiento utilizando el método al azar respecto a la copa del árbol haciendo 2 repeticiones, a una profundidad de 20 cm para su posterior análisis en el laboratorio de la UNAS.



Figura 5. Realizando en muestreo final a 20 cm de profundidad 2 sub muestras que hacen 1 muestra de 1 kg.

3.4.6. Obtención y codificación de muestras

Posteriormente de realizar el muestreo de suelos, las 2 muestras por unidad experimental, obteniendo 1 kg de suelo por tratamiento, seguidamente se coloca en una bolsa de 1kg, etiquetándolo con su clave como se observa en la figura 4.



Figura 6. Toma de muestra del suelo y codificación.

3.4.7. Análisis químico

Una vez codificadas; se llevó las muestras al laboratorio de suelos de la UNAS, volviéndolas a codificar para sus análisis de cadmio total del suelo, el análisis de cadmio fue por el método de la espectrometría de adsorción atómica tanto para el suelo, compost, guano de isla y dolomita.

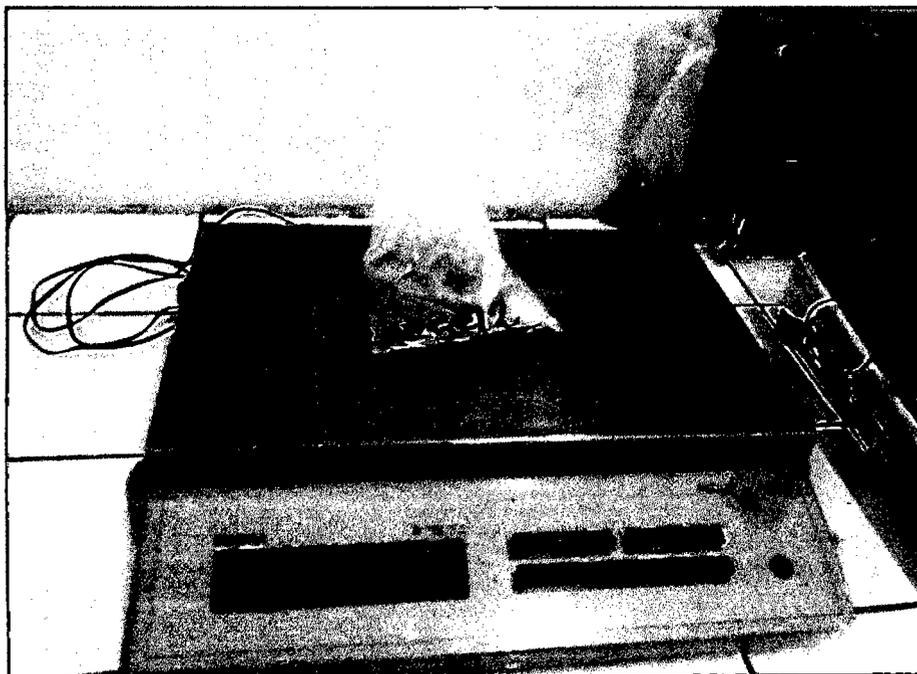


Figura 7. Pesando las muestras para realizar los análisis.



Figura 8. Codificando las muestras listas para los análisis.



Figura 9. Calentando las muestras para aplicar el extracto.



Figura 10. Aplicación de ácido clorhídrico para eliminar los restos orgánicos.



Figura 11. Espectrofotómetro del laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía de la UNAS donde se realizó las lecturas

3.5. Metodología para la extracción de cadmio total en el suelo

- Seleccionar la muestra de suelo de un tamaño de partícula (<2 mm, <1 mm, <0.5 mm, <=0.25 mm).
- Pesar 2 gramos de suelo (repetir hasta completar 3 muestras).
- Añadir 10 mililitros de HNO₃ 1:1.
- Calentar a 95° C por 5 minutos.
- Dejar enfriar y añadir 5 mililitros de HNO₃ c
- Repetir una vez y dejar reducir la solución hasta completar 5 mililitros.
- Dejar enfriar y añadir 2 mililitros de agua destilada y 3 mililitros de H₂O₂.
- Al cesar la efervescencia añadir 1 mililitro de H₂O₂.

- Repetir hasta que no se observe efervescencia.
- Añadir 5 mililitros de HCL y 10 mililitros de agua des ionizada.
- Calentar por 15 minutos y dejar enfriar.
- Filtrar por gravedad.
- Aforar a 50 mililitros con agua destilada.
- Almacenar y mantener refrigerado.
- Calibrar el espectrofotómetro con las soluciones mencionadas y por ultimo hacer la lectura con 3 repeticiones.

3.6. Determinación de la concentración de cadmio en el suelo

El método de extracción que se trabajó para obtener total de cadmio fue el método 3050 de la USEPA (CARTER, 1993), cuya metodología se muestra en el anexo 1, la concentración de cadmio en cada uno de los extractos se determinó mediante un equipo de absorción atómica Perkin-Elmer, para determinar la concentración de cadmio en cada una de las fracciones de suelo (mg/kg) se utilizó la siguiente ecuación.

$$Cd_s = (Cd_{sol} - Cd_B) \times \frac{V_{sol}}{M_s} \times f$$

Cd_s : concentración de cadmio en la fracción química correspondiente a un tamaño de partícula (mg/kg).

Cd_{sol} : concentración de cadmio en los extractos correspondientes a un tamaño de partícula (mg/L).

Cd_B : concentración de cadmio en el blanco (mg/L).

V_{sol} : volumen de aforo del extracto (mL).

M_s : masa del suelo utilizada en la extracción (g).

F : factor de conversión (1 g.L/kg.mL).

3.7. Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó el software IBM SPSS Statistics 20.

3.7.1. Unidades a evaluar

Para el contenido de cadmio se utilizó ppm o mg/kg, para el compost y guano de isla el kg.

3.7.2. Variables estudiadas

Variables independientes:

Materia orgánica (compost, guano de isla).

Variables dependientes:

Cadmio ppm, mg/kg.

IV. RESULTADOS

4.1. Absorción de cadmio en el suelo

Realizado el análisis de variancia y la prueba F (cuadro 10), a la concentración de cadmio (ppm) determinados en el estudio, se encontró que hubo diferencias altamente significativas a nivel de tratamientos y dentro de ellos para los efectos principales de los niveles del factor compost y factor guano de isla, a nivel de la interacción de los factores A x B (compost x guano de isla) también existieron diferencias estadísticas, mientras que para los bloques no existieron diferencias estadísticas.

Cuadro 9. Resultado del análisis de varianza de los factores estudiados.

Origen	Gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F c	Sig.
Bloque	2	0,092	0,046	0,309	0,736
Compost	3	9,333	3,111	20,929	0,000
Guano isla	3	5,832	1,944	13,076	0,000
Compost * Guano isla	9	15,500	1,722	11,585	0,000
Error	30	4,460	0,149		
Total	47	172,749			

4.1.1. Efecto de los niveles del factor compost

En el cuadro 10 se muestra los resultados del efecto del factor compost en la disminución de la concentración de cadmio medido en ppm, se aprecia que existen diferencias significativas entre los niveles del factor compost. Siendo a_1 (0.5 kg) con 1.1250 ppm de cadmio el que ocupa el primer lugar, seguido de a_3 (1.5 kg) con 1.4817 ppm de cadmio, seguido de a_2 (1kg) con 1.8500 ppm de cadmio y finalmente a_0 (0kg) con 2.3142 ppm de cadmio total en el suelo.

Cuadro 10. Prueba de Duncan para el efecto del factor compost en la disminución de cadmio en el suelo con un nivel de significación de ($\alpha=0.05$).

Compost	Medias	Clasificación
a_1	1.1250	a
a_3	1.4817	b
a_2	1.8500	c
a_0	2.3142	d

4.1.2. Efecto de los niveles del factor guano de isla

En el cuadro 12 se muestra los resultados del efecto del factor guano de isla en la disminución de la concentración de cadmio medido en ppm, se aprecia que existen diferencias significativas entre los niveles del factor guano de isla. Siendo los que ocupan el primer lugar, b_1 (0.5 kg) con 1.3583 ppm de cadmio, b_3 (1.5 kg) con 1.4683 ppm de cadmio, b_2 (1 kg) con 1.6825 ppm de cadmio y ocupando el segundo lugar b_0 (0 kg) con 2.2617 ppm de cadmio total en el suelo.

Cuadro 11. Prueba de Duncan para el efecto del factor guano de isla en la disminución de cadmio en el suelo con un nivel de significación de ($\alpha=0.05$).

Guano de isla	Medias	Clasificación
b_1	1.3583	a
b_3	1.4683	a
b_2	1.6825	a
b_0	2.2617	b

4.1.3. Efecto de la interacción de los niveles del factor compost en cada uno de los niveles del factor guano de isla.

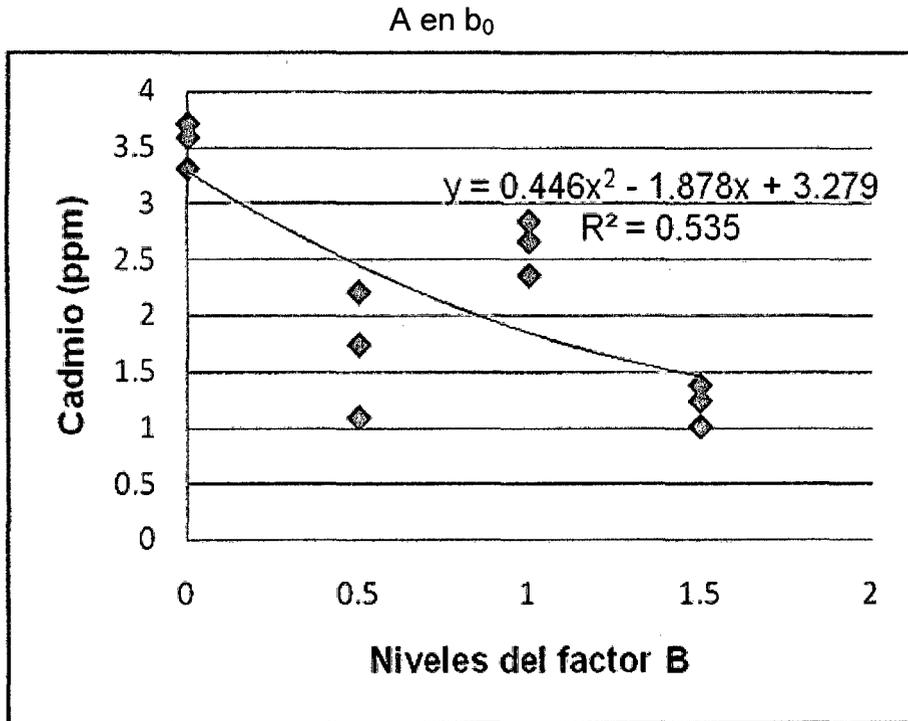


Figura 12. Efectos del nivel del factor compost en el nivel del factor guano de isla en el contenido de cadmio (ppm).

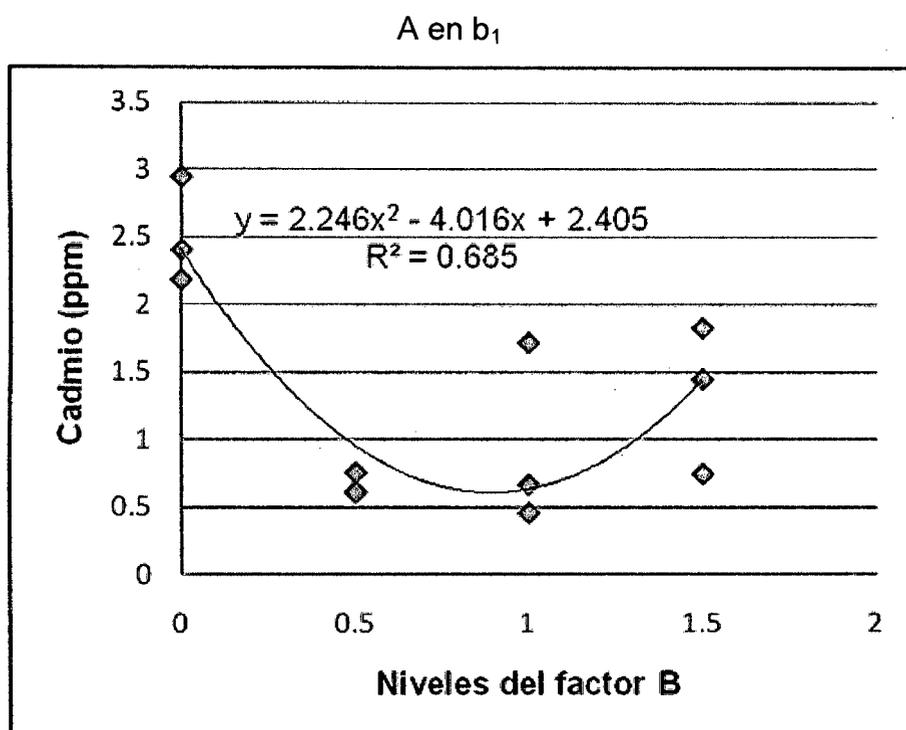


Figura 13. Efectos del nivel del factor compost en el nivel del factor guano de isla en el contenido de cadmio (ppm).

.A en b₂

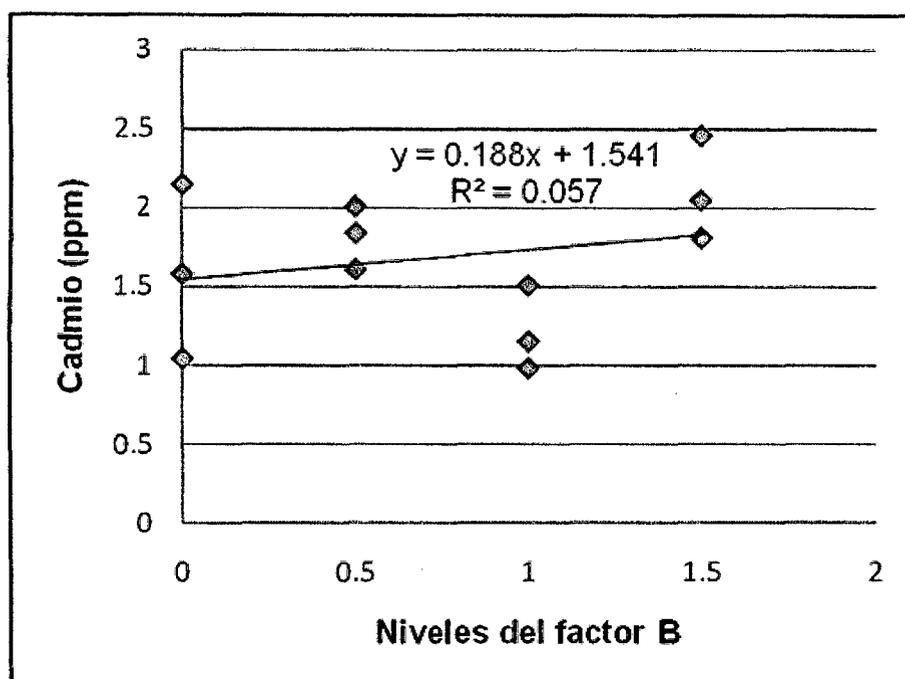


Figura 14. Efectos del nivel del factor compost en el nivel del factor guano de isla en el contenido de cadmio (ppm).

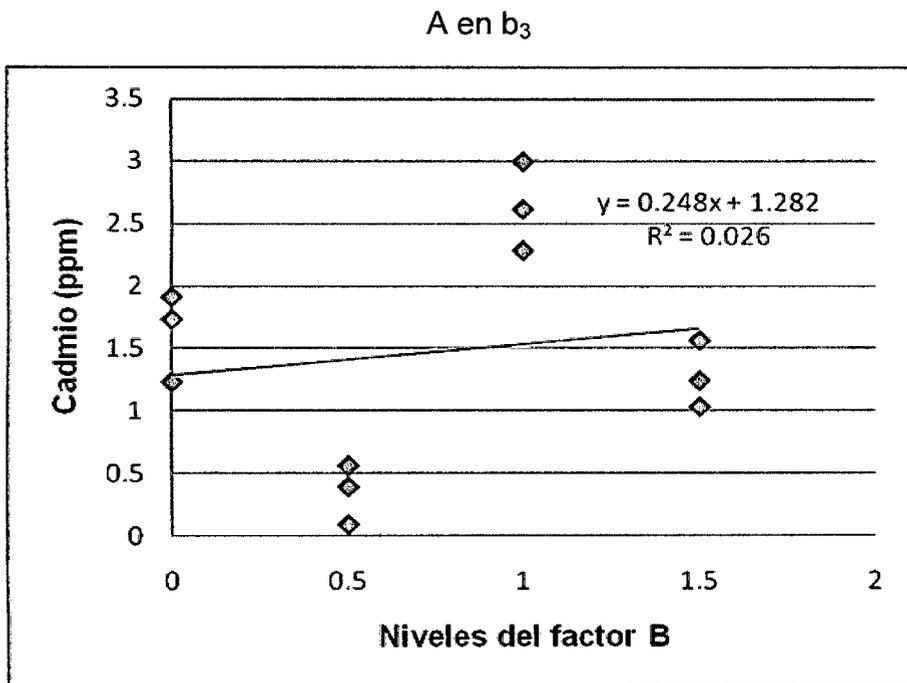


Figura 15. Efectos del nivel del factor compost en el nivel del factor guano de isla en el contenido de cadmio (ppm).

4.1.4. Efecto de la interacción de los niveles del factor guano de isla en cada uno de los niveles del factor compost

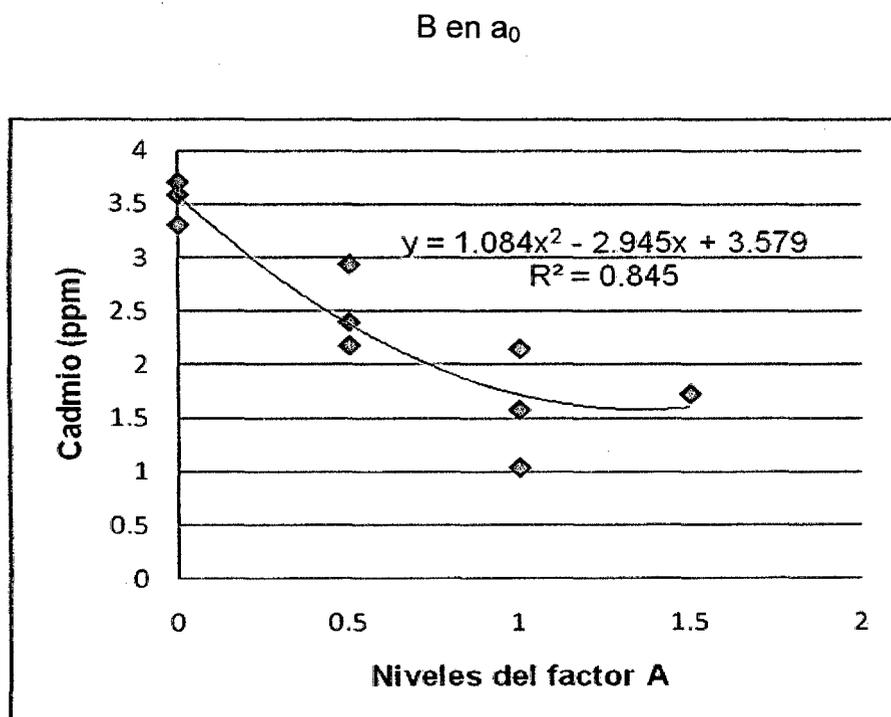


Figura 16. Efectos del nivel del factor guano de isla en uno de los niveles del factor compost en el contenido de cadmio (ppm).

B en a1

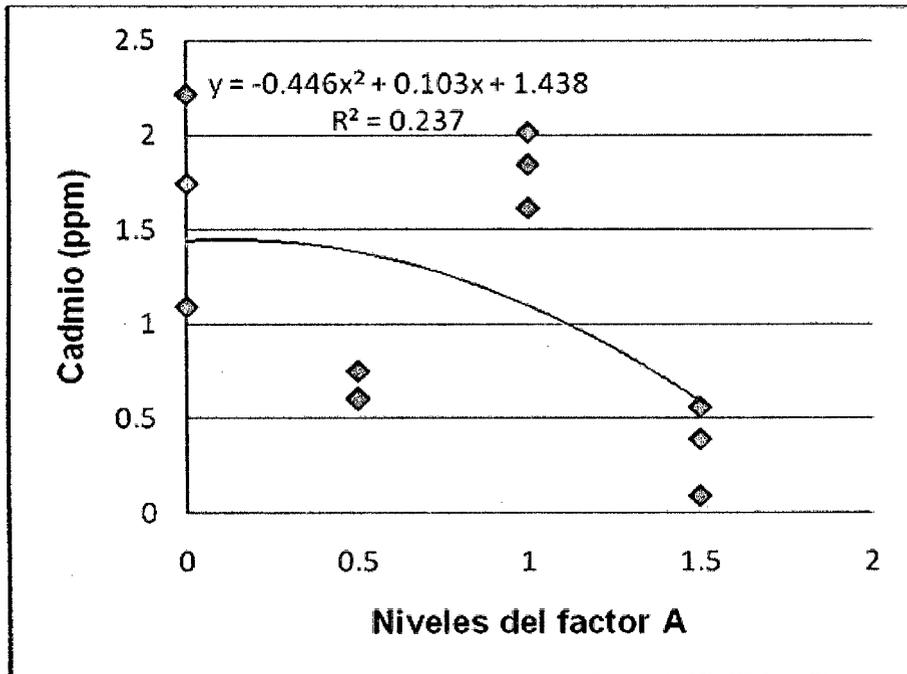


Figura 17. Efectos del nivel del factor guano de isla en uno de los niveles del factor compost en el contenido de cadmio (ppm).

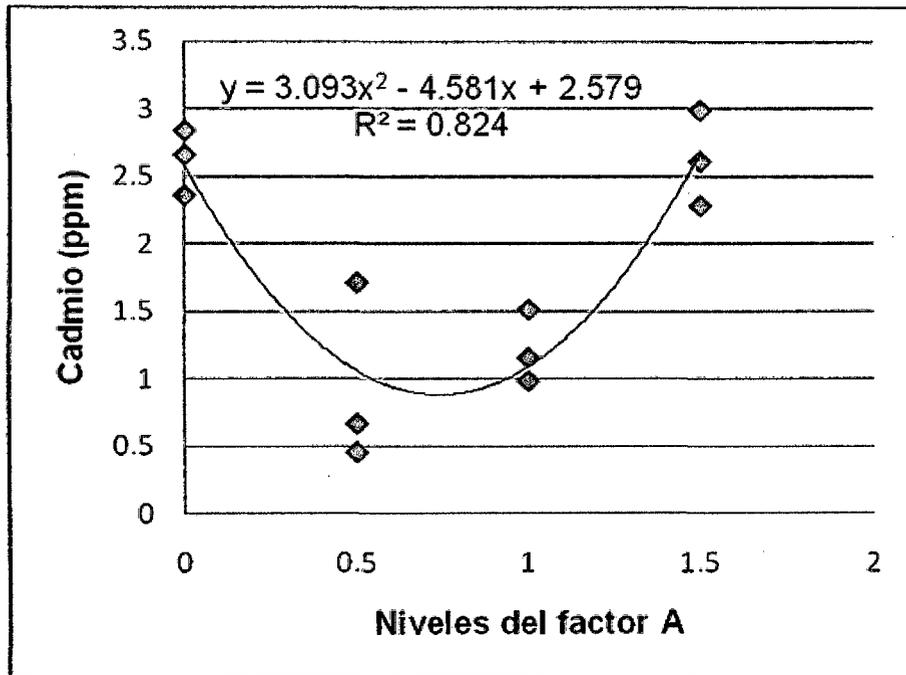
B en a₂

Figura 18. Efectos del nivel del factor guano de isla en uno de los niveles del factor compost en el contenido de cadmio (ppm).

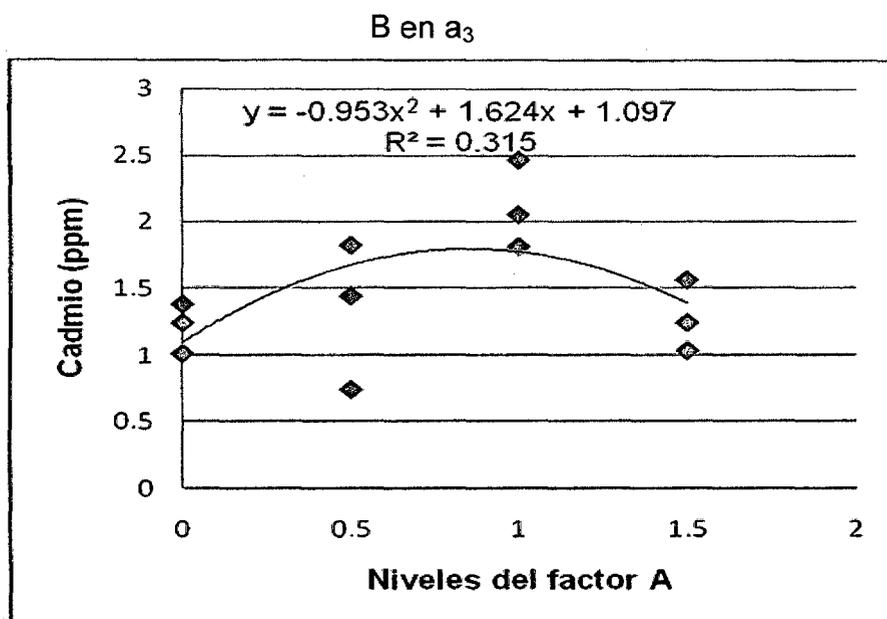


Figura 19. Efectos de los niveles del factor guano de isla en cada uno de los niveles del factor compost en el contenido de cadmio (ppm).

4.1.5. Efectos generales de los tratamientos en la disminución de cadmio total en el suelo.

El cuadro 13, nos permiten notar diferencias estadísticas entre tratamientos, como interacción. La concentración de cadmio en el suelo presenta en promedio el contenido más bajo los tratamientos a_1b_3 , a_1b_1 y a_2b_1 , ocupando el primer puesto, un segundo grupo conformado por los tratamientos a_1b_1 , a_2b_1 , a_3b_0 , a_2b_2 , a_3b_3 , a_3b_1 entre los cuales no hay diferencias significativas, ocupan el tercer lugar los tratamientos a_2b_1 , a_3b_0 , a_2b_2 , a_3b_3 , a_3b_1 , a_0b_2 y a_0b_3 , finalmente los tratamientos restantes del estudio de investigación, cuarto grupo, entre los cuales tampoco hay diferencia estadística y ocupan las últimas clasificaciones en cuanto al contenido de cadmio total. También se

aprecia notoriamente, que la concentración de cadmio se incrementa a medida que no se aplica abonos orgánicos e interacción en grandes dosis.

Cuadro 13. Prueba de Duncan para determinar el efecto general de los tratamientos.

Tratamiento	Subconjunto						
a_1b_3	a						
a_1b_1	a	b					
a_2b_1	a	b	c				
a_3b_0		b	c	d			
a_2b_2		b	c	d			
a_3b_3		b	c	d			
a_3b_1		b	c	d			
a_0b_2			c	d	e		
a_0b_3			c	d	e		
a_1b_0				d	e		
a_1b_2				d	e		
a_3b_2					e	f	
a_0b_1						f	
a_2b_0						f	
a_2b_3						f	
a_0b_0							g

V. DISCUSIÓN

5.1. De la concentración de cadmio total en el suelo

En la investigación realizada se determinó la concentración de cadmio en el suelo, disminuyó por la aplicación de materia orgánica. Estos resultados concuerdan con lo establecido por Lama y Lampkin (1995) y Edison (2012) Tesista Universidad Nacional Agraria La Molina, quienes señalan que la concentración de cadmio en el suelo disminuye a medida que se incrementa el contenido de materia orgánica, quedando en forma no disponible desde el nivel del suelo hacia los frutos. Asimismo, en los resultados se encontraron que la combinación de los abonos orgánicos tiene el mismo efecto que aplicarlos independientemente.

Se determinó la concentración de cadmio en la roca fosfórica siendo alta en el contenido de cadmio (12 ppm). Estos resultados concuerdan con lo establecido por Das (1998) lo cual asegura que el cadmio también presenta sub sustituto del calcio en la apatita y calcita pudiendo aumentar sus impurezas en los fertilizantes fosforados.

La disponibilidad y movilidad del cadmio depende del pH, humedad, materia orgánica, tipo y cantidad de arcilla, además de la cantidad y número de años de aplicación de fertilizantes fosforados, lo cual corrobora con nuestro resultado de análisis de suelo físico donde se determinó un pH ácido, tipo de suelo franco arcilloso. Lo que concuerda con Arnton y Lizaso (2002).

En la investigación se demostró que la materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el cadmio, que pueden quedar en forma no disponible para el suelo y plantas lo que corrobora Lama (1995).

El contenido de cadmio debe estar en función al material parental, se determinó concentraciones de cadmio desde 0.5 ppm hasta concentraciones de 3.5 ppm de cadmio en el suelo, la fuente más significativa de contaminación de cadmio es la roca fosfórica cuyo origen es la roca madre que la originó, lo que concuerda con lo establecido por este autor. Das (1998)

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados del estudio se llega a las siguientes conclusiones:

- Se determinó de manera general que la materia orgánica tiene un efecto positivo en la disminución de cadmio en el suelo
- Concentraciones de compost próximas a 500g/planta resultan las más adecuadas para la disminución de cadmio en suelos con presencia de este metal pesado.
- Las concentraciones de guano de isla en el rango de 500 a 1500 g/planta tienen el mismo efecto positivo de disminución del cadmio en el suelo, siendo en promedio la concentración más baja la que logra la menor disminución del metal pesado.
- Se evidencia una sinergia positiva entre el compost y el guano de isla con respecto a la disminución de cadmio en el suelo; siendo la interacción de las concentraciones menores de ambos la que mejores resultados proporciona.

VII. RECOMENDACIONES

- Debido a que la investigación se realizó solo con evaluaciones al inicio del experimento y después de cuatro meses al culminar la dosificación de los tratamientos, se recomienda realizar un estudio similar con otras plantas como el frejol ya que según las revisiones tiene alta capacidad de absorber metales pesados y así precisar con mayor certeza la absorción.
- En estudios similares evaluar la absorción de cadmio a nivel de las almendras de cacao, ya que la disponibilidad del contenido de cadmio disminuye significativamente en almendras.
- Se recomienda aplicación de varias fuentes de materia orgánica y/o abonos naturales en las parcelas contaminadas por cadmio en el suelo.
- Se recomienda muestreos superficiales, ya que los metales pesados no precipitan por su alta densidad.
- Se recomienda buenas prácticas agrícolas para disminuir el cadmio del suelo.
- Se recomienda cultivar leguminosas en los suelos contaminados por cadmio ya que son buenos Fito remediadores, ya que se almacenan en los tejidos lipídicos como el grano.
- Se recomienda buscar otras fuentes de calcio y fósforo con bajo contenido de cadmio.

- No se recomienda aplicación de dolomita de origen del MOLINO ya que según los análisis es el que contiene alto contenido de cadmio (2.5 ppm) a diferencia de otras fuentes como la que comercializa la Consultora Agraria Tropical (menor a 0.01 ppm).
- No se recomienda aplicación de roca fosfórica ya que según los análisis contienen alto contenido de cadmio (12ppm).

ABSTRACT

"EFFECT OF ORGANIC MATTER ON CADMIUM UPTAKE BY FLOOR IN THE TOWN OF SUPTE"

The research was conducted in the sector in the district Supte Rupa Rupa; contaminated with cadmium in 2011, as a result of the analysis made in this place; consisted of determining the concentration of cadmium in soil and application of 2 sources of organic matter to decrease the concentration of this metal and determine the synergy between them, being the compost treatments, guano, which were applied in dose of 0.5 kg, 1 kg and 1.5 kg during the months of June to November 2013, to determine whether treatments are best independent or combined effect; block design was applied completely randomized 4 x 4 factorial arrangement with 3 replications each with. The results showed that the application of organic fertilizers decreased the concentration of total cadmium in the soil; there is significant interaction between levels of compost and guano for reducing cadmium in the soil, there is no significant interaction for blocks with respect to the experiment, a positive synergy between the compost and guano is evidence regarding the decline of cadmium in the soil; being the interaction of reduced concentrations of both gives the best results. Cadmium concentration ranged from 3.5 ppm to 0.3 ppm in the a_1b_3 , a_1b_1 and a_2b_1 treatments.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, A. 2001. Manual sobre el manejo post-cosecha del cacao; Investigación en cacao. 8 ed. Cartagena, Colombia, Minicana. 713 p.
- AGROPECSTAR, 2006. Reacción y encalado del suelo. s.n. [En línea]: El encalado, (<http://www.agropecstar.com/portal/doctos/agronomia2.htm>, documentos. 22 Set. 2013).
- ALLOWAY, B. 1997. The origin of the heavy metals in soils. London Blackie Academic and Professional, 2 ed. 38-57 p.
- ARCA., J. 2000. Los metales pesados en la alimentación. Fundación ibérica para la seguridad alimentaria. s.n. [En línea]: La alimentación, (http://www.fundisa.org/articulos/esp_metales_pesados.htm#, 11 Jul 2013).
- BUCKMAN, H. 1993. Naturaleza y Propiedades del cadmio. 2 ed. Guadalajara México. Noriega 590 p.
- BURLO, F. 1999. Effects on and accumulating by tomato plants. Arsenic species. 9 ed. London 1253 p.
- CHEN, Z. S. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. s.n. [En línea]: Food and fertilizer technology center. (<http://fftc.agnet.org/library/article/tb149.html>, 13 Jun. 2013)

- DARREL, J. 1986. Los metales pesados en la alimentación. Fundación ibérica para la seguridad alimentaria. s.n. [En línea]: La alimentación, (http://www.fundisa.org/articulos/esp_metales_pesados.htm#, 10 Ago. 2013).
- DAS, P. 1998. Studies on cadmium toxicity in plants. Environmental pollution. s.n. [En línea] : Heavy metal toxicity, (http://en.wikipedia.org/wiki/metal_toxicity. 12 Jul. 2013).
- EDISSON, W.C. Toxicidad de cadmio en el maíz (*Zea mayz L.*); Efecto sobre la concentración de cadmio, acumulación, rendimiento, materia seca, Tesis Ing. Agrónomo. Lima, Perú Universidad Nacional Agraria la Molina. 171 p.
- OMS; 1987. Food standards programme; Codex alimentarius commission. 20 ed. Geneva 123 p.
- GARCIA, J.C. 2000. Evaluation of heavy metals pollution on barley crop by agricultural use of municipal solid waste compost. Spain. Centro de ciencias medioambientales. 3 ed. Madrid. 700 p.
- GARBISU, C., ALKORTA, I. 2001. Phytoextracction. A cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. 2ed. Liverpool Inglaterra. Review paper. 109 p.
- GODGUL, K.C. 1995. Chromium contamination from chromite mine; Environ. 9 ed. Bayer, Germany 300 p.

- GUERRERO, A. 1996. El suelo; los abonos y la fertilización de los cultivos. 11 ed. Madrid, Barcelona, México. 206 p.
- GUPTA, E. 1998. Los metales pesados en la cadena alimenticia; Fundación española. s.n.
- GRAZIANI, L. ORTIZ, B. ÁLVAREZ, A. 2003. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. *Agronomía. Trop.* 53(2):175-187.
- HAN, A. 2003. El cultivo del cacao. [En línea]: FAO, (http://www.tdr.cesca.es_documentos, 30 Ago. 2013).
- HOLDRIDGE, L.R. 1987. Ecología basada en zonas de vida; Colección de libros y materiales educativos. 8 ed. Guadalajara, México 216 p.
- HUAYNATES, J.L. 2011. Determinación de la concentración de cadmio en el cultivo de cacao; Efecto de la roca fosfórica en la contaminación de cadmio en el suelo, Práctica pre profesional. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 71 p.
- IGNATIEFF, V. 1967. El uso eficaz de los fertilizantes. Cuba Colección FAO. Estudio agropecuarios. 9 ed.
- JAMES, B.R. 2002. Chemical transformations of chromium in soils; Relevance to mobility, s.n. [En línea]: Bio availability and remediation, (<http://www.chromium-asoc.com/publications/crfile8feb02.htm>, 7 Ago. 2013).

- JINADASA, N., MILHAM, P., HAWKINS, C. 1999. Cadmio levels in soils and vegetables. Of the greater Sydney. A report for the rural industries research and development corporation. 5ed. Sydney Australia. 300 p.
- KABATA, A. 2000. Trace elements in soils and plants; Metals toxic. 30 ed. Boca Raton, USA. 412 p.
- LAMPKIN, N. 1998. Agricultura ecológica. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, Barcelona, México 500 p.
- LAMA, D. 1995. Paquete Tecnológico del Cultivo de Cacao en la Región Alto Huallaga; Ministerio de Agricultura. 5 ed. Tingo María, Perú, s.n. 622 p.
- LAPERCHE, V. 1997. Effect of apatite amendment on plant uptake of plomo from contaminated soil. Environ Sci. Technol. 31(2)345-375.
- LASAT, M.M. 2000. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil; American Association for the advancement of science. 9 ed. Manchester. England. 33 p.
- MCKENA, I.M. 1993. The effects of cadmium and cinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach; Environmental Pollution. New orlan. 120 p.
- MORRAL, D. 2003. Eco Fisiología del Cultivo de Cacao; Universidad Nacional Agraria la Molina. 8ed. Lima, Perú, s.n. 311 p.
- OROZCO, E.E. 1996. Arreglos de siembra de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) y maíz (*Zea mays* L); en asocio y monocultivo; Efecto sobre cenosis,

- crecimientos, rendimientos de los cultivos y uso equivalente de tierras, Tesis Ing. Agrónomo. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 191 p.
- QUAGGIO, J. 2001. Análise Química para Avalacao da Fertilidade de solos Tropicais. Instituto Agronómico Campinas. Sao Paulo. Brasil. 284 p.
- TERRY, N. 2000. Selenium in higher plants. Annu; Rev. Plant Physiol. s.n.
- VALENCIA, G. 1998. Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. 61 p.
- WELCH, R.M. 1995. Micronutrient nutrition of plants; Critical reviews in plant science. s.e. London. 82 p.
- WRITE, J.W. 1985. Conceptos básicos de fisiología del frijol; Investigación y producción. 8 ed. Bogotá, Colombia. 19 p.
- ZEVALLOS, S. 2003. Acidez Edáfica, Causas de la acidificación de los suelos, s.n. [En línea]: Ácidos y bases. (<http://www.inta.gov.ar>, 27 Jun. 2013)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

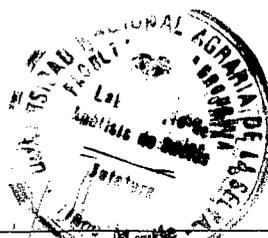
PROPIETARIO: JOSE LUIS HUAYNATES NATIVIDAD

PROCEDENCIA: RIO ORO - SUPTE

Cod. Lab	CODIGO USUARIO			Cadmio Total
				ppm
M 3575	T0	R1	RIO ORO	3.59
M 3576	T0	R2	RIO ORO	3.71
M 3577	T0	R3	RIO ORO	3.31
M 3578	T1	R1	RIO ORO	2.40
M 3579	T1	R2	RIO ORO	2.94
M 3580	T1	R3	RIO ORO	2.18
M 3581	T2	R1	RIO ORO	1.58
M 3582	T2	R2	RIO ORO	1.04
M 3583	T2	R3	RIO ORO	2.15
M 3584	T3	R1	RIO ORO	1.73
M 3585	T3	R2	RIO ORO	1.91
M 3586	T3	R3	RIO ORO	1.23
M 3587	T4	R1	RIO ORO	1.09
M 3588	T4	R2	RIO ORO	1.74
M 3589	T4	R3	RIO ORO	2.21
M 3590	T5	R1	RIO ORO	0.61
M 3591	T5	R2	RIO ORO	0.75
M 3592	T5	R3	RIO ORO	0.60
M 3593	T6	R1	RIO ORO	1.61
M 3594	T6	R2	RIO ORO	1.84
M 3595	T6	R3	RIO ORO	2.01
M 3596	T7	R1	RIO ORO	0.09
M 3597	T7	R2	RIO ORO	0.56
M 3598	T7	R3	RIO ORO	0.39
M 3599	T8	R1	RIO ORO	2.66
M 3600	T8	R2	RIO ORO	2.84
M 3601	T8	R3	RIO ORO	2.36
M 3602	T9	R1	RIO ORO	0.66
M 3603	T9	R2	RIO ORO	0.45
M 3604	T9	R3	RIO ORO	1.71
M 3605	T10	R1	RIO ORO	1.51
M 3606	T10	R2	RIO ORO	0.98
M 3607	T10	R3	RIO ORO	1.15
M 3608	T11	R1	RIO ORO	2.99
M 3609	T11	R2	RIO ORO	2.28
M 3610	T11	R3	RIO ORO	2.61
M 3611	T12	R1	RIO ORO	1.24
M 3612	T12	R2	RIO ORO	1.38
M 3613	T12	R3	RIO ORO	1.01
M 3614	T13	R1	RIO ORO	0.74
M 3615	T13	R2	RIO ORO	1.82
M 3616	T13	R3	RIO ORO	1.44
M 3617	T14	R1	RIO ORO	2.05
M 3618	T14	R2	RIO ORO	2.46
M 3619	T14	R3	RIO ORO	1.81
M 3620	T15	R1	RIO ORO	1.56
M 3621	T15	R2	RIO ORO	1.03
M 3622	T15	R3	RIO ORO	1.24
M 3623	ABONO ORG. COMPOST			0.00
M 3624	DOLOMITA			2.50

Fecha: 10 de Diciembre 2012

Recibo N° 318324
Muestreado por: El solicitante



Ing. M.Sc. Hugo Huaynates Natividad
JEFE DE LABORATORIO

METODOS ANALÍTICOS

Extracción de cadmio total: el método de extracción que se seleccionó para obtener la fracción total de cadmio fue el método 3050 de la USEPA (Carter, 1993)

Determinación de Cd: EAA

RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE SUELOS

Muestra	Identificac	arena	arc	limo	text	pH	%M.O	%N	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CIC e	%BC	%AC	%Sat. Al
M 2755	muestra 18 rio negro	46.96	33.76	19.28	Franco Arcillo Arenoso	3.93	0.46	0.02	11.27	92.75	---	2.64	0.48	0.00	0.00	0.81	0.81	4.74	65.74	34.26	17.13
M 2756	muestra 11 alto miraflores	42.96	31.76	25.28	Franco Arcilloso	3.99	0.33	0.01	11.05	503.52	---	3.02	0.57	0.00	0.00	0.75	0.94	5.27	67.94	32.06	14.18
M 2757	muestra 03 erika	32.96	37.76	29.28	Franco Arcilloso	3.80	0.53	0.02	5.63	125.88	---	2.82	0.51	0.00	0.00	1.76	3.38	8.46	39.29	60.71	20.75
M 2758	muestra 09 alto miraflores	50.96	15.76	33.28	Franco	3.74	1.31	0.06	9.75	109.98	---	2.93	0.49	0.00	0.00	1.11	1.69	6.21	55.00	45.00	17.79
M 2759	muestra 06 libertad I	50.96	9.76	39.28	Franco	4.83	0.39	0.02	19.07	86.13	---	3.00	0.58	0.00	0.00	0.23	0.10	3.90	91.66	8.34	5.84
M 2760	muestra 05 libertad I	54.96	9.76	35.28	Franco Arenoso	3.45	1.97	0.09	19.28	169.61	---	2.77	0.49	0.00	0.00	0.55	0.49	4.30	75.82	24.18	12.84
M 2761	muestra 12 boqeron I	34.96	23.76	41.28	Franco	3.86	1.31	0.06	9.10	332.59	---	3.02	0.59	0.00	0.00	1.27	2.31	7.18	50.22	49.78	17.65
M 2762	muestra 14 boqeron I	56.96	25.76	17.28	Franco Arcillo Arenoso	4.07	0.69	0.03	15.17	404.14	---	4.02	0.66	0.00	0.00	1.37	3.06	9.10	51.42	48.58	15.00
M 2763	muestra 07 libertad I	60.96	19.76	19.28	Franco Arenoso	3.61	2.96	0.13	27.08	112.63	---	3.04	0.51	0.00	0.00	2.15	5.33	11.02	32.16	67.84	19.47
M 2764	muestra 21 libertad II	50.96	17.76	31.28	Franco	4.36	0.99	0.04	13.00	78.18	---	2.79	0.65	0.00	0.00	0.55	0.68	4.67	73.55	26.45	11.83
M 2765	muestra 20 la libertad II	44.96	11.76	43.28	Franco	3.83	1.31	0.06	15.17	62.28	---	3.05	0.48	0.00	0.00	0.59	0.78	4.89	72.10	27.90	11.96
M 2766	muestra 02 erika	28.96	43.76	27.28	Arcilloso	3.96	0.49	0.02	3.90	76.85	---	2.99	0.51	0.00	0.00	1.59	3.61	8.69	40.18	59.82	18.32



PROTOCOLO DE ANALISIS

Coopertaiva Agraria Industrial Naranjillo Ltda.

PRODUCTO : ALMENDRA

Nº	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cd (mg/kg)
1	8183	0.10
2	8403	0.70
3	8158	1.24
4	7191	0.59
5	8153	0.72
6	6167	0.49
7	8175	0.86
8	8194	0.22

PRODUCTO : SUELO

Nº	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cd (mg/kg)
1	8236	<0.004

PRODUCTO : ROCA FOSFORICA

Nº	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cd (mg/kg)
1	Roca Fosforica	12.782