

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**

**OFICINA GENERAL DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**INFORME FINAL DEL**

**PROYECTO DE INVESTIGACION:**

**“DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELO Y PRODUCTOS**

**AGRÍCOLAS DE LA ZONA MINERA LA PASTORA”**

**Equipo de Investigación:**

- Blga. Hilda Margarita Soto Benavente
- Quim. Liset Rodríguez Achata
- Blga. Martha Olivera Condori
- Est. Arostegui Sánchez Víctor
- Est. Colina Nano César

**PUERTO MALDONADO – PERÚ**

**2015**

## Resumen

El estudio tuvo como objetivos evaluar los niveles de concentración de metales pesados y metaloides (Hg, Cd, As, Pb), realizar la caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas, comparar los niveles de metales pesados encontrados con los estándares nacionales e internacionales, determinar el índice de bioacumulación de metales pesados en suelos y productos agrícolas de las zonas de La Pastora y control (Km 10 carretera Tambopata). Se tomó al azar de 0,5 hectáreas 6 muestras de suelo para dos tipos de cultivo: yuca y plátano, en los que se realizaron la caracterización fisicoquímica y textural de los suelos agrícolas de la zona La Pastora en plantaciones de yuca, teniendo como resultados que son suelos de pH ácido, de baja conductividad eléctrica, textura de un suelo franco limoso y alto contenido de materia orgánica, en la plantación de plátano se tuvo el pH menos ácido, granulometría media, textura de suelo limoso, con espacios porosos de tamaño medio y capacidad de intercambio catiónico alto. En los suelos agrícolas de la zona control en plantaciones de yuca dieron como resultado pH ácido, granulometría media, de textura arena limosa con espacios porosos de tamaño medio, con valores altos de calcio y magnesio, con presencia de macronutrientes como sulfatos y hierro. El suelo de la plantación de plátano fue de pH menos ácido, mayor concentración de materia orgánica, presento granulometría media, textura limosa con espacios porosos de tamaño medio, con valor alto de capacidad de intercambio catiónico.

En cuanto al nivel de mercurio, cadmio, arsénico y plomo (Hg, Cd, As, Pb) en suelos agrícolas de yuca y plátano de la zona minera La Pastora y zona control carretera Tambopata - Infierno no sobrepasó los estándares de calidad ambiental ECAs.

El índice de bioacumulación para la yuca de la zona minera La Pastora, mostró un grado de acumulación intensa para el arsénico y plomo en la raíz y el tallo en cambio el índice de

bioacumulación para el plátano dio un grado de acumulación media para todos los metales y metaloide en la raíz y media en el fruto. En la zona control el cadmio presentó el nivel más alto de bioacumulación en las hojas de la yuca con un grado de bioacumulación medio, y el mercurio mayor grado de bioacumulación en el tallo del plátano, considerándose como grado de bioacumulación media.

La comercialización de productos agronómicos procedentes de zonas mineras necesita mayor control, si bien es cierto los valores encontrados de metales pesados y metaloides son bajos, el consumo constante de los mismos se bioacumula en los organismos, por tanto, se pone en riesgo la salud pública por el consumo constante de estos productos agronómicos.

**Palabras clave:** Metales pesados, Minería, Bioacumulación, Plátano, Yuca

## Abstract

The study objectives were to evaluate the concentration levels of heavy metals and metalloids (Hg, Cd, As, Pb), perform the physicochemical characterization of agricultural soils, comparing the levels of metals found with national and international standards, determine the rate of bioaccumulation of heavy metals in soils and agricultural products from farming areas of the Shepherdess and control (Km 10 Tambopata road).

Was taken at random from 6 0.5 hectares of soil samples for two types of cultivation: cassava and plantain, on which you have performed the physico-chemical and textural characterization of agricultural soils of the area The Pastor in cassava plantations, with results that are soils of low acid pH, electrical conductivity, texture of a silty loam soil and high organic matter content, in the banana plantation was the pH less acid, average grain size, texture of silt loam soil, with pore spaces of medium size and high cation exchange capacity.

In the agricultural soils of the area control in plantations of cassava resulted in acidic pH, average grain size, texture silty sand with pore spaces of medium size, with high values of calcium and magnesium, with presence of nutrients such as sulfates and iron. The floor of the banana plantation was less acid pH, the greater concentration of organic matter, presented average grain size, limosa texture with pore spaces of medium size, with high cation exchange capacity.

In terms of the level of heavy metals and metalloids mercury, cadmium, arsenic and lead (Hg, Cd, As, Pb) in agricultural soils of cassava and plantain of the mining area the Pastora and control zone road Tambopata - Hell did not exceed the standards of environmental quality ECAs.

The bioaccumulation index for cassava in the La Pastora mining area, the degree of advanced accumulation for arsenic and lead in the root and stem in the change of bioaccumulation

index for plastic and a degree of accumulation of means for all metals and metalloid in the root and half in the fruit. In the control zone, cadmium showed the highest level of bioaccumulation in the leaves of cassava with a medium degree of bioaccumulation, and mercury with a higher degree of bioaccumulation in the banana stem, considering it as a medium degree of bioaccumulation.

The commercialization of agricultural products in mining areas requires greater control, although it is true that the values of heavy metals and metalloids are low, their constant consumption bioaccumulates in organisms, therefore health is put at risk public by the constant consumption of these agronomic products.

**Key words:** Heavy Metals, Mining, Bioaccumulation, banana, cassava

## Tabla de contenidos

Capítulo 1 Introducción .....	1
1. Problema .....	2
1.1. Determinación del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	3
2. Justificación .....	4
3. Objetivos .....	6
3.1. Objetivo general .....	6
3.2. Objetivos específicos .....	6
4. Marco teórico .....	7
4.1. Antecedentes .....	7
4.2. Marco conceptual .....	11
4.2.1. Actividad minera aurífera .....	11
4.2.2. Suelo .....	11
4.2.3. Metales pesados .....	12
4.2.4. Metabolismo de los metales pesados .....	17
4.2.5. Dinámica de los metales pesados en el suelo .....	19
4.2.6. Traslocación .....	19
4.2.7. Productos Agrícolas .....	22
4.2.8. Estándares de calidad ambiental .....	27
4.3. Marco legal .....	28
5. Hipótesis y variables .....	30
5.1. Hipótesis .....	30
5.1.1. Hipótesis General .....	30
5.1.2. Hipótesis específicas .....	30
5.2. Variables .....	30
5.2.1. Variable independiente o factores .....	30
5.2.2. Variable dependiente o variable de respuesta .....	30
5.3. Dimensiones e indicadores .....	31
6. Metodología .....	32
6.1. Área de estudio .....	32
6.2. Materiales y métodos .....	34
6.2.1. Materiales .....	34
6.2.2. Métodos .....	35
6.2.3. Población y muestra .....	37
6.3. Tratamiento estadístico .....	45
7. Resultados .....	46
7.1. Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas – plantación de yuca y plátano – zona minera la Pastora – zona control .....	46
7.1.1. Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas – plantación de yuca ....	46
7.1.2. Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas – plantación de plátano	49
7.2. Resultados de los niveles de metales pesados en suelo y productos agrícolas .....	53
7.2.1. Niveles de metales pesados en suelos y productos agrícolas: zona minera la Pastora – control: carretera Tambopata – Infierno .....	53

7.2.2.	Niveles de metales pesados en los órganos de yuca (zona control y zona minera la Pastora).....	67
7.2.3.	Niveles de metales pesados en los órganos de plátano (zona control y zona minera la Pastora). .....	68
7.3.	Resultados del grado de bioacumulación de metales pesados y metaloides en suelo y productos agrícolas. ....	69
7.3.1.	Grado de bioacumulación en yuca.....	70
7.3.2.	Grado de bioacumulación en plátano.....	72
7.4.	Grado de Bioacumulación de metales pesados en los órganos de productos agrícolas en yuca y plátano de la zona minera “La Pastora”.....	75
8.	Análisis y discusión .....	78
9.	Conclusiones .....	82
10.	Sugerencias .....	84
11.	Bibliografía .....	85
11.1.	Referencias bibliográficas.....	85
11.2.	Referencias electrónicas.....	90

### Lista de tablas

Tabla 1. Profundidad del muestreo según el uso del suelo .....	39
Tabla 2. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de “La Pastora” - Plantación de Yuca..	46
Tabla 3. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de la Zona Control, Carretera Tambopata Infierno - Plantación de Yuca .....	48
Tabla 4. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de “La Pastora”- Plantación de Plátano. .....	49
Tabla 5. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de la Zona Control – Carretera Tambopata Infierno - Plantación de Plátano.....	50
Tabla 6. Relación de los Puntos de estudio con los de los Puntos de Estudio del INGEMMET - MEM.....	51
Tabla 7. Composición Mineralógica de la Zona Diamante .....	51
Tabla 8. Composición Mineralógica de la Zona la Torre II. ....	52
Tabla 9. Niveles de Mercurio en Suelo Agrícola – Plantación de yuca de las zonas de estudio..	54
Tabla 10. Niveles de Mercurio en yuca de las zonas de estudio.....	54
Tabla 11. Niveles de Mercurio en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio .....	55
Tabla 12. Niveles de Mercurio en Plátano de las zonas de estudio .....	56
Tabla 13. Niveles de Arsénico en Suelo Agrícola - Plantación de Yuca de las zonas de estudio.	57
Tabla 14. Niveles de Arsénico en Yuca de las zonas de estudio .....	58
Tabla 15. Niveles de Arsénico en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio. .....	59
Tabla 16. Niveles de Arsénico en Plátano de las zonas de estudio.....	59
Tabla 17. Niveles de Cadmio en Suelo Agrícola - Plantación de Yuca de las zonas de estudio..	60
Tabla 18. Niveles de Cadmio Yuca de las zonas de estudio.....	61
Tabla 19. Niveles de Cadmio en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio	62
Tabla 20. Niveles de Cadmio Plátano de las zonas de estudio .....	63
Tabla 21. Niveles de Plomo en Suelo Agrícola - Plantación de Yuca de las zonas de estudio ....	64
Tabla 22. Niveles de Plomo en Yuca de las zonas de estudio .....	65
Tabla 23. Niveles de Plomo en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio	65
Tabla 24. Niveles de Plomo en Plátano de las zonas de estudio.....	66
Tabla 25. Niveles de Metales Pesados en Órganos de Yuca de las zonas de estudio.....	68
Tabla 26. Niveles de Metales Pesados en Órganos de Plátano de las zonas de estudio .....	68
Tabla 27. Grado de Bioacumulación de Metales Pesados en Órganos de Plátano y Yuca.....	75

## Lista de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo. Mapa georreferenciado de la zona de estudio “La Pastora”. .....	33
Figura 2. Mapa de predios agrícolas y concesiones mineras de la zona de estudio "la Pastora" y Zona Control km 10 carretera a Infierno (zona de Amortiguamiento de la RNT) .....	33
Figura 3. Método de toma de muestra de suelo de un núcleo de perforación.....	38
Figura 4. Partición de muestras de suelo. ....	39
Figura 5. Niveles de mercurio en yuca de las zonas de estudio.....	55
Figura 6. Niveles de mercurio en plátano de las zonas de estudio. ....	57
Figura 7. Niveles de Arsénico en Yuca de las zonas de estudio. ....	58
Figura 8. Niveles de Arsénico en Plátanos de las zonas de estudio.....	60
Figura 9. Niveles de cadmio en plátano de las zonas de estudio. ....	62
Figura 10. Niveles de cadmio en plátano de las zonas de estudio. ....	64
Figura 11. Niveles de cadmio en plátano de las zonas de estudio. ....	65
Figura 12. Niveles de Plomo en plátano de las zonas de estudio. ....	67
Figura 13. Grado de bioacumulación de metales pesados en raíz de yuca. ....	71
Figura 14. GRado de bioacumulación de metales pesados en tallo de yuca.....	71
Figura 15. Grado de bioacumulación de metales pesados en hojas de yuca.....	72
Figura 16. Grado de bioacumulación de metales pesados en raíz de plátano.....	73
Figura 17. Grado de bioacumulación de metales pesados en tallo de plátano.....	73
Figura 18. Grado de Bioacumulación de Metales Pesados en Hojas de Plátano.....	74
Figura 19. Grado de Bioacumulación de Metales Pesados en Fruto de Plátano.....	74

## **Capítulo 1**

### **Introducción**

En el Perú desde tiempos precolombinos hasta la actualidad ha perdurado en el tiempo una de las actividades económicas de importancia con el desarrollo económico del país, la minería, la cual en la actualidad suministrando insumos a una serie de industrias a nivel nacional e internacional. La industria minera nacional en su mayor parte es metálica, y se dedica principalmente a la producción de oro, cobre, zinc, plata y plomo.

En el Perú actualmente se cuenta con estándares de calidad ambiental para medir la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas; por esto se hace necesario gestionar el apoyo de entidades gubernamentales con el fin de iniciar y desarrollar investigaciones en diferentes sectores agrícolas primarios, contribuyendo de esta forma a garantizar una producción más limpia y la sostenibilidad ambiental del recurso suelo.

La población de Puerto Maldonado consume productos frutícolas como parte de su dieta diaria. Por lo tanto, será necesario hacer una evaluación de la concentración de algunos metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo, etc.) en los frutos de consumo, ya que las plantas son sistemas captadores de estos metales.

Las pequeñas cantidades de los metales pesados sobretodo dentro de las plantas, las cuales los absorben vía raíces o vía foliar procedente del medio ambiente (suelo, aire, agua) pueden ser consideradas como peligrosas para la salud humana.

Los objetivos de éste trabajo fueron determinar el nivel de contaminación de arsénico, cadmio, plomo y zinc en el suelo, la concentración en los componentes morfológicos de varias especies vegetales (raíz, tallo y hojas) y la relación entre los contenidos en suelo y plantas.

## **1. Problema**

### **1.1.Determinación del problema.**

“La acumulación de metales pesados en suelos agrícolas es un riesgo para la vida de los organismos y la salud humana, y sus efectos negativos dependen de la concentración del metal y las propiedades específicas del suelo” (Gjoka et al., 2010).

“Cuando se supera la capacidad amortiguadora por una carga continua de sustancias contaminantes o cambios en el pH del suelo, los metales pesados pueden liberarse y quedar biodisponibles en la solución del suelo para ser absorbidos por las plantas”. (Micó, 2005). Cuando se realicen estudios de metales pesados en suelos, debemos considerar que los niveles totales son una medida del riesgo potencial de un suelo a futuro; pero, si se necesita medir la peligrosidad real en el momento se debe medir los metales en la fase disponible o asimilable del suelo por las raíces. (Tack et al., 1997; Sánchez, 2003).

Las formas iónicas de interés en este proyecto, como el Cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), pueden ser tóxicas para la flora, la fauna terrestre y acuática. Además de ser tóxicas, son acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de alimentación en las redes trófica y son transferidos a cada uno de sus eslabones. Estas formas iónicas al ser consumidas frecuentemente por el hombre a través del agua y los alimentos, provocan muchas enfermedades, y algunas pueden llegar a causar la muerte (Prieto et al.,2009).

En la zona de La Pastora se han desarrollado actividades minero auríferas de forma informal e ilegal, así como agricultura de subsistencia y comercial; a esto se debe el proceso de detrimento de la zona, que ha ido incrementándose por el crecimiento de los núcleos poblacionales ocasionando un uso inadecuado, contaminación, superposición de uso de los recursos, afectando

así los suelos. Por lo tanto, es de desconocimiento aspectos relacionados con la distribución espacial y biodisponibilidad de metales pesados, ni en el recurso suelo ni en los productos agrícolas que se cultivan en el área. A esto se añade que estos productos producidos en esta zona son comercializados y expendidos en los diferentes mercados de la ciudad de Puerto Maldonado, poniendo en potencial riesgo la salud humana no solo de la zona en estudio sino de la población en general. También, debido a que la información acreditada, acerca del contenido de metales pesados en los suelos y de los productos agrícolas de esta zona, no es conocida, es de importancia socioeconómica y por ende necesario la realización de este estudio con el fin de evaluar las concentraciones de estos contaminantes y el posible riesgo que representan.

## **1.2. Formulación del problema**

En base a la identificación del problema, objeto de la investigación, se desprende la siguiente pregunta de investigación que nos planteamos.

### **Problema**

¿Cuál es el nivel concentración de metales pesados en suelos y productos agrícolas de la zona minera La Pastora?

## 2. Justificación

“Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, pero en los últimos años se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo” (Giuffré et al., 2005). Es necesario mencionar aquí a la minería aurífera artesanal y de pequeña escala como la responsable del vertido de grandes cantidades de mercurio y otros metales pesados al ambiente. “Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g cm<sup>3</sup> cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos)” (García y Dorronsoro, 2005), aunque “en esta definición, encajan también elementos esenciales para las plantas como Fe, Cu, Mn, Zn u otros esenciales para los animales como Co, Cr o Ni” (Mendoza, 2006). Aunque se consideren metaloides a los elementos As y Se, por su efecto contaminante se incluye dentro de los metales pesados.

“Los metales pesados más comunes y ampliamente distribuidos como contaminantes ambientales incluyen plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y el metaloide arsénico (As)” (Reilly, 2002). Sin embargo, “los metales pesados en las plantas son esenciales, ya que son componentes estructurales o catalizadores de los procesos bioquímicos de los organismos” (Montenegro, 2002). Producto de las actividades económicas, se vierten grandes cantidades de estos elementos sobre el suelo y cuerpos de agua, produciendo acumulación de Cd, Hg, Ni y Pb, y otros metales pesados, proceso mediante el cual se origina toxicidad en el ecosistema (Montenegro, 2002). En general, “estos metales no son biodegradables y, por consiguiente, pueden acumularse en órganos vitales del cuerpo humano, produciendo efectos tóxicos progresivos” (Queirolo et al., 2000). La mayoría de estos elementos entran en la dieta humana principalmente a través de los cultivos que absorben el agua de riego contaminada.

“Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias” (Lasat, 2000); sin embargo, “algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos. La fitotoxicidad de los metales pesados se manifiesta particularmente en los suelos ácidos” (Tadeo y Gómez-Cadenas, 2008).

“El suelo es un constituyente de la naturaleza, con componentes minerales, orgánicos y biológicos formados por organismos que viven en él, también, ejerce otras funciones; como partícipe de funciones socioeconómicas y como instrumento de defensa del medio”. (Seoánez, 1998).

“La acumulación de metales pesados en suelos agrícolas es un riesgo para la vida de los organismos y la salud humana, y sus efectos negativos dependen de la concentración del metal y las propiedades específicas del suelo” (Gjoka et al., 2010).

“En este sentido, cuando se supera la capacidad amortiguadora por una carga continua de sustancias contaminantes o cambios en el pH del suelo, los metales pesados pueden quedar biodisponibles en la solución del suelo para ser absorbidos por las raíces” (Micó, 2005). Adicionalmente, “el riesgo de movilización de los metales pesados es función de las características específicas de cada suelo, como el contenido y tipo de arcilla, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades características del tipo de suelo” (Mapanda et al., 2005). Cuando se realicen estudios de metales pesados en suelos, debemos considerar que los niveles totales son una medida del riesgo potencial de un suelo a futuro; pero, si se necesita medir la peligrosidad real en el momento se debe medir los metales en la fase disponible o asimilable del suelo por las raíces. (Tacket et al., 1997; Sánchez, 2003).

La presencia de minería aurífera artesanal informal y minería ilegal origina la contaminación de suelos, agua, atmosfera y por lo tanto de los productos agronómicos los que son expendidos en los mercados de abastos de la ciudad de Puerto Maldonado, por lo que se corre el riesgo de la acumulación de metales pesados en los pobladores, que sin lugar a duda es uno de los principales problemas en salud pública, que debe considerarse para el buen desarrollo y crecimiento social y económico de la región.

### **3. Objetivos**

#### **3.1.Objetivo general**

Determinar el nivel de concentración de metales pesados (Hg, Cd, As, Pb) en suelo y productos agrícolas de la zona minera La Pastora año 2014.

#### **3.2.Objetivos específicos**

- 1) Realizar la caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas de la zona minera La Pastora.
- 2) Determinar el nivel de concentración de metales pesados (Hg, Cd, As, Pb) en suelos y en productos agrícolas de la estación en la zona minera La Pastora.
- 3) Comparar los niveles de metales pesados encontrados con los estándares nacionales e internacionales.
- 4) Determinar el grado de bioacumulación de metales pesados en suelos y productos agrícolas

## 4. Marco teórico

### 4.1. Antecedentes.

**Chambi J. (2012)** en la investigación realizada denominada: “Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres Micro-Cuencas del Municipio de Poopó” en Bolivia, se determinó la presencia de metales pesados como Pb, Cd, Zn y As en suelos agrícolas y cultivos representativos en el área de estudio; el nivel de concentración se divide en tres partes (alto, medio y bajo). Las muestras se obtuvieron de suelos de parcelas agrícolas y cultivos, fracción comestible de Papa, Haba, Cebada y Alfalfa; en puntos que fueron previamente seleccionados, según la disponibilidad del micro-cuenca de: Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3). Las muestras con pequeñas concentraciones se determinaron mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica en llama y horno de grafito, en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Químicas de La Paz (UMSA). Mientras la concentración de metales se evaluó con los límites máximos permisibles y los niveles peligrosos para suelo, propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa y la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador, los cultivos agrícolas se evaluaron con los contenidos máximos propuesto por Kabata-Pendias, 2000.

Los resultados obtenidos señalan que los suelos agrícolas en las tres Micro-cuencas de estudio están contaminados por arsénico, metal que superando el nivel peligroso de 55 mg/kg de suelo. La contaminación se da mediante la vía de mineralización natural de la zona y por el aporte de la minería en la región (desmontes, aguas de copajira echadas a la intemperie y a los ríos). Se deben tomar decisiones de manera inmediata para afrontar dicha situación, para poder evitar la intensidad de acumulación de arsénico en los cultivos. El cultivo de haba fracción comestible superó en algunos casos el contenido máximo en cultivos (1,7 mg/kg de muestra), con tendencias de mayor acumulación de arsénico.

**Hernández (2011)**, en su estudio cuantifico las concentraciones de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo, en los suelos de la municipalidad de natividad, Ixtlán, Oaxaca en dos épocas estacionales. Se extrajo los metales presentes en el suelo por medio de una digestión ácida y cuantificándolos mediante ICP-OES (espectrofotometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente). Para establecer una relación entre los parámetros fisicoquímicos y el nivel de concentración de metales en mg/Kg de suelo seco, se realizó la caracterización del suelo. Los resultados señalan que los metales que superaron los niveles establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSAI-2004 fueron el As y Pb. Las dos épocas estacionales estudiadas marcaron una diferencia significativa en el contenido de metales pesados, la temporada de secas posee los niveles de concentración más altos. El estudio de cuantificación de los metales de interés, tuvo como objetivo afín determinar los niveles de contaminación existentes que sirvan como base para la presentación de alternativa de remediación y la recuperación del sitio.

**Calderón (2009)**, en el estudio realizado en la Universidad de Piura denominado: “Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura” evaluó el grado de concentración de algunos metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo, etc) en los frutos que la población tiene como parte de su dieta. Utilizó el método instrumental de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Dichos resultados fueron comparados con los límites\_máximos permisibles dados por los organismos internacionales, los resultados dieron concentraciones por debajo de estos límites. Sin embargo, menciona que se debe tener en cuenta la bioacumulabilidad de estos metales tóxicos en particular con el plomo, arsénico y cadmio.

**Acosta (2007)**, su estudio muestra la posible contaminación ambiental, originada por el uso inadecuado de las aguas residuales en el sector productivo, como también, la acumulación y lixiviación de metales pesados en el suelo y su absorción y bioacumulación en los diferentes cultivos que utilizan esta agua. El estudio tiene como principal objetivo evaluar los niveles de concentración de cromo, cobre, níquel, zinc, cadmio y plomo, en suelos agrícolas del Valle del Mezquital. Se determinaron los siguientes rangos de concentración de metales pesados en el suelo de Cr (48-150 mg Kg<sup>-1</sup>), Cu (22-96 mg Kg<sup>-1</sup>), Ni (26-57 mg Kg<sup>-1</sup>), Pb (8-86 mg Kg<sup>-1</sup>) y Zn (66-391 mg Kg<sup>-1</sup>), concentraciones que a su vez no son alarmantes de contaminación del suelo y biodisponibilidad de los cultivos de la región. Tampoco se encontró una relación significativa de bioacumulación de estos elementos dado la antigüedad del uso de las aguas residuales.

**Garay, Paredes y Hernández (2007)**, realizaron estudios sobre jales mineros del Estado de Zacatecas reportan que estos han afectado en el 8.45% de su territorio: Por ejemplo, la Unidad Minera “El Bote”, ubicada en la ciudad Argentum, a la salida oeste de la capital, contribuyó con azolves que han provocado la contaminación de suelos agrícolas de las comunidades de Fco. I, Noria de Gringos y La Pimienta. Por esto, se muestrearon los suelos y cultivos para evaluar las acumulaciones de As, Cd y Pb. El muestreo fue de tipo exploratorio e implicó 28 muestras de suelos y cultivos. La profundidad del muestreo fue de 30 cm y los cultivos encontrados fueron; frijol, maíz, trigo, avena y chile. Los análisis se realizaron siguiendo normas de la EPA y Nom-147-SEMERNAT/SSAI-2004. El arsénico en el suelo promedió 382 mg Kg<sup>-1</sup> y los cultivos con más acumulación fueron frijol, chile y trigo (286, 255 y 154 mg Kg<sup>-1</sup> respectivamente). El cadmio en el suelo promedió 6.9 mg Kg<sup>-1</sup> y los cultivos con mayor acumulación fueron chile y avena (6.1

y 6.5 mg Kg<sup>-1</sup> respectivamente). El plomo en el suelo promedió 268 mg Kg<sup>-1</sup> y los cultivos que más acumularon fueron de chile, maíz y frijol (12.8, 11.8 11.2 mg Kg<sup>-1</sup>).

**Reyes (2006)**, en su estudio “Metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Venezuela”, menciona que la extracción de oro de aluvi3n, con t3cnicas da1inas y agresivas para el medio ambiente origino la perdida de grandes 1reas boscosas en la Reserva Forestal Imataca y el uso excesivo de mercurio representa grandes niveles de concentraci3n en plantas y animales. El estudio tiene como objetivo determinar los niveles de contaminaci3n por metales pesados en la poblaci3n flora de la reserva y evaluar su potencialidad para actividades de restauraci3n de los bosques. Se presentaron los valores de mercurio, cadmio y plomo encontrados en hojas de las muestras de plantas extra3das de 1reas en estado de abandono de miner3a aur3fera situadas en diferentes estadios sucesionales del bosque tropical de la reserva. El nivel de concentraci3n de metales fue determinado por espectrofotometr3a de absorci3n at3mica; en caso del mercurio se utiliz3 t3cnica de vapor fr3o, mientras que para determinar el contenido de plomo y cadmio mediante atomizaci3n a la llama. Los resultados se1alan que el nivel de concentraci3n de mercurio en las hojas de las muestras de plantas colectadas se encontr3 entre los 148,0 y 329,0 ppb y que el cadmio y plomo no superan el valor l3mite de concentraci3n. Tambi3n se1ala que las mejores especies para la reforestaci3n que iniciar3an el proceso sucesional, son Ciper1ceas y Gram3neas que adem1s ser de f1cil localizaci3n su manejo es pr1ctico.

## **4.2.Marco conceptual.**

### **4.2.1. *Actividad minera aurífera.***

La minería es una actividad antrópica en la cual se identifican áreas con presencia de minerales, para después extraer y procesarlos. La minería aurífera hace referencia a la explotación específicamente del oro.

En Perú la minería aurífera es importante en la Región Madre de Dios, pero también ocurre en otras regiones, como Amazonas, Arequipa, Ucayali, Puno, Loreto, Ica, Lima, Piura y La Libertad.

La zona aurífera de Madre de Dios comprende las cuencas y las subcuencas de los ríos, Inambari, Colorado, Malinowski, Madre de Dios y Tambopata.

La actividad minera informal e ilegal carece de sustento técnico en todas sus etapas, tanto de exploración como de explotación, por lo que no se aprovecha todos los recursos (incluyendo oro) y se alteran ecosistemas sin necesidad. Verbigracia, en muchas ocasiones los mineros lavan material con bajo contenido de oro por falta de estudios exploratorios previos; asimismo, las técnicas de lavado gravimétrico son rudimentales, se pierde durante el proceso finas partículas de oro; se contamina innecesariamente una gran cantidad de agua; la disposición de la grava es caótica lo que dificulta su posterior manejo. (IIAP, MINAM, 2011).

### **4.2.2. *Suelo.***

“El suelo es considerado un recurso natural muy frágil y no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo. Es indispensable para la producción de alimentos y el crecimiento vegetal almacena minerales, materia orgánica, agua y otras sustancias químicas”. (Semarnat, 2005).

#### *4.2.2.1. Geología y formaciones rocosas de la zona de estudio.*

“Los depósitos de la formación de Madre de Dios parecen pertenecer a las primeras acumulaciones del Cuaternario”, aunque estudios de Campbell & Romero (1989) indican una edad próxima de 38500 años, es decir, “que sus depósitos se acumularon durante el Cuaternario tardío en un medio deltáico dentro de un lago”. Sin embargo, tal como observo Douglas (1993) estos “depósitos cuaternarios de la formación Madre de Dios cubren los terrenos bajos de la llanura y los ríos modernos son posteriores a estos depósitos, es decir, holocénicos”.

#### *4.2.2.2. Depósitos cuaternarios recientes.*

Dentro de estos depósitos se hallan niveles arenosos donde se encuentran oxidaciones relacionados a niveles freáticos. En las llanuras donde se forman los meandros, los depósitos están formados por arena y limo mientras que en los meandros (o meandros abandonados) se tiene limos, arcillas y arena con buenos contenidos auríferos. Estos depósitos corresponden a playas de río, lagunas, como así a terrazas alejadas de los meandros.

“El oro aluvial que se halla en las gravas arenosas ha sufrido diferentes ciclos de acumulación y redistribución por los cambios de régimen de la sedimentación aluvial. Estos depósitos se encuentran en río Colorado, Inambari, Madre de Dios y Tambopata”. (Díaz; Carpio & Ramírez 2013)

#### **4.2.3. Metales pesados**

“Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm<sup>3</sup> cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20

(excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos)”. (Navarro-Aviño et al., 2007). Este término se usa para indicar a aquellos elementos que siendo pesados son tóxicos para la vida.

“Los metales pesados más peligrosos son el Pb, Hg, As, entre otros. Los metales pesados son de toxicidad extrema porque, como iones o en ciertos compuestos, son solubles en agua y el organismo lo absorbe con facilidad”. (Nebel & Wright, 1999) Dentro del organismo, estos elementos tienden a reaccionar con las enzimas e detienen sus funciones.

#### *4.2.3.1. Cadmio (Cd).*

El Cd es un elemento no esencial de la familia del Zinc, presentando similares propiedades químicas. En ambientes de agua dulce, está íntimamente relacionado con sistemas coloidales presentes como cloruro de cadmio  $\text{CdCl}_2$  y sulfato de cadmio  $\text{CdSO}_4$ . En agua salada el 66% está presente como ion cadmio  $\text{Cd}^{+2}$  junto con carbonato de cadmio  $\text{CdCO}_3$  en 26%, hidróxido de cadmio  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  en 5%, cloruro de cadmio  $\text{CdCl}_2$  en 1% y sulfato de cadmio  $\text{CdSO}_4$  en 1%. En aguas de costa y estuarios el Cd está presente en una gran proporción asociado a otras partículas formando complejos. El Cd en ambientes acuáticos proviene principalmente por escorrentía de los suelos agrícolas y a las emisiones de la minería y la industria. Su disponibilidad en aguas marinas disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Villanueva y Botello, 1992).

“Los principales compuestos utilizados en la industria son: óxido, sulfuro, cloruro, bromuro y sulfato. Asimismo, se usa en la industria del Zn y extracción del Cd a partir de sus residuos, cadmiado de metales, aleaciones con acero, Zn y Cu”. (OECD., 1994).

“Las exposiciones están consideradas de la siguiente forma: Comprehensive Monitoring Program – C.M.P.: 0,05 mg/m<sup>3</sup>; American Conference of Industrial Hygienists ACGIH: elemental y polvo total como Cd. 0,01 mg/m<sup>3</sup> Fracción respirable: 0,002 mg/m<sup>3</sup>” (ATSDR, 2004).

“En seres humanos, la exposición a largo plazo se asocia a la disfunción renal. El Cd puede también producir efectos en el tejido óseo (osteomalacia, osteoporosis). La exposición a los humanos se presenta por el aire, ambiente y agua potable”. (Casas, 1994).

“Los contenidos de Cd en los suelos son relativamente bajos y la absorción en los vegetales es relativamente pobre, pero si se pueden dar valores más elevados al utilizar fuentes de abonos fosforados ricos en Cd o bien residuos urbanos” (Baird, 2000; Martínez et al., 2002).

“El Cd se encuentra en lugares de trabajo que manipulen baterías, soldadura, etc. En aguas contaminadas; en lugares cercanos a centrales térmicas y quemaderos de basuras. El nivel máximo tolerables de Cd es 68 µg/persona/día para 68 kg” (WHO, 1989; Casas, 1994).

#### 4.2.3.2. Cobre (Cu).

“El cobre en el ambiente se encuentra con valencias 0, +1, +2 y +3. El metal es poco soluble en agua, sales o soluciones moderadamente ácidas, pero pueden disolverse en HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, así como en NH<sub>4</sub>OH y carbonato” (Mireya y Mendoza., 2007).

“El cobre es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente en rocas, el suelo, el agua y el aire. Es esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida”. (ATSDR, 2004).

“Las fuentes de cobre incluyen viento 0.9–15 x 10<sup>3</sup> ton; partículas volcánicas, 0.9–18 x 10<sup>3</sup> ton; incendios forestales, 0.1-7.5 x 10<sup>3</sup> mg/kg; brisa marina, 0.2-6.9 x 10<sup>3</sup> ton, y procesos biogénicos 0.1–6.4 x 10<sup>3</sup> ton” (Res et al. 1998). Y las “fuentes antropogénicas incluyen fundidoras,

industria del hierro, estaciones de energía, aunque la mayor liberación de cobre a la tierra es de los jales de las minas de Cu y lodos del drenaje” (Res et al. 1998). “El Cu se usa en la fabricación de fertilizantes, bactericidas, fungicidas, plaguicidas, sistemas de distribución de agua, preservadores de maderas, galvanoplastia, entre otros” (Mireya y Mendoza, 2007).

“En la atmósfera está asociado con partículas sólidas y a través de la sedimentación, deposición seca y lluvia llega al suelo. En el Cu que se halla en el agua resulta del intemperismo del suelo y descargas de la industria”. (Wallinder y Leygraf., 1997).

#### 4.2.3.3. Mercurio (Hg).

“El Hg es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente en varias formas químicas. El Hg metálico es líquido, inodoro, blanco-plateado brillante. El metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua”. (WHO, 1989).

“El Hg es un elemento tóxico ubicuo en concentraciones traza en el ambiente. Su forma química, movilización y redistribución son influenciado por procesos bióticos y abióticos” (García, 2006).

“El Hg en el aire proviene de fuentes naturales y antropogénicas, transportado atmosféricamente seguido por la deposición en hábitats lejanos a la fuente. Esto se debe a, que el Hg y muchas de formas químicas son muy volátiles y poseen una gran capacidad para la metilación” (Lamborg et al., 2002).

“Los sedimentos son el principal sumidero de Hg en los sistemas acuáticos, principalmente debido a su asociación con la MO y minerales de óxidos superficiales” (Kanding et al., 2009).

“El metilmercurio (MeHg) es la forma más tóxica del Hg, la cual es fácilmente bioacumulada y biomagnificada en las cadenas alimenticias. La principal fuente de exposición

humana al MeHg es el consumo de pescado, por ello es un problema de salud pública”. (Marrugo et al., 2007).

#### 4.2.3.4. *Níquel (Ni)*.

“El Ni es un elemento metálico que se encuentra ampliamente distribuido en la tierra. Es utilizado en la industria moderna para preparación de aleaciones con Cu, Fe y Al, niquelado por electrólisis y fabricación de baterías de Ni-Cd” (Denkhaus y Salnikow., 2002).

“La exposición humana al Ni se produce fundamentalmente por inhalación y por ingestión, través de la exposición ocupacional y la dieta diaria, lo cual puede generar efectos nocivos sobre la salud humana. Por contacto puede ocasionar dermatitis.” (Kapsenberg et al., 1988).

Según la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, 1990) “la acumulación de Ni en el cuerpo a través de la exposición crónica puede conducir a la fibrosis pulmonar, enfermedades cardiovasculares y renales, y todos los compuestos de Ni a excepción del níquel metálico Ni fueron clasificados como cancerígenos”.

“El Ni se encuentra en todos los suelos presentes en formas insolubles (como sulfuros y silicatos) y también en formas solubles, este puede ser liberado por emisiones volcánicas. También se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos” (Garrett., 2000).

“Los niveles de exposición son: C.M.P.: Ni metal  $1 \text{ mg/m}^3$  y para compuestos solubles:  $0,1 \text{ mg/m}^3$ ” (ATSDR, 2004).

#### 4.2.3.5. *Plomo (Pb)*.

“Es un componente natural de la corteza terrestre, y se encuentran en los suelos, plantas y agua a niveles traza. Los principales minerales de Pb son la galena (PbS) y cerusita (PbCO<sub>3</sub>). Encontrado con minerales como Cu, Zn y Ag”. (Cheng y Hu, 2010).

“Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del organismo. El más sensible es el sistema nervioso, especialmente en los niños (en forma orgánica). También daña los riñones y el sistema reproductivo”. (Casas, 1994). El efecto de exposición a bajos niveles de Pb es incierto.

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades federales (CDC, 2007) señala que “Una de las principales fuentes de contaminación es el proveniente de la combustión de la gasolina, usado como antidetonante, lo que representa una vía importante de entrada en la cadena alimenticia al consumir los animales de áreas contaminadas y pinturas”. Asimismo, definieron 10µg/dl como el límite máximo permisible en sangre humana.

#### **4.2.4. *Metabolismo de los metales pesados.***

Las vías por las cuales los microorganismos pueden influenciar los metales pueden ser:

- 1) “Acumulación de metales de forma independiente del metabolismo (adsorción pasiva) o intracelular o dependiente del metabolismo (absorción activa). Si un metal es acumulado por el microorganismo, el destino del metal, estará relacionado con el destino de la célula” (Ledin, 2000).
- 2) “Algunos metales pueden ser transformados por procesos redox (p. ej. Fe y Mn) o por alquilación (p. ej. Hg). La movilidad y toxicidad del metal transformado usualmente difiere en gran medida a su forma original”. (Ledin, 2000).
- 3) “Los microorganismos pueden producir o liberar sustancias, como compuestos orgánicos o sulfuros que cambian la movilidad de los metales, reduciendo la movilidad de éstos” (Ledin, 2000).
- 4) “Los microorganismos participan en el ciclaje de carbono, influenciando en cantidad y características de la materia orgánica. Esto influye en la movilidad de los metales al

unirse MO con metales, los microorganismos afectan indirectamente el pH y propiedades del suelo” (Ledin, 2000).

- 5) “La acumulación pasiva es influenciada principalmente por: a) las propiedades de la superficie como la carga y orientación de los grupos funcionales del metal sobre la superficie de la célula y b) la especiación del metal en la fase acuosa” (Ledin, 2000). Se ha encontrado en organismos que solo realizan acumulación pasiva, pueden seguir un proceso que inicia con una reacción electrostática de los metales con los grupos de la superficie y luego se convierten en centros de agregación de éstos, logrando alcanzar hasta el mismo peso de la célula, lo que lleva a que la célula se precipite.

“Entre los metales que pueden ser adsorbidos son: Hg (II), Cd(II), Zn(II), Cu(II), Ag(I), La(III), Pb(II), Ni(II), Fe(III), Ca(II), Cr(VI), TcO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Sr(II), Mn(II) y Tl(I), por microorganismos como *Pseudomonas putida*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Thiotrix sp.*, *Rhodococcus erythropolis*, etc” (Ledin, 2000).

“Entre los factores más influyentes se encuentra el pH del medio, la dependencia del pH depende mucho de la concentración del metal, a altas concentraciones de Pb no hay casi dependencia de la adsorción por *Pseudomonas atlantica*” (Lion & Rochlin, 1989), mientras “la adsorción incrementa significativamente con el pH a bajas concentraciones de Pb. Lo opuesto, un incremento de la dependencia del pH con el incremento de la concentración del metal se ha visto con la acumulación de Cd en *Pseudomonas cepecia*” (Savvaidis, Hughes, & Poole, 1992).

“Los perfiles de dependencia de cada metal incrementan o disminuyen su acumulación con el pH, los valores mínimos y/o máximo generalmente son encontrados alrededor de la neutralidad. La dependencia del pH por los aniones es significativamente diferente al de cationes” (Ledin, 2000).

#### **4.2.5. *Dinámica de los metales pesados en el suelo.***

“Los metales pesados presentes en los suelos no se comportan como elementos estáticamente inalterables, sino que siguen un curso dinámico. La dinámica de los metales pesados en el suelo puede clasificarse principalmente en cuatro vías” (Navarro-Aviño et-al., 2007).

- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas.
- Transferencia a la atmósfera por volatilización.
- Absorción por las plantas (incorporación a las cadenas tróficas).
- Retención de metales pesados en el suelo disueltos en solución o fijados por adsorción, complejación y precipitación).

#### **4.2.6. *Traslocación***

##### *4.2.6.1. Transferencia de mercurio a productos agrícolas.*

Según los “cálculos efectuados, teniendo en cuenta los niveles máximos de ingesta de mercurio permitidos, y para una persona tipo de 60 kg de peso con una dieta equilibrada, podrían consumirse hasta 42,6 µg/día de Hg total”. (Millan et al., 2007).

##### *4.2.6.2. Absorción y traslocación de metales pesados en las plantas.*

“Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, sin embargo, algunos elementos no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que se comportan electroquímicamente similar a elementos esenciales” (Lasat, 2000).

“Otro mecanismo de ingreso de sustancias potencialmente tóxicas a las plantas, es mediante la absorción foliar. Es medida por una fase de penetración cuticular y un mecanismo de

carácter metabólico de acumulación de los elementos contra un gradiente de concentración” (Kabata – Pendias, 2000).

“Las especies vegetales, que tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos por sobre lo establecido como normal para otras especies, se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales naturalmente o antropicamente” (Kabata – Pendias, 2000).

“Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos” (Kabata – Pendias, 2000). La capacidad de bioacumulación de metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes.

“Los tallos de arveja (*Pisum sativum*) acumulan más cadmio que plomo en suelos tratados con dosis crecientes de metales. Estas diferencias pueden ser atribuida a la capacidad de retención del metal por el suelo y a la interacción planta-raíz-metal” (Naidu et al. 2003). El comportamiento de la planta frente a los metales pesados depende de cada metal.

#### 4.2.6.3. Bioacumulación y Biomagnificación de los metales pesados.

“La característica que hace que los metales pesados sean tan peligrosos es su tendencia a acumularse en los organismos. Por esta causa, cantidades reducidas y en apariencia inofensivas absorbidas durante un largo periodo, llegan a alcanzar niveles tóxicos (bioacumulación)”. (Nebel & Wright, 1999).

“Cada organismo acumula la contaminación de sus alimentos. Todo el contaminante acumulado en la gran biomasa de la base de la pirámide alimentaria se concentra, al avanzar por

las cadenas. Este efecto multiplicador de la bioacumulación se llama biomagnificación”. (Nebel & Wright, 1999).

“Uno de los aspectos más desoladores de la bioacumulación y la biomagnificación es que no hay síntomas de advertencias hasta que las concentraciones del contaminante en el organismo son lo bastante elevadas y entonces suele ser demasiado tarde para tratamiento”. (Nebel & Wright, 1999).

#### *4.2.6.4. Mercurio en la cadena alimentaria.*

“El medio marino es el principal depósito, sobre todo en forma orgánica (metil-mercurio o dimetilmercurio), diversos estudios encontraron altos niveles en peces, el mercurio se bioacumula, observando mayores niveles en individuos de mayor edad y en función del nivel trófico” (Watras et al. 1998). Estudios realizados por Storelli et al. (2002) muestran que “a mayor tamaño del animal mayor contenido en Hg; sin embargo, se ha observado valores altos en peces de menor tamaño asociado al nivel de contaminación local. El contenido en mercurio encontrado en animales marinos varía entre especies”, en estudios realizado por Kumar et al. (2010) reportaron valores de 0,11-1,76 mg/kg.

#### *4.2.6.5. Metabolismo del mercurio.*

“En función del estado en que este el mercurio varía la absorción, metabolismo y eliminación del mercurio; verbigracia, en su estado elemental Hg no se absorbe a nivel intestinal, siendo eliminado a través de las heces sin presentar toxicidad alguna” (Rowland et al., 1997). Las formas inorgánicas presentan menor disponibilidad que las formas orgánicas 15 % frente 80-90 % respectivamente, una vez los compuestos de Hg alcanzan el torrente sanguíneo se acumula en

diferentes órganos; el Hg-i presenta mayor solubilidad que las formas orgánicas de ahí que se elimine a través de la orina. (Rowland et al., 1997).

“El metilmercurio es la más toxica, con un rango de absorción del 80-90%. Además, una vez alcanza el torrente sanguíneo puede atravesar las barreras hematoencefalicas por su conjugación con la cistina, produciendo efectos adversos en el sistema nervioso central”. (Rowland et al., 1997).

“En función del grado de exposición el metilmercurio almacenado en el cerebro se oxida y se acumula de forma crónica” (Kanai et al., 2003; Sakamoto et al., 2004). La principal forma de eliminación es través de vías de eliminación secundarias, como el pelo, mientras, que en menor porcentaje a través de vías de eliminación primarias (heces, sales biliares y orina).

“El efecto más importante de la exposición al Hg se produce principalmente sobre desarrollo nervioso fetal” (WHO, 2004). “Produce efectos negativos cognitivos, en memoria, visuales, en el desarrollo del habla. En adultos, una exposición crónica puede conducir a efectos no solo en el sistema nervioso sino también en el gastrointestinal, respiratorio y reproductivo” (EFSA, 2012).

La FAO/OMS (1978) en conjunto establecieron “una Ingesta Semanal Tolerable Provisional (ISTP) de 1,6  $\mu\text{g}/(\text{kg peso} \times \text{semana})$  para el metilmercurio y 5  $\mu\text{g}/(\text{kg peso} \times \text{semana})$  para el mercurio total”.

#### **4.2.7. *Productos Agrícolas***

“El tema de los recursos naturales es sumamente amplio. Casi todas las actividades de la agricultura están relacionadas con su uso. La producción agrícola, pecuaria o forestal y el manejo de la vegetación natural son actividades que se tratan por separado, dada su finalidad productiva.

En sí cada una justifica programas especiales para su desarrollo. Sin embargo, cuando se analizan estas actividades en cuanto a sus efectos en el ambiente, se pueden tratar en conjunto como elementos que lo disturban o lo conservan, de acuerdo con el tipo de manejo y el nivel de conflicto que originen, según la verdadera aptitud de los recursos que se usan” (Paulet, 1999).

#### 4.2.7.1. Plátano Común (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana* – Plátano común).

“De acuerdo a la clasificación de *Musa* del Perú, se considera perteneciente a un clon triploide de Tipo AAB, del Subgrupo Plantain, el cual es híbrido de las especies *Musa acuminata* x *Musa balbisiana* cuyo nombre científico es el mismo” (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011).

Reino : Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Zingiberales

Familia: Musaceae

Género: *Musa*

Especie: *Musa acuminata*

*Musa* AAB (subgrupo Plantain)

*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*

Nombre Común: Inguiri, Plátano Común

#### **Descripción botánica**

“Planta herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3.5-7.5 m de altura, terminado en una corona de hojas”. (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011)

#### **Hojas**

“Muy grandes y dispuestas en espiral, de 2-4 m. de largo y hasta 0.5m de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud y limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro”. (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011)

### **Tallo**

“El verdadero tallo es un rizoma grande, almidonoso, subterráneo, que está coronado con yemas; éstas se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado”. (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011)

“A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo”. (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011)

### **Raíces**

“Son superficiales distribuidas entre 30-40 cm, concentrándose entre 15-20 cm. Son blancas y tiernas al emerger, posteriormente son duras, amarillentas. Alcanzan los 3 m de crecimiento lateral y 1,5 m de profundidad dependiendo de la textura y estructura del suelo”. (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011)

“El plátano y banano (*Musa* sp.) en el Perú, son cultivos que se caracterizan por ser una valiosa fuente alimenticia para el consumidor y un importante factor de seguridad alimentaria para el productor y su familia, especialmente en la selva”. (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011)

“Además, genera ingresos permanentes para los agricultores, constituyendo una “caja chica” para financiar otras actividades agrícolas. Se estima en 147,987 familias que dependen de este cultivo a través a la cadena productiva. Lima consume el 8% de la producción nacional”. (Herrera R.M & Colonial C. L, 2011)

#### 4.2.7.2. Yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

“La yuca es un arbusto perenne, leñoso, de tamaño variable y fotoperiodo corto. Es monoica, de ramificación simpodial y con variaciones en la altura de la planta que oscilan entre 1-5 metros, aunque generalmente no excede los 3 metros”. (Suarez & Mederos, 2011).

Reino : Plantae  
 División: Spermatophyta  
 Clase: Dicotiledoneae  
 Orden: Euphorbiales  
 Familia: Euphorbiaceae  
 Tribu: Manihotae  
 Género: Manihot

Especie: *Manihot esculenta* Crantz

Nombre Común: Yuca.

#### **Descripción botánica**

##### **El tallo**

“Los tallos son particularmente importantes en la yuca, pues son el medio que se utiliza para la multiplicación vegetativa. Porciones lignificadas del tallo, comúnmente llamadas estacas o cangres, sirven como material de plantación para la producción comercial del cultivo”. (Suarez & Mederos, 2011).

“El tallo maduro es cilíndrico con diámetro entre 2-6 cm. Se pueden observar tres colores básicos de tallo maduro: gris-plateado, morado y amarillo verdoso. Tanto el diámetro y el color de los tallos varía con la edad y variedad” (Suarez & Mederos, 2011). Asimismo, “posee una yema axilar protegida por una escama y dos estípulas laterales. Considerar que el tallo es un registro perdurable de la historia del desarrollo de la planta que permite deducir las condiciones y eventos sucedidas”. (Suarez & Mederos, 2011).

“El centro del tallo está ocupado por una médula prominente, compuesta de células parenquimatosas. A medida que el diámetro del tallo aumenta, se acumulan grandes cantidades de

xilema que le dan al tallo maduro una consistencia leñosa, al generar súber”. (Suarez & Mederos, 2011).

### **Las hojas**

“Las hojas son simples. La lámina foliar es palmeada y profundamente lobulada. El número de lóbulos es variable y por lo general impar, oscilando entre 3 y 9. Los lóbulos miden 4-20 cm de longitud y 1-6 cm de ancho” (Suarez & Mederos, 2011).

“El color también es una característica varietal, pero que puede variar con la edad de la planta. Las hojas maduras pueden ser desde púrpura hasta verde. El pecíolo de la hoja puede tener una longitud entre 9 y 20 cm”. (Suarez & Mederos, 2011).

“Las hojas al igual que las raíces, tienen importantes usos. En el continente africano, estas son procesadas y utilizadas en el consumo humano, ya que tienen un alto valor nutricional con niveles elevados de proteína (18- 22%) en base seca”. (Suarez & Mederos, 2011).

### **Inflorescencia**

“La inflorescencia puede ser una panícula, un racimo o una combinación de los dos. Las flores tienen cinco tepalos y 10 estambres. con flores unisexuales masculinas y femeninas en una bráctea primaria y una bractéola, dentro de una misma planta”. (Suarez & Mederos, 2011).

“Las inflorescencias se forman a partir de yemas en el punto de inserción de las ramificaciones reproductoras. Ocasionalmente estas se desarrollan a partir de las yemas, en las axilas de las hojas de la parte superior de la planta”. (Suarez & Mederos, 2011).

“La flor masculina es esférica, con diámetro de aproximadamente 0.5 cm. Presenta un pedicelo recto y muy corto, mientras que el de la flor femenina es más grueso y largo. Los tépalos pueden ser amarillos, rojizos o morados”. (Suarez & Mederos, 2011).

### **Fruto**

“El fruto es una capsula de 1 a 2 cm de diámetro, aristado (seis aristas longitudinales, estrechas y prominentes), dehiscente y semicircular” (Suarez & Mederos, 2011).

“Al madurar la semilla, el epicarpo y el mesocarpo se secan. El endocarpo, que es de consistencia leñosa, se abre bruscamente cuando el fruto está maduro y seco, para liberar y dispersar, a cierta distancia, las semillas” (Suarez & Mederos, 2011).

### **Semilla**

“Es el medio de reproducción sexual de la planta. Esta es ovoide-elipsoidal y mide alrededor de 1 cm de largo, 6 mm de ancho y 4 mm de espesor. La testa es lisa, de color negrozco con moteado gris”. (Suarez & Mederos, 2011).

### **Raíz**

“Tiene raíces fibrosas, tiempo después una parte de ellas debido a la acumulación de almidón, y se denominan tuberosas. Este tipo de raíz es morfológica y anatómicamente igual a las fibrosas; la diferencia radica en la anterior posee crecimiento radial”. (Suarez & Mederos, 2011).

“Si la planta proviene de semilla se desarrolla una raíz primaria pivotante y varias de segundo orden, si proviene de estacas, las raíces son adventicias y se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca”. (Suarez & Mederos, 2011).

#### ***4.2.8. Estándares de calidad ambiental.***

“Son el conjunto de características del medio ambiente, relacionado con la disponibilidad y facilidad de acceso a los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos” (SINIA, 2010). Todo esto necesario para el mantenimiento y crecimiento de la calidad de vida de los seres humanos. Asociados a este concepto, se encuentran los términos “estándar de calidad

ambiental” y “límite máximo permisible”, “instrumentos de gestión ambiental que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas” (SINIA, 2010).

#### *4.2.8.1. Límites máximos permisibles (LMP).*

Son considerados “la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente” (MINAM, 2005, p. 34). La característica más importante de los LMP, es que legalmente su cumplimiento es exigible; es decir, el titular de la actividad productiva que no cumpla con los mismos puede ser pasible de sanción.

### **4.3. Marco legal.**

El Perú cuenta con una serie de Normas Legales que permiten manejar el problema de contaminación tanto de cuerpos de agua, suelo y salud humana por metales pesados, los mismos que regulan a partir de Estándares de calidad Ambiental, y Límites Máximos Permisibles las cantidades que son consideradas para poder mantenerse al margen de poner en peligro y riesgo la salud. Esta normativa es la siguiente:

- 1). Constitución Política del Perú.
- 2). Ley General de Salud, Ley N° 26842.
- 3). Ley General del Ambiente, Ley N° 28611.
- 4). Ley de Bases de la Descentralización, N° 27783.
- 5). Ley del Ministerio de Salud, Ley N° 27657.
- 6). Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, N° 27967.

- 7). Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N° 27972,
- 7). Ley N° 28804, Ley que Regula la Declaratoria de Emergencia Ambiental.
- 8). Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, Aprueba la Política Nacional del ambiente.
- 9). Decreto Supremo N° 024-2008 PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 28804, Ley que regula la declaratoria de Emergencia Ambiental.
- 10). Resolución Ministerial N° 389-2011-MINSA, que aprueba la “Guía Técnica: Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Arsénico.
- 11). Resolución Ministerial N° 757-2013-MINSA, que aprueba la Guía Técnica: Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Mercurio, y Guía Técnica: Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Cadmio.
- 12) Resolución Ministerial N° 511-2007 MINS “Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Intoxicación por Plomo”.
- 13). Resolución Ministerial N° 425-2008 MINS “Estrategia Sanitaria Nacional de Atención a Personas Afectadas por Contaminación Metales Pesados y otras Sustancias Químicas.

## **5. Hipótesis y variables**

### **5.1.Hipótesis.**

#### ***5.1.1. Hipótesis General.***

La actividad minera aurífera hace que la cantidad de metales pesados (Hg, Cd, As, Pb) se incremente en el suelo, y que estos se encuentren biodisponibles para los productos agrícolas.

#### ***5.1.2. Hipótesis específicas.***

Es posible caracterizar fisicoquímicamente los suelos agrícolas de la zona minera La Pastora.

Existen metales pesados en suelos y en productos agrícolas de la estación en la zona minera La Pastora.

Los niveles de metales pesados encontrados en relación a los estándares nacionales e internacionales son muy altos.

El grado de bioacumulación de metales pesados en suelos y productos agrícolas es normal.

### **5.2.Variables.**

#### ***5.2.1. Variable independiente o factores.***

- Suelo
- Producto Agrícola.

#### ***5.2.2. Variable dependiente o variable de respuesta.***

- Grado de concentración de metal pesado.

### **5.3.Dimensiones e indicadores.**

#### Indicadores:

-Variable dependiente o variable de respuesta:

#### **Suelo**

- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Granulometría.
- Materia Orgánica.

#### **Producto agrícola**

- Cd mg/Kg de producto.
- Pb mg/Kg de producto.
- Hg mg/Kg de producto.
- As mg/Kg de producto.

-Variable independiente o factores:

#### **Grado de concentración de Metales Pesados**

- Límites Máximos Permisibles (LMP).
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

## **6. Metodología**

### **6.1. Área de estudio**

El área de estudio comprende la Localidad de la Pastora, el cual se localiza en el distrito de Tambopata, perteneciente a la provincia de Tambopata del departamento de Madre De Dios, a 15 minutos de la Plaza de armas de la ciudad, vía Interoceánica, la cual, por el desvío de dirección a esta localidad, se encuentra en el margen derecho del Río Madre de Dios.

Esta área es frecuentemente usada por la minería aluvial aurífera, encontrándose esta actividad distribuida en ambos márgenes del río Madre de Dios, en una extensión de aproximadamente 3 Km a lo largo del río, utilizando como medio de obtención del oro aluvial las carrancheras y chupaderas.

Dentro de esta localidad, se seleccionó una parcela de cultivo de plátano y yuca, la cual se encuentra en las coordenadas geográficas, dicha parcela pertenece a la “Comunidad El Pilar”. De esta parcela se tomó las muestras de suelo, así como las de las plantas agronómicas para la determinación de metales pesados presentes en estos productos.

Así mismo se seleccionó el área de la carretera Tambopata, vía a la localidad de Infierno. En el Kilómetro 10, se encuentra la propiedad del Señor Julio Flores Panduro, de cuyo terreno se obtuvo las muestras de suelo y de los productos agrícolas yuca y plátano.

Esta área fue seleccionada ya que se usa como Punto de muestras Control, del cual se hará la comparación con las muestras de la zona minera, ya que esta zona de la Carretera Tambopata es considerada como Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata, y por estar dentro de un Área Natural Protegida las actividades extractivas y uso de los recursos naturales se encuentra restringido y controlado.

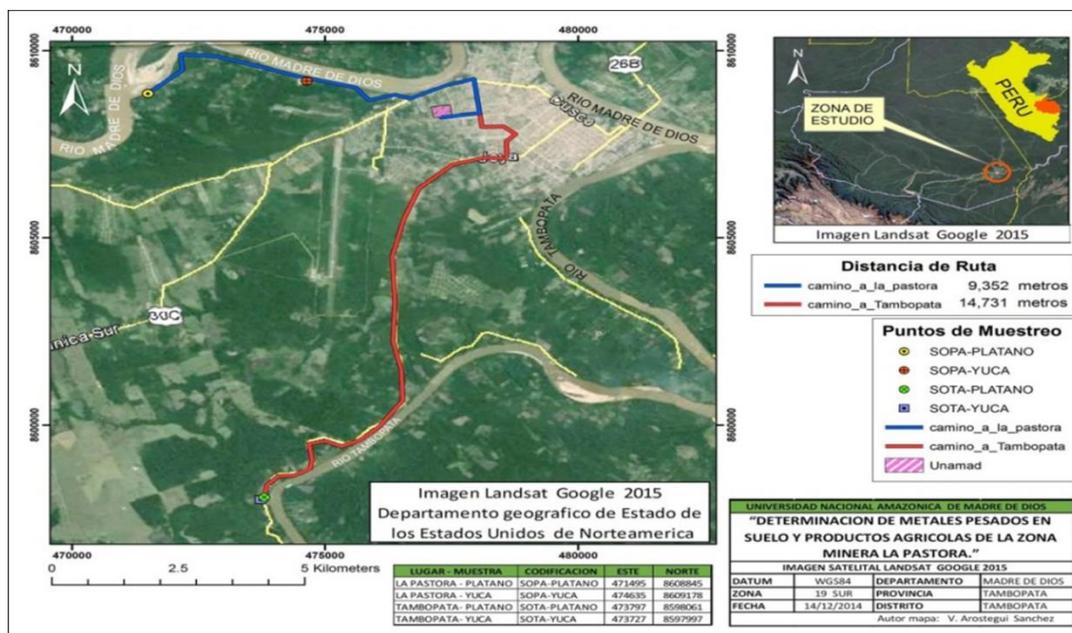


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo. Mapa georreferenciado de la zona de estudio "La Pastora".

Fuente: Elaboración propia, 2015.

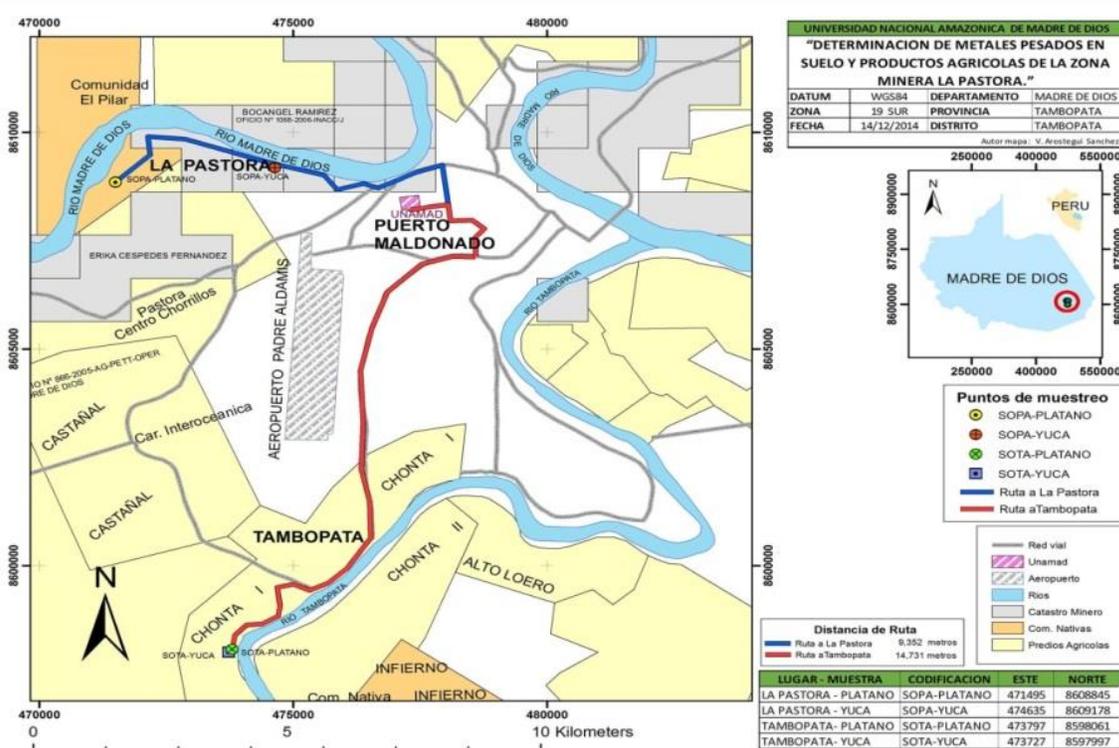


Figura 2. Mapa de predios agrícolas y concesiones mineras de la zona de estudio "la Pastora" y Zona Control km 10 carretera a Infierno (zona de Amortiguamiento de la RNT)

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## **6.2. Materiales y métodos.**

### **6.2.1. Materiales.**

#### **Equipos de Laboratorio**

- ICP-OES (espectrofotometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente).
- Espectrofotómetro de absorción atómica.
- Balanza Analítica.
- Mufla.
- Bomba de vacío.
- Compresora de aire.
- Extractor de gases.

#### **Materiales de Laboratorio**

- Matraz Kitasato
- Desecador
- Matraz aforado de 100, 250 500 y 1000ml de capacidad
- Embudo Buchner
- Matraz Erlenmeyer de 100,250, 500 ml de capacidad
- Pipeta volumétrica de 1, 5 y 10 ml
- Piceta
- Probeta

#### **Reactivos**

- Agua destilada
- Ácido clorhídrico y ácido sulfúrico concentrados

- Patrones de plomo, zinc, arsénico, cromo y cadmio de 1000 ppm
- Acetileno

### **Materiales de Gabinete y Campo**

- Mapa cartográfico digital escala de 1:200,000
- Cámara digital 7.2 pixeles
- GPS Garmin
- USB 16 GB
- Bolsas de polietileno
- Libreta de campo
- Machete
- Excavadora
- Marcadores
- Plumones indelebles

### **6.2.2. Métodos.**

#### *6.2.2.1. Diseño del estudio.*

El proyecto de investigación se fundamentó en una investigación descriptiva, transversal, exploratoria y relacional.

El estudio descriptivo se realizó para la identificación de los metales pesados en suelos y en productos agrícolas de la estación, la caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas y la comparación de la cantidad de metales pesados del suelo y productos agrícolas con los estándares nacionales e internacionales.

M1 ————— O1

M2 ————— O2

Donde:

M1 Muestra de suelo

M2 Muestra de producto agrícola

O1 y O2 Determinación de metales pesados

#### *6.2.2.2.Población.*

La población para el presente estudio de investigación estuvo determinada por el suelo y productos agrícolas de la zona con actividad minera de La pastora, distrito de Tambopata de Madre de Dios.

#### *6.2.2.3.Diseño muestral.*

Según el Protocolo de Muestreo de suelos del MINAM, 2014 se realizó lo siguiente:

Localización geográfica del sitio utilizando: UTM WGS 84.

- ✓ Muestreo de identificación (M.I).
- ✓ Patrón de muestreo: rejillas regulares.
- ✓ Muestras superficiales.
- ✓ Determinación de los puntos de muestreo: Número mínimo de puntos de muestreo 6 para media hectárea de la zona de estudio “La Pastora” (área potencial de interés) y media hectárea para la zona control Carretera Tambopata (Km 10).
- ✓ Diseño de muestra.

*Para suelo* Se seleccionó al azar 0,5 hectáreas donde se tomaron 6 muestras de suelo para dos tipos de cultivo: yuca y plátano, se realizaron los siguientes análisis: Análisis textural, capacidad de intercambio catiónico, elementos disponibles, metales pesados y metaloides (Hg, Cd, As, Pb).

*Para Muestras agrícolas* Se consideraron los cultivos de Yuca y Plátano, de los que se consideraron la raíz, tallo, hoja y fruto como muestras para el análisis de metales pesados y metaloides (Hg, Cd, As, Pb). Se evaluó la concentración de metales pesados en las partes comestibles de los productos agrícolas:

Plátano = Pulpa en fruta

Yuca = Órgano de almacenamiento de almidón. (Raíz)

Una vez seleccionado los puntos de muestreo de donde se tomarán las muestras de suelo seleccionadas también aleatoriamente dentro de cada hectárea, se procederá al muestreo de los productos agrícolas, el cual se realizará por conveniencia y al azar.

### **6.2.3. Población y muestra.**

#### *6.2.3.1. Población (universo).*

#### *6.2.3.2. Muestra*

### **Instrumentos técnicos de recolección de datos**

#### a) Para la toma de muestra

Los puntos de muestreo, fueron aleatoriamente seleccionados y por conveniencia de acuerdo al diseño muestral, se realizó en campo con la ayuda de la cartografía topográfica digital (1:10.000) y un GPS “Global Position System” (GPS 12 Garmin), del centro poblado La Pastora que permitió localizar el punto de muestreo con un error asociado inferior a 5 m.

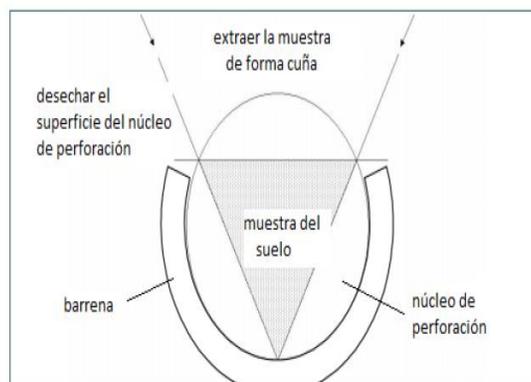
Se recabaron datos en la identificación y descripción de la zona de muestreo, utilizando fichas de campo y cadenas de custodia.

## b) Muestreo de Suelo

Para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pudieron aplicar sondeos manuales. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica, será necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. Otras técnicas alternativas para la toma de muestras superficiales pueden ser hoyos o zanjas.

En este tipo de muestras fue permisible tomar muestras compuestas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para la determinación de sustancias orgánica volátiles.

Grandes volúmenes de muestras (p.e. extraído de zanjas) requieren someterlas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se recomienda cuartear la muestra mezclada y repetir el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario, como se observa en la figura 3.



*Figura 3. Método de toma de muestra de suelo de un núcleo de perforación.*

Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4:2010, Alemania, adaptado.

Esta es la forma de toma de muestras superficiales compuestas para la evaluación de riesgos a la salud humana (p.e. cuando se tiene un contacto directo) o para la flora y fauna. En estos casos se recomienda un muestreo bidimensional, es decir, la toma de sub-muestras (10 – 25 unidades) en un área y una capa determinada y unir las sub-muestras individuales en una muestra compuesta.

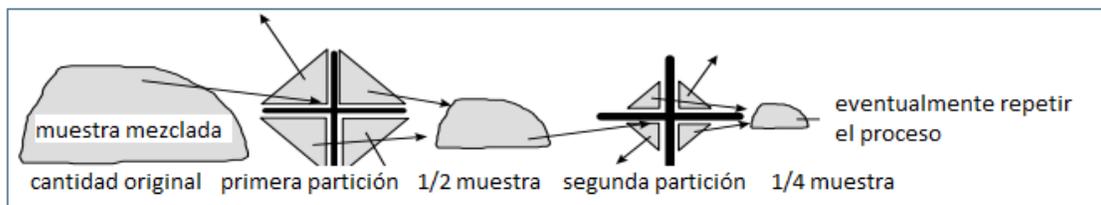


Figura 4. Partición de muestras de suelo.

Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4:2010, Alemania, adaptado.

El espesor de las capas con respecto al uso del suelo se indica en la Tabla 1. El número mínimo de muestras (compuestas) se desprende del área a estudiar de conformidad con el ítem 5.2.

Tabla 1. Profundidad del muestreo según el uso del suelo

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo Agrícola	0 – 30 cm (1) 30 – 60 cm
Suelo Residencial/Parques	0 – 10 cm (2) 10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm (2)

- 1) Profundidad de aradura
- 2) Capa de contacto oral o dermal de contaminantes
- 3) Profundidad máxima alcanzable por niños

Fuente: MINAM 2014.

De acuerdo a los parámetros a analizar se seleccionó el material del instrumento muestreador, recomendándose el uso de acero inoxidable o plástico, evitando el empleo de elementos cromados, pintados o con otro tratamiento de superficie.

Se limpió cuidadosamente el área a muestrear de cualquier desecho o escombros superficial (ramas, piedras, residuos, etc.). Cuando éste sea abundante se aconseja quitar los primeros cm en un área de 15 cm de radio. (Guía para muestreo de suelos - MINAM, 2014).

### Muestreo de cultivos agrícolas

“La concentración de elementos en las plantas varía, entre otros aspectos, en función de la disponibilidad del elemento en el ambiente (incluyendo el suelo), la especie vegetal y la parte del vegetal que se analiza” (Ernst, 1995). Además, en un mismo individuo la concentración de los diferentes elementos variará en función de su edad. “Por estos motivos el diseño de muestreo, al igual que en los suelos, viene condicionado fundamentalmente por el objetivo del estudio. Siendo éste la evaluación de la posible transferencia de metales, desde el suelo a la planta, y el posible riesgo en la cadena trófica, derivado de la concentración de metales, se realizó tomando muestras de la parte comestible, siguiendo además las directrices de la legislación sobre contenido de metales en alimentos” (DOCE, 2001).

“El muestreo de cultivos se centró en el fruto de plátano (*Musa paradisiaca*); y raíz de yuca (*Manihot sculenta*). Estos dos cultivos se pueden agrupar, en función de la parte comestible, en dos tipos de cultivos, cultivos de frutos y cultivos de raíz. El hecho de seleccionar dos tipos de cultivos diferentes permite comparar su comportamiento frente a la incorporación y acumulación de metales” Zheljzakov y Warman (2003). El plátano y la yuca se seleccionaron por ser cultivos importantes en la alimentación del poblador de la zona de estudio, para comparar con los resultados de otros estudios. Además, éstos son cultivos acumuladores. Estas razones son adecuadas para los estudios de fitodisponibilidad según el criterio para la selección de cultivos expuesto por Zheljzakov y Warman (2003).

Las muestras se obtuvieron de varios individuos, distribuidos al azar por la parcela, en cada una de las parcelas. La muestra se introdujo en una bolsa ziploc con cierre hermético que fue etiquetada, con el código de la muestra y la fecha.

## **Suelo**

Las muestras de suelo obtenidas se secaron en bandejas a temperatura ambiente, se tamizaron para eliminar restos de materia orgánica, basura y elementos gruesos. Se conservo en bolsas de polipropileno con cierre hermético para el análisis en el laboratorio, debidamente etiquetadas con el código de la muestra/parcela y la fecha de muestreo. Además, parte de la muestra, unos 50 g, guardo en contenedores de polipropileno para su conservación hasta la realización de los análisis.

## **Cultivos Agrícolas**

En primer lugar, para preparar las muestras de cultivos se aislaron completamente las partes comestibles que fueron el objeto de estudio. Seguidamente, se lavó con agua desmineralizada para eliminar los restos de suelo u otras partículas que pudieran estar adheridas al cultivo. De otro modo, estos restos podrían interferir en la determinación sesgando los resultados de la cuantificación de metales. Una vez limpios, los cultivos se trozaron y colocaron en papel de filtro (Resmar). Los pliegos de papel se introdujeron en una estufa, donde se colocaron a secar a 60 °C varios días hasta que perdieron toda el agua. Una vez seco el cultivo se pulverizó en un micromolino Culatti hasta obtener un tamaño de partícula de 0,5 mm.

El material pulverizado y homogeneizado se guardó en bolsas de polipropileno para su conservación hasta la realización del análisis.

### **Preparación inicial**

Se recomienda disponer de una masa de muestra de al menos 200 g.

-Productos frescos

Las verduras, patatas y frutas se limpian de insectos, tierra, etc. y productos adheridos y después se lavan con agua desionizada o destilada. Las frutas y patatas se secan con un paño, y las verduras se ponen a escurrir en un escurridor de plástico. De acuerdo con cada tipo de producto se quitan las raíces, tronco, hojas, etc., eliminando cualquier parte no comestible. Si es necesario, se vuelve a lavar con agua desionizada o destilada y se vuelve a secar.

Reducción del tamaño de partículas (molienda) y homogeneización.

Una parte representativa de la muestra, preparada según los procedimientos descritos anteriormente, se sometió dependiendo de la naturaleza del producto a distintos procesos de molienda, que se describen a continuación.

Vegetales, patatas y frutas se cortan en piezas pequeñas y se muelen en una batidora de cocina.

Conservación y almacenaje

Las muestras se deben almacenar de tal forma que no se produzcan cambios en su composición. Ciertos productos grasos (carnes, etc.) se conservaron en congelación.

Precauciones y advertencias

Pueden aparecer problemas de contaminación al trabajar con equipos y material de acero inoxidable o de hierro, sobre todo en la determinación de elementos como cromo, molibdeno, hierro y níquel. La posibilidad de contaminación de estos elementos por el equipo o material debe ser comprobado antes de su uso. En tales casos se deben usar aparatos especiales, tales como cuchillos de titanio y morteros de agar. (AESAN: Protocolo de preparación previa de muestras de alimentos, 2012).

Para el análisis fisicoquímico de la muestra de suelo

Sobre la tierra fina (<2mm) se determinaron, en el Laboratorio Ambiental de la UNAMAD, para los siguientes parámetros pH, granulometría, conductividad eléctrica (CE), y los porcentajes de materia orgánica, N, C y S y el contenido total de Hg, Cd, As, Pb se tomaron los servicios de la empresa CERPER - CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

### **Granulometría**

El contenido de arena, limo y arcilla se determinó con el método de Bouyoucos que analiza la distribución del tamaño de partículas en suelos mediante la densidad de la solución de sedimentación por un hidrómetro calibrado. Este análisis se basa en la ley de Stokes que se calcula la velocidad de caída de las partículas en función de su densidad, de su tamaño, de su viscosidad y densidad del líquido. Se precisa, por tanto, que las partículas que componen el suelo estén suspendidas en una solución acuosa.

### **Procedimiento**

Se pesó 40g de suelo y se añadirá 100 mL de agua y 5mL de alcohol amílico, se dejó empapar por 10 min. y se transfirió al recipiente de la batidora, luego se añadió agua destilada hasta la mitad de recipiente y se batió durante 5 min. Posteriormente se transfirió a una probeta enrasando con agua destilada hasta 1000 mL, se agitó con varilla de vidrio para luego introducir el densímetro, se tomó la lectura a los 30'', 1', 3', 480' y 1335'.

### **pH**

El pH es una valoración de la cantidad de  $[H^+]$  en la disolución que se forma al poner una determinada cantidad de agua destilada en contacto con una cantidad de suelo. Mide en escala

logarítmica y representa el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en disolución, expresado en moles/L ( $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ ).

#### Procedimiento

Se añadió 25 mL de agua destilada en (relación suelo: agua 1:2,5), se removió durante 5 minutos y se dejó reposar por 30 minutos. Se agitó nuevamente durante 1 minuto y se introdujo el electrodo para obtener la lectura (norma UNE 77305).

#### **Materia orgánica**

Para este procedimiento se siguió el método de pérdida de materia orgánica por ignición.

#### Procedimiento

Se utilizarán crisoles de porcelana los cuales deberán estar a peso constante, esto se logrará poniéndolos en una estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas. Después se enfriarán en el desecador por 30 minutos, para poder tomar su peso (se repetirá procedimiento hasta peso constante). Luego se agregará 5 gramos de suelo, se procederá a pesar, se colocará en la mufla a 600°C por dos horas, se retirará de la mufla y se dejará enfriar por 30 minutos en un desecador, una vez enfriado se pesará. Por diferencia de pesos se obtendrá la cantidad de materia orgánica.

#### **Conductividad eléctrica (CE)**

Indica la salinidad y concentración de elementos en la solución del suelo, se valoró en una relación suelo agua de 1/5.

#### Procedimiento

Se pesó 20 g de suelo y se introdujo en una botella de agitación, se le agregó 100 mL de agua destilada y se agitó durante 30 minutos, posteriormente se filtró con un embudo y papel filtro. Luego se extrajo una alícuota y se colocó en un vaso para su medición con un conductímetro. La

medida se comparó con una solución tampón con cloruro potásico a la misma temperatura (25°C), el resultado se expresó en dS/m.

### **Contenido de Metales Pesados**

El contenido de metales pesados se realizó en la empresa CERPER - CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A. por ICP y Espectrometría de fluorescencia atómica con generación de Hidruros (GH – AFS).

Para la determinación del índice de bioacumulación

Se determinó por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo, y para su interpretación se utilizó el grado de acumulación de: carencia 10<sup>-3</sup>, ligera 10<sup>-2</sup>, media 10<sup>-1</sup> e intensa 10<sup>1</sup> (según Mas y Azcue 1993).

### **6.3.Tratamiento estadístico**

Se utilizó estadística descriptiva, como medidas de tendencia central se calcularon media, mediana, valor mínimo y máximo. Como medida de dispersión se ha calculado la desviación estándar, percentil 25, percentil 50 (mediana), percentil 75 y distribución mediante el concepto de (media  $\pm$  0,67 (SD) = percentil 25 y 75).

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones medias de metales de la zona de muestreo, se utilizó un análisis no paramétrico de Tuckey. Adicionalmente, para encontrar la dependencia entre dos variables.

## 7. Resultados

### 7.1. Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas – plantación de yuca y plátano – zona minera la Pastora – zona control.

“Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, entre otras. La naturaleza de la contaminación y el origen de los metales y formas de deposición y condiciones medio ambientales producen acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos” (Sauquillo et al., 2003).

#### 7.1.1. Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas – plantación de yuca

A continuación se presenta la caracterización fisicoquímica de las muestras de suelos obtenidos de la zona de estudio y de la zona control.

Tabla 2. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de “La Pastora” - Plantación de Yuca.

Parámetros	Media	
pH	5,52	
CE (ds/m)	0,26	
P disponible mg/Kg	10	
K disponible mg/Kg	82	
Análisis textural franco limoso	% Arena	14
	% Limo	70
	% Arcillas	16
Capacidad de intercambio catiónico mg/100 g	Ca	4,23
	Mg	1,08
	K	0,36
	Na	0,8
	Al	0,02
	Suma de cationes	6,17
	CIC	6,30
	% M.O.	0,99
Elementos disponibles mg/Kg	CO <sub>2</sub> Ca %	< 0,10
	Ca	1352
	Mg	209
	SO <sub>4</sub>	106,74
	B	0,73
	Cu	2,43
	Fe	96,08
	Mn	7,41
Zn	0,86	

Fuente: Elaboración propia, 2014

En la tabla 2 muestra que el pH del suelo fue netamente ácido, debido a la presencia de cationes hidronio  $H^+$  y aluminio  $Al^{3+}$  cerca de la superficie de los coloides del suelo.

Respecto a la textura, se presenta una granulometría típica para este tipo de suelos, que está dominada por la fracción del Limo, siendo los contenidos de arcilla y arena muy bajos en relación a este; pudiéndose considerar como parte de la familia textural Limosa, en la que puede considerarse los espacios porosos de tamaño medio, producto de la sedimentación de suelos y arrastre por agua del material particulado. Por el tamaño de partículas existe una retención de materia orgánica, agua y gases en este suelo, siendo propicio a la vez para la retención de metales pesados, de acuerdo a las características de descomposición de materia orgánica.

Respecto a la Capacidad de Intercambio Catiónico, presenta valores altos de calcio Ca y magnesio Mg, siendo estos iones los más importantes para la fertilidad de los suelos, pero su concentración indicaría que existe saturación de bases,  $SO_4^{2-}$  y Fe. La presencia del Aluminio Al indica la acidez propia del suelo. Así mismo se puede mencionar que por la época de colecta de los suelos (secas), la humedad del suelo haya intensificado la presencia de estos iones. Se observa también la presencia de macro y micronutrientes, principalmente Sulfatos y Hierro.

Tabla 3. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de la Zona Control, Carretera Tambopata Infierno - Plantación de Yuca

Parámetros	Media		
pH	5,13		
CE (ds/m)	0,24		
P disponible mg/Kg	14,2		
K disponible mg/Kg	62		
Análisis textural franco	% Arena	47	
	% Limo	40	
	% Arcillas	12	
	Ca	1,59	
Capacidad de intercambio cationico mg/100 g	Mg	0,84	
	K	0,32	
	Na	0,57	
	Al	0,11	
	Suma de cationes	3,45	
	CIC	3,83	
	% M.O.	1,42	
	CO <sub>2ca</sub> %	< 0,10	
	Elementos disponibles mg/kg	Ca	506
		Mg	167
SO <sub>4</sub>		91,22	
B		0,73	
Cu		0,61	
Fe		46,78	
Mn		13,5	
Zn	1,2		

Fuente: Elaboración propia, 2014

De igual manera se tiene la caracterización físico química del suelo de producción de yuca en la zona control, donde el pH es ácido, que indica la existencia de una saturación de bases media, al igual que el suelo de la zona de estudio.

La textura presenta una granulometría media para este tipo de suelos, con presencia de Limo y Arena en la misma proporción, que corresponde a la familia textural Arena Limosa con espacios porosos de tamaño medio.

Respecto a la Capacidad de Intercambio Cationico, se presenta el calcio Ca y magnesio Mg con los valores más altos, iones importantes para la fertilidad de los suelos, pero su concentración indicaría que existe saturación de bases, así como la presencia del Al indica la acidez propia del suelo. Así mismo se puede mencionar que por la época de colecta de los suelos (secos) la humedad del suelo haya intensificado la presencia de estos iones. Se muestra también la presencia de macro y micronutrientes, principalmente Sulfatos y Hierro.

### 7.1.2. Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas – plantación de plátano

Tabla 4. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de “La Pastora”- Plantación de Plátano.

Parámetros	Media	
pH	6,69	
CE (ds/m)	0,38	
P disponible mg/Kg	1,8	
K disponible mg/Kg	92	
Análisis textural franco limoso	% Arena	16
	% Limo	64
	% Arcillas	20
Capacidad de intercambio catiónico mg/100 g	Ca	8,54
	Mg	1,48
	K	0,4
	Na	0,77
	Al	< 0,05
	Suma de cationes	11,19
	CIC	11,19
	% M.O.	2,01
	CO <sub>2</sub> Ca %	1,19
	Elementos disponibles mg/kg	Ca
Mg		265
SO <sub>4</sub>		38,51
B		0,99
Cu		2,04
Fe		73,83
Mn		5,41
Zn	1,12	

Fuente: Elaboración propia, 2014

La caracterización de este tipo de suelo de plantación de plátano, es muy diferente a la de yuca, en la que los componentes texturales determinan la granulometría característica y diferencial. Así se tiene que la concentración de Hidrogeniones es menos ácida, definitivamente por la mayor concentración de materia orgánica presente y las bases libres que se encuentran (CO<sub>2</sub>Ca) por lo que los requerimientos nutricionales de la planta son diferentes y que tiene a disposición gran cantidad de este, siendo esta condición la que permite que los metales pesados se mantengan en el suelo.

Respecto a la textura, se presenta una granulometría media para este tipo de suelos, con presencia de Limo, considerándose como suelo Limoso, en la que puede considerarse los espacios porosos de tamaño medio.

Respecto a la capacidad de intercambio catiónico, presento valor alto, por la presencia de iones y materia orgánica.

Tabla 5. Resultados Físico Químicos del suelo agrícola de la Zona Control – Carretera Tambopata Infierno - Plantación de Plátano

Parámetros	Media	
pH	5,04	
CE (ds/m)	0,23	
P disponible mg/Kg	13,1	
K disponible mg/Kg	59	
Análisis textural franco	% Arena	48
	% Limo	40
	% Arcillas	12
Capacidad de intercambio catiónico mg/100 g	Ca	1,69
	Mg	0,90
	K	0,35
	Na	0,59
	Al	0,11
	Suma de cationes	3,62
	CIC	3,82
	% M.O.	1,39
	CO <sub>2</sub> Ca %	< 0,10
	Elementos disponibles mg/kg	Ca
Mg		169
SO <sub>4</sub>		92,23
B		0,78
Cu		0,64
Fe		49,77
Mn		14,6
Zn	1,4	

Fuente: Elaboración propia, 2014

Las características fisicoquímicas del suelo de producción de plátano de la zona de control, presenta con una concentración de Hidrogeniones igualmente ácido, lo cual nos indica que existe una saturación de bases media.

La textura presentó una granulometría media con presencia de Arena y Limo el que se consideró parte de la familia textural Arena Limosa, con espacios porosos de tamaño medio.

Considerando la composición mineralógica de los suelos obtenidos en la presente investigación, en relación con las ocurrencias de canteras realizadas en la investigación “Estudio Geológico Económico de Rocas y Minerales Industriales de la Región de Madre de Dios”, y por la relación de la ubicación de las canteras con los puntos de muestreo se tiene:

Tabla 6. Relación de los Puntos de estudio con los de los Puntos de Estudio del INGEMMET - MEM

Puntos de estudio		Puntos según INGEMMET - MEM			
Punto de Muestreo	Ubicación UTM		Punto de Muestreo	Ubicación UTM	
La Pastora	8608845N	473797E	<b>Ocurrencia Diamante</b>	8606350N	450195E
	8609178N	474635E		8606350N	450195E
Carretera Tambopata	8598061N	473797E	<b>Ocurrencia la Torre II</b>	8592766N	475494E
	8597997N	473727E		8592766N	475494E

Fuente; Elaboración propia, 2015.

De acuerdo a las referencias y cercanía a los puntos de estudio de la presente investigación se señala:

**La zona de ocurrencia Diamante** está conformada por material arcilloso grisáceo, muy plástico y suave al tacto. Se presenta en capas sub horizontales, cuyo espesor aproximado es de 2 m. Tiene una sobrecarga de material limoso de 2 m de espesor. Estratigráficamente pertenece a la Formación Madre de Dios. La composición mineralógica de esta ocurrencia es:

Tabla 7. Composición Mineralógica de la Zona Diamante

Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
<b>Cuarzo</b>	SiO <sub>2</sub>	74.89
<b>Muscovita</b>	(K,Na)(Al,Ng,Fe) <sub>2</sub> (Si <sub>3.1</sub> Al <sub>0.9</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	11.27
<b>Clorita</b>	(Mg,Al, Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	7.65
<b>Microclina</b>	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3.27
<b>Augita</b>	Ca(Mg,Fe)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	1.29
<b>Magnesioantofilita</b>	Mg <sub>7</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	0.83
<b>Hematita</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.48
<b>Halita</b>	NaCl	0.32

Fuente; Elaboración propia, 2015.

**La zona de Ocurrencia de La Torre II** está conformada por material arcilloso de color marrón rojizo, de textura plástica, con un espesor aproximado de 5 m. Estratigráficamente pertenece a la Formación Madre de Dios. Y su composición mineralógica es:

*Tabla 8. Composición Mineralógica de la Zona la Torre II.*

<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	90.43
Muscovita	(K,Na)(Al,Ng,Fe) <sub>2</sub> (Si <sub>3.1</sub> Al <sub>0.9</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	2.53
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	2.40
Goethita	Fe <sub>3</sub> O(OH)	1.26
Augita	Ca(Mg,Fe)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0.88
Anortoclasa	(Na,K)(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>8</sub>	0.63
Pirofilita	Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	0.57
Anatasa	TiO <sub>2</sub>	0.50
Enstatita	MgSiO <sub>3</sub>	0.44
Gibbsita	Al(OH) <sub>3</sub>	0.33

Fuente; Elaboración propia, 2015.

#### Relación pH del suelo.

“El porcentaje de metales que puede ser absorbido por el suelo dependiendo del pH. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto el As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino” (Kabata-Pendias, 2000).

El pH de ambos suelos (control y estudio) estuvo por debajo de los valores medios (5,02 a 6,69); lo cual puede deberse a que los yacimientos en estas zonas de la Pastora y Carretera Tambopata son de tipo aluvial o placeres, constituidos por Filones de cuarzo asociados a varios

tipos de rocas ígneas como rocas primarias y la presencia de Pirita, galena y otros sulfuros, magnetita, ilmenita como asociaciones de minerales.

## **7.2.Resultados de los niveles de metales pesados en suelo y productos agrícolas.**

### ***7.2.1. Niveles de metales pesados en suelos y productos agrícolas: zona minera la Pastora – control: carretera Tambopata – Infierno.***

Para la determinación de metales pesados en los suelos agrícolas, se obtuvo las muestras del campo de las zonas de estudio, los cuales se llevaron al laboratorio y se secaron previamente los suelos en el horno, por un tiempo de 24 horas, luego se pesó las muestras (1Kg), se etiquetó y al cabo del mismo, se procedió a su empaque y codificación para el análisis correspondiente en el Laboratorio CERPER S.A.C.

Para los productos agrícolas de yuca y plátano de las zonas de estudio, se obtuvieron las muestras de los órganos de las plantas (raíz, tallo, hoja y fruto sólo para el plátano), los que fueron trasladados al laboratorio de la UNAMAD, para lavarlos, secarlos, pelarlos, trozarlos y pesarlos (250 g), (Parte comestible de la Yuca, raíz; y la parte comestible del plátano, fruto) los cuales se etiquetaron y codificaron para su empaque y envío al laboratorio CERPER S.A.C.

Así mismo se consideró los Estándares de Calidad de Suelo Agrícolas otorgados por el Ministerio del Ambiente desde 2014 (MINAM 20014) para la comparación de los resultados obtenidos de suelos de las zonas de estudio y para los productos agrícolas se compararon los resultados con los Estándares de la Agencia de Protección Medioambiental Americano para el

consumo humano (EPA) para el caso del Mercurio, y para los otros metales como Arsénico, Cadmio y Plomo, con los Contenidos Máximos según Kabata-Pendias (2000; Chile-INN)

### Mercurio

De las muestras de suelos y productos agrícolas se obtuvo el Mercurio Total de ambas zonas de estudio, a través del análisis de laboratorio realizado por CERPER S.A.C.

*Tabla 9. Niveles de Mercurio en Suelo Agrícola – Plantación de yuca de las zonas de estudio.*

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de yuca "Zona minera la Pastora"	Plantación de yuca "Control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAN, 2014)
	MEDIA	MEDIA	
Hg	<0.010	<0.010	6.6

Fuente: Elaboración propia (2015)

De acuerdo a los análisis de suelo agrícola con plantación de yuca realizados para Mercurio en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Mercurio presente en el suelo de la Zona minera “La Pastora” y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue de < 0.010 mg/Kg, los cuales este valor no supera los ECA’s para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 6.6 mg/Kg.

*Tabla 10. Niveles de Mercurio en yuca de las zonas de estudio*

Plantación de yuca – Mercurio mg/kg			
Tejido	Pastora	Tambopata (control)	Estándares de la agencia de protección medioambiental americano para el consumo humano (EPA)
Raíz	0.1842	< 0.010	0.3
Tallo	0.0832	< 0.010	0.3
Hoja	0.04	< 0.010	0.3

Fuente: Elaboración propia (2015)

Así mismo, los análisis de los órganos de la Yuca realizados para Mercurio en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Mercurio presente en la raíz es el más alto respecto a los otros órganos, siendo 0.1842 mg/kg, seguido de tallo con 0.0832 mg/Kg, y finalmente la hoja con 0.04 mg/Kg de la Zona minera “La Pastora” y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno se tiene para todos los órganos un valor de  $< 0.010$  mg/Kg, el cual estos valores registrados de ambas zonas de estudio no superan los Estándares de la Agencia de Protección Ambiental Americano para el Consumo Humano, que es de 0.3 mg/Kg. Cuya representación gráfica se representa en la figura 5.

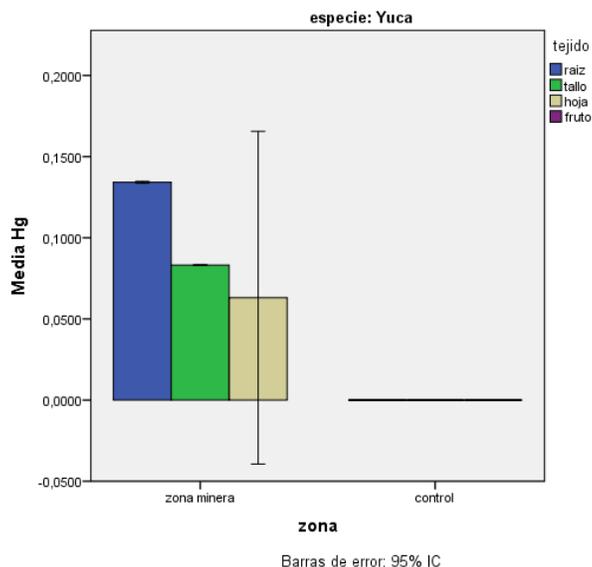


Figura 5. Niveles de mercurio en yuca de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015).

Tabla 11. Niveles de Mercurio en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de plátano "Zona minera la Pastora"	Plantación de plátano "Control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAN, 2014)
	Media	Media	
Hg	<0.010	<0.010	6.6

Fuente: Elaboración propia (2015)

Los análisis de suelo agrícola con plantación de plátano realizados para Mercurio en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Mercurio presente en el suelo de la Zona minera “La Pastora” y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue de  $< 0.010$  mg/Kg, los cuales este valor no supera los ECA’s para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 6.6 mg/Kg.

*Tabla 12. Niveles de Mercurio en Plátano de las zonas de estudio*

<b>Plantación de Plátano – Mercurio Mg/Kg</b>			
Tejido	Pastora	Tambopata (control)	Contenidos máximos
Raíz	0.4509	0.2808	0.3
Tallo	0.02	0.177	0.3
Hoja	$< 0.010$	$< 0.010$	0.3
Fruto	$< 0.002$	$< 0.002$	0.3

Fuente: Elaboración propia (2015)

Para los análisis de los órganos del Plátano realizados para Mercurio en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Mercurio presente en la raíz es el más alto respecto a los otros órganos, siendo 0.4509 mg/kg, seguido de tallo con 0.02 mg/Kg, luego las hojas con  $<0.010$  mg/Kg y finalmente el fruto con  $<0.002$  mg/Kg de la Zona minera “La Pastora” y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno se tiene de igual forma la raíz con un nivel de mercurio de 0.2808 mg/Kg, seguido por el tallo con 0.177 mg/Kg, luego las hojas con  $<0.010$  mg/Kg y finalmente el fruto con  $<0.002$  mg/Kg , estos valores registrados de ambas zonas de estudio no superan los Estándares de la Agencia de Protección Ambiental Americano para el Consumo Humano, que es de 0.3 mg/Kg. Cuya representación gráfica se representa en la Figura 6.

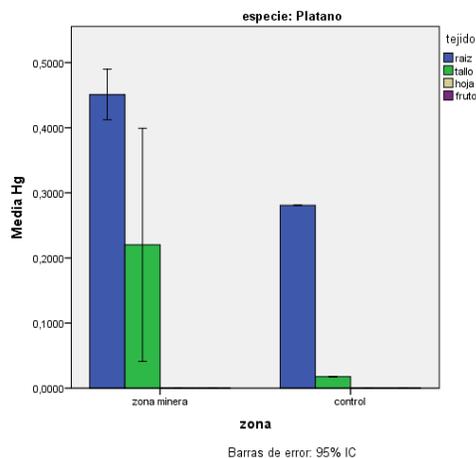


Figura 6. Niveles de mercurio en plátano de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015)

### Arsénico

La determinación de Arsénico en el laboratorio CERPER S.A.C. fue el de Arsénico Total para las muestras de suelo y de productos agrícolas.

Tabla 13. Niveles de Arsénico en Suelo Agrícola - Plantación de Yuca de las zonas de estudio.

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de yuca "Zona minera la Pastora"	Plantación de yuca "Control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAN, 2014)
	Media	Media	
As	6.268	2.941	50

Fuente: Elaboración propia (2015)

De acuerdo a los análisis de suelo agrícola con plantación de yuca realizados para Arsénico en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Arsénico presente en el suelo de la Zona minera "La Pastora" fue de 6.268 mg/Kg y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue de 2.941 mg/Kg, los cuales estos valores no superan los ECA's para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 50 mg/Kg.

Tabla 14. Niveles de Arsénico en Yuca de las zonas de estudio

Plantación de yuca – Arsénico mg/kg			
Tejido	Pastora	Tambopata (control)	Contenidos máximos (Kabata-Pendias, 2000; Chile-INN)
Raíz	2.9515	< 0.050	1.7
Tallo	2.9412	0.1999	1.7
Hoja	< 0.050	< 0.050	1.7

Fuente: Elaboración propia (2015)

Los resultados de los análisis de los órganos de Yuca para Arsénico realizados en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Arsénico presente en la raíz y el tallo son casi similares con valores de 2.9515 mg/Kg y 2.9412 mg/Kg de Arsénico respectivamente, finalmente las hojas contienen valores <0.050 mg/Kg de Arsénico en la zona minera de “La Pastora”, mientras que para la Zona Control, los valores obtenidos son de <0.050 mg/Kg de Arsénico en la raíz, 0.1999 mg/Kg de Arsénico para el tallo y de <0.050 mg/Kg de Arsénico para las hojas de la Yuca., estos valores registrados de ambas zonas de estudio no superan los Contenidos Máximos (Kabata – Pendias, 2000; Chile INN) que es 1.7 mg/Kg de Arsénico. Cuya representación gráfica se representa en la Figura 7.

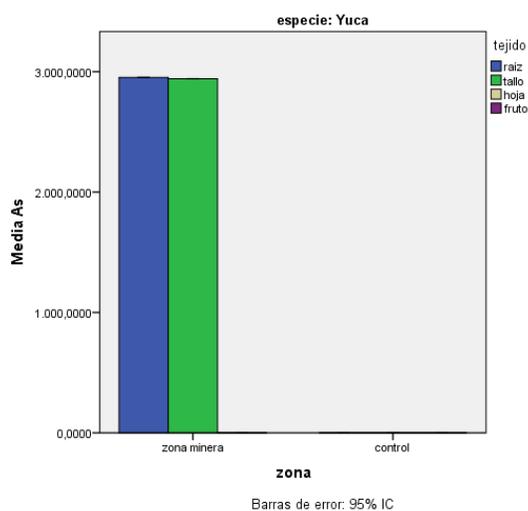


Figura 7. Niveles de Arsénico en Yuca de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 15. Niveles de Arsénico en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio.

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de plátano "Zona minera la Pastora"	Plantación de plátano "Control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAN, 2014)
	Media	Media	
As	6.558	4.471	50

Fuente: Elaboración propia (2015)

De acuerdo a los análisis de suelo agrícola con plantación de Plátano realizados para Arsénico en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Arsénico presente en el suelo de la Zona minera “La Pastora” fue de 6.558 mg/Kg y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue de 4.471 mg/Kg, los cuales estos valores no superan los ECA’s para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 50 mg/Kg.

Tabla 16. Niveles de Arsénico en Plátano de las zonas de estudio

Plantación de plátano – Arsénico Mg/Kg			
Tejido	Pastora	Tambopata (Control)	Contenidos máximos (kabata-Pendias, 2000; Chile-INN)
Raíz	0,8199	0,653	1,7
Tallo	< 0,0525	< 0,050	1,7
Hoja	< 0,050	< 0,050	1,7
Fruto	< 0,06	< 0,06	1,7

Fuente: Elaboración propia (2015)

Los resultados de los análisis de los órganos de Plátano para Arsénico realizados en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Arsénico presente en la raíz fue de 0.8199 mg/Kg de Arsénico, en el tallo se tuvo el valor <0.0525 mg/Kg de Arsénico, para las hojas se obtuvo un valor <0.050 mg/Kg de Arsénico y finalmente en el fruto se obtuvo un valor <0.06 mg/Kg de Arsénico en la zona minera de “La Pastora”, mientras que para la Zona Control, los valores obtenidos son de 0.653 mg/Kg de Arsénico en la raíz, valores <0.050 mg/Kg de Arsénico para el tallo y las hojas

respectivamente y tallo y de  $<0.050$  mg/Kg de Arsénico para las hojas de la Yuca., y para el fruto del plátano se obtuvo un valor  $<0.06$  mg/kg, estos valores obtenidos para ambas zonas de estudio no superan los Contenidos Máximos (Kabata – Pendias, 2000; Chile INN) que es de 1.7 mg/Kg de Arsénico. Cuya representación gráfica se representa en la Figura 6.

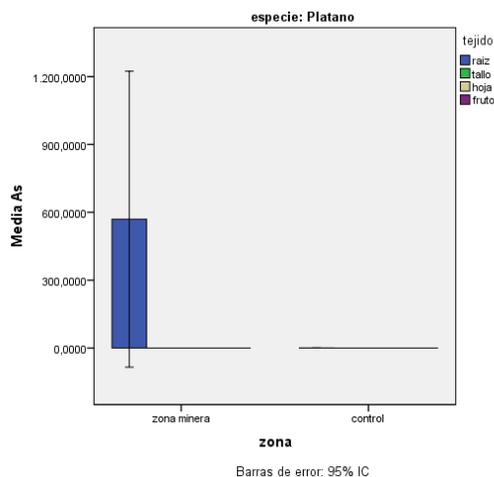


Figura 8. Niveles de Arsénico en Plátanos de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015)

## Cadmio

La determinación de Cadmio en el laboratorio CERPER S.A.C. fue el de Cadmio Total para las muestras de suelo y de productos agrícolas.

Tabla 17. Niveles de Cadmio en Suelo Agrícola - Plantación de Yuca de las zonas de estudio

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de yuca "Zona minera la Pastora"	Plantación de yuca "Control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAN, 2014)
	Media	Media	
Cd	0.7959	<0.02	1.4

Fuente: Elaboración propia (2015)

De acuerdo a los análisis de suelo agrícola con plantación de Yuca realizados para Cadmio en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Cadmio presente en el suelo de la Zona minera “La Pastora” fue de 0.7959 mg/Kg y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue < 0.02 mg/Kg, los cuales estos valores no superan los ECA’s para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 1.4 mg/Kg.

*Tabla 18. Niveles de Cadmio Yuca de las zonas de estudio*

<b>Plantación de yuca – Cadmio mg/kg</b>			
Tejido	Pastora	Tambopata (Control)	Contenidos máximos (Kabata-Pendias, 2000; Chile-INN)
Raíz	0.3916	< 0.020	0.5
Tallo	0.738	< 0.020	0.5
Hoja	0.2145	0.1248	0.5

Fuente: Elaboración propia (2015)

Para los resultados de los análisis de los órganos de Yuca para Cadmio realizados en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Cadmio presente en la raíz fue de 0.3916 mg/Kg de Cadmio, en el tallo se tuvo un valor de 0.738 mg/Kg de Cadmio y para las hojas se obtuvo un valor de 0.2145 mg/Kg de Cadmio en la zona minera de “La Pastora”, mientras que para la Zona Control, los valores obtenidos fueron de valores <0.020 mg/Kg de Cadmio para la raíz y el tallo respectivamente, y de 0.1248 mg/Kg de cadmio para las hojas de la Yuca, estos valores obtenidos para ambas zonas de estudio no superan los Contenidos Máximos (Kabata – Pendias, 2000; Chile INN) que es de 0.5 mg/Kg de Arsénico. Cuya representación gráfica se representa en la Figura 7.

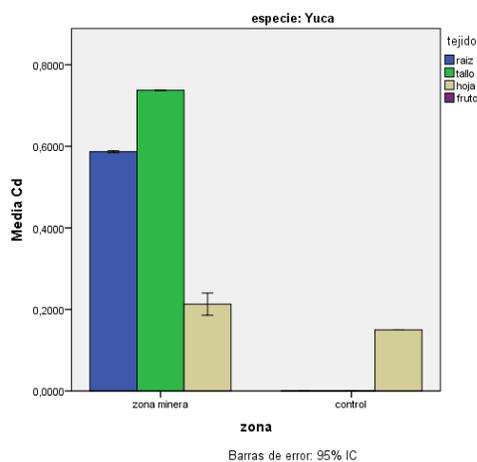


Figura 9. Niveles de cadmio en plátano de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 19. Niveles de Cadmio en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de plátano "Zona minera la Pastora"	Plantación de plátano "control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAN, 2014)
	Media	Media	
Cd	0,8447	<0,02	1,4

Fuente: Elaboración propia (2015)

Los resultados de los análisis de suelo agrícola con plantación de Plátano realizados para Cadmio en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Cadmio presente en el suelo de la Zona minera “La Pastora” fue de 0.8447 mg/Kg y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue de < 0.02 mg/Kg, los cuales estos valores no superan los ECA’s para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 1.4 mg/Kg.

Tabla 20. Niveles de Cadmio Plátano de las zonas de estudio

<b>Plantación de plátano – Cadmio mg/kg</b>			
Tejido	Pastora	Tambopata (control)	Contenidos máximos (Kabata-Pendias, 2000; Chile-INN)
Raíz	0,1549	0,17665	0,5
Tallo	0,04	0,0330	0,5
Hoja	< 0,020	< 0,020	0,5
Fruto	< 0,05	< 0,05	0,5

Fuente: Elaboración propia (2015)

Para los resultados de los análisis de los órganos de Plátano para Cadmio realizados en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Cadmio presente en la raíz fue de 0.1549 mg/Kg de Cadmio, en el tallo se tuvo un valor de 0.04 mg/Kg de Cadmio, para las hojas se obtuvo un valor < 0.020 mg/Kg de Cadmio y en el fruto se obtuvo < 0.05 mg/Kg de cadmio en la zona minera de “La Pastora”, mientras que para la Zona Control, los valores obtenidos fueron de 0.17665 mg/Kg de Cadmio para la raíz , 0.0330 mg/Kg de Cadmio para el tallo, valores <0.020 mg/Kg de Cadmio para las hojas del Plátano, y finalmente valores < 0.05 mg/Kg de Cadmio para el fruto de plátano, estos valores obtenidos para ambas zonas de estudio no superan los Contenidos Máximos (Kabata – Pendias, 2000; Chile INN) que es de 0.5 mg/Kg de cadmio. Cuya representación gráfica se representa en la Figura 8.

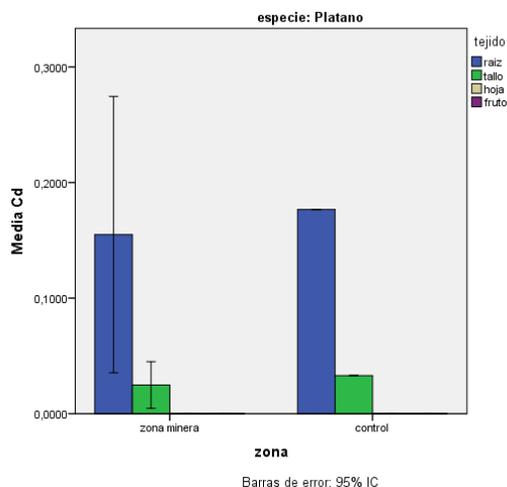


Figura 10. Niveles de cadmio en plátano de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015)

## Plomo

La determinación de Plomo en el laboratorio CERPER S.A.C. fue el de Plomo Total para las muestras de suelo y de productos agrícolas.

Tabla 21. Niveles de Plomo en Suelo Agrícola - Plantación de Yuca de las zonas de estudio

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de yuca "Zona minera la Pastora"	Plantación de yuca "Control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAN, 2014)
	Media	Media	
Pb	12.64	5.781	70

Fuente: Elaboración propia (2015)

Los resultados de los análisis de suelo agrícola con plantación de Yuca realizados para Plomo en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Plomo presente en el suelo de la Zona minera "La Pastora" fue de 12.64 mg/Kg y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue de <5.781 mg/Kg, los cuales estos valores no superan los ECA's para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 70 mg/Kg.

Tabla 22. Niveles de Plomo en Yuca de las zonas de estudio

Plantación de yuca – Plomo mg/kg			
Tejido	Pastora	Tambopata (control)	Contenidos máximos (Kabata-Pendias, 2000; Chile-INN)
Raíz	5,8125	0,2221	5,0
Tallo	5,7822	0,2786	5,0
Hoja	0,0496	< 0,020	5,0

Fuente: Elaboración propia (2015)

Para los resultados de los análisis de los órganos de Yuca para Plomo realizados en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Plomo presente en la raíz fue de 5.8125 mg/Kg de Cadmio, en el tallo se tuvo un valor de 5.7822 mg/Kg de Plomo y para las hojas se obtuvo un valor de 0.0496 mg/Kg de Plomo en la zona minera de “La Pastora”, mientras que para la Zona Control, los valores obtenidos fueron de 0.2221 mg/Kg de Plomo para la raíz , 0.2786 mg/Kg de Plomo para el tallo y valores <0.020 mg/Kg de Plomo para las hojas de yuca, estos valores obtenidos para ambas zonas de estudio no superan los Contenidos Máximos (Kabata – Pendias, 2000; Chile INN) que es de 5.0 mg/Kg de cadmio. Cuya representación gráfica se representa en la Figura 9.

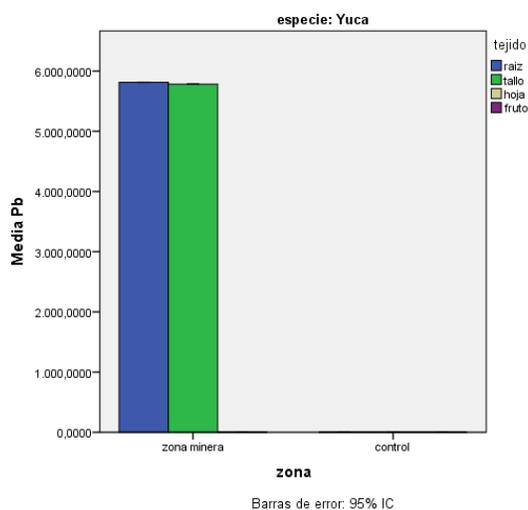


Figura 11. Niveles de cadmio en plátano de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 23. Niveles de Plomo en Suelo Agrícola - Plantación de Plátano de las zonas de estudio

Metales pesados mg/kg	Muestras de suelo agrícola		
	Plantación de plátano "Zona minera la Pastora"	Plantación de plátano "Control carretera Tambopata - Infierno"	Estándares calidad para suelo agrícola (MINAM, 2014)
	Media	Media	
Pb	9.391	8,645	70

Fuente: Elaboración propia (2015)

Los resultados de los análisis de suelo agrícola con plantación de Plátano realizados para Plomo en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de Plomo presente en el suelo de la Zona minera “La Pastora” fue de 9.391 mg/Kg de Plomo y para la zona Control de la Carretera Tambopata – Infierno fue de 8.645 mg/Kg de Plomo, los cuales estos valores no superan los ECA’s para suelo agrícolas según el MINAM, que es de 70 mg/Kg.

Tabla 24. Niveles de Plomo en Plátano de las zonas de estudio

<b>Plantación de plátano – Plomo mg/kg</b>			
Tejido	Pastora	Tambopata (control)	Contenidos máximos (Kabata-Pendias, 2000; Chile-INN)
Raíz	1,07805	0,8468	5,0
Tallo	0,0729	0,04	5,0
Hoja	0,2104	0,0254	5,0
Fruto	< 0,1	< 0,1	5,0

Fuente: Elaboración propia (2015)

Para los resultados de los análisis de los órganos de Plátano para Plomo realizados en laboratorio, se obtuvo que el Nivel de plomo presente en la raíz fue de 1.07805 mg/Kg de Plomo, en el tallo se tuvo un valor de 0.07290 mg/Kg de Plomo, para las hojas se obtuvo un valor de 0.2104 mg/Kg de Plomo y en el fruto se obtuvo < 0.1 mg/Kg de Plomo en la zona minera de “La Pastora”, mientras que para la Zona Control, los valores obtenidos fueron de 0.8468 mg/Kg de Plomo para la raíz, 0.04 mg/Kg de Plomo para el tallo, valores de 0.0254 mg/Kg de Plomo para

las hojas del Plátano, y finalmente valores  $< 0.1$  mg/Kg de Plomo para el fruto de plátano, estos valores obtenidos para ambas zonas de estudio no superan los Contenidos Máximos (Kabata – Pendias, 2000; Chile INN) que es de 5.0 mg/Kg de cadmio. Cuya representación gráfica se representa en la Figura 10.

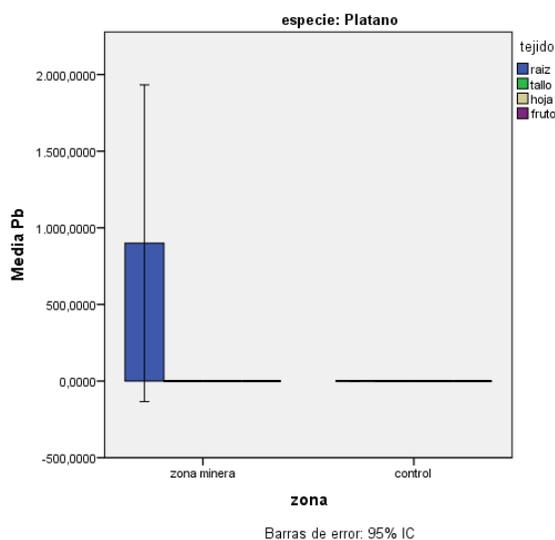


Figura 12. Niveles de Plomo en plátano de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2015)

### 7.2.2. Niveles de metales pesados en los órganos de yuca (zona control y zona minera la Pastora).

En resumen, se indica que, en la Zona minera de la Pastora, se tiene mayor Nivel de concentración de Plomo en la raíz de Yuca (5.8125 mg/Kg), al igual que los Niveles de Plomo son más altos en el Tallo de la Yuca de la Zona de “La Pastora” (5.7822 mg/Kg), y se presenta mayor contenido de Cadmio en las Hojas de la Zona minera “La Pastora” (0.2145 mg/Kg).

Tabla 25. Niveles de Metales Pesados en Órganos de Yuca de las zonas de estudio

Metales pesados	Raíz mg/kg		Tallo mg/kg		Hoja mg/kg	
	Control	La Pastora	Control	La Pastora	Control	La Pastora
<b>Mercurio</b>	<0,010	0,01842	<0,010	0,0832	<0,010	0,04
<b>Arsénico</b>	0,050	2,9515	0,199	2,942	<0,050	<0,070
<b>Cadmio</b>	<0,020	0,03916	<0,020	0,38	0,1248	<b>0,2145</b>
<b>Plomo</b>	0,02221	<b>5,8125</b>	0,2786	<b>5,7822</b>	0,020	0,0496

Fuente: Elaboración propia (2015)

### 7.2.3. Niveles de metales pesados en los órganos de plátano (zona control y zona minera la Pastora).

La tabla indica que existe mayores niveles de Plomo en la Raíz de la Zona minera “La Pastora” (1.07805 mg/Kg), en el tallo (0.0729 mg/Kg), Hoja (0.2104 mg/Kg) y fruto (<0.01 mg/Kg).

Tabla 26. Niveles de Metales Pesados en Órganos de Plátano de las zonas de estudio

Metales pesados	Raíz mg/kg		Tallo mg/kg		Hoja mg/kg		Fruto mg/Kg	
	Control	La Pastora	Control	La Pastora	Control	La Pastora	Control	La Pastora
<b>Mercurio</b>	0,2808	0,4509	0,177	0,020	<0,010	<0,010	<0,002	<0,002
<b>Arsénico</b>	0,653	0,8199	<0,050	<0,0525	<0,050	<0,050	<0,006	<0,006
<b>Cadmio</b>	0,17665	0,1549	0,0030	0,040	<0,020	<0,020	<0,005	<0,005
<b>Plomo</b>	0,8468	<b>1,07805</b>	0,040	<b>0,0729</b>	0,0254	<b>0,2104</b>	<0,01	<b>&lt;0,01</b>

Fuente: Elaboración propia (2015)

### **7.3.Resultados del grado de bioacumulación de metales pesados y metaloides en suelo y productos agrícolas.**

Según Vig et al. 2003; “la capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. Estas diferencias en la absorción de metales pueden ser atribuidas precisamente a la capacidad de retención del metal en cuestión, por el suelo de cultivo y a la interacción planta-raíz-metal y al metabolismo vegetal propio”.

“La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. En plantas, el concepto de bioacumulación se refiere a la agregación de contaminantes; algunos de ellos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros” (Kabata-Pendias, 2000).

“Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno” (Baker, 1981; Barceló et al., 2003)

“Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos” (Kabata-Pendias, 2000). La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes.

Los Productos agrícolas utilizadas en la presente investigación, Yuca y Plátano, presentan abundante biomasa (raíz y fruto respectivamente), lo cual hace que el proceso de bioacumulación de los metales pesados sea inverso, mientras mayor biomasa presente las plantas, existe menos bioacumulación en las partes aéreas de las plantas, por tanto el fruto del Plátano no se ve afectado por la presencia de niveles altos de metales pesados; así mismo en el proceso de traslocación de metales en la planta los metales van disminuyendo su concentración hacia las partes aéreas superiores de la planta; sin embargo en el caso de la yuca, por tener mayor biomasa no debería tener concentración de metales, pero como la raíz es comestible esta almacena mayor cantidad de metales pesados.

### ***7.3.1. Grado de bioacumulación en yuca.***

Para la determinación del grado de Bioacumulación de metales pesados se ha utilizado el método Adaptado según Mas & Azcue (1993). “El cual relaciona, el grado de Bioacumulación de metales con los Índices de Bioacumulación de metales y lo cualifica en: Carente, Ligero, Medio e Intenso”.

A continuación, se presenta el grado de Biocumulación de los metales pesados (Mercurio, Arsénico, Cadmio y Plomo) en los productos agrícolas yuca y plátano de la zona minera “La Pastora” y la Zona de Control (Carretera Tambopata – Infierno).

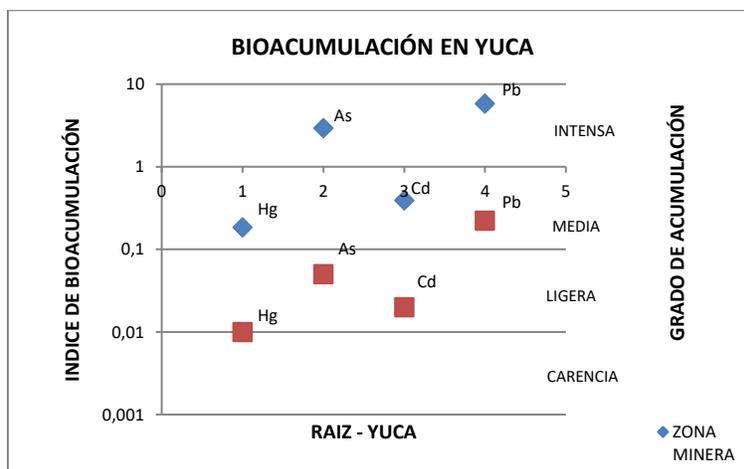


Figura 13. Grado de bioacumulación de metales pesados en raíz de yuca.

Fuente: Elaboración propia (2015)

Según la Figura 12, se tiene que los niveles de Plomo para la raíz de la yuca, para la zona minera “La Pastora” es **Intensa**, mientras que para la Zona Control es **Media**.

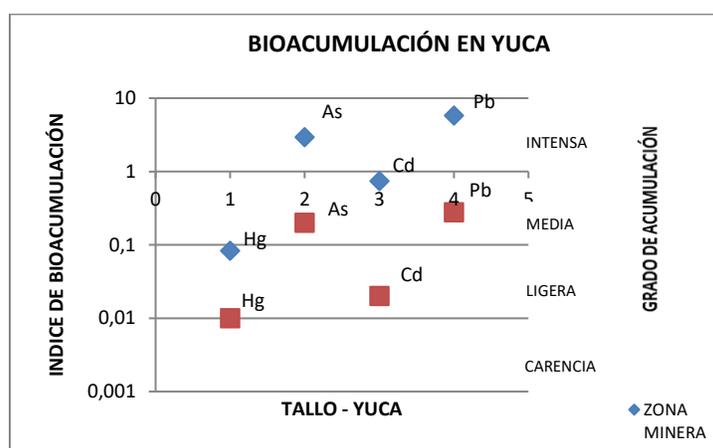


Figura 14. GRado de bioacumulación de metales pesados en tallo de yuca.

Fuente: Elaboración propia (2015)

La figura 12, muestra que, en el grado de Bioacumulación de metales pesado, se tiene que los niveles de Plomo para el tallo de la yuca, para la zona minera “La Pastora” es **Intensa**, mientras que para la Zona Control es **Media**.

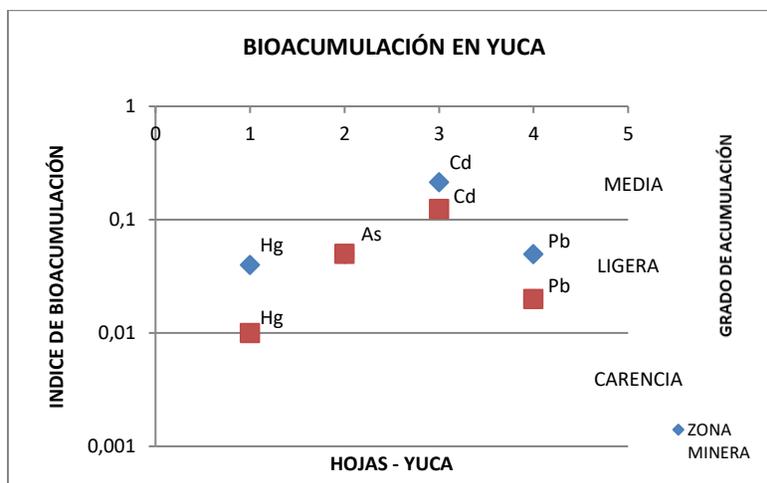


Figura 15. Grado de bioacumulación de metales pesados en hojas de yuca.

Fuente: Elaboración propia (2015)

En la figura 13, el nivel de metal pesados más altos es para el Cadmio, tanto para la zona minera “La Pastora”, como para la Zona Control (Carretera Tambopata – Infierno) en las hojas de la Yuca, con un grado de bioacumulación Medio.

### 7.3.2. Grado de bioacumulación en plátano.

Para la determinación del grado de Bioacumulación de metales pesados se ha utilizado el método Adaptado según Mas & Azcue (1993). “El cual relaciona, el grado de Bioacumulación de metales con los Índices de Bioacumulación de metales y lo cualifica en: Carente, Ligero, Medio e Intenso”.

Se presenta el grado de Bioacumulación de los metales pesados (Mercurio, Arsénico, Cadmio y Plomo) en los productos agrícolas yuca y plátano de la zona minera “La Pastora” y la Zona de Control (Carretera Tambopata – Infierno).

La figura 16, muestra que el total de metales pesados (Mercurio, Arsénico, Cadmio y Plomo) para la raíz del Plátano presentan un grado de Bioacumulación **Media**.

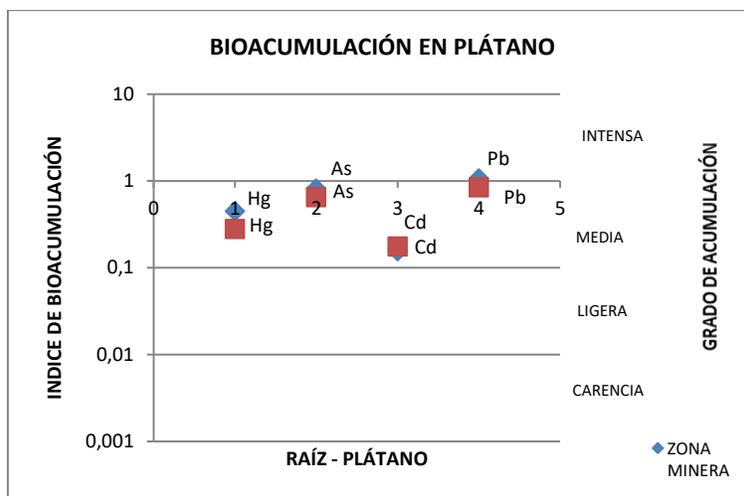


Figura 16. Grado de bioacumulación de metales pesados en raíz de plátano.

Fuente: Elaboración propia (2015)

La figura 17, señala que en la Zona Control (Carretera Tambopata – Infierno) se presenta el mayor Grado de Bioacumulación de Mercurio en el Tallo del Plátano, considerándose como grado de Bioacumulación **Media**. Y el resto de los metales pesados (Arsénico, Cadmio y Plomo) tanto para la Zona Control como para la zona Minera “La Pastora” tienen un grado de bioacumulación **Ligera**.

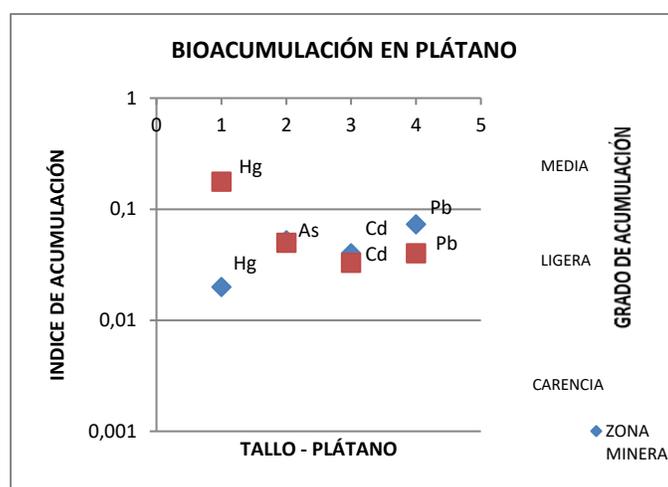


Figura 17. Grado de bioacumulación de metales pesados en tallo de plátano.

Fuente: Elaboración propia (2015)

En la figura 18, se muestra el Plomo presente en las hojas del Plátano presentan un grado de bioacumulación **Media**.

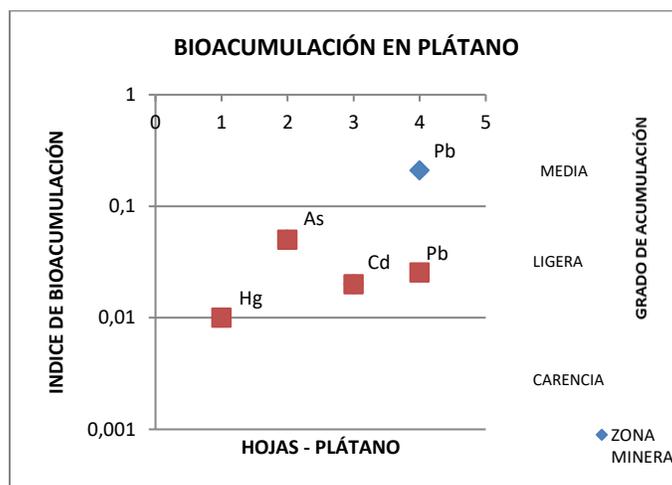


Figura 18. Grado de Bioacumulación de Metales Pesados en Hojas de Plátano

Fuente: Elaboración propia (2015)

Finalmente, la figura 19, señala que el grado de Bioacumulación de Mercurio es **Carente**, Arsénico, cadmio y Plomo son **Ligeras** en el fruto del Plátano.

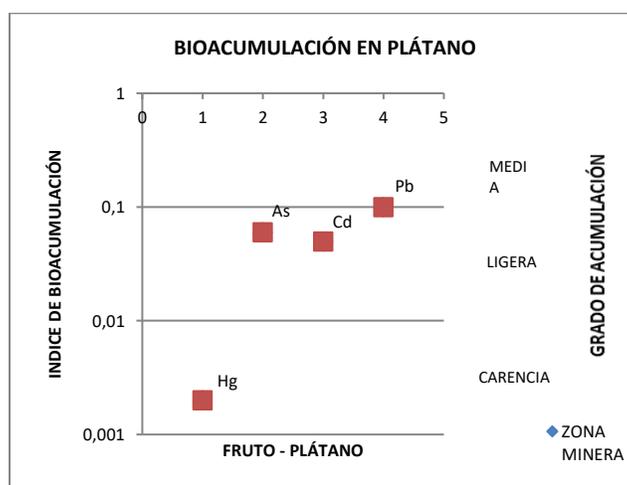


Figura 19. Grado de Bioacumulación de Metales Pesados en Fruto de Plátano

Fuente: Elaboración propia (2015)

#### 7.4. Grado de Bioacumulación de metales pesados en los órganos de productos agrícolas en yuca y plátano de la zona minera “La Pastora”

Tabla 27. Grado de Bioacumulación de Metales Pesados en Órganos de Plátano y Yuca

Metales y metaloides	Grado de Bioacumulación							
	Raíz		Tallo		Hoja		Fruto	
	Yuca	Plátano	Yuca	Plátano	Yuca	Plátano	Yuca	Plátano
<b>Mercurio</b>	Medio	Medio	Ligero	Ligero	Ligero	Medio	-	Carencia
<b>Arsénico</b>	<b>Intenso</b>	Medio	<b>Intenso</b>	Medio	Medio	Ligero	-	Ligero
<b>Cadmio</b>	Medio	Medio	Medio	Ligero	Medio	Medio	-	Ligero
<b>Plomo</b>	<b>Intenso</b>	<b>Intenso</b>	<b>Intenso</b>	Ligero	Ligero	Medio	-	Medio

Fuente: Elaboración propia (2015)

En la tabla 27 mostramos un resumen del grado de Bioacumulación de metales pesados, para los productos agrícolas de Yuca y Plátano se tiene:

Se presenta grado de Bioacumulación Intenso para Arsénico y Plomo en la Raíz de la Yuca de la Zona Minera “La Pastora”. En el caso de la Raíz del Plátano se presenta el grado de Bioacumulación Intensa para el Plomo.

Se presenta un grado de Bioacumulación Intenso para el Arsénico y Plomo en el tallo de la Yuca y medio y ligero en el Plátano.

En el caso de las hojas de la Yuca se presenta un grado de Bioacumulación Medio para Arsénico y Cadmio y Ligero para Mercurio y Plomo. En el caso de las hojas del Plátano se presenta el Grado de Bioacumulación Medio para Mercurio, Cadmio y Plomo y Ligero para el Arsénico.

En el fruto del Plátano se presenta un grado de Bioacumulación carente para el Mercurio, Ligero para Arsénico y Cadmio y Medio para Plomo.

### **Mercurio**

El Hg aerotransportado contribuye significativamente al contenido de este metal en los cultivos y por esta razón, al consumo humano y animal (Patra y Sharma, 2000). Una parte del Hg atmosférico es absorbida directamente por las hojas de las plantas, el que pasa al humus del suelo por abscisión foliar.

### **Arsénico**

El As es un elemento no esencial para las plantas. En altas concentraciones interviene en los procesos metabólicos de las plantas, pudiendo inhibir el crecimiento y frecuentemente llegar a la muerte de la planta (Tu y Ma, 2002). Sin embargo, los niveles de As en vegetales, granos y otros cultivos alimenticios son bajos, aun cuando los cultivos se desarrollen en suelos contaminados (O'Neill, 1995). “El As en el suelo se encuentra en formas móviles en el rango de pH 7 a 9. Con altas concentraciones de As la producción de biomasa y el rendimiento de varios cultivos se reduce significativamente” (Carbonell-Barrachina et al., 1997).

### **Cadmio**

En la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (Chan y Hale 2004). Otro posible mecanismo de entrada del cadmio en la vacuola es mediante un cotransportador de  $\text{Cd}^{2+}/\text{H}^{+}$  ubicado en la membrana de la misma (Salt y Wagner 1993). Los transportadores de cationes CAX, implicados en el transporte de calcio a la vacuola, también transportan otros metales como el cadmio (Park et al. 2005). “Una vez en la raíz, el cadmio puede pasar a la xilema a través del apoplasto y/o a través del simplasto formando complejos” (Clemens et al 2002).

## **Plomo**

Los factores que afectan la disponibilidad y absorción de plomo son el tamaño de las partículas del suelo y la capacidad de intercambio catiónico, además de los factores de la planta tales como la superficie de la raíz, los exudados de la raíz, la micorrización y la tasa de transpiración (Davies, 1995).

La retención de plomo en las raíces está basada en la unión de  $Pb^{2+}$  hacia iones con sitios intercambiables sobre la pared celular formando depósitos en la misma. Esta precipitación extracelular corresponde principalmente a la forma de carbonato de plomo.

El plomo se mueve predominantemente dentro del apoplasto de la raíz en una forma radial a través del córtex y se acumula cerca de la endodermis. La endodermis actúa como una barrera parcial al movimiento de plomo entre la raíz y la parte aérea.

“El patrón de distribución de plomo en la raíz difiere considerablemente dependiendo de concentraciones de plomo y variando según la concentración” (Seregin et al., 2004). A bajas concentraciones de plomo predomina el flujo de iones plomo en el apoplasto, mientras que, a altas concentraciones, la barrera funcional de plasmalema es dañada y una gran cantidad de plomo penetra dentro de las células.

En general, la aparente concentración de plomo en partes aéreas de la planta decrece con la distancia desde las raíces. La principal causa es que la mayor concentración de plomo se halla en las paredes celulares de la raíz a diferencia de otras partes de la planta. Adicionalmente, se presentan uniones con el plomo en tejidos lignificados con mayor frecuencia que en tejidos no lignificados.

## 8. Análisis y discusión

Los contaminantes en suelos y sedimentos se pueden hallar en seis formas diferentes (Rulkens et al., 1995): como partículas (contaminantes particulados), como películas líquidas, adsorbidos, disueltos en el agua intersticial de los poros, o como fases sólidas en los poros. Para cada caso el comportamiento del contaminante es distinto. Por tanto, el análisis químico de los elementos traza de un suelo es una medida poco representativa de la peligrosidad de los posibles contaminantes. Indica en todo caso la peligrosidad potencial o futura, pero no la actual, de los elementos determinados, siempre con referencia a ciertos valores acordados previamente, que no deben ser superados. Por ello, además de este análisis, se debe disponer de datos sobre cómo se encuentran estos elementos potencialmente tóxicos, tanto en sus formas físicas como química, y las fracciones asimilables, que es una medida directa de la peligrosidad real. De otra forma, la facilidad con la que un metal potencialmente tóxico puede acceder a la cadena alimenticia a través del suelo depende de si el metal está libre en solución intersticial en fases sólidas, o cómo el metal está ligado a las partículas de suelo y su forma química., o sea de su especiación La movilidad de un metal depende no sólo de su especiación química, sino de una serie de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc. Así, no todos los cationes de cambio están igualmente disponibles, sino que depende del mineral o minerales de los que están formando parte como complejo de cambio.

De igual manera, podemos señalar que las características fisicoquímicas del suelo determinan la concentración de los metales y metaloides en el suelo, permitiendo que la presencia de metales en la configuración natural de los suelos permanezca lo cual depende de la geodisponibilidad de los mismos que por factores mecánicos físicos, biológicos o químicos se

encuentran en el suelo mismo. Las concentraciones encontradas de metales pesados y metaloides en los suelos agrícolas de yuca y plátano son menores a los establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental que proporciona el MINAM, sin embargo se considera la posibilidad de que la permanencia de estos metales en los suelos depende enormemente de la cantidad de materia orgánica, el cual facilita la presencia de estos metales, el pH del suelo, la Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico, presencia de carbonatos, textura, etc. Así mismo, la movilidad de estos a zonas inferiores o capas inferiores del suelo por acción de la lixiviación podría permitir entender estos niveles bajos de concentración. Sin embargo, estos niveles bajos de metales pesados han sido absorbidos por los productos agronómicos que para el estudio la yuca y plátano como productos principales de pan llevar han logrado traslocar entre sus estructuras y órganos vegetativos estos metales y metaloides.

Todas las plantas, principalmente las vasculares absorben metales pesados del suelo donde crecen, por tanto y dependiendo de la especie vegetal, por lo cual la traslocación de los metales se verá reflejada en la ocupación de estos en diferentes órganos, sean estos aéreos (estrategia de exclusión) o ya sea en órganos acumuladores (raíces, o frutos) que son característicos de plantas acumuladoras que crecen en suelos contaminados (Baker, 1981; Barceló et al., 2003). Sin embargo, sabiendo que las plantas hiper acumuladoras no presentan mayor biomasa, podríamos definir que estos productos agronómicos son sensibles a los metales pesados y por tal aplican la estrategia de exclusión de los metales y los traslocan hacia las partes aéreas (hoja, tallo).

La presencia de Plomo en mayor cantidad en la raíz y tallo de yuca, (5,8125 mg/Kg - 5,7822 mg/Kg de Pb respectivamente) de la zona de la Pastora, nos representa que tanto la conformación geológica, así como la presencia de vehículos motorizados que se encuentran cercanos (al pie de

la carretera) de donde se obtuvo la muestra de yuca, sea uno de los responsables de esta mayor acumulación de este metal pesado. De la misma manera podemos indicar que el nivel de Arsénico en la hoja de la yuca de la zona La Pastora (0,2145 mg/Kg de As), se debe a la misma condición geológica del suelo, sin embargo, para este órgano vegetativo, la yuca trasloca este metal en la parte aérea, siendo este su mecanismo de defensa ante la sensibilidad del metal pesado.

En el caso del plátano, se tiene de igual manera una mayor concentración de Plomo en la raíz, tallo, hoja y fruto de la planta (1,07805 mg/Kg, 0,0729 mg/Kg, 0,2104 mg/Kg, <0,01 mg/Kg de Pb respectivamente) de la zona La Pastora en relación al resto de metales y metaloides evaluados, la razón es la misma que de la de la yuca, la circulación de unidades vehiculares por la carretera de donde se seleccionó la muestra influencia en la acumulación de plomo en los órganos de la planta.

Sin embargo, se debe considerar que los contenidos de metales pesados en hojas y tallos están en relación al momento fisiológico de crecimiento de estas plantas a la hora de realizar el muestreo.

Se entiende, además, que ya sea que estos metales se encuentren en diferentes órganos vegetales de las plantas en estudio, de igual manera pueden estar presentes estos metales en diferentes concentraciones en el resto de las plantas vasculares, y se debe de considerar que una vez que estas cumplen su ciclo, estos metales regresan al suelo para ser absorbidas nuevamente. Es importante recalcar que diferentes especies de animales se alimentan de hojas, talos y raíces de esta, con lo cual es la forma directa de cómo ingresa estos metales y metaloides a la cadena alimenticia.

El grado de bioacumulación de metales pesados y metaloides de la zona minera La Pastora nos muestra que el Arsénico y Plomo se encuentran en un grado Intenso para la Yuca, tanto en Raíz como en Tallo de esta planta y en un grado medio se encuentra el Plomo para el fruto del Plátano, y estos valores de raíz de yuca y fruto de plátano (Intenso y medio respectivamente) es lo que preocupa ya que son los órganos vegetativos de consumo humano que se expenden en los mercados de la ciudad y su consumo es regular y/o constante por la población.

Sin embargo y considerando que los cultivos que se realizan en la zona de la Pastora datan de hace 3 años atrás (2011), los factores ambientales (físicos, químicos y biológicos) incluyéndola lixiviación han permitido la menor concentración de estos metales y metaloides en el suelo y los productos agrícolas, se debe mirar con mucha atención y evaluar las zonas de cultivo reciente en zonas que aún siguen usadas para la extracción minera fluvial y que realizan plantaciones agronómicas.

## 9. Conclusiones

- El nivel de metales pesados y metaloides (Hg, Cd, As, Pb) en suelos agrícolas de la zona minera La Pastora y zona control carretera Tambopata - Infierno no sobrepasaron los estándares de calidad ambiental ECAs. Sin embargo, el consumo continuo de estos productos y considerando los procesos de bioacumulación en organismos, estos niveles son considerables como peligrosos para la salud del poblador de la Región que es donde se comercializan estos productos.
- La caracterización fisicoquímica y textural de los suelos agrícolas de la zona La Pastora, indica que son suelos de pH ácido, de baja conductividad eléctrica, y según el análisis textural corresponde a un suelo franco limoso, con alto contenido de materia orgánica, características de importancia porque a pH ácido los metales tienden a estar más disponibles, excepto el As que tiene tendencia a estar más disponible a pH básico.
- La caracterización fisicoquímica y textural de los suelos agrícolas de la zona control en plantaciones de yuca dieron como resultado pH ácido, granulometría media, de textura arena limosa con espacios porosos de tamaño medio, con valores altos de calcio y magnesio en la determinación de capacidad de intercambio catiónico y con presencia de macronutrientes como sulfatos y hierro. El suelo de la plantación de plátano difiere a la de la plantación de yuca, de pH menos ácido, mayor concentración de materia orgánica, presento granulometría media, textura limosa con espacios porosos de tamaño medio, con valor alto de capacidad de intercambio catiónico.
- Algunos metales como el Hg, As, fueron menos absorbidos en suelos, típico de sistemas tropicales, pero fácilmente absorbido por la yuca y plátano, siendo elementos móviles en los tejidos de las plantas, se acumulan preferiblemente en las raíces y tallos.

- El cadmio y plomo fueron más absorbidos por el suelo, pero menos absorbidos por la yuca y plátano.
- El índice de bioacumulación para la yuca de la zona minera La Pastora, mostró un grado de acumulación intensa para el arsénico y plomo, un grado de acumulación media para el cadmio y mercurio en la raíz; en el tallo grado de acumulación intensa para el arsénico y plomo, grado de acumulación media para el cadmio y ligera para el mercurio; en la hoja el grado de acumulación media para el cadmio y grado de acumulación ligera para el mercurio, arsénico y plomo, en cambio el índice de bioacumulación para el plátano dio un grado de acumulación media para todos los metales y metaloides en la raíz; en el tallo todos los metales y metaloides grado de acumulación ligera, en las hojas solo el plomo grado de acumulación media, y los demás metales grado de acumulación ligera; en el fruto el mercurio presentó grado de acumulación de carencia, y los demás metales grado de acumulación ligera. En la zona control el cadmio presentó el nivel más alto de bioacumulación en las hojas de la yuca con un grado de bioacumulación medio, y el mercurio mayor grado de bioacumulación en el tallo del plátano, considerándose como grado de bioacumulación media.
  - La fisiología de las plantas y la acumulación del elemento contaminante en el suelo, son condiciones que determinan la bioacumulación en algunos cultivos y órganos muestreados, siendo necesario desarrollar investigaciones que establezcan valores de referencia específico como instrumentos de prevención, protección y recuperación de suelos agrícolas, principalmente en subsectores agrícolas de la Región Madre de Dios donde prolifera la actividad minera informal y en la mayoría de los casos ilegal.

## **10. Sugerencias**

Sugerimos realizar mayores pruebas y tener mayor variedad de productos agrícolas que son producidos en las zonas mineras actuales para poder determinar los niveles de metales pesados y metaloides presentes en estos, con los que nos puede dar más información de los procesos de contaminación humana.

Es indispensable que los entes del gobierno como el Ministerio de Salud, Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Energía y Minas y la Universidad puedan unificar esfuerzos para poder identificar las zonas de producción minera y agrícola de donde los productos son distribuidos a las diferentes regiones y ciudades y se pueda realizar acciones de monitoreo y evaluación del grado de contaminación y bioacumulación de productos alimenticios.

## 11. Bibliografía

### 11.1. Referencias bibliográficas.

- A Martínez G., M. et al (2006) Comparación de k medidas (tres o más grupos). En Bioestadística amigable. 2º Edición, España. 419 – 496.
- AESAN. (2012). Protocolo de preparación previa de muestras de alimentos, - Laboratorio Nacional de Referencia para metales pesados en alimentos y piensos, Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición - Dirección General de Sanidad y consumidores de la Comisión Europea).
- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal Plant Nutrition*, 3:643-654.
- Bargagli, R. (1998). Trace elements in terrestrial plants: An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Berlin: Springer-Verlag. P.324.
- Bradshaw, A. D. (1993). Understanding the fundamental succession. En J. Miles and D. H. Walton, Editors, *Primary Succession on Land*, Blackwell, Oxford.
- Brus, D.J., F.P.J. Lamé, and R.H. Nieuwenhuis.( 2009). National baseline survey of soil quality in the Netherlands. *Environmental Pollution* 157:2043-2052.
- Calderón, L., & Concha, R. Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura. revista en internet], Departamento Académico de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Piura, Perú. Disponible en: <http://www.unp.edu.pe/institutos/iipd/trabajosinvestigacion/facultadadminasquimica-esthercalderon.pdf>.

- Campbell Jr, K. E., & Romero, L. (1989). La geología del Cuaternario del Departamento de Madre de Dios. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 79, 53-61.
- Chambi J. (2012). Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres Micro-Cuencas del Municipio de Poopó. Instituto de Investigaciones Químicas - Facultad de Agronomía UMSA, Proyecto CAMINAR, La Paz – Bolivia. *Revista Boliviana de Química, Versión On Line*, ISSN 0250 – 5460. Rev. Bol. Quim v.29 n.1 La Paz.
- Codex Alimentarius 1995. Vol. 2B. Lista de los límites Máximos del Codex para Residuos de plaguicidas y Límites Máximos del Codex para Residuos extraños.
- De Miguel, E., A. Callaba, J.C. Arranz, V. Cala, E. Chacón, E. Gallego, E. Alberruche, C. Alonso, P. Fdez-Canteli, I. Iribarren, and H. Palacios. (2002). Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Serie Medio Ambiente. Terrenos contaminados n° 2. Instituto Geológico y Minero de España. 167p., Madrid.
- Díaz V.A.; Carpio R.M. & Ramírez C.J. (2013) Estudio Geológico Económico de Rocas y Minerales Industriales de la Región de Madre de Dios. Boletín N° 32 Serie B. Geología Económica. Ministerio de Energía y Minas – INGEMMET. Lima, Perú.
- Gallardo, J.F., and M.I.M. González. (2009). Determinación de los Valores de Referencia en España (agua, suelos, aire y lodos para agricultura). IV Simpósio Internacional de Meio Ambiente. Pas para a Paz. Rio de Janeiro 6 a 10 de julho. ISBN 978-85-61987022. 40-43.

- García, I. y C. Dorronsoro. (2005). Contaminación por metales pesados. En: Tecnología de suelos. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, Granada, España.
- Giuffré, L.; S. Ratto; L. Marbán; J. Schonwald y R. Romaniuk (2005). Riesgo por metales pesados en horticultura urbana. *Ciencia del Suelo* 23(1), 101-106.
- Gjoka, F., P. Felix-Henningsen, H.-R. Wegener, I. Salillari, and A. Beqiraj. 2010. Heavy metals in soils from Tirana (Albania). *Environmental Monitoring and Assessment* 172:517-527.
- Gómez, M.I. (2006). Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa S.A.
- Hernández (2011). Determinación de metales pesados en suelos de natividad, Ixtlán, Oaxaca. Tesis para obtener el título de Licenciada en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez Oaxaca, México.
- IIAP, MINAM (2011). Minería Aurífera en Madre de Dios y contaminación con Mercurio, Una bomba de tiempo. Informe preparado por el IIAP (Instituto de Investigaciones de la amazonia Peruana) y el Ministerio del Ambiente.
- Lasat, M.M. (2000). The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC.
- Ledin, M. (2000). Accumulation of metals by microorganisms — processes and importance for soil systems. *Earth-Science Reviews*, 51(1), 1–31. doi:10.1016/S0012-8252(00)00008-8.

- Mapanda, F., E.N. Mangwayana, J. Nyamangara, and K.E. Giller. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107:151-165.
- Mas y Azcue, 1993. Contaminación por Metales Pesados. (en línea). Consultado el 15 de abr. (2010). Disponible en <http://www.Contaminación por Metales Pesados.htm>
- Mendoza. P.M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Publicaciones Server. Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Micó, C. (2005). Estudio de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia. España. 508p.
- MINAM.(2014). Guía para Muestreo de Suelos. Ministerio del Ambiente.
- Montenegro, R.O. (2002). Contaminación química de suelos y cultivos. Estrategias para la productividad de los suelos agrícolas. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Capitulo Tolima, Bogotá.
- Navarro – Aviñó J.P., Aguilar A.I., López – Moya J.R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2), 10 – 25.
- Nebel B.J. & Wright R.T. (1999). *Ciencias Ambientales: Ecología y desarrollo sostenible*. Sexta edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericano, S.A. México. 720 Pág.
- Normas Legales 2012 DS N° 002-2013-MINAN Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo. Lima- Perú.

- Peris, M. 2006. Estudio de Metales Pesados en Suelos bajo Cultivos Hortícolas de la Provincia de Castellón. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia. España. 436p.
- Prasad, M.N.V. (1995). Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environ. Exp. Bot.* 35(4), 525-545.
- Queirolo, F.; S. Stegen; M. Restovic; M. Paz; P. Ostapczuk; M.J. Schwuger y L.
- Reyes Gil, R., Bermúdez, A., De Abreu, O., Alvarado, J., & Dominguez, J. (2006). Metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 10(41-ESPECIAL), 259-262.
- Sánchez, M.I. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de Medina del Campo Valladolid: contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Valladolid. España. 298p.
- Semarnat. (2005). Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, capítulo 3: suelos, México.
- Seoáñez, C. M. (1998). Contaminación del Suelo. En *Ecología Industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa. Manual para responsabilidades medioambientales*. 2ª Edición. Ediciones Mundi- Prensa. México. P. 169-187.
- Seoáñez, C. M. (1999ª). Reacción del suelo ante los metales pesados. En *Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión*. 1ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. México. P. 169-181.
- Siegel S. (1990) *Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta*. Editorial Trillas 3º Edición. México:

- Tack, F.M.G., M.G. Verloo, L. Vanmechelen, and E. Van Ranst. (1997). Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon contents in soils in Flanders (Belgium). *Science of The Total Environment* 201:113-123.
- Tadeo, F.R. y A. Gómez-Cadenas. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. pp. 577-597. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2a ed. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.
- USEPA. (1997). *Sampling and Analysis Plan. Field Sampling Plan and Quality Assurance Project Plan. Quality Assurance Program, United States Environmental Protection Agency (USEPA), Washington D.C., 38 pp.*
- USEPA. 1996. *Method 3050B, acid digestion of sediments, sludges, and soils. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 12 pp.*

### **11.2. Referencias electrónicas.**

- Acosta Álvarez, Marcos Martín. (2007). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, HGO.<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/231104/635/1/Determinacion%20de%20metales%20pesados%20suelos%20agricolas.pdf> [Consultado Mayo 13, 2014].
- Calderón E. L. y Concha R. (2009) Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura. Tesis Departamento Académico de Ingeniería Química Universidad Nacional de Piura.

<http://www.unp.edu.pe/institutos/iipd/trabajosinvestigacion/facultadminasquimica-esthercalderon.pdf> [Consultado Mayo 20,2014]

- Cayetano Salazar Mario (2012) Tesis Digital Transferencia de suelo planta de metales pesados en parcelas regadas con agua residual en el valle de Mezquital México Universidad Autónoma de México.  
<http://132.248.9.195/ptd2012/diciembre/405074965/Index.html> [Consultado Mayo 27,2014].  
Definicion.mx: <http://definicion.mx/produccion-agricola/#ixzz32OoioP9P>
- Díaz V.A.; Carpio R.M. & Ramírez C.J. (2013) Estudio Geológico Económico de Rocas y Minerales Industriales de la Región de Madre de Dios. Boletín N° 32 Serie B. Geología Económica. Ministerio de Energía y Minas – INGEMMET. Lima, Perú.  
<http://es.calameo.com/read/00082012917893992c767> [consultado Noviembre 2015]  
En [http://ameqa.org/AMEQA/V\\_congreso\\_memorias/EXTENSOS/EXT%20QA01.pdf](http://ameqa.org/AMEQA/V_congreso_memorias/EXTENSOS/EXT%20QA01.pdf)
- Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivo de tres microcuencas del municipio de Poopó 2012. Universidad Revista Boliviana de Química Volumen 29 Número 1 2012.  
[http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602012000100012&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602012000100012&script=sci_arttext) [Consultado Mayo 20,2014]
- Garay, Paredes y Hernández (2007), Acumulación de As-Cd-Pb en suelos y cultivos afectados por jales mineros.
- Hernández A. Determinación de metales pesados en suelos de Natividad, Ixtlán de Juárez Oaxaca.

<http://www.unsij.edu.mx/tesis/digitales/4.%20ADELA%20HERNANDEZ%20HERNANDEZ.pdf> [Consultado mayo 30, 2014].

- Herrera R. M. & Colonial C.L. (2011). Guía Técnica: Curso Taller - Manejo Integrado del Cultivo de plátano. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) – AGROBANCO, Huancayo, Junín, Perú.  
[http://www.agrobanco.com.pe/pdfs/CapacitacionesProductores/Platano/MANEJO\\_INT EGRADO DEL CULTIVO DE PLATANO.pdf](http://www.agrobanco.com.pe/pdfs/CapacitacionesProductores/Platano/MANEJO_INT EGRADO DEL CULTIVO DE PLATANO.pdf)
- [http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos-aguasagrícolas/pdf\\_suelos](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos-aguasagrícolas/pdf_suelos)
- Millan, R. et al (2007) Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén. Revista Ecosistemas 16 (2): 56-66. mayo 2007.  
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=487> [Consultado mayo 20,2014]
- Paulet Iturri, Manuel 1999. Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural. COMUNIICA, Año 4, N°11, p. 35-50.  
<http://repiica.iica.int/docs/B1782e/B1782e.pdf>
- Peris Mendoza, Mónica 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas en la provincia de Castellón Tesis doctoral Universidad de Valencia España.  
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9504/peris.pdf?sequence=1>
- Prieto Méndez, Judith; González Ramírez, César A.; Román Gutiérrez, Alma D.; Prieto García, Francisco 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 10, núm.

1, 2009, pp. 29-44 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México.

Disponible en; <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>.

- Ramírez G., A. Evaluación del contenido de contaminantes en la alimentación infantil. [www.dspace.umh.es/bitstream/11000/1579/1/T%20O-97.pdf](http://www.dspace.umh.es/bitstream/11000/1579/1/T%20O-97.pdf)
- Reyes Gil, Rosa Bermúdez, Alexis De Abreu, Orlando Alvarado, José Domínguez, José. (2006). Metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería en la reserva forestal Imataca Venezuela. Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre. Revista Universidad Ciencia y Tecnología versión impresa ISSN 1316-4821 Volumen 10 Número 41.   
[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212006000500002&lang=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000500002&lang=es) [Consultado Mayo 27,2014]
- Rubio Armendáriz, Carmen Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn y Mn) en la comunidad Autónoma Canaria. Evaluación toxicológica. Universidad de la Laguna España <http://tesis.bbt.ull.es/ccppytec/cp185.pdf> [Consultado Mayo 20,2014].
- SINIA, (2010). Compendio de la legislación ambiental peruana, Impreso por Gráfica Técnica S.R.L. Hecho el depósito legal: 2010-17178 en la Biblioteca Nacional del Perú Recuperado en 10 de abril de 2016, de <https://sinia.minam.gob.pe/modsinia/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion>
- Suárez, Lorenzo, & Mederos, Víctor. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 27-35. Recuperado en 01 de abril de 2016, de

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362011000300004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000300004&lng=es&tlng=es).

- [web.www3.unicordoba.edu.co/.../Informe%20Final\\_FCB%2010-08%20J...](http://web.www3.unicordoba.edu.co/.../Informe%20Final_FCB%2010-08%20J...)
- [www.unicordoba.edu.co/sites/default/files/Informe%20Final\\_FCB%2010-08%20Jos%C3%A9%20Luis%20Marrugo%20Negrete.pdf](http://www.unicordoba.edu.co/sites/default/files/Informe%20Final_FCB%2010-08%20Jos%C3%A9%20Luis%20Marrugo%20Negrete.pdf)

## **ANEXOS**

## ANEXO N° 01

## PANEL FOTOGRAFICO



**FOTO N° 01 y 02:** Toma de muestra de suelo en cultivo de yuca (La Pastora)



**FOTO N° 03 y 04:** Hoyo de apertura de la toma de muestra de suelo



**FOTO N° 05 y 06:** Toma de muestra de suelo en cultivo de yuca (Tambopata)



**FOTO N° 07:** Toma de muestra de Yuca (Tambopata)



**FOTO N° 08:** Toma de muestra de yuca (La Pastora)



**FOTO N° 09: Toma de muestras de Hojas de yuca (La Pastora)**



**FOTO N° 10: Toma de muestra de plátano (La Pastora)**



**FOTO N° 11 y 12: Toma de muestras de Hojas de plátano (La Pastora)**



**FOTO N° 13 y 14: Toma de muestra de plátano (Tambopata)**



**FOTO N° 15 y 16: Toma de muestra de plátano (Tambopata)**



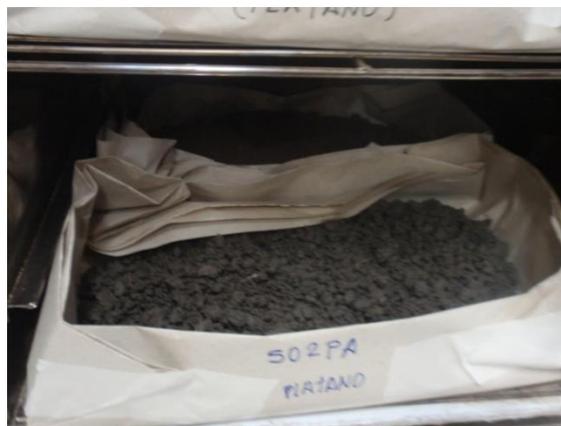
**FOTO N° 17: Lavado del fruto de plátano**



**FOTO N° 18: Preparación de muestras de plátano para enviar al laboratorio.**



**FOTO N° 19: Pesado de la muestra de plátano**



**FOTO 20: Muestras de suelo secados en la mufla**



**FOTOS 21 y 22: Muestras de suelo de Tambopata y La Pastora secados en la Mufla para su envío al Laboratorio CERPER SAC.**