

"Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú"

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



TITULO DE LA TESIS:

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA DE *Inga edulis* MART., EN UNA ÁREA DEGRADADA POR MINERÍA AURÍFERA EN EL DISTRITO INAMBARI, PROVINCIA TAMBOPATA, REGIÓN DE MADRE DE DIOS

**Tesis para Optar el Título Profesional
de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente**

**Presentado por:
Bach. Jorge Dueñas Salas**

**Asesor Principal:
Ing. M.Sc. Gabriel Alarcón Aguirre**

**Co-asesor:
Ing. M.Sc. Joel Peña Valdeiglesias**

Puerto Maldonado – Madre de Dios - Perú

– 2015 –

“Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú”

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE
MADRE DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

TÍTULO DE TESIS:

**<<EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMEIADORA
DE *Inga edulis* MART., EN UNA ÁREA DEGRADADA POR
MINERÍA AURÍFERA EN EL DISTRITO INAMBARI,
PROVINCIA TAMBOPATA, REGIÓN DE MADRE DE DIOS>>**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

Presentado por el Bachiller:

JORGE DUEÑAS SALAS

PUERTO MALDONADO –PERÚ

– 2015 –



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

“Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación”

“Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú”

FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACION PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

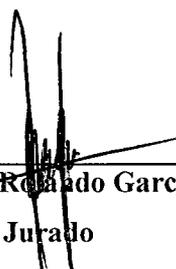
En el anfiteatro del cuarto piso de la ciudad Ciudad Universitaria, de la Universidad Nacional Amazónicas de Madre de Dios, siendo las quince horas del día martes quince de diciembre del año 2015, se reunió el jurado calificador integrado por:

Ing. Mishari Rolando García Roca	Presidente
M.Sc. Telesforo Vásquez Zavaleta	Secretario
Ing. Mauro Vela Da-Fonseca	Vocal

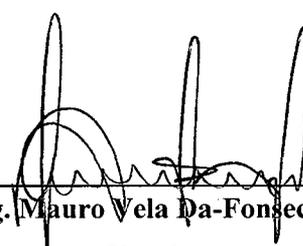
Seguidamente se inició con la sustentación oral de la tesis denominada: “EVALUACION DE LA CAPACIDAD FITORREMEIADORA DE *Inga edulis* Mart., EN UN AREA DEGRADA POR MINERIA AURIFERA EN EL DISTRITO DE INAMBARI, PROVINCIA DE TAMBOPATA, REGION MADRE DE DIOS”, presentado por el bachiller: **Jorge Dueñas Salas**.

Los señores miembros de jurado, después de haber atendido la sustentación y evaluada las respuestas a las preguntas formuladas, y terminada la réplica, proceden a debatir entre sí, reservada y liberadamente, declaran al aspirante: **JORGE DUEÑAS SALAS** APROBADO (Aprobado/Desaprobado) por UNANIMIDAD (Unanimidad/Mayoría), con el calificativo de MUY BUENO equivalente a 17 (Sobresaliente/Muy bueno/Bueno/Aprobado/Desaprobado). Posteriormente se notificó al aspirante en forma pública el resultado final de la calificación.

Finalizado todo el acto de sustentación oral, los miembros del jurado procedieron a firmar el acta, siendo las 16:37 horas del mismo día, con lo que se dio por concluido el proceso.


Ing. Mishari Rolando García Roca
Presidente Jurado


M. Sc. Telesforo Vásquez Zavaleta
Secretario


Ing. Mauro Vela Da-Fonseca
Vocal

DEDICATORIA

A mi Madre y hermanos por todo el apoyo incondicional brindado y mostrado en todo momento, ayudándome a lograr mis metas, contribuyendo en mi formación profesional y personal,

A mi novia Fernanda por darme fuerza de seguir superándome cada día más y en el apoyo brindado que siempre demostró en todo el proceso de esta investigación.

A mi hermano Ronald que desde el cielo cuida de mi familia y de mí, por el corto tiempo de vida en que compartió sus alegrías, enseñándome a salir de problemas y ver de buena manera las cosas del destino.

A Dios por guiarnos en la vida, amarnos y perdonarnos sin mirar los errores cometidos y porque siempre está presente salvaguardando mi salud en todo momento.

“Jamás te des por vencido ni te desanimas, eso solo te hará perder tiempo, vuelve a empezar. Las grandes obras de ahora, también tuvieron varios inicios”.

Anónimo

AGRADECIMIENTO

Expreso mi Sentimiento de Gratitud:

A la **Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios**, Facultad de Ingeniería, por la formación académica profesional durante los años de estudio en dicha institución.

Al **Ing. Msc. Gabriel Alarcón Aguirre** por su asesoramiento permanente, consejos, por su amistad y por su apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Al **Ing. Msc. Joel Peña Valdeiglesia** por su asesoramiento permanente, consejos, por su amistad y por su apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo de investigación.

A la **Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER)**, en el apoyo de análisis de muestras para metales pesados y por la información base en temas de recuperación de áreas degradadas y sus parcelas de trabajo.

Al **Dr. Raúl Augusto Loayza Muro**, por su apoyo brindado en la preparación de las muestras, las enseñanzas, su amistad y el tiempo brindado para la elaboración del presente trabajo de investigación.

A todas las demás personas que de alguna forma contribuyeron para el desarrollo y ejecución del trabajo de investigación, para ellos mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Historia de la Actividad de Pequeña Minería y Minería Artesanal en Madre de Dios-Perú.....	3
2.2. Guaba (<i>Inga edulis</i>).....	6
2.2.1. Características Botánicas.....	6
2.2.2. Características ecológicas.....	7
2.3. Metales Pesados.....	8
2.3.1. Características de los Metales Pesados	9
2.3.1.1. Cobre	9
2.3.1.2. Cromo.....	9
2.3.1.3. Níquel.....	10
2.3.1.4. Zinc.....	10
2.3.1.5. Mercurio.....	10
2.3.2. Efectos de los metales pesados en el suelo.....	10
2.3.3. Movilización de metales pesados en el suelo.....	13
2.3.4. Efectos tóxicos de los metales pesados en plantas.....	14
2.3.5. Tolerancia de plantas a altas concentraciones	16
2.3.5.1. Hiperacumulación.....	16
2.4. Fitorremediación	18
2.4.1. Mecanismos y fases de la fitorremediación.....	21
2.4.1.1. Fitoextracción o fitoacumulación.....	21
2.4.1.2. Rizofiltración	21
2.4.1.3. Fitoestimulación o rizodegradación.....	21
2.4.1.4. Fitoestabilización.....	22
2.4.1.5. Fitovolatilización.....	22
2.4.1.6. Fitodegradación.....	23

2.4.2. La fitorremediación como estrategia de recuperación de suelos contaminados.....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Materiales.....	28
3.1.1. Lugar de Ejecución.....	28
3.1.2. Desarrollo y sobrevivencia de la especie de <i>Inga edulis</i> M....	28
3.1.3. Colecta de Datos y Muestreo.....	29
3.1.4. Diseño Experimental.....	31
3.1.5. Metodología de secado y triturado de muestras vegetales....	32
3.1.6. Análisis de metales pesados en muestras vegetales.....	33
3.1.7. Análisis de metales pesados en muestras de suelos.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	35
4.1. Desarrollo de la especie de <i>Inga edulis</i> Mart., en el área degradada por actividad de la minería.....	35
4.1.1. Promedio en altura (h) en las tres zonas.....	36
4.2. Metales pesados en el suelo.....	38
4.2.1. Mercurio en suelo.....	38
4.2.2. Cromo en suelo.....	39
4.2.3. Cobre en suelo.....	41
4.2.4. Níquel en suelo.....	43
4.2.5. Zinc en suelo.....	45
4.3. Metales pesados en raíz, hoja y fruto de guaba (<i>Inga edulis</i>).....	47
4.3.1. Mercurio en raíz, hoja y fruto.....	47
4.3.2. Cromo en raíz.....	48
4.3.3. Cromo en hoja.....	50
4.3.4. Cromo en fruto.....	52
4.3.5. Cobre en raíz.....	54
4.3.6. Cobre en hoja.....	56
4.3.7. Cobre en fruto.....	59
4.3.8. Níquel en raíz.....	61

4.3.9. Níquel en hoja.....	63
4.3.10. Níquel en fruto.....	65
4.3.11. Zinc en raíz.....	67
4.3.12. Zinc en hoja.....	69
4.3.13. Zinc en fruto.....	71
4.4. Efecto fitorremediador de <i>Inga edulis</i>	73
V. CONCLUSIONES.....	79
VI. RECOMENDACIONES.....	80
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	81
VIII.ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 01. Evaluación del suelo según el pH.....	102
TABLA 02. Porcentaje de Materia Orgánica (M.O).....	102
TABLA 03. Clasificación del suelo según el contenido de fósforo.....	102
TABLA 04. Clasificación del suelo según el contenido de potasio.....	103
TABLA 05. Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 gr).....	103
TABLA 06. Contenido de Calcio (meq/100 gr).....	103
TABLA 07. Contenido de Magnesio (meq/100 gr).....	103
TABLA 08. Contenido de Potasio de cambio (meq/100 gr).....	104
TABLA 09. Contenido de Sodio de cambio (meq/100 gr).....	104

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO 01. Población de <i>Inga edulis</i> en tres zonas de la plantación.....	35
CUADRO 02. Valor promedio en altura.....	37
CUADRO 03. Concentración de Mercurio (Hg) en suelo.....	39
CUADRO 04. Concentración de Cromo (Cr) en suelo.....	40
CUADRO 05. Análisis de Varianza para Cromo (Cr) en suelo.....	41
CUADRO 06. Concentración de Cobre (Cu) en suelo.....	42
CUADRO 07. Análisis de Varianza para Cobre (Cu) en suelo.....	43
CUADRO 08. Concentración de Níquel (Ni) en suelo.....	44
CUADRO 09. Análisis de Varianza para Níquel (Ni) en suelo.....	45
CUADRO 10. Concentración de Zinc (Zn) en suelo.....	46
CUADRO 11. Análisis de Varianza para Zinc (Zn) en suelo.....	47
CUADRO 12. Concentración de Hg en raíz, hoja y fruto de <i>Inga edulis</i>	48
CUADRO 13. Concentración de Cromo (Cr) en raíz de <i>Inga edulis</i>	49
CUADRO 14. Análisis de Varianza para Cromo en raíz de <i>Inga edulis</i>	50
CUADRO 15. Concentración de Cromo (Cr) en hojas de <i>Inga edulis</i>	51
CUADRO 16. Análisis de Varianza para Cromo (Cr) hojas de <i>Inga edulis</i>	52
CUADRO 17. Concentración de Cromo (Cr) en fruto de <i>Inga edulis</i>	53
CUADRO 18. Análisis de Varianza para Cromo en frutos de <i>Inga edulis</i>	54
CUADRO 19. Concentración de Cobre (Cu) en raíz de <i>Inga edulis</i>	55
CUADRO 20. Análisis de Varianza para Cobre en raíz de <i>Inga edulis</i>	56

CUADRO 21. Concentración de Cobre (Cu) en hojas de <i>Inga edulis</i>	57
CUADRO 22. Análisis de Varianza para Cobre en hojas de <i>Inga edulis</i>	58
CUADRO 23. Concentración de Cobre (Cu) en frutos de <i>Inga edulis</i>	59
CUADRO 24. Análisis de Varianza para Cobre en frutos de <i>Inga edulis</i>	61
CUADRO 25. Concentración de Níquel (Ni) en raíz de <i>Inga edulis</i>	61
CUADRO 26. Análisis de Varianza para Níquel en raíz de <i>Inga edulis</i>	63
CUADRO 27. Concentración de Níquel (Ni) en hojas de <i>Inga edulis</i>	63
CUADRO 28. Análisis de Varianza para Níquel en hojas de <i>Inga edulis</i>	65
CUADRO 29. Concentración de Níquel (Ni) en frutos de <i>Inga edulis</i>	65
CUADRO 30. Análisis de Varianza para Níquel en frutos de <i>Inga edulis</i>	67
CUADRO 31. Concentración de Zinc (Zn) en raíz de <i>Inga edulis</i>	67
CUADRO 32. Análisis de Varianza para Zinc en raíz de <i>Inga edulis</i>	69
CUADRO 33. Concentración de Zinc (Zn) en hojas de <i>Inga edulis</i>	69
CUADRO 34. Análisis de Varianza para Zinc en hojas de <i>Inga edulis</i>	71
CUADRO 35. Concentración de Zinc (Zn) en frutos de <i>Inga edulis</i>	71
CUADRO 36. Análisis de Varianza para Zinc en frutos de <i>Inga edulis</i>	73
CUADRO 37. Análisis físico-químicas del suelo.....	73

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 01. Individuo de <i>Inga edulis</i>	07
FIGURA 02. Transportes y dispersión de contaminantes desde el suelo al agua y al aire.....	11
FIGURA 03. Dinámica de metales pesados en el suelo.....	13
FIGURA 04. Imagen satelital de la plantación de guaba.....	28
FIGURA 05. Distribución de los puntos de muestreo en las tres zonas de la subparcela del área de estudio	32
FIGURA 06. Población inicial y población actual de <i>Inga edulis</i>	35
FIGURA 07. Promedio de altura de individuos de guaba.....	37
FIGURA 08. Promedio de altura en distintos monitoreos.....	38
FIGURA 09. Cromo (Cr) en suelo: a) Concentración de Cr en puntos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio.....	40
FIGURA 10. Cobre (Cu) en suelo: a) Concentración de Cu en puntos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio.....	42
FIGURA 11. Níquel (Ni) en suelo: a) Concentración de Ni en puntos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio.....	44
FIGURA 12. Zinc (Zn) en suelo: a) Concentración de Zn en puntos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio.....	46
FIGURA 13. Cromo (Cr) en raíz de <i>Inga edulis</i> : a) Concentración de Cr en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio.....	49

- FIGURA 14.** Cromo (Cr) en hojas de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Cr en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio..... 51
- FIGURA 15.** Cromo (Cr) en fruto de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Cr en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio..... 53
- FIGURA 16.** Cobre (Cu) en raíz de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Cu en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio..... 55
- FIGURA 17.** Cobre (Cu) en hojas de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Cu en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio..... 57
- FIGURA 18.** Cobre (Cu) en frutos de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Cu en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio..... 60
- FIGURA 19.** Níquel (Ni) en raíz de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Ni en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio..... 62
- FIGURA 20.** Níquel (Ni) en hojas de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Ni en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio..... 64
- FIGURA 21.** Níquel (Ni) en frutos de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Ni en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio..... 66
- FIGURA 22.** Zinc (Zn) en raíz de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Zn en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio..... 68

FIGURA 23. Zinc (Zn) en hojas de <i>Inga edulis</i> : a) Concentración de Zn en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio.....	70
FIGURA 24. Zinc (Zn) en frutos de <i>Inga edulis</i> : a) Concentración de Zn en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio.....	72
FIGURA 25. Valor de potencial Hidrógeno (pH) en suelo.....	74
FIGURA 26. Porcentaje de Materia Orgánica (M.O) en suelo.....	74
FIGURA 27. Contenido de Fósforo (P) en suelo.....	75
FIGURA 28. Contenido de Potasio (K) en suelo.....	75
FIGURA 29. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en suelo.....	76
FIGURA 30. Contenido de Calcio (Ca) en suelo.....	76
FIGURA 31. Contenido de Magnesio (Mg) en suelo.....	77
FIGURA 32. Contenido de Potasio (K) en suelo.....	77
FIGURA 33. Contenido de Sodio (Na) en suelo.....	78

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 01. Distribución de 3x3 metros.....	91
ANEXO 02. Proyecto piloto.....	91
ANEXO 03. Toma de datos por individuo.....	91
ANEXO 04. Medición de copa.....	91
ANEXO 05. Medición de altura.....	91
ANEXO 06. Individuo enfermo.....	91
ANEXO 07. Árbol de guaba sano.....	92
ANEXO 08. Individuo de guaba seco.....	92
ANEXO 09. Individuo muerto/tumbado	92
ANEXO 10. Agentes polinizadores.....	92
ANEXO 11. Quebrada Guacamayo.....	92
ANEXO 12. Selección de individuos.....	92
ANEXO 13. Materiales de Campo.....	93
ANEXO 14. Muestreo de hojas.....	93
ANEXO 15. Muestreo de frutos.....	93
ANEXO 16. Muestreo de raíz.....	93
ANEXO 17. Muestreo de suelo.....	93
ANEXO 18. Etiquetado de hojas.....	93
ANEXO 19. Etiquetado de frutos de guaba.....	94
ANEXO 20. Etiquetado de raíz desnuda.....	94
ANEXO 21. Etiquetado de muestra de suelo.....	94

ANEXO 22. Muestra de raíz pre-tratadas.....	94
ANEXO 23. Muestra de hojas pre-tratadas.....	94
ANEXO 24. Muestra de frutos pre-tratadas.....	94
ANEXO 25. Horno de secado de hojas.....	95
ANEXO 26. Muestras de hoja seca.....	95
ANEXO 27. Codificación de muestras.....	95
ANEXO 28. Molino eléctrico para muestras secas.....	95
ANEXO 29. Formato para el inventario de la plantación de <i>Inga edulis</i>	96
ANEXO 30. Parámetros establecidos por algunos autores para la concentración normal de Metales Pesados en el Suelo (mg/kg).....	97
ANEXO 31. Función biológica y de toxicidad de los metales pesados en los organismos.....	97
ANEXO 32. Rango y contenido medio de Cr en plantas de consumo directo y forraje (Modificado de Kabata – Pendias, 2000).....	99
ANEXO 33. Rango y contenido medio de Cu en vegetales de consumo (Kabata – Pendias, 2000).....	100
ANEXO 34. Rango y contenido medio de Ni en vegetales de consumo (Kabata – Pendias, 2000).....	100
ANEXO 35. Rango y contenido medio de Zn en vegetales de consumo (Kabata – Pendias, 2000).....	101
ANEXO 36. Interpretación del análisis físico químico del suelo.....	102
ANEXO 37. Análisis de Metales en Suelos, Raíces, Hojas y Frutos.....	105
ANEXO 38. Análisis Físico – Químico en Suelo.....	106

RESUMEN

La pequeña minería y minería artesanal aurífera, es altamente practicada en el departamento de Madre de Dios, estas prácticas utilizan, remueven y exponen metales pesados lo que conlleva a contaminación de los suelos, afectando eventualmente los cultivos agrícolas, el agua, el aire y la salud humana. Este estudio evaluó la capacidad fitorremediadora de una plantación experimental de *Inga edulis* (guaba) dentro del **“Proyecto Piloto de Recuperación de Áreas Degradadas por efecto de la Minería Aluvial en Madre de Dios”** ejecutado por AIDER en el 2011, en el sector de Nueva Arequipa del distrito Inambari, con el objetivo de determinar si existe presencia de metales pesados en el material vegetal. Se muestrearon 9 individuos al azar en tres zonas estratificadas por su tendencia a la inundación (zona alta, baja y media) para evaluar su contenido de metales pesados en raíz, hojas y frutos, además de muestrear el suelo para metales pesados, haciendo un total de 36 muestras. Asimismo se evaluó el desarrollo y la sobrevivencia de la especie en estudio. De los análisis se determinó que en el suelo y órgano vegetales de *Inga edulis* no se encontró mercurio, sin embargo se encontró Cu, Cr, Ni, Zn por debajo del límite permisible. El desarrollo y la sobrevivencia de los individuos fueron mayor en la zona media del área de estudio.

Palabras Claves: Fitorremediación, Metales pesados, Límite permisible.

ABSTRACT

The artisanal and small-scale mining of gold, is highly practiced in the department of Madre de Dios. These practices use, remove and expose heavy metals which leads to contamination of the soil, affecting agricultural crops, water, air and human health. This study evaluated the phytoremediation ability of an experimental plantation of *Inga edulis* (guaba) within the "Pilot Project for the recovery of degraded areas by effect of the Alluvial mining in Madre de Dios region, " executed by the AIDER in 2011, in the sector of Nueva Arequipa, Inambari district, with the objective of determining whether there is the presence of heavy metals in the plant material. 9 individuals were sampled randomly in three areas stratified by their tendency to flood (high, medium and low) to assess their content of heavy metals in root, leaves and fruits, moreover was sampled the soil for heavy metals, covering a total of 36 samples. It was also evaluated the development and the survival of the species in the study. The analysis showed that in the soil and plant body of *Inga Edulis* was not found mercury, however was found Cu, Cr, Ni, Zn below the permissible maximum limit. The development and survival of the individuals were higher in the middle area of the area of study.

Key words: Phytoremediation, heavy metals, allowable maximum limit.

I. INTRODUCCIÓN

La diversidad de los minerales en distintas regiones de Perú, la evolución de tecnologías empleadas para extraerlos, la amplia gama de condiciones sociales y los diversos ecosistemas son factores a considerar al evaluar y administrar los posibles riesgos de los materiales residuales de las actividades mineras y de fundición. Recientemente, se ha demostrado que las plantas son efectivas en la limpieza de suelos contaminados y tienen la capacidad de acumular metales pesados de manera natural en pequeñas y altas cantidades, ya sea como producto de sus requerimientos funcionales o como mecanismo de defensa para sobrevivir en este tipo de ambientes. A este proceso se le conoce como fitorremediación (Cunningham y Berti, 1993).

La utilización de metales pesados como el del mercurio en la actividad de la pequeña minería y minería artesanal, es altamente difundida y utilizada para captar el oro, por lo que se ha desarrollado un grave problema de contaminación de los suelos y por medio de estos llega a afectar al hombre.

Las leguminosas forman la tercera familia más grande de plantas con flores con más de 19,000 especies distribuidas en 750 géneros (Borges, 2002); una de las principales características de los miembros de esta familia es su capacidad para establecer una asociación simbiótica con bacterias del suelo fijadoras de nitrógeno. Las plantas leguminosas son muy importantes en los diferentes ecosistemas ya que ellas constituyen la principal fuente de nitrógeno para los suelos se distinguen por simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* y con otros organismos intercambiantes de nitrógeno y del aporte de este nutrimento al sistema (Graham y Vance, 2003). Por su amplia adaptabilidad en lo que al clima y suelo se refiere, es posible encontrarlas en casi todas las formaciones ecológicas existentes.

En Madre de Dios se instaló un experimento de 03 hectáreas, donde utilizaron una especie arbórea (*Inga edulis*) acompañado de kudzu y mucuna para el proceso de fitorremediación de suelos contaminados con mercurio y metales pesados en el

sector de Nueva Arequipa, distrito Inambari, provincia Tambopata, del departamento de Madre de Dios. Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía, no utilizan reactivos químicos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, solo aplican prácticas agrícolas comunes.

Las variables estudiadas son: **INDEPENDIENTES**; La especie *Inga edulis* en los tres estratos de suelos y las **DEPENDIENTES**; concentración de metales pesados en suelo, raíz, hoja y fruto.

Los objetivos fueron:

a. Objetivo General:

- Evaluar la capacidad fitorremediadora de *Inga edulis* Mart., en un área degradada por minería aurífera en el distrito Inambari, provincia Tambopata, región de Madre de Dios.

b. Objetivos Específicos:

- Evaluar el desarrollo y sobrevivencia de la especie de *Inga edulis* Mart., en el área degradada por actividad de la minería.
- Evaluar el nivel de metales pesados existente en el suelo del área de estudio.
- Evaluar el nivel de metales pesados existente en los diferentes órganos de la especie de *Inga edulis* M.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. La Pequeña Minería y Minería Artesanal en la región de Madre de Dios.

Valencia (2014). La fiebre del oro en Madre de Dios, iniciada a mediados de la década del 2000, no es un fenómeno nuevo en esta región. Con más de cien años en la cuenca del río Madre de Dios, la minería aurífera tuvo dos periodos importantes de desarrollo en las décadas del 50 y del 70. En todos esos años el territorio de esta región ha ido sufriendo una serie de cambios y sobre ella se ha ido configurando una institucionalidad local o “maneras de hacer las cosas”, cuyo entendimiento es fundamental para dar cuentas a los avances y limitaciones del proceso de ordenamiento de la minería informal en Madre de Dios, retomado con nuevos bríos desde el 2009. Hasta antes de la década del 2000, la minería aurífera tuvo dos periodos importantes de desarrollo en la región: 1940-1950, 1970-1980. El primero se origina como una respuesta de diversificación económica de los colonos (principalmente venidos de las zonas Alto-andinas de Cusco, Puno y Arequipa) frente a la caída de los precios internacionales del caucho. El primer boom minero se desarrolló principalmente en la subcuenca del río Colorado y se caracterizó por el uso exclusivo de métodos artesanales de extracción de oro, principalmente en playas de ríos. Una vez agotados los yacimientos superficiales y sin posibilidades tecnológicas para profundizar la explotación aurífera sobre estas cuencas, la actividad decayó a mediados de la década del 50, retomando un lento impulso de recuperación desde mediados de la década del 60, gracias a la habilitación de la carretera Cusco-Puerto Maldonado y del aeropuerto en Puerto Maldonado, en el contexto de una política agresiva de integración vial de la Amazonia peruana al resto de la economía nacional. El segundo periodo de expansión se consolida entre en las décadas de 1970 y 1980 y es generalmente considerado como el antecedente más importante de formación de un régimen de extracción aurífera en la región. El desarrollo de este ciclo

fue posible gracias a la subida de los precios internacionales del oro y de una renovada política de Estado de “colonización” de la selva, que incluía la promoción de la minería aurífera, por ejemplo, a través del Decreto Ley 22178 o Ley de Promoción Aurífera de 1978. Además confluyen en este proceso el descubrimiento de nuevos yacimientos y la introducción de métodos semimecanizados para la extracción del mineral de una manera más intensiva. En este periodo los mineros siguen trabajando en la subcuencas de los ríos Inambari y Tambopata, con el establecimiento de asentamientos como Caychive (Inambari) y la formación de asociaciones de pequeños mineros (Tambopata – Malinowski). Con menor intensidad se desarrollan actividades mineras en la cuenca del Madre de Dios, entre la desembocadura de los ríos Colorado y Las Piedras. En estas dos décadas se instaló en Madre de Dios una generación de inmigrantes cuyas organizaciones han marcado el desarrollo de esta actividad hasta el presente, construyendo (y a veces imponiendo) una red de relaciones y un conjunto de reglas de juego sobre las que se han articulado no solo las actividades extractivas sino también los procesos de representación política y de organización de estos productores frente al Estado, otras organizaciones y actores locales. Varios de los principales dirigentes mineros de las asociaciones creadas en Madre de Dios desde la década de 1970 fueron pieza clave en el desarrollo de la propuesta normativa que dio luz a la ley 27651, Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal (en adelante Ley de Formalización) en el año 2002. Varios de los personajes hoy identificados en los medios como parte de la llamada minería ilegal arribaron a la región en ese periodo.

En ese contexto y sobre la base de un capital social en torno a la minería, acumulado durante casi dos décadas, los mineros de Madre de Dios iniciaron un proceso de articulación regional, contribuyendo además a la formación de redes nacionales de mineros que permiten sacarle al Estado normas y políticas que los favorecieran. Organizaciones como la Asociación de

Pequeños Productores Auríferos de Madre de Dios (APPMAMD), creada en 1985, jugaron un rol central en la formación de una serie de mesas de discusión y diálogo, de alcance nacional, para impulsar una Ley de Formalización (Romero *et al*, 2005).

En 1995 se establece el Proyecto Estacionario de Encuestas para Formalización, considerado el primer esfuerzo consistente para implementar un padrón de mineros artesanales en la región que permitiese tener información para la toma de decisiones. En 1996 el MEM implementa el proyecto MAPEM (Minería Artesanal y Pequeña Minería), orientado sobre todo a mejorar los procesos productivos de los mineros a través de acciones de capacitación para el uso de retortas. En 1996, el Gobierno emite el DL 851 por el cual se otorgaba derecho de preferencias para petitorios en áreas libres. Según Mosquera, esta norma habría sido el resultado de propuestas presentada por APPMAMD (Mosquera *et al.*, 2005). Finalmente, ese mismo año se emite el DL 868 que reduce el número de hectáreas exigidas para el otorgamiento de concesiones mineras. Sin embargo, no será hasta el año 2002 cuando se genera un cuerpo de normas orientado exclusivamente a la promoción de este sector.

En enero del año 2002 se aprueba la **Ley de formalización y promoción de la pequeña minería y minería artesanal (Ley 27651)**, y cuatro meses después, por DS, su reglamento (DS 013-2002). El objetivo de la norma era adecuar la legislación vigente a las condiciones productivas y sociales de las personas involucradas en esta actividad, asumiendo que las mismas se caracterizaba por el uso de tecnología básica y/o artesanal y que quienes trabajaban en ella eran personas que buscaban generar ingresos para el sustento familiar básico, mas no para incrementar sustancialmente los ingresos de su economía familiar (Romero *et al*, 2005, 37). En ese sentido la Ley simplificaba los trámites y requisitos requeridos para el inicio de operaciones y flexibilizaba algunos requisitos ambientales y laborales.

2.2. Guaba (*Inga edulis* Mart.)

2.2.1. Características Botánicas.

Árbol de copa densa, ancha, aparasolada con ramificación simpoidal desde el segundo tercio. Alcanza alturas de hasta 30 m, con diámetros de 30 a 60 cm. El fuste es recto y cilíndrico, la corteza color marrón claro lenticilada; con lenticelas de 2 a 3 mm de largo dispuestas en hileras y aglomeradas en la base del fuste. Las hojas son compuestas, paripinnadas, de 15 a 25 cm de longitud; raquis alado con glándulas en forma de cráter entre los folíolos; con 4 a 6 pares de folíolos opuestos, oblongolanceolados, ápice agudo, base obtusa, haz glabro color verde oscuro con envés pubescente y amarillento. Las inflorescencias en racimos terminales de 7 a 12 cm de largo, con flores blancas, hermafroditas, de 3.5 a 4 cm de largo, cáliz y corola tubulares con 4 a 5 lóbulos; estambres numerosos con filamentos filiformes de 3 a 4 cm de largo; ovario súpero. Los frutos son legumbres de 40 a 180 cm de largo, color café verduscas, profundamente estriadas, carnosas, que contienen numerosas semillas negras en su interior rodeadas por un arilo blanquecino, algodonoso y comestible. La madera tiene un peso específico de 0.54 g/cm³. Es de color pardo blancuzco, textura media, grano ligeramente entrecruzado. Es difícil de trabajar. Se usa en construcciones rurales, cajas, muebles, postes y leña (Pennington, 1997).

En el Ecuador se encuentra en el bosque húmedo, su mayor uso es como leña, en la producción de carbón, construcciones rurales, parquet; además su fruto es comestible y se utiliza como alimento por su grado nutricional. En recuperación de tierras degradadas, es una especie ideal por su aporte de hojarasca y manejo bajo podas (Enríquez, 1996).

- **Clasificación Científica de la Guaba**

Reino	: Plantae
Filo	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida

Orden : Fabales
Familia : Fabaceae
Sub-familia : Mimosoideae
Especie : *Inga edulis* Mart.
Autor : Carl Friedrich Philipp von Martius

- **Nombre común:**

En el Perú : Guaba (Figura 01)
En Brasil : Inga-cipó, rabo de mico
En Colombia : Guano
En Venezuela : Guamo bejuco



Fuente: propia (2015).

Figura 01. Guaba con frutos en el área de estudio.

2.2.2. Características ecológicas.

Esta especie es originaria de la Amazonia y se distribuye desde los 26° S en Brasil y Ecuador. Hasta los 10° N en Honduras en América Central. La distribución altitudinal varía de 0 a 1800 m.s.n.m., con precipitaciones de 800 a 1200 mm por año, con una estación seca de hasta cuatro meses y temperaturas de 20 a 26° C. Es

común encontrarla a la orilla de caminos y ríos en formaciones de bosque secundario. Tolera suelos hasta semipermeables y con altos contenidos de aluminio (Thirakul, 1992). La guaba es nativo de centro y Sudamérica, desde el Sur de México. Se extiende desde Colombia a través de la mayor parte de Sudamérica tropical al este de los Andes hasta la costa de Brasil (Huertas y Saavedra, 1990).

La planta se adapta a todos los tipos de suelos existentes en la amazonia, desde los más fértiles entisoles, inceptisoles, histosoles y alfisoles, hasta los más ácidos e infértiles oxisoles, ultisoles e inclusive los espodosoles arenosos. Desarrolla bien en terrenos no inundables. Tolera hidromorfismo y periodo secos prolongados (Enríquez, 1996).

2.3. Metales Pesados.

Se denominan metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido ente 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), presentan un peso específico superior a 4 (g/cm³), como el plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), Zinc (Zn), cobre (Cu), Plata (Ag) y Arsénico (As) y en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, tales como humanos, organismos del suelo, plantas y animales (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2006)

Los metales pesados como el mercurio han sido ampliamente utilizados en muchas actividades, tales como la agricultura, la minería, la fundición, la galvanoplastia y el refinado del oro (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2006).

Los metales pesados se clasifican en:

- a) **Oligoelementos o Micronutrientes.-** Requeridos en pequeñas cantidades o trazas por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, convirtiéndose en tóxicos cuando pasa cierto umbral dentro de este grupo se encuentra: arsénico (As), bromo (Br), Cobalto (Co), cromo (Cr), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se), zinc (Zn)) (Nedelkoska & Doran, 2000).

- b) **Metales pesados sin función biológica conocida.**- La presencia en seres vivos en determinadas cantidades lleva a disfunciones en los organismos y en concentraciones altas, resultan altamente tóxicos, presentando la propiedad de acumularse en los organismos vivos, dentro de este grupo se encuentra: cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), antimonio (Sb), bismuto (Bi) (Maqueda, 2003).

2.3.1. Características de los Metales Pesados.

2.3.1.1. Cobre. El cobre es considerado uno de los elementos más importantes y esenciales para las plantas. Está asociado con la materia orgánica del suelo. La disponibilidad de este elemento en las plantas se refiere a la facilidad con la que es absorbido por las plantas (Torres *et al.*, 2007). La exposición a corto plazo genera molestias gastrointestinales y exposición largo plazo lesiones hepáticas o renales (Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000).

2.3.1.2. Cromo (total). Elemento de aspecto metálico, muy resistente a la corrosión y al ataque por ácidos, sobre todo si contiene carbono. Como metal carece de toxicidad, sin embargo sus productos de oxidación, como el ácido crómico (usado en galvanoplastia), y sus sales, cromatos y dicromatos, son muy tóxicos por su acción caustica (Desoile *et al.*, 1986; Gil y Gisbert, 2004). Posibles Efecto sobre la salud por cromo total como Dermatitis alérgica. (Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000).

2.3.1.3. Níquel. El níquel es un elemento natural. El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado, que se usa para fabricar acero inoxidable y otras aleaciones de metales. Puede combinarse con otros metales, tales como el hierro, cobre, cromo y zinc para formar aleaciones. El níquel se encuentra en todos los suelos. (ATSDR, 2003). Sus efectos son fallos respiratorios, cáncer de pulmón, nariz y laringe.

Reacciones alérgicas en la piel (Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000).

2.3.1.4. Zinc. El zinc es un elemento traza esencial para las plantas superiores y los animales (Montenegro y Fredes, 2008). Efectos como pérdida de apetito, sabor y olor, irritación en la piel y erupciones cutáneas (Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000).

2.3.1.5. Mercurio. El mercurio es un elemento químico con símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200.59; en forma elemental se volatiliza a temperatura ambiente (Brown *et al.*, 2009). Efectos como Lesiones renales (Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000).

2.3.2. Efectos de los metales pesados en el suelo

El suelo es el receptor de la mayor parte de los residuos generados por el hombre, produciendo su contaminación y transmitiendo a otros recursos como las aguas subterráneas o a las cadenas tróficas, a través de su captación por las plantas.

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal en las plantas y disturbios funcionales en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo; este tipo de contaminación se conoce como "polución de suelos" (Martín, 2000).

El pH de los suelos es un factor esencial, ya que la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles en medios ácidos excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales están disponibles en medios alcalinos. Por tanto la absorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo.

La características de los suelos favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados, por ejemplo la arcilla tiende a absorber metales pesados que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación pasando rápidamente al subsuelo y contaminando los niveles freáticos (Pineda, 2004).

Los contaminantes del suelo, tienen un tiempo de residencia alto y los contaminantes del aire y agua contribuyen al incremento de la concentración (Bautista, 2000) como se muestra en la figura 02.

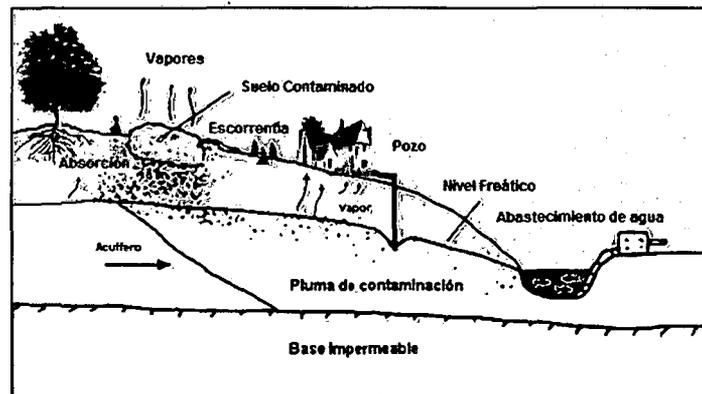


Figura 02: Transportes y dispersión de contaminantes desde el suelo al agua y al aire.

Fuente: (Ruda, Mongiello, & Acosta, 2004)

Los suelos se pueden contaminar de diferentes formas:

- Superficial: vertiendo residuos sólidos o líquidos de forma accidental o voluntaria sobre el suelo.
- Subterránea: enterrado residuos debido al aprovechamiento de escombreras, zanjas, canteras abandonadas entre otras.
- Difusa: Utilizada concentraciones bajas pero grandes volúmenes que contienen al contaminante, así por ejemplo los márgenes de las carreteras, áreas agrarias, etc.

- Puntual: contaminación focalizada, con un núcleo emisor del cual pueden movilizarse los contaminantes a otros elementos del medio (Ruda, Mongiello & Acosta, 2004).

Los contaminantes del suelo presentan diferentes grados de movilidad así el Pb, As, Sb, Zn, Cr, entre otros, tienen una movilidad alta, existiendo la posibilidad de contaminación de extensas áreas de suelo (Bureau-Veritas, 2008)

Los contaminantes del suelo según el origen pueden ser geogénicos o antropogénicos.

- Los geogénicos pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones, así se puede encontrar Pb en los minerales secundarios como el óxido de manganeso y el carbonato de calcio (Bautista, 2000; Diez, Kidd, & Monterroso, 2009).
- Los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. Y de los residuos sólidos urbanos, encontrándose Pb en lodos residuales, riego, fundidoras, plaguicidas, fertilizantes, minas, automóviles, pinturas, carbonatos y combustión de carbón (Bautista, 2000).

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental y la disponibilidad depende del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades (Sauve & Henderson, 2000).

Las principales fuentes de metales pesados están constituidas por actividades naturales, como desgastes de cerros y volcanes que constituyen una fuente relevante de metales pesados en el suelo y encontrándose como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos (Pineda, 2004). Así también en actividades antropogénicas como la

industria minera que está catalogada como una de las actividades industriales más generadoras de metales pesados.

2.3.3. Movilización de metales pesados en el suelo.

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

La figura 03 muestra las cuatro formas de distribución de los metales pesados incorporados en el suelo:

- Retención en el suelo debido a la disolución o fijación por procesos de absorción, formación de complejos o precipitación.
- Absorción por las plantas e incorporación de las cadenas tróficas.
- Volatilización y paso a la atmosfera.
- Movilización hacia las aguas superficiales o subterráneas (Cruz & Guzmán, 2007).

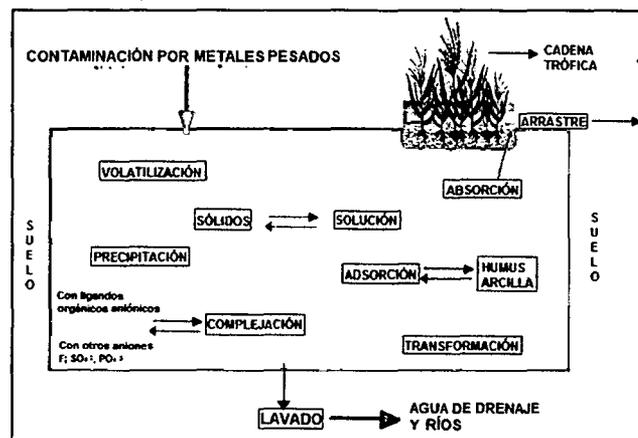


Figura 03: Dinámica de metales pesados en el suelo.

Fuente: (Cruz & Guzmán, 2007)

Los metales pesados existentes en el suelo, pueden ser retenidos o movilizados del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos como pH, potencial redox, composición iónica del suelo, presencia de carbonatos y materia orgánica así como la naturaleza de la contaminación (origen de los metales y forma de deposición) y condiciones ambientales (acidificación, variación de temperatura y humedad) (Sauquillo, 2003)

En general, la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes inferiores en muy pequeñas cantidades. La disponibilidad de un elemento depende también de las características del suelo en donde se encuentra.

Los metales pesados existentes en el suelo pueden seguir diferentes vías:

- Quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, u ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo.
- Asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (García & Dorronsoro, 2005).

La toxicidad de los metales depende no solo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino *et al.*, 2002).

2.3.4. Efectos tóxicos de los metales pesados en plantas.

Algunos metales juegan un papel dual, al ser esenciales para el desarrollo de las plantas y a su vez pueden ser dañinos a altas concentraciones. Los elementos limitantes en el desarrollo de las plantas pueden conducirlos a la muerte y producirse por incrementos relativamente pequeños en la concentración del elemento esencial, como puede ser el caso del Zn y el Cu. Para el caso de aquellos

elementos no esenciales, las bajas concentraciones de estos no ocasionan efectos alguno sobre las plantas; los daños pueden ser observados cuando la concentración llega a valores considerados tóxicos (Mancera – Rodríguez y Álvarez – León, 2006).

La habilidad que tienen las plantas de impedir la toma de metales, es limitada y depende del proceso de acumulación de los elementos en el suelo. La reducción en la capacidad de exclusión por parte de la planta está en función del incremento de la cantidad de estos elementos. Entre los elementos más fáciles de asimilar por plantas están el Cd, Ni y Zn, por lo que en periodos cortos se pueden esperar efectos perjudiciales como acumulación en el tejido de las plantas y alteración de la función de los elementos esenciales que son similares desde el punto de vista químico (Navarro *et al.*, 2007).

Para efectuar evaluaciones confiables de concentraciones de metales pesados, lo deseable es una escala de toxicidad, sin embargo su obtención implica generalización que no son confiables, ya que existen organismos más sensibles que otros, por lo que la escala de peligro para unos, puede variar para otros, además puede ignorarse la parte del organismos donde ocurre el efecto negativo (Lugo-Morin, 2004).

Las concentraciones comúnmente reportadas de plomo son menores de 1 mg/kg en frutos y semillas de 1-3 mg/kg en hojas. En cantidades muy altas son cuantificadas en las raíces (Wallace y Wallace 1994). Haque *et al.*, (2008) indican que la concentración de Plomo en el tejido de la hoja para varias especies están en un rango permisible con 5-10 mg/kg Pb de peso seco y es excesivo o toxico con 30-300 mg/kg de Pb de peso seco.

Los metales pesados como Cu y Zn son esenciales y son imprescindibles para el crecimiento normal de la planta, aunque las concentraciones elevadas de metales pueden resultar en la inhibición del crecimiento y síntomas de toxicidad. Por tanto la absorción y la toxicidad de los metales varía según las especies de las plantas, las características del suelo y las proporciones de los metales pesados presentes

(Bernal *et al.*, 2007). Las plantas poseen un intervalo de mecanismos celulares potenciales que pueden estar involucrados en la desintoxicación de metales pesados (Hall, 2002). La presencia de metales pesados en el ambiente ejerce un efecto inhibitorio sobre los organismos vivos, pero también varía la resistencia al efecto tóxico del metal, estas variaciones solo se expresan en presencia de los iones metálicos a los que son resistentes (Suarez y Reyes, 2002).

En los últimos años se ha estado desarrollando una novedosa tecnología limpia, barata y sorprendentemente eficaz para eliminar muchos de los contaminantes de los suelos afectados. Se trata de la técnica llamada fitorremediación, que consiste en el uso de plantas para limpiar suelos contaminados con metales, plaguicidas, solventes explosivos, petróleo crudo, lixiviados de vertederos y agua contaminada (White *et al.*, 2006) y determinadas especies de vegetales que absorben y concentran sustancias tóxicas.

2.3.5. Tolerancia de plantas a altas concentraciones

Los suelos contaminados con Zn, Ni y Cu causado por agua con desechos de la industria minera y fundidora es conocida por ser fitotóxica para algunas plantas sensibles (Chaney *et al.*, 1997). Cualquiera de los metales pesados puede ser tóxico para las plantas a ciertos niveles de solubilidad, pero pocos han sido observados como causantes de fitotoxicidad en los suelos.

2.3.5.1. Hiperacumulación.

Algunas plantas hiperacumulan metales (Ni, Zn, Cu y Cr) y radionucleidos. La hiperacumulación de metales pesados es definida como la acumulación de más del 0.1% por peso de materia seca en tejidos de plantas (0.01% de Cd). La hiperacumulación de los elementos más comunes como Fe y Mn es definida como más del 1% del elemento por peso de materia seca en tejidos de plantas (0.01% de Cd). En el proceso de hiperacumulación de contaminantes, algunas plantas pueden

remediar la contaminación de suelos dejándola en niveles aceptables (Dushenkov *et al.*, 1995).

Algunas plantas pueden crecer en áreas contaminadas y tolerar la hiperacumulación de metales y otros contaminantes (Susarla *et al.*, 1999). Otras plantas pueden morir o experimentar en estrés severo bajo condiciones de hiperacumulación, las plantas menos tolerantes pueden también ser utilizadas en áreas de contaminación después de cosechar y disponer las plantas que han hiperacumulado el contaminante en su máxima extensión. Algunos cultivos pueden ser replantados, si es necesario, para complementar la remediación. Otra opción es recuperar el contaminante después de cosechar las plantas (Dushenkov *et al.*, 1995). Si la finalidad de la remediación es cosechar después aquellas plantas que hiperacumularon un contaminante, entonces es necesario seleccionar plantas que sean capaces de trasladar el contaminante de la raíz por encima de los tejidos del suelo, tales como tallos y hojas (Nellessen y Fletcher, 1993). Si el contaminante se queda en las raíces, la cosecha para disposición o recuperación del contaminante es más complicado.

Plantas tolerantes a metales pesados pertenecientes a los géneros *Alyssum*, *Thlaspi*, o *Silene* han sido identificadas hace tiempo (Brooks, 1998), y su uso para propósitos de Fitoextracción han sido recomendados (Schwartz *et al.*, 2003). Muchas hiperacumuladoras, sin embargo, son difíciles de manejar y tienen un sistema radicular superficial, y su interés es por lo tanto limitado en el caso de contaminación a niveles profundos. Cerca de 400 especies de plantas han sido identificadas como hiperacumuladoras naturales de metales, representando menos del 0.2% de todas las angiospermas (Baker *et al.*, 1991; Brooks, 1998). Miembros de las familias Brassicaceae (géneros *Alyssum* y *Thlaspi*) y Fabaceae fueron los primeros señalados como hiperacumuladores.

Las especies acumuladoras han desarrollado mecanismos específicos de desintoxicación por acumulación de altos niveles de metales en las células; estos mecanismos permiten la bioacumulación de niveles extremadamente altos de

metales. Aunque algunos micronutrientes como Zn, Mn, Ni y Cu son esenciales para el crecimiento de las plantas y su desarrollo, altas concentraciones intracelulares de esos iones pueden llegar a ser tóxicos. Para tratar con éste estrés potencial, las plantas comúnmente no acumuladoras han desarrollado varios mecanismos para controlar la homeostasis de iones intracelulares. Algunos mecanismos incluyen la regulación de la entrada de iones y salida de iones intracelulares apoyándose en soluciones externas.

Las especies hiperacumuladoras, capaces de capturar cantidades superiores a las 1000ppm, poseen mecanismos adicionales de desintoxicación. Por ejemplo, investigaciones han demostrado que *Thlaspi goesingense*, es una hiperacumuladora de Ni, con altas concentraciones debido a que lleva a cabo la complejación por medio de la histidina (Krämer *et al.*, 1997).

El Cd es potencialmente tóxico, que ha demostrado acumularse en plantas donde es desintoxicado por medio de la unión de las fitoquelatinas. La metalotionina (MT), identificada en numerosos animales y más recientemente en plantas y bacterias, es también un compuesto (proteínas) con propiedades de recepción de metales pesados (Lasat *et al.*, 1996).

2.4. Fitorremediación.

En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos o emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de fitorremediación y se define como el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad, basándose en el uso de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (Maruyama-Nakashita *et al.*, 2007; Chaney *et al.*, 1997).

En función de su compartimiento ante la presencia de metales en el ambiente las plantas se han clasificado en tres tipos (Olayinka, 2008):

- Excluyentes: restringen la entrada o la translocación de metales tóxicos. Esto les permite vivir en ambiente con elevadas concentraciones de metales (Llugany *et al.*, 2007)
- Indicadoras: reflejan el incremento de metal producido en el entorno.
- Acumuladoras: incrementan activamente metales en sus tejidos.

La fitorremediación es definida como el uso de plantas para remover contaminantes del ambiente (Cunningham y Berti, 1993; Raskin *et al.*, 1994) y es considerada como una nueva tecnología satisfactoria para la remediación de sitios contaminados. Actualmente, es usada para tratar muchas clases de contaminantes incluyendo petróleo (hidrocarburos), solventes clorados, pesticidas, explosivos, metales pesados, radionucleidos y lixiviados de vertederos (Susarla *et al.*, 2002).

McCutcheon y Schnoor (2003) definen la fitorremediación como la utilización de plantas vasculares, algas y hongos para controlar o remover desechos o para estimular la degradación de los contaminantes en la rizósfera, o en la región de la raíz de la planta.

El proceso de fitorremediación es más efectivo donde la contaminación está presente a niveles bajos o medios. En altos niveles puede inhibir el crecimiento de la planta y sus actividades. La presencia de vegetación puede tener varios efectos sobre los contaminantes del suelo y el agua. Algunos estudios indican que las plantas del suelo son capaces de una degradación, remoción y mineralización más efectiva de los hidrocarburos totales del petróleo (TPHs), hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), pesticidas, etc (USEPA, 2000). Las raíces de algunas plantas pueden absorber o inmovilizar metales contaminantes, los cuales otras plantas no son capaces de metabolizar o acumular. Un conjunto complejo de relaciones en las interacciones entre las plantas, los microbios del suelo y los contaminantes hacen posibles varios procesos de fitorremediación.

Los contaminantes orgánicos, inorgánicos y metales en agua y suelo pueden ser sujetos a: degradación, extracción y retención por las plantas, y una combinación de estos mecanismos. El proceso de la planta que promueve la remoción de los contaminantes del suelo y agua puede ser directo o indirecto. Los procesos directos incluyen la recepción dentro de las raíces de las plantas o renuevos y la transformación, almacenamiento o transpiración de los contaminantes. El procesamiento indirectos de la planta implica la degradación de los contaminantes por los microbios del suelo y la interacción de las raíces dentro de la rizósfera (Hutchinson *et al.*, 2003). Existen tres métodos de aplicación para este tipo de tecnología: fitorremediación *in situ*, *in vivo* e *in vitro*

Fitorremediación *in situ*. Implica la colocación de plantas vivas en la superficie de aguas, suelo o sedimentos contaminados, o en suelos o sedimentos que están en contacto con aguas superficiales contaminadas para el propósito de la remediación. El mecanismo consiste de solo captación y acumulación y no de transformación. Las plantas deben ser cosechadas y removidas del sitio después de la remediación para su disposición o recuperación de los contaminantes. Una condicionante es que el contaminante debe ser físicamente accesible (biodisponible) para las raíces. Este mecanismo es el menos costoso de la fitorremediación (Susarla *et al.*, 2002).

Fitorremediación *in vivo*. Para sitios donde los contaminantes no son accesibles para las plantas tales como acuíferos profundos, es posible la aplicación de un proceso de fitorremediación. Los contaminantes son extraídos por medios mecánicos, después son transferidos a un área de tratamiento temporal para seleccionar las plantas óptimas para la fitorremediación. Después del tratamiento, el suelo o agua limpia pueden ser regresadas a su lugar de origen y las plantas pueden ser cosechadas y dispuestas si es necesario. El tratamiento puede llevarse a cabo el mismo sitio en otro lugar (Susarla *et al.*, 2002).

Fitorremediación *in vitro*. Se utilizan componentes de plantas vivas como la extracción de enzimas. En teoría, puede ser aplicado *in situ* bajo algunas

circunstancias, por ejemplo aplicando extractos de plantas en aguas contaminadas, o a través de un poro impregnado de la enzima en una pluma de agua contaminada. De todos estos, es considerado por su implicación como el método más costoso (Susarla *et al.*, 2002).

2.4.1. Mecanismos y fases de la fitorremediación.

La fitorremediación utiliza los siguientes mecanismos:

2.4.1.1. Fitoextracción o fitoacumulación:

Consiste en la elaboración de contaminantes por las raíces; es la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje. Este mecanismo ha sido ampliamente estudiado en plantas que acumulan metales (Piechalak *et al.*, 2008) y recientemente con materiales radioactivos (Dushenkov, 2003). El uso de plantas para remover contaminantes inorgánicos, principalmente metales, de aguas y suelos contaminados, ya que tienen la característica natural de captar metales, tales como Cu, Co, Fe, Mo, Mn, Ni y Zn; que son minerales esenciales. Otros sin embargo, tales como Cd y Pb no poseen una actividad fisiológica sobre la planta pero también pueden ser capturados (Chaney, 1983; Baker *et al.*, 1991). Un contaminante capturado no degradado rápida o completamente por la planta propicia la fitoacumulación.

2.4.1.2. Rizofiltración:

Se basa en la utilización de plantas crecida en cultivos hidropónicos, se prefieren raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar contaminantes.

2.4.1.3. Fitoestimulación o rizodegradación:

Las plantas generan los exudados radiculares que estimulan el crecimiento de los microorganismos nativos capaces de degradar compuestos orgánicos xenobióticos. Es un tratamiento biológico de un contaminante por el incremento de

la actividad bacteriana y fungi en la rizósfera de ciertas plantas vasculares. Las plantas y los organismos a menudo tienen relaciones simbióticas haciendo la zona de la raíz o rizósfera un área de mucha actividad microbiana (Anderson *et al.*, 1993; Schwab *et al.*, 1995). Las plantas pueden moderar los ambientes geoquímicos en la rizósfera, proporcionando condiciones para el crecimiento de bacterias y hongos y degradar los contaminantes orgánicos. Los restos de la planta y las raíces exudativas proporcionan nutrientes como el nitrato y fosfato para reducir o eliminar la necesidad de adicionar fertilizantes. La raíz penetra el suelo, proporcionando zonas de aireación y estimula la biodegradación aeróbica (Susarla *et al.*, 2002).

2.4.1.4. Fitoestabilización:

La Fitoestabilización es un mecanismo que utiliza la planta para desarrollar un sistema denso de raíces que le permite reducir la biodisponibilidad y la movilidad de los contaminantes evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera. Minimiza la migración de los contaminantes en el suelo. Este proceso toma la ventaja de la habilidad de las raíces de la planta para alterar las condiciones del suelo, como el pH y contenido de humedad de la tierra. Algunas raíces ocasionan que el metal se precipite reduciendo su biodisponibilidad. Una ventaja sobre la fitoacumulación, es que no se requiere de disposición del material de la planta. Con una apropiada selección de especies de plantas, cubierta vegetal y condiciones de suelo puede ser posible estabilizar ciertos contaminantes (particularmente metales) en el suelo reduciendo la interacción con la biota presente (Cunningham *et al.*, 1995).

2.4.1.5. Fitovolatilización:

La Fitovolatilización se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera. Es un mecanismo por medio del cual las plantas convierten un contaminante en forma volátil, con lo cual remueven el contaminante del suelo o agua (Terry *et al.*, 1995) por medio de su follaje. En asociación con microorganismo

convierten Se a selenio-dimetil que es menos tóxico y es la forma volátil del Se. De manera similar, algunas plantas transgénicas (*Arabidopsis thaliana*) ha convertido sales de mercurio orgánico e inorgánico a volátil, que es su forma elemental (Watanabe, 1997).

2.4.1.6. Fitodegradación:

Consiste en la transformación de los contaminantes orgánicos en moléculas más simples. En determinadas ocasiones, los productos de la degradación le sirven a la planta para acelerar su crecimiento, en otros casos los contaminantes son biotransformados.

Es el uso de plantas y microorganismos asociados (biorremediación asistida por plantas) para degradar contaminantes orgánicos. Las raíces de las plantas en conjunto con sus microorganismos rizosféricos son utilizados para remediar suelos contaminados orgánicos (Chaney *et al.*, 1997; Raskin *et al.*, 1997). Los fenoles han sido degradados por plantas como *Solanum tuberosum* y *Raphanus sativus* que contienen peroxidasa que es una enzima que cataliza la oxidación de ciertos compuestos dadores de hidrógeno, como fenoles y aminas aromáticas por medio de peróxidos (H_2O_2), (Roper *et al.*, 1996; Dec. y Bollag, 1994). Especies de *Populus spp.* Son capaces de transformar tri-cloro-etileno en suelo y agua superficial (Strand *et al.*, 1995; Newman *et al.*, 1997).

Una planta fitorremediadora realiza cualquiera de los mecanismos anteriores siguiendo tres fases: absorción, excreción y desintoxicación de contaminantes.

La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante estomas y la cutícula de la epidermis (Watt y Evans, 1999). Esta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Otros factores importantes que inciden en la penetración del contaminante son su peso molecular e hidrofobicidad que determinan que estas

moléculas atraviesen las membranas celulares de la planta. Después de cruzar la membrana, los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta (Harvey *et al.*, 2007).

Los contaminantes que se absorben por las raíces, se excretan vía hojas (Fitovolatilización). Cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones (menos del 5 %) se excretan sin cambios en su estructura química. La desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por la vía de la mineralización hasta dióxido de carbono.

Estas biotransformaciones que ocurren generalmente en la naturaleza se les denomina atenuación natural. Se ha observado que los niveles de contaminantes se reducen más rápidamente en suelos con plantas. Por ejemplo, April y Sims (1990) demostraron que la biodegradación de varios contaminantes se intensificó debido al crecimiento de pastos en los suelos contaminados con hidrocarburos. En otros estudios Anderson y Coats (1995), encontraron que la rizósfera contenía una población muy diversificada de microorganismos, dos o tres veces más abundantes que lo observado en los suelos cercanos sin hierbas.

2.4.2. La fitorremediación como estrategia de recuperación de suelos contaminados.

Los conocimientos que se tienen de plantas que pueden extraer metales pesados pueden ayudar en los esfuerzos de fitorremediación, empleando algunas especies de plantas especializadas que acumulan metales pesados y han sido propuestas como una alternativa para retirarlos de suelos contaminados, como *Thlaspi caerulescens* que es una planta que acumula Zn y Cd alrededor de sus raíces, usando de modelo a *Lupinus albus* que transmite altas cantidades de citrato (Luo *et al.*, 2008).

(*Beta vulgaris* L) es otra especie que también ha sido utilizada para reducir concentraciones de metales pesados (Zn, Cd, Ni y Cu) en suelos bajo condiciones de invernadero (Haq *et al.*, 1980).

También se han explorado plantas que crecen en suelos contaminados y viven alrededor de minas de Mahad AD'Dahab como es el caso de *Pergularia tormentosa*, *Eucalyptus* sp. *Convolvulus* sp. Familia graminacea, *Rhiza strica*, *Acacia tortilis*, *Prosopis juliflora*, *Salsola* sp, *Calotropis procera* y *Ochrademus vaccatus*, acumulando metales pesados como Cd, Cu, Pb y Zn, siendo *Pergularia tormentosa* la que más acumula altos niveles de metales pesados en estos suelos (AL-Farraj y Al-Wabel, 2007). Esto puede deberse a que las plantas absorben cationes y aniones tóxicos por semejanzas químicas con los nutrientes. Los metales tóxicos absorbidos son fijados en los tejidos en compuestos orgánicos que se vuelven asimilables para los animales. En este sentido las plantas representan una importante vía de transferencia de elementos potencialmente tóxicos del suelo al hombre (Cataldo *et al.*, 1987). Los contaminantes orgánicos pueden ser disipados en el ambiente inmediato de la raíz (Parrish *et al.*, 2005) o ser tomados por las raíces de las plantas y acumularse en ellas para ser metabolizados o volatilizados (White *et al.*, 2006).

Fodor (2006) estudió los metales pesados que inhiben la adsorción, absorción y el desplazamiento del hierro en las plantas hiperacumuladoras y su influencia en el medio ambiente. Encontrando que los metales tóxicos se conservan generalmente en las raíces y hay poca acumulación en el tallo, y las plantas sufren de diversos niveles de tensión debido en muchas ocasiones a la fuente escasa de hierro. Sin embargo, hay ciertas especies o variedades de plantas que pueden acumular mil veces más concentraciones de metales pesados en sus tallos. Se ha sugerido que estas plantas pueden ser una herramienta barata para la descontaminación de suelos, llamada fitorremediación. Las plantas no acumuladoras se pueden también utilizar para la Fitoextracción de metales pesados y quelatos directamente al suelo.

Mulligan *et al.* (2001) describen a los metales incluyendo el Pb, el Cr, el Ar, el Zn, el Cd, el Cu y el Hg como dañinos al ambiente y la salud humana como resultado de sus movibilidades y solubilidades. La selección del método más apropiado de la remediación del suelo y del sedimento depende de las características del sitio, de la concentración, de los tipos de agentes contaminantes que se quitaran, y del uso final del medio contaminado. Los acercamientos incluyen el aislamiento, la inmovilización, la reducción de la toxicidad, la separación física y la extracción. Muchas de estas tecnologías han sido usadas como el método de la solidificación/estabilización. La solidificación encapsula los contaminantes en una matriz sólida mientras que la estabilización implica la formación de vínculos químicos para reducir movilidad del contaminante. Esta investigación ha indicado que los biosulfatantes, tensioactivadores biológico producidos, pueden también ser agentes prometedores para realzar el retiro de metales de suelos y de sedimentos contaminados.

Yang *et al.*, (2004) estudiaron la cantidad de Cd en tallos de *Sedum alfredii* determinando que esta planta tiene una capacidad extraordinaria de tolerar e hiperacumular Cd lo cual proporciona un material vegetal importante para entender los mecanismos de Cd/Zn en plantas fitorremediadoras en suelos contaminados de metales pesados.

Sterckeman *et al.*, (2004) evaluaron la absorción de Cd en maíz (*Zea mays* L.) y Cd-Zn en ecotipos de *T. caerulescens* ambos, cultivados en un suelo enriquecido con sulfato de cadmio, teniendo como resultado que la acumulación de Cd en las plantas depende del nivel de Cd en el suelo

Lasat (2002) menciona que la remediación en sitios contaminados con metales tóxicos es particularmente desafiadora, ya que no son compuestos orgánicos; los metales no pueden ser degradados, y la limpieza requiere generalmente su retiro, pudiendo ser muy costoso porque se emplean procesos fisicoquímicos muy rigurosos que inhiben la fertilidad del suelo, impactando negativamente en el ecosistema. La fitorremediación se ha propuesto como una tecnología alternativa rentable y

respetuosa del medio ambiente. Algunas investigaciones indican que esta técnica tiene el potencial para quitar muchos metales tóxicos del suelo. Pero a pesar de este potencial, la fitorremediación aún no es una técnica muy conocida.

Youngman *et al.*, (1998) analizaron metales pesados (Zn, Pb y Cd) en raíces de hierbas que crecían en dos suelos en una fundidora abandonada; los resultados mostraron que para ambos tipos de sustrato había acumulación significativa de los tres metales en los sistemas de la raíz con concentraciones relativamente bajas de estos metales. La división entre los tallos y las raíces para los tres metales en ambos tipos del suelo hizo un promedio de 1:5 (tallo: raíz). Había poca correlación entre la raíz y tallo debido a las concentraciones de estos metales. Cossio *et al.*, (2004) menciona que la vacuola o pared celular en las hojas desempeña un papel principal en la hiperacumulación de metales pesados.

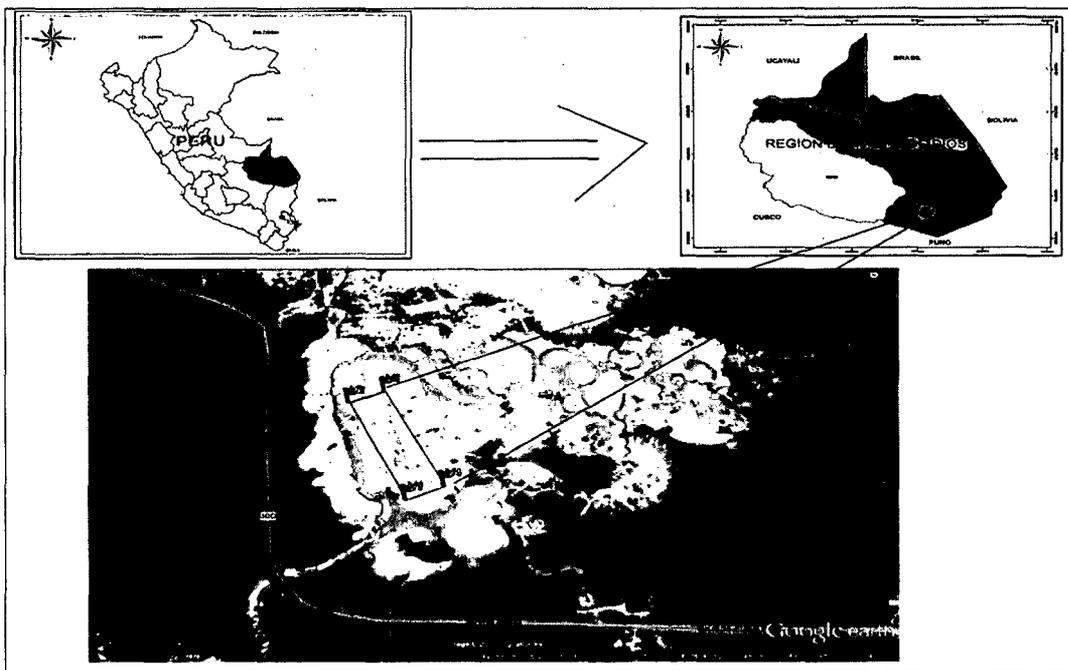
Puga *et al.*, (2006) analizaron concentraciones totales de arsénico (As) y de zinc (Zn) en plantas dominantes en sitios ubicados a diferentes distancias en la presa de Jales, obteniendo como resultado que a medida que las plantas están más alejadas de la presa los niveles de concentraciones de As y Zn disminuyen al igual que en el suelo, es decir que las plantas estudiadas concentran más estos elementos al estar más cerca de la presa y la parte en donde acumulan más estos elementos es en la hojas y las especies que presentaron las concentraciones más altas fueron el huizache (*Acacia farnesiana*), el táscate (*Juniperus deppeana*), la jarilla (*Baccharia glutinosa*), el mesquite (*Prosopis juliflora*) y el zacate pata de pollo (*Cynodon dactylon*).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Metodología

3.1.1. Lugar de Ejecución.

El presente trabajo de investigación se realizó en la concesión minera Moran I, ubicado en el sector de Nueva Arequipa, distrito Inambari, provincia Tambopata, en el departamento de Madre de Dios, margen derecho del eje carretero Interoceánico Puerto Maldonado – Cuzco, Km 98, con una altura 220 m.s.n.m. (Figura 04), cuyas coordenadas en UTM WGS-84 del área de estudio son: V1, E-393068; N-8574286. V2, E-392976; N-8574465. V3, E-393017; N8574478. V4, E-393109; N-8574303.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Imagen satelital de la plantación de guaba.

3.1.2. Desarrollo y sobrevivencia de la especie de *Inga edulis* M.

La presente investigación se realizó en la plantación de *Inga edulis* M., procedente de parcelas instaladas con una distribución de 3 x 3 metros (Anexo 01)

del Proyecto “Piloto de Recuperación de Áreas Degradadas por Efecto de la Minería Aluvial en madre de Dios”. (Anexo 02), dicho proyecto surge a iniciativa del Ministerio del Ambiente (MINAM) con financiamiento de la Cooperación Técnica Alemana GIZ y la ejecución técnica a cargo de la Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER). Esta experiencia se inició el primero de octubre del 2010 y culminó con la siembra de los últimos plántones el dos de abril del 2011. La evaluación de prendimiento y desarrollo inicial de las plantaciones se realizó dos meses después de la siembra por parte de AIDER.

Para conocer el desarrollo y la evaluación de la plantación de *Inga edulis* de cuatro años de edad, se determinó realizar un censo poblacional al 100% de toda el área de estudio, recolectando los datos de campo en el formato de inventario (Anexo 29) para cada individuo de *Inga edulis* (Anexo 03), como son: La medición de la copa (Anexo 04), que determinan la vigorosidad de la planta y la ramificación existente; la medición de la altura (Anexo 05), que indica la madurez de una planta en desarrollo; también se consideró evaluar el estado fitosanitario de la especie en estudio para poder determinar el nivel de sobrevivencia dentro del área de estudio, se realizó el registro de todo los individuos que se encontraran enfermos con o sin frutos (Anexo 06), los individuos sanos (Anexo 07) que son los que se encuentra sin plagas con o sin frutos y los individuos muertos, secos y tumbados (Anexo 08, Anexo 09), de la misma manera considerar como información adicional en el formato de inventario en la columna de observación la presencia de agentes polinizadores y dispersadores de semillas (Anexo 10) dentro de la plantación de *Inga edulis* en el momento del censo e inspección ocular del área de estudio, por considerarlo como pieza fundamental de la propagación y reproducción de la especie dentro y fuera del área de estudio.

3.1.3. Colecta de Datos y Muestreo.

El área de estudio consta de una superficie de 10,098 m², muy cerca pasa la quebrada de nombre Guacamayo, que en épocas de invierno desborda de su cauce

normal, ocasionado inundación en toda la franja marginal y afectando en alguna forma parte de la plantación de *Inga edulis* (Anexo 11).

Luego del censo general de la plantación de *Inga edulis*, se realizó la inspección ocular del área de estudio para la identificación y selección de los individuos de guaba al azar (Anexo 12); y con el apoyo de los materiales de campo como una tijera de herbario, pala cuchara pequeña, wincha de mano, cinta de agua, saco y otros (Anexo 13), se consiguió obtener las muestras para los análisis de metales pesados.

El criterio que se utilizó para la colecta de muestras de suelo y material vegetal de la especie antes señaladas, fue considerando la estratificación del área de estudio en zona alta (no inundable), zona media (poco inundable) y zona baja (inundable), Esto es tomando en consideración a la probabilidades de contaminación dentro del área de estudio y la comparación estadística entre las zona con las muestras de suelo y material vegetal (raíz, hoja y fruto), no existen reglas generales para realizar un muestreo de suelos, puesto que cada sitio requiere de un muestreo en particular. Por esto es importante realizar un esquema de muestreo para cada sitio, el cual consiste en la ubicación optima de los puntos de muestreo y debe de ser lo suficiente flexible para permitir ajustes durante las actividades en campo. Por ejemplo, la falta de acceso a los sitios de muestreo preseleccionados, las formaciones de subsuelo no previstas o las condiciones climáticas, pueden demandar ajustes importantes en los planes de muestreo (Valencia y Hernández, 2000).

Las muestras de hojas de *Inga edulis* (Anexo 14), fueron colectadas de la parte media de la planta, considerando como criterio las normas del laboratorio las hojas sanas, sin manchas de hongos u otro, para depositarlo en las bolsas de papel, con su debido etiquetado de cada muestra en las tres zonas del área de estudio (Anexo18).

Las muestras de frutos de *Inga edulis* (Anexo 15), se colectaron entre 3 a 5 frutos maduros por individuo para las tres zonas del área de estudio, se tomaron en cuenta las recomendaciones dadas por el laboratorio para la correcta colecta de los frutos

sanos, sin daño alguno, para posteriormente depositarlos en el saco con su debido etiquetado en la cinta de agua que además servía para amarrar los frutos colectados (Anexo 19).

Las muestras de raíz de *Inga edulis* (Anexo 16), se colectaron en el suelo, exactamente debajo de las ramas y hojas de cada planta, entre 200 g a 300 g de raíz desnuda con un diámetro mínimo de 10mm, de acuerdo a los criterios del manual de colecta y del laboratorio, posteriormente se depositaron en bolsas de papel, con su debido etiquetado para cada muestra en las tres zonas del área de estudio (Anexo 20).

Las muestras de suelos (Anexo 17), se colectaron a partir de una profundidad de 20 a 30 cm del suelo ubicado debajo de las ramas y hojas de cada individuo de guaba entre 250 g a 500 g por muestra de suelo para cada individuo; se tomaron en cuenta todas las recomendaciones del manual de colecta y las del laboratorio para la correcta colecta, posteriormente se depositó las muestras de suelo en bolsas herméticas con su debido etiquetado (Anexo 21).

3.1.4. Diseño Experimental.

Para el análisis de metales pesados en el presente estudio se realizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Siendo los tratamientos la zona baja (área de bajo relieve, a 1 metro de altura de la quebrada guacamayo), la zona media (área de medio relieve, a 2 metros de altura de la quebrada guacamayo) y la zona alta (área de alto relieve, más de 3 metros de altura de la quebrada guacamayo). La unidad de muestreo fue una planta de *Inga edulis* M. (Figura 05), la cual conformaba como muestra compuesta de suelo, raíz, hoja y fruto de la especie en estudio.

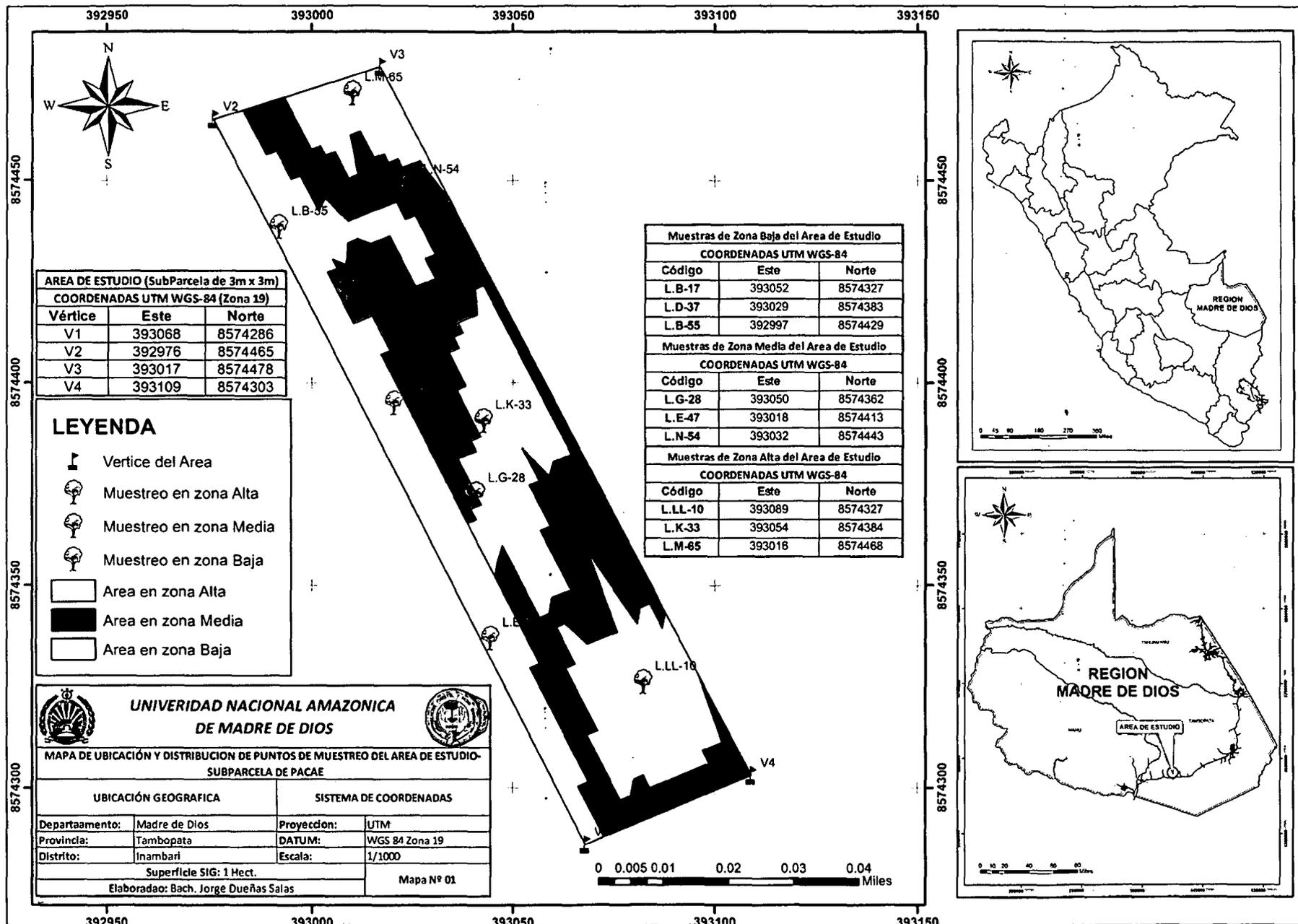


Figura 5. Distribución de los puntos de muestreo en las tres zonas de la subparcela del área de estudio

3.1.5. Metodología de secado y triturado de muestras vegetales

Las muestras de raíz seleccionada (Anexo 22), muestras de hojas seleccionada (Anexo 23) y los frutos de la *Inga edulis* (Anexo 24), fueron pre-tratadas en el Laboratorio de la Universidad Nacional de la Amazonía (UNAMAD) en Madre de Dios, para las muestras de hojas se realizó el prensado y el pre-secado (Anexo 25; Anexo 26) con el objetivo de reducir el grado de humedad y no sean afectadas por hongos. Para las muestras de raíz y frutos fueron lavadas con agua corriente, secadas sobre papel absorbente, y conservadas a 4°C en una refrigeradora. Luego, fueron transportadas las muestras pre-tratadas con su correcta codificación (Anexo 27) al Laboratorio de Ecotoxicología (Laboratorios de Investigación y Desarrollo) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia en Lima, para su procesamiento. Éste consistió en separar las muestras en bolsas de papel periódico a las que se les hizo agujeros pequeños, y colocarlas en una secadora de plantas, donde estuvieron por 4 días a 50°C. Terminado el secado, las muestras se colocaron en bolsas ziplock nuevas, se codificaron y se almacenaron a 4°C.

Para el análisis de metales, las muestras vegetales tuvieron que pulverizarse en un molino eléctrico (Anexo 28). Para este proceso, se colocó una bolsa con un elástico en la boca colectora del molino y se fue colocando de a pocos el material vegetal hasta que se hubo pulverizado por completo. El operario utilizó guantes de látex, lentes protectores y una mascarilla 3M absorbente de compuestos volátiles y partículas de polvo. Entre cada proceso de triturado, se abrió la tapa del molino y se removió todos los restos de polvo y material vegetal en las cuchillas, filtro y demás partes del molino con una escobilla fina. El material triturado se colocó en bolsas ziplock codificadas y se guardó a 4°C. El peso mínimo de cada muestra fue de 10 g. Posteriormente, las muestras fueron llevadas al laboratorio de la empresa Servicios Analíticos Generales S.A.C. para el análisis de metales por ICP-OES (Espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente basado en "EPA Method 200.7 – Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry")

3.1.6. Análisis de metales pesados en muestras vegetales

Las muestras vegetales de *Inga edulis* (raíz, hoja y fruto) de las tres zonas de altura del área de estudio fueron enviadas al laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C, para el análisis de contenido de metales pesados en mg/kg o ppm en las muestras antes mencionada con el *Método EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry.1994. Anexo 38.*

3.1.7. Análisis de metales pesados en muestras de suelos

Las muestras suelo de las tres zonas de altura del área de estudio fueron enviadas al laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C, para el análisis de contenido de metales pesados en mg/kg o ppm en las muestras antes mencionada con el *Método EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Versión. Anexo 39.*

También se analizó la caracterización de la muestra de suelo compuesta del área de estudio con las respectivas normas para **pH** (*EPA 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH*), **la Textura** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.9 Método AS-09 (31 de Diciembre 2002)), el contenido de **Materia orgánica** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07 (31 de Diciembre 2002)), **Potasio disponible** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.10 (31 de Diciembre 2002)), **Fosforo disponible** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.10, 7.1.11 Método AS-10 y AS-11 (31 de Diciembre 2002)), **Conductividad** (ISO 11265:1994/Cor 1:1996. Soil quality—Determination of the specific electrical conductivity. **Carbonatos** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-20 (31 de Diciembre 2002)), **CIC** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 (31 de Diciembre 2002)), **Bases intercambiables** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 (31 de Diciembre 2002)), **Acidez Intercambiable** (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-33 (31 de Diciembre 2002)).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Desarrollo y Supervivencia de la especie de *Inga edulis* Mart., en el área degradada por actividad de la minería.

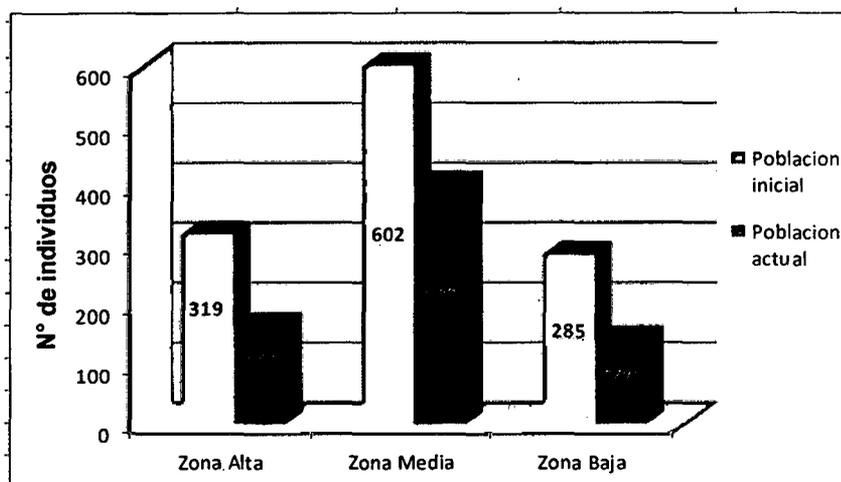
De acuerdo a los resultados del censo de la plantación de *Inga edulis* en el área de estudio; se determinó que la zona media de la plantación mostró el mayor número de individuos vivos en la población inicial y la población actual a diferencia de la zonas baja y zona alta, observando un descenso drástico en la población de individuos para cada zona del área de estudio esto por el incremento de la tasa de mortandad después de cuatro años (Cuadro 01). Una explicación es de que las tres zonas presentan el mismo suelo y la misma especie, y que el bajo nivel de supervivencia de toda la plantación se dio por la ausencia del agua y los aspectos ambientales en el área de estudio, coincide con la explicación de Shibu *et al.*, (2003). La disponibilidad de agua tiene un efecto directo sobre las plantas al disminuir su turgor e indirectamente limita el incremento de biomasa, por lo cual una cantidad adecuada de agua disponible es esencial para una productividad alta, y la explicación de Price *et al.*, (2001). La supervivencia de muchas especies de plantas asociadas con las variables ambientales del micrositio; entre las cuales destacan temperatura, luz, humedad y nutrientes.

Cuadro 01. Población de *Inga edulis* en tres zonas de la plantación.

Zona	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja	Total
Poblacion inicial	319*	602*	285*	1206*
Poblacion actual	166	403	144	713
Sobrevivencia (%)	52.04	66.94	50.53	59.12

Fuente: Elaboración propia 2015.

* Datos de campo del 2011 por la ONG AIDER.



Fuente: Elaboración propia 2015.

Figura 06. Población inicial y población actual de *Inga edulis*.

En la figura 06 se observa que los niveles de individuos de guaba varían considerablemente con respecto a la población inicial del año 2011 y la población actual en el año 2015, esta figura demuestra que la zona media presentó una población inicial mucho mayor con respecto a las otras zona, de la misma forma sucede con la población actual, lo que indica la elevada tasa de mortandad en las zonas del área de estudio y una sobrevivencia baja, debido a que algunas variables ambientales están ausentes (Price *et al.*, 2001).

4.1.1. Promedio en altura (h) en las tres zonas.

El mayor número de individuos con promedio de altura de la especie de *Inga edulis* (guaba) para las tres zonas, se encontró determinar con el inventario aplicado al 100% a toda la plantación experimental de *Inga edulis* de 3m x 3m (Figura 4), la zona media de la plantación mostró el mayor promedio con respecto a la altura de los individuos de guaba y con respecto a la zona baja del área de estudio presentó un dato inferior a comparación de las otras zonas (Cuadro 02), lo que indica la diferencia del promedio de altura entre estas dos zonas de altitud en el área de estudio en 20 cm con respecto a los datos de campo (Figura 07). De la misma manera se corroboró el nivel de promedio de altura con información de campo del año 2011 por parte del

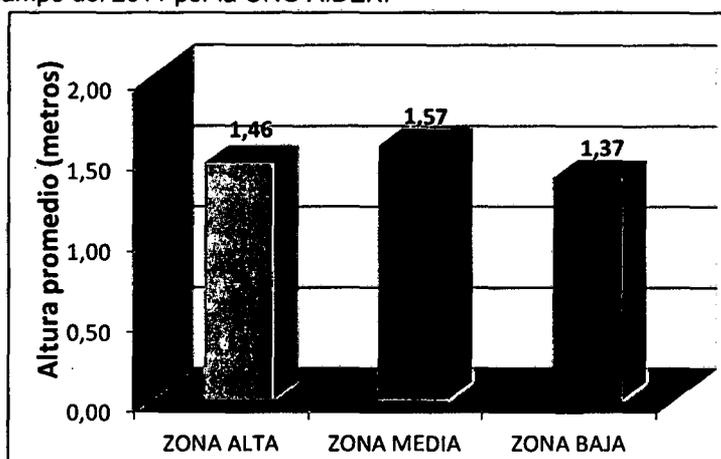
monitoreo de la ONG AIDER en el área de estudio (Figura 08). De acuerdo a estos resultados podemos afirmar que la plantación presenta un lento o detenido crecimiento en los individuos de *Inga edulis* de la plantación, por encontrarse en un ambiente degradado, esto no afecta en el desarrollo reproductivo de la planta como indica Le Miére *et al.*, (1998) y Tehranifar *et al.*, (1998) que el proceso de inducción floral ya habría ocurrido y el desarrollo reproductivo no dependería del crecimiento vegetativo que presenta la planta.

Cuadro 02. Valor promedio en altura

Zona del area de estudio	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja	Promedio en altura (21-12-2011)	Promedio en altura (25-02-2015)
Promedio Altura (m)	1.46	1.57	1.37	1.47	1.08

Fuente: Elaboración propia.

* Datos de campo del 2011 por la ONG AIDER.

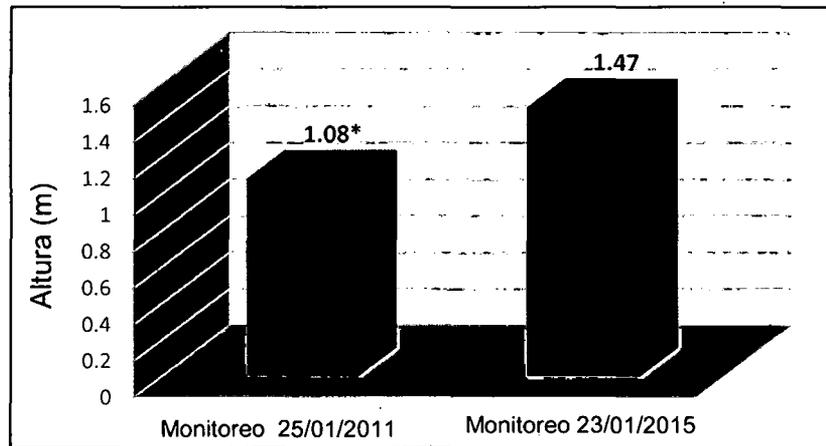


Fuente: Elaboración propia.

Figura 07. Promedio en altura de individuos de guaba.

En la figura 07 se observa una variación ligera en los promedios de altura de los individuos para cada zona de altitud dentro del área de estudio (zona baja, zona media, zona alta), este gráfico demuestra que la zona media presentó el mayor nivel en promedio de altura con 1.57 m superando ligeramente a la zona alta (1.46 m). El menor valor en promedio de altura fue obtenido en la zona baja (1.37 m). En las tres

zonas se ven afectados por condiciones climáticas del medio ambiente que lo rodea al área de estudio, esto influye de alguna manera en el crecimiento de altura de la planta según Wilson y Dixon, (1988) y Hancock, (1999). Mencionan que el crecimiento y espaciamento óptimo va a depender del vigor del material y del clima.



Fuente: Elaboración propia

* Datos de campo del 2011 por la ONG AIDER.

Figura 08. Promedio de altura en distintos monitoreos.

En la figura 08 se observa los promedios de altura de los individuos de *Inga edulis* en dos monitoreos en tiempos distintos; este gráfico demuestra que la toma de datos del monitoreo actual, presentó el mayor nivel en promedio de altura con 1.47 m superando al monitoreo de hace cuatro años atrás con un altura de 1.08 m, lo que indica un crecimiento de 39 cm en promedio la plantación de cuatro años.

4.2. Metales pesados en el suelo

4.2.1. Mercurio en suelo

La cantidad (mg/kg o ppm) de Mercurio (Hg) en suelo, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 03), se pudo determinar que los resultados se encuentran por debajo del Límite de detección del laboratorio (< 0.10 mg/kg), de la misma forma los resultados se encuentran por debajo de la línea base de 0.2 mg/kg que Lacerda y Solomons (1992) han sugerido para los

suelos amazónicos. Los resultados del análisis demuestra que el suelo en las tres zonas del área de estudio no presentan mercurio en su interior debido a que estos hubieran sido movilizados por la planta o desplazados a mayor profundidad del suelo; como menciona García & Dorronsoro, (2005); Paim *et al.*, (2006) que los metales pesados pueden quedar retenidos por procesos de adsorción, complejación y de precipitación, ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a cadenas tróficas. También pueden pasar a la atmosfera por volatilización y moverse a las aguas superficiales o subterráneas.

Cuadro 03. Concentración de Mercurio (Hg) en suelo.

Zona de altitud	código de muestra	Mercurio (Hg) mg/kg en suelo
zona baja	L.B-17	< 0.10
	L.B-55	< 0.10
	L.D-37	< 0.10
zona media	L.N-54	< 0.10
	L.G-28	< 0.10
	L.E-47	< 0.10
zona alta	L.LL-10	< 0.10
	L.M-65	< 0.10
	L.K-33	< 0.10

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Cromo total en suelo.

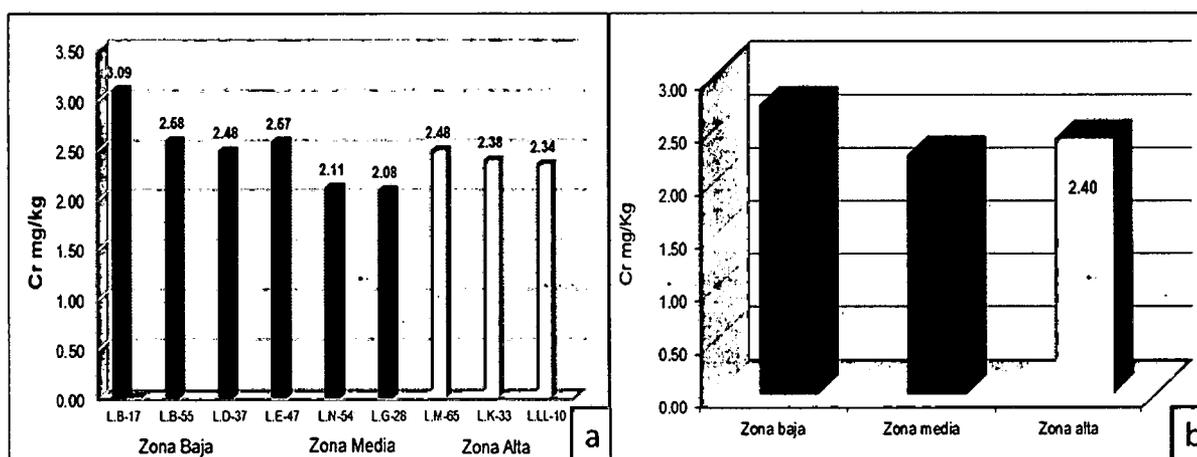
La cantidad (mg/kg o ppm) de Cromo (Cr) en suelo, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 04), se encontró que la muestra de suelo de la zona baja, parcela L.B-17 (3.09 mg/kg) mostró la mayor concentración de Cr en suelo, superando ligeramente a las muestras de suelo de la zona media y zona alta y el mayor valor promedio de cromo fue en la zona baja con una diferencia mínima de los promedios de la zona media y zona alta (Figura 09). Los valores que se demuestran en el presente estudio no presentan diferencia

significativa entre zonas y parcelas de muestreo, ya que estos son inferiores a 65 mg/kg del Rango normal mundial (Kabata-Pendias y Pendias, 1995).

Cuadro 04. Concentración de Cromo (Cr) en suelo.

Zona de altitud	código de muestra	Cromo (Cr) mg/kg en suelo
zona baja	L.B-17	3.09
	L.B-55	2.58
	L.D-37	2.48
zona media	L.N-54	2.57
	L.G-28	2.11
	L.E-47	2.08
zona alta	L.LL-10	2.48
	L.M-65	2.38
	L.K-33	2.34

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 09. Cromo (Cr) en suelo: **a)** Concentración de Cr en puntos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio.

En la figura 09: **a)** se observa que la concentración de Cr en las muestras de suelo para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) no presenta variabilidad en los resultados. **b)** se observa los promedios de Cr para cada zona, obteniendo variabilidad ligera entre la zona baja, la zona media y zona alta. Además

los valores más altos de cromo en las tres zonas y parcelas de muestreo no son significativos en comparación al valor promedio mundial establecido de 65 mg/kg (Anexo 30) (Kabata-Pendias y Pendias, 1995).

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existen diferencias significativas en el contenido de Cr en el suelo de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 05. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (10%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 05. Análisis de Varianza para Cromo (Cr) en suelo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teorico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.336	0.168	2.69	5.14	10.93
Error	6	0.375	0.063			
Total	8	0.712				

CV (%) 10.18

Fuente: *Elaboración propia.*

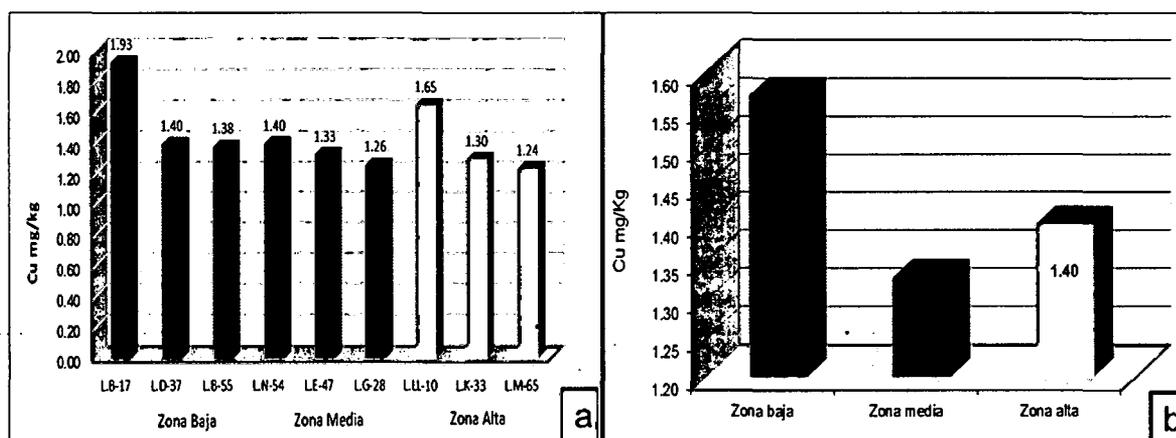
4.2.3. Cobre en suelo

Las cantidades (mg/kg o ppm) de Cobre (Cu) en suelo, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 06), se encontró determinar que el suelo de la zona baja, parcela L.B-17 (1.93 mg/kg), mostró la mayor concentración de Cobre en suelo, superando ligeramente a las muestras de suelo de la zona media y zona alta; el mayor valor promedio de cromo fue en la zona baja con una diferencia mínima de los promedios de la zona media y zona alta (Figura 10). Los valores que se demuestran en el presente estudio no presentan diferencia significativa entre zonas y parcelas de muestreo, ya que estos son inferiores a 20 mg/kg del Rango normal mundial (Kabata-Pendias y Pendias, 1995).

Cuadro 06. Concentración de Cobre (Cu) en suelo.

Zona de altitud	codigo de muestra	Cobre (Cu) mg/kg en suelo
zona baja	L.B-17	1.93
	L.D-37	1.40
	L.B-55	1.38
zona media	L.N-54	1.40
	L.E-47	1.33
	L.G-28	1.26
zona alta	L.LL-10	1.65
	L.K-33	1.30
	L.M-65	1.24

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Cobre (Cu) en suelo: **a)** Concentración de Cu en puntos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio.

En la figura 10: **a)** se observa que la concentración de Cu en las muestras de suelo para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona baja (parcela L.B-17) existe una mayor concentración de Cu (numéricamente) con 1.93 mg/kg superando ligeramente a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Cobre fue obtenido en la zona alta (parcela L.M-65). **b)** se observa los promedios de Cu para cada zona,

obteniendo una variabilidad ligera de la zona baja con la zona media y alta. Además los valores más altos de cobre en las tres zonas y parcelas de muestreo no son significativos en comparación al valor promedio mundial establecido de 20 mg/kg (Anexo 30) (Kabata-Pendias y Pendias, 1995).

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Cu en el suelo de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 07. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (15.68%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 07. Análisis de Varianza para Cobre (Cu) en suelo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.092	0.046	0.91	5.14	10.93
Error	6	0.302	0.050			
Total	8	0.395				

CV (%) 15.68

Fuente: Elaboración propia.

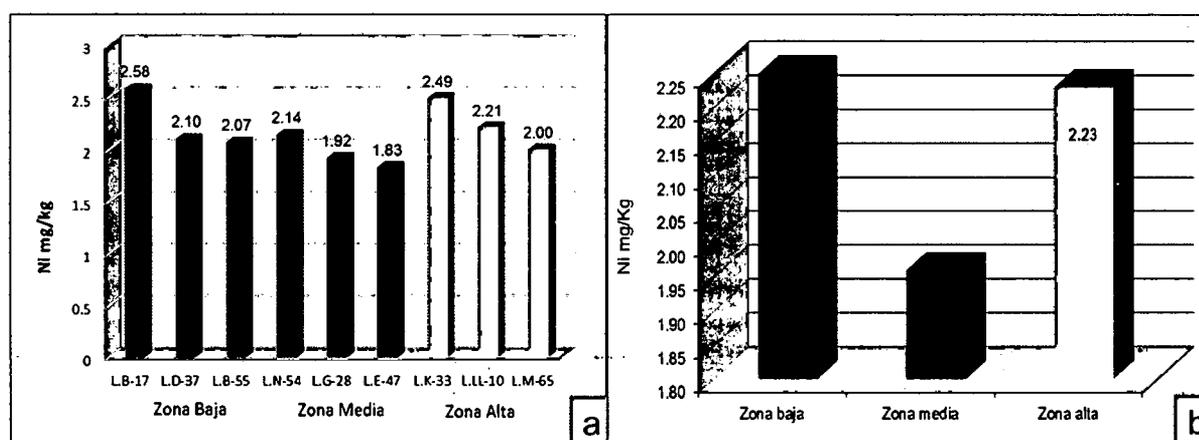
4.2.4. Níquel en suelo

La concentración (mg/kg o ppm) de Níquel (Ni) en suelo, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 08), se encontró que la muestra de suelo de la zona baja, parcela L.B-17 (2,58 mg/kg), mostró la mayor concentración de Níquel en suelo, superando ligeramente a las muestras de suelo de la zona media y zona alta; el mayor valor promedio de níquel fue en la zona baja y la zona alta con una diferencia ligera del promedio de la zona media (Figura 11). Los valores que se demuestran en el presente estudio no presentan diferencia significativa entre zonas y parcelas de muestreo, ya que estos son inferiores a 20 mg/kg del Rango normal mundial (Kabata-Pendias y Pendias, 1995).

Cuadro 08. Concentración de Níquel (Ni) en suelo.

Zona de altitud	código de muestra	Níquel (Ni) mg/kg en suelo
zona baja	L.B-17	2.58
	L.B-55	2.10
	L.D-37	2.07
zona media	L.N-54	2.14
	L.G-28	1.92
	L.E-47	1.83
zona alta	L.LL-10	2.49
	L.M-65	2.21
	L.K-33	2.00

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Níquel (Ni) en suelo: a) Concentración de Ni en puntos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio.

En la figura 11: a) se observa que la concentración de Ni en las muestras de suelo para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona baja (parcela L.B-17) existe una mayor concentración de Ni (numéricamente) con 2.58 mg/kg superando ligeramente a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Ni fue obtenido en la zona media (parcela L.E-47). b) Se observa los promedios de Ni para cada zona,

obteniendo que la zona baja y zona alta presentan promedios casi iguales, Además los valores más altos de Níquel en las tres zonas y parcelas de muestreo no son significativos en comparación al valor promedio mundial establecido de 20 mg/kg (Anexo 30) (Kabata-Pendias y Pendias, 1995).

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Ni en el suelo de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 09. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (11%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 09. Análisis de Varianza para Níquel (Ni) en suelo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.155	0.078	1.39	5.14	10.93
Error	6	0.336	0.056			
Total	8	0.491				

CV (%) 11.00

Fuente: Elaboración propia.

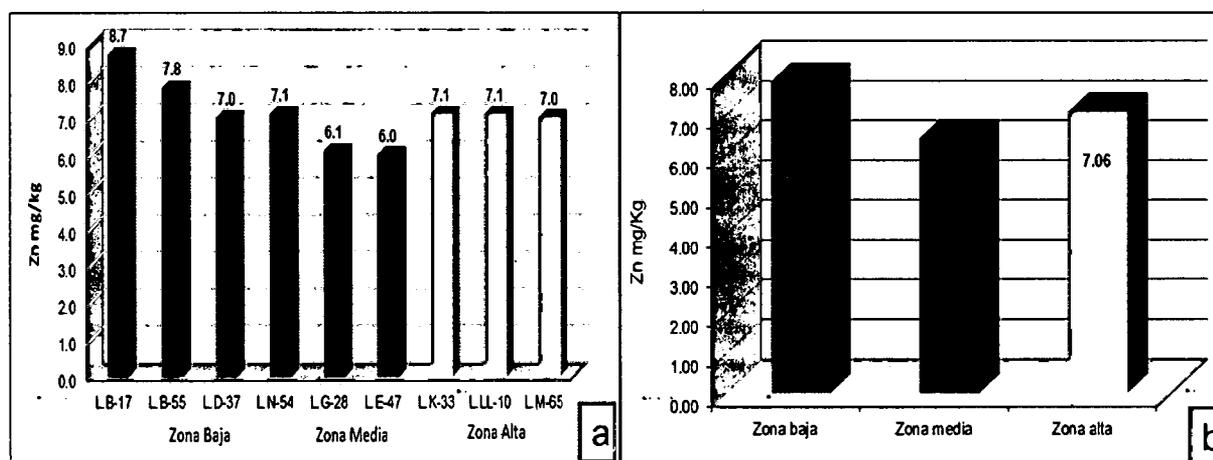
4.2.5. Zinc en suelo

La concentración (mg/kg o ppm) de Zinc (Zn) en suelo, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 10), se encontró que la muestra de suelo de la zona baja, parcela L.B-17 (8.7 mg/kg), mostró la mayor concentración de Zinc en suelo, superando ligeramente a las muestras de suelo de la zona media y zona alta; el mayor valor promedio de zinc fue en la zona baja con una diferencia ligera del promedio de la zona media y zona alta (Figura 12). Los valores que se demuestran en el presente estudio no presentan diferencia significativa entre zonas y parcelas de muestreo, ya que estos son inferiores a 10-300mg/kg (Anexo 30) (Lindsay, 1978).

Cuadro 10. Concentración de Zinc (Zn) en suelo.

Zona de altitud	código de muestra	Zinc (Zn) mg/kg en suelo
zona baja	L.B-17	8.7
	L.B-55	7.8
	L.D-37	7.0
zona media	L.N-54	7.1
	L.G-28	6.1
	L.E-47	6.0
zona alta	L.LL-10	7.1
	L.M-65	7.1
	L.K-33	7.0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Zinc (Zn) en suelo: a) Concentración de Zn en puntos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio.

En la figura 12: a) se observa que la concentración de Zn en las muestras de suelo para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es relativamente variable en los resultados, observando que en la zona baja (parcela L.B-17) existe una mayor concentración de Zn (numéricamente) con 8.7 mg/kg superando ligeramente a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Zn fue obtenido en la zona media (parcela L.E-47). b) Se observa los promedios de Zn

para cada zona, obteniendo una variabilidad ligera de la zona baja con la zona media y alta. Además los valores más altos de zinc en las tres zonas y parcelas de muestreo no son significativos en comparación al valor de 150 mg/kg para suelo agrícola de Holanda (Anexo 30) (Kabata-Pendias y Pendias, 1995). Según Bowie y Thornton (1985), la concentración normal de zinc que deberá presentar un suelo es de 25 a 200 mg/kg por lo que el valor medio del de concentración de Zn en el área de estudio (7.1 mg/kg) puede considerarse como normal (Anexo 30)

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Zn en el suelo de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 11. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (8.5%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 11. Análisis de Varianza para Zinc (Zn) en suelo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	3.087	1.543	4.22	5.14	10.93
Error	6	2.193	0.366			
Total	8	5.28				

CV (%) 8.52

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Metales pesados en raíz, hoja y fruto de guaba (*Inga edulis*)

4.3.1. Mercurio en raíz, hoja y fruto.

La cantidad (mg/kg o ppm) de Mercurio (Hg) en raíz, hoja y fruto para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 12), se determinó que los resultados se encuentran por debajo del Límite de detección del laboratorio (< 0.10 mg/kg), asimismo muestran una ligera diferencia con los resultados de Hg en hojas (0.297 mg/kg) analizadas en mayo del 2012 en el área del

presente estudio a cargo del IIAP- Área de Sustancias Naturales Bioactivos. Lo que demostraría la volatilización de este metal a través de las hojas de la planta; como menciona García & Dorronsoro, (2005); Paim *et al.*, (2006) que los metales pesados pueden quedar retenidos por procesos de adsorción, complejación y de precipitación, ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a cadenas tróficas. También pueden pasar a la atmósfera por volatilización y moverse a las aguas superficiales o subterráneas.

Cuadro 12. Concentración de Mercurio (Hg) raíz, hoja y fruto de *Inga edulis*.

Zona de altitud	código de muestra	Mercurio (Hg) mg/kg en raíz	Mercurio (Hg) mg/kg en hoja	Mercurio (Hg) mg/kg en fruto
zona baja	L.B-17	< 0.10	< 0.10	< 0.10
	L.B-55	< 0.10	< 0.10	< 0.10
	L.D-37	< 0.10	< 0.10	< 0.10
zona media	L.N-54	< 0.10	< 0.10	< 0.10
	L.G-28	< 0.10	< 0.10	< 0.10
	L.E-47	< 0.10	< 0.10	< 0.10
zona alta	L.LL-10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
	L.M-65	< 0.10	< 0.10	< 0.10
	L.K-33	< 0.10	< 0.10	< 0.10

Fuente: Elaboración propia.

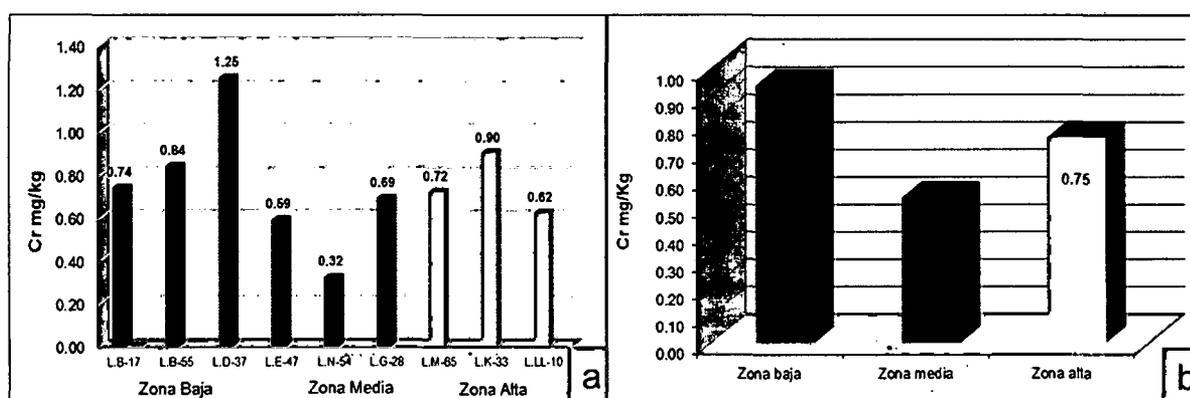
4.3.2. Cromo total en raíz.

La concentración (mg/kg o ppm) de Cromo (Cr) en raíz de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 13), se encontró que la muestra de raíz de la zona media, parcela L.D-37 (1.25 mg/kg), mostró la mayor concentración de Cr en raíz, superando ligeramente a las muestras de raíz de la zona media y alta; el mayor valor promedio de cromo fue en la zona baja con una diferencia ligera del promedio de la zona media y alta (Figura 13). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Cr en plantas de consumo directo y forraje (Anexo 32) (Kabata – Pendias, 2000).

Cuadro 13. Concentración de Cromo (Cr) en raíz de *Inga edulis*.

Zona de altitud	código de muestra	Cromo mg/kg en raíz
zona baja	L.B-17	0.74
	L.B-55	0.84
	L.D-37	1.25
zona media	L.E-47	0.59
	L.N-54	0.32
	L.G-28	0.69
zona alta	L.M-65	0.72
	L.K-33	0.90
	L.LL-10	0.62

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Cromo (Cr) en raíz de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Cr en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio.

En la figura 13: **a)** Se observa que la concentración de Cr en las muestras de raíz para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona baja (parcela L.D-37) existe una mayor concentración de Cr (numéricamente) con 1.25 mg/kg superando drásticamente a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Cr fue obtenido en la zona media (parcela L.N-54). **b)** Se observa los promedios de Cr en raíz para cada zona,

obteniendo una variabilidad notable de la zona baja con la zona media y alta. Además los valores de Cr son inferiores a Limite Permisible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Cr > 5-30$ mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta.

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Cr en raíces de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 14. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor moderado (28%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 14. Análisis de Varianza para Cromo en raíz de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teorico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.252	0.126	2.92	5.14	10.93
Error	6	0.260	0.043			
Total	8	0.512				

CV (%) 28.07

Fuente: Elaboración propia.

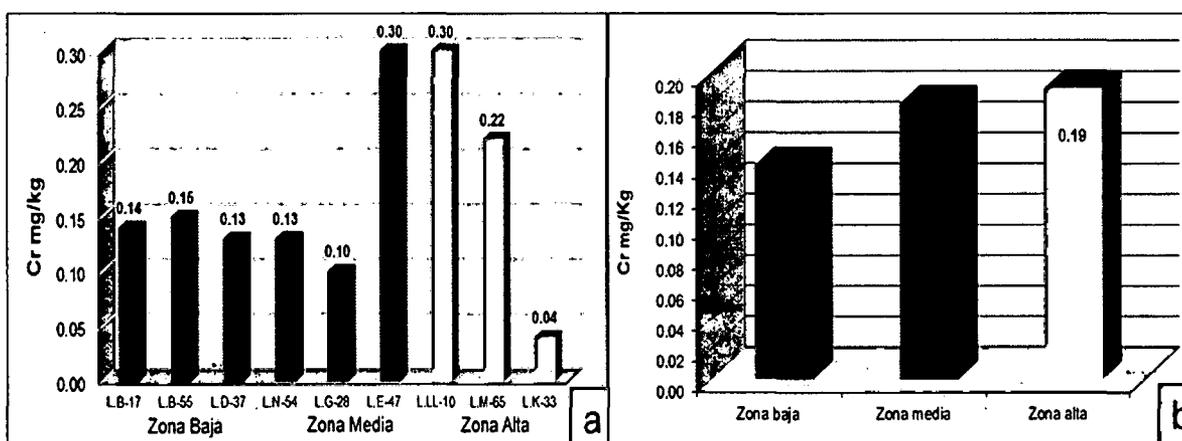
4.3.3. Cromo total en hoja.

La concentración (mg/kg o ppm) de Cromo (Cr) en hojas de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 15), se encontró que la muestra de hoja de la zona media y alta, parcela L.E-47 y parcela L.LL-10 (0.30 mg/kg), mostró la mayor concentración de Cr en hojas, superando ligeramente a las muestras de hojas de la zona baja; el mayor valor promedio de cromo fue en la zona alta con una diferencia ligera del promedio de la zona media y baja (Figura 14). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Cr en plantas de consumo directo y forraje (Anexo 32) (Kabata – Pendias, 2000).

Cuadro 15. Concentración de Cromo (Cr) en hojas de *Inga edulis*

Zona de altitud	código de muestra	Cromo mg/kg en hoja
zona baja	L.B-17	0.14
	L.B-55	0.15
	L.D-37	0.13
zona media	L.E-47	0.30
	L.N-54	0.13
	L.G-28	0.10
zona alta	L.M-65	0.22
	L.K-33	0.04
	L.LL-10	0.30

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Cromo (Cr) en hojas de *Inga edulis*: a) Concentración de Cr en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio.

En la figura 14: a) se observa que la concentración de Cr en las muestras de hojas para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona media y alta (parcela L.E-47 y L.LL-10) existe una mayor concentración de Cr (numéricamente) con 0.30 mg/kg superando drásticamente a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Cr fue

obtenido en la zona alta (parcela L.K-33). b) Se observa los promedios de Cr en hojas para cada zona, obteniendo una variabilidad ligera de la zona media y alta con la zona baja. Además los valores de Cr son inferiores a Limite Permissible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Cr > 5-30$ mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta.

El análisis de varianza muestra con un 95% de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Cr en hojas de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 16. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (9%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal. Datos transformados ($\sqrt{X} + 1$).

Cuadro 16. Análisis de Varianza para Cromo (Cr) en hojas de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teorico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.002	0.001	0.07	5.14	10.93
Error	6	0.097	0.016			
Total	8	0.099				

CV (%) 9.11

Fuente: Elaboración propia.

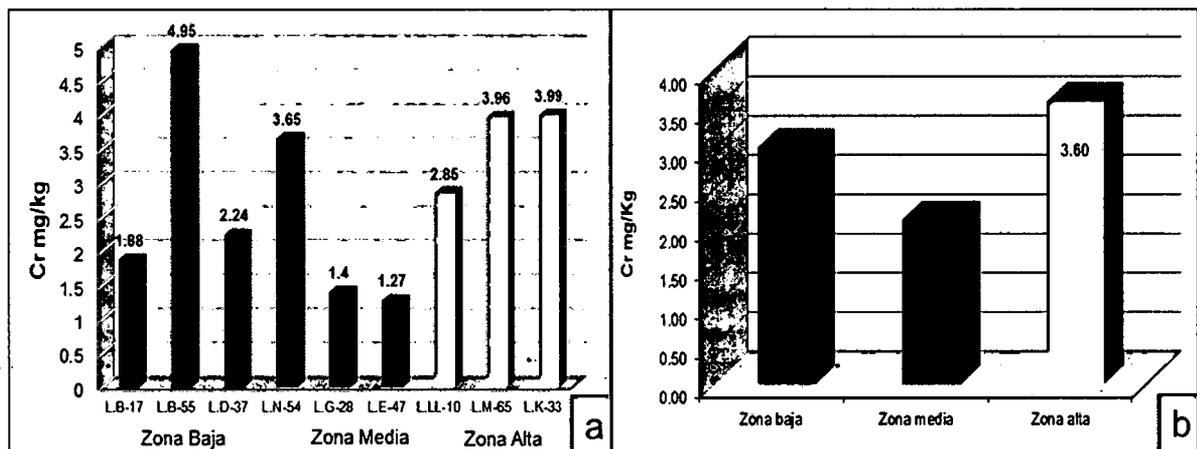
4.3.4. Cromo total en fruto.

La concentración (mg/kg o ppm) de Cromo (Cr) en frutos de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 17), se encontró que la muestra de fruto de la zona baja, parcela L.B-55 (4.95 mg/kg), mostró la mayor concentración de Cr en fruto, superando ligeramente a las muestras de fruto de la zona media y alta; el mayor valor promedio de cromo fue en la zona alta con una diferencia ligera del promedio de la zona media y baja (Figura 15). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Cr en plantas de consumo directo y forraje (Anexo 32) (Kabata – Pendias, 2000).

Cuadro 17. Concentración de Cromo (Cr) en fruto de *Inga edulis*

Zona de altitud	código de muestra	Cromo mg/kg en fruto
zona baja	L.B-17	1.88
	L.B-55	4.95
	L.D-37	2.24
zona media	L.E-47	1.27
	L.N-54	3.65
	L.G-28	1.40
zona alta	L.M-65	3.96
	L.K-33	3.99
	L.LL-10	2.85

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Cromo (Cr) en fruto de *Inga edulis*: a) Concentración de Cr en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Cr en cada zona del área de estudio.

En la figura 15: a) se observa que la concentración de Cr en las muestras de frutos para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona baja (parcela L.B-55) existe una mayor concentración de Cr (numéricamente) con 4.95 mg/kg superando a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Cr fue obtenido en la zona media (parcela

L.E-47). **b)** Se observa los promedios de Cr en fruto para cada zona, obteniendo una variabilidad notable de la zona alta con la zona media y baja. Además los valores de Cr son inferiores a Limite Permissible para muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Cr > 5-30$ mg/kg, indica contaminación por este metal en la planta.

El análisis de varianza muestra con un 95% de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Cr en fruto de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 18. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (14%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal. Datos transformados $(\sqrt{X} + 1)$.

Cuadro 18. Análisis de Varianza para Cromo en frutos de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.358	0.179	1.23	5.14	10.93
Error	6	0.872	0.145			
Total	8	1.229				

CV (%) 14.30

Fuente: Elaboración propia.

4.3.5. Cobre en raíz.

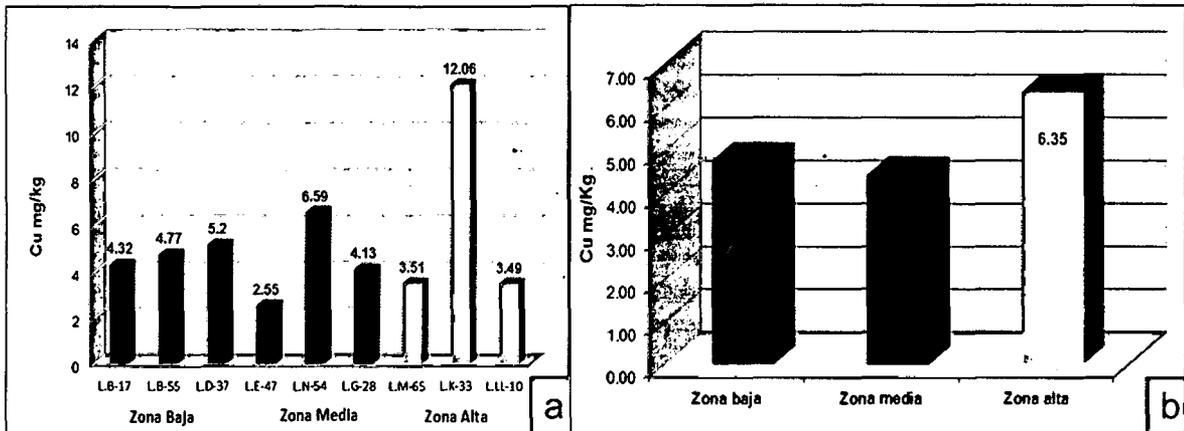
La concentración (mg/kg o ppm) de Cobre (Cu) en raíz de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 19), se encontró que la muestra de raíz de la zona media, parcela L.N-54 (6.59 mg/kg); el mayor valor promedio de cobre fue en la zona alta con una diferencia ligera del promedio de la zona media y baja (Figura 16). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Cu en vegetales de consumo (Anexo 33) (Kabata – Pendias, 2000); en los tejidos de raíz, es muy probable que el metal ingrese a las células de las raíces en formas disociadas y a tasas diferentes, según Liao et al. (2000a); Liao et al., (2000b), mencionan que la savias xilemática de las plantas el Cu se encuentra casi un 100% ligado a aminoácidos, aun bajo condiciones de suplemento

excesivo de Cu, esto sugiere que bajo condiciones de toxicidad de Cu, las plantas lo complejan, minimizando el daño potencial de altas concentraciones de iones libres de Cu (Welch, 1995).

Cuadro 19. Concentración de Cobre (Cu) en raíz de *Inga edulis*

Zona de altitud	código de muestra	Cobre mg/kg en raíz
zona baja	L.B-17	4.32
	L.B-55	4.77
	L.D-37	5.20
zona media	L.E-47	2.55
	L.N-54	6.59
	L.G-28	4.13
zona alta	L.M-65	3.51
	L.K-33	12.06
	L.LL-10	3.49

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Cobre (Cu) en raíz de *Inga edulis*: a) Concentración de Cu en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio.

En la figura 16: a) se observa que la concentración de Cu en las muestras de raíz para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable

en los resultados, observando que en la zona alta (parcela L.K-33) existe una mayor concentración de Cu (numéricamente) con 12.06 mg/kg superando drásticamente a la zona media y baja. El menor valor en concentración de Cu fue obtenido en la zona media (parcela L.E-47). b) se observa los promedios de Cu en raíz para cada zona, obteniendo una variabilidad notable de la zona alta con la zona media y baja. Además los valores de Cu son inferiores a Limite Permisible para las muestras vegetales (Hagedom, 1996); cuando $Cu > 20-100$ mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta.

Resultados distinto obtuvo De la Cruz (2010), en ese sentido las plantas con mayor contenido de Cu en sus estructuras fue *Lupinus leucocephala* con 380.67 mg/kg y la especie con menor contenido fue *L. versicolor* con 16.76 mg/kg.

El análisis de varianza muestra con un 95% de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Cu en raíces de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 20. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (18.84%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal. Datos transformados ($\sqrt{X} + 1$).

Cuadro 20. Análisis de Varianza para Cobre en raíz de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.179	0.089	0.24	5.14	10.93
Error	6	2.204	0.367			
Total	8	2.382				

CV (%) 18.84

Fuente: Elaboración propia.

4.3.6. Cobre en hoja.

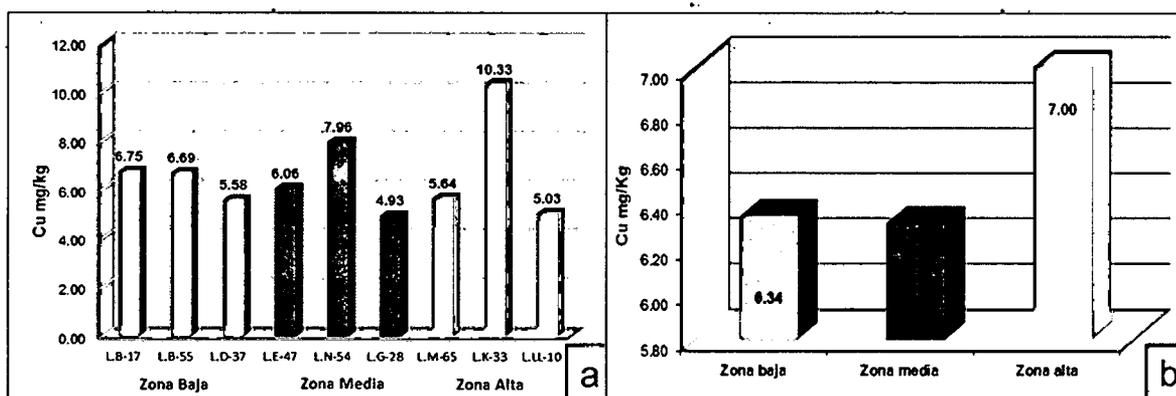
La concentración (mg/kg o ppm) de Cobre (Cu) en hojas de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 21), se encontró que la muestra de hoja de la zona alta, parcela L.K-33 (10.33 mg/kg); el

mayor valor promedio de cobre fue en la zona alta con una diferencia ligera del promedio de la zona media y baja (Figura 17). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Cu en vegetales de consumo (Anexo 33) (Kabata – Pendias, 2000). Además la concentración promedio de cobre en hojas para las tres zonas se considerarían como suficiente o normal (Anexo 30) (Kabata – Pendias, 2000).

Cuadro 21. Concentración de Cobre (Cu) en hojas de *Inga edulis*.

Zona de altitud	código de muestra	Cobre mg/kg en hoja
zona baja	L.B-17	6.75
	L.B-55	6.69
	L.D-37	5.58
zona media	L.E-47	6.06
	L.N-54	7.96
	L.G-28	4.93
zona alta	L.M-65	5.64
	L.K-33	10.33
	L.LL-10	5.03

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Cobre (Cu) en hojas de *Inga edulis*: a) Concentración de Cu en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio.

En la figura 17: **a)** se observa que la concentración de Cu en las muestras de hojas para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona alta (parcela L.K-33) existe una mayor concentración de Cu (numéricamente) con 10.33 mg/kg superando drásticamente a la zona media y baja. El menor valor en concentración de Cu fue obtenido en la zona media (parcela L.G-28). **b)** Se observa los promedios de Cu en hojas para cada zona, obteniendo una variabilidad notable de la zona alta con la zona media y baja. Además los valores de Cu son inferiores a Limite Permisible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Cu > 20-100$ mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta.

Además Pérez *et al.*, (2004) señalan que la relación del metal en grano y en hoja depende del metal cambiante en suelo; lo que indicaría para este estudio que el Cu presenta variación notable en los parcelas de muestreo por ser un suelo arenoso.

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Cu en hojas de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 22. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor moderado (29%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 22. Análisis de Varianza para Cobre en hojas de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.903	0.452	0.12	5.14	10.93
Error	6	22.377	3.729			
Total	8	23.280				

CV (%) 29.47

Fuente: Elaboración propia.

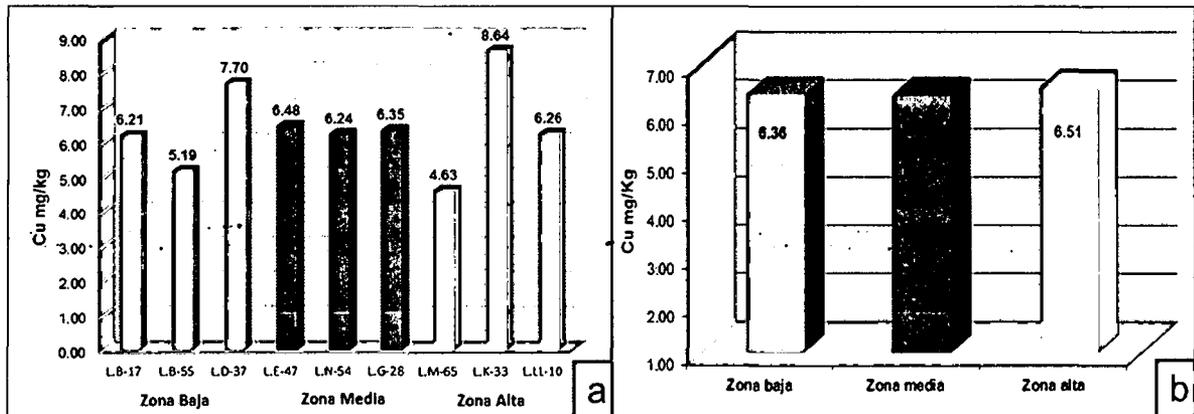
4.3.7. Cobre en fruto.

La concentración (mg/kg o ppm) de Cobre (Cu) en fruto de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 23), se encontró que la muestra de fruto de la zona alta, parcela L.K-33 (8.64 mg/kg), mostró la mayor concentración de Cu en fruto, superando ligeramente a las muestras de fruto de la zona media y baja; el mayor valor promedio de cobre fue constante para zona, zona media y zona baja (Figura 18). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Cu en vegetales de consumo (Anexo 33) (Kabata – Pendias, 2000). Se puede observar la movilidad del Cu depende directamente del nivel Cu en el suelo, y como señala Pérez *et al.*, (2004) que las concentraciones de Cu se dan en órganos reproductores se han encontrado en el embrión y la cubierta seminal de granos de cereales y por otra parte Pearson *et al.*, (1996) menciona que el trigo (*Triticum aestivum*) excesos de Cu reducen el transporte de Zn en el floema debido a que Cu y Zn compiten por los mismos sitios de transporte.

Cuadro 23. Concentración de Cobre (Cu) en frutos de *Inga edulis*

Zona de altitud	código de muestra	Cobre mg/kg en fruto
zona baja	L.B-17	6.21
	L.B-55	5.19
	L.D-37	7.70
zona media	L.E-47	6.48
	L.N-54	6.24
	L.G-28	6.35
zona alta	L.M-65	4.63
	L.K-33	8.64
	L.LL-10	6.26

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Cobre (Cu) en frutos de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Cu en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Cu en cada zona del área de estudio.

En la figura 18: **a)** se observa que la concentración de Cu en las muestras de fruto para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona alta (parcela L.K-33) existe una mayor concentración de Cu (numéricamente) con 8.64 mg/kg superando drásticamente a la zona media y baja. El menor valor en concentración de Cu fue obtenido en la zona alta (parcela L.M-65). **b)** Se observa los promedios de Cu en fruto para cada zona, obteniendo una ligera variabilidad de la zona baja con la zona media y alta. Además los valores de Cu son inferiores a Limite Permissible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Cu > 20-100$ mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta.

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Cu en fruto de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 24. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor moderado (21%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 24. Análisis de Varianza para Cobre en frutos de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.044	0.022	0.01	5.14	10.93
Error	6	11.350	1.892			
Total	8	11.394				

CV (%) 21.45

Fuente: Elaboración propia.

4.3.8. Níquel en raíz.

La concentración (mg/kg o ppm) de Níquel (Ni) en raíz de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 25), se encontró la mayor concentración de Ni en la muestra de raíz de la zona alta, parcela L.K-33 (5.24 mg/kg), y para el mayor valor promedio de níquel fue en la zona baja con una diferencia moderada del promedio de la zona media y alta (Figura 19). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Ni en vegetales de consumo (Anexo 34) (Kabata – Pendias, 2000). Se observa que las concentraciones promedio de Ni en raíces son mayores a las de suelo, lo que concuerda con lo que indica Mahler (2003) que el Ni es un elemento esencial para el metabolismo de las plantas, aun cuando éstas requieren menos de 0.001 mg/kg.

Cuadro 25. Concentración de Níquel (Ni) en raíz de *Inga edulis*.

Zona de altitud	código de muestra	Níquel mg/kg en raíz
zona baja	L.B-17	4.44
	L.B-55	2.80
	L.D-37	4.95
zona media	L.E-47	2.14
	L.N-54	1.54
	L.G-28	3.76
zona alta	L.M-65	2.94
	L.K-33	5.24
	L.LL-10	1.95

Fuente: Elaboración propia.

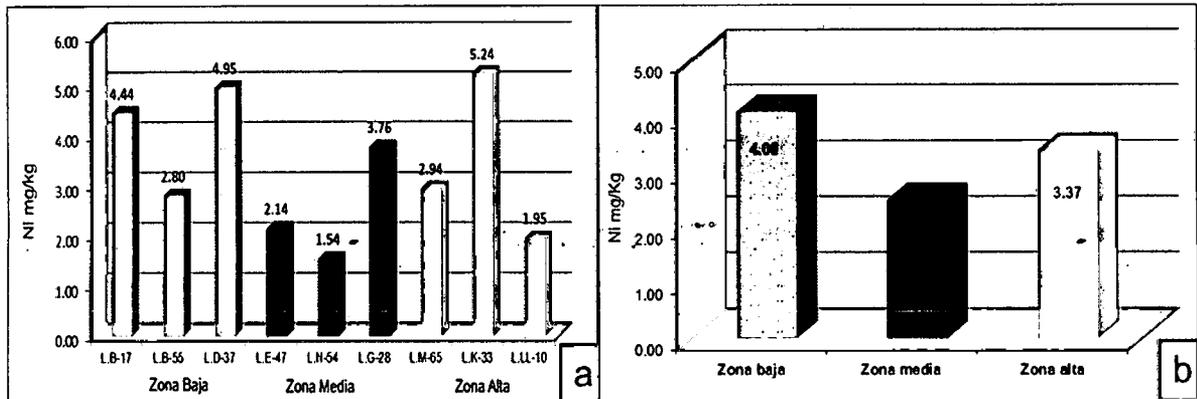


Figura 19. Níquel (Ni) en raíz de *Inga edulis*: a) Concentración de Ni en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio.

En la figura 19: a) se observa que la concentración de Ni en las muestras de raíz para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona alta (parcela L.K-33) existe una mayor concentración de Ni (numéricamente) con 5.24 mg/kg superando drásticamente a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Ni fue obtenido en la zona media (parcela L.N-54). b) Se observa los promedios de Ni en raíz para cada zona, obteniendo una variabilidad notable de la zona baja con la zona media y alta. Además los valores de Ni son inferiores a Limite Permissible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Ni > 10-100$ mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta.

Resultados muy distintos obtuvo De la Cruz (2010), En el caso de Ni la especie con mayor contenido obtuvo fue *Lupinus leucocephala* con 314.65 mg/kg, siendo *C. ternatea* la que menor contenido tuvo con 94.98 mg/kg.

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Ni en raíces de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 26. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (13%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal. Datos transformados ($\sqrt{X} + 1$).

Cuadro 26. Análisis de Varianza para Níquel en raíz de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.311	0.155	1.12	5.14	10.93
Error	6	0.833	0.139			
Total	8	1.143				

ns

CV (%) 13.38

Fuente: Elaboración propia.

4.3.9. Níquel en hoja.

La concentración (mg/kg o ppm) de Níquel (Ni) en hoja de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 27), se encontró que la mayor concentración de Ni esta la muestra de hoja de la zona alta, parcela L.N-54 (6.96 mg/kg), y para el mayor valor promedio de níquel fue en la zona media con una diferencia ligera del promedio de la zona baja y alta (Figura 20). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Ni en vegetales de consumo (Anexo 34) (Kabata – Pendias, 2000). Se observa que le Ni en hojas es mayor que la concentración en suelo y raíz, lo cual tendría relación con Halstead *et al.*, (1969), menciona que el Ni es un elemento móvil en la planta, y se acumula preferentemente en hojas y semillas.

Cuadro 27. Concentración de Níquel (Ni) en hojas de *Inga edulis*.

Zona de altitud	código de muestra	Níquel mg/kg en hoja
zona baja	L.B-17	4.51
	L.B-55	3.33
	L.D-37	2.87
zona media	L.E-47	3.34
	L.N-54	6.96
	L.G-28	3.32
zona alta	L.M-65	4.62
	L.K-33	4.62
	L.LL-10	3.41

Fuente: Elaboración propia.

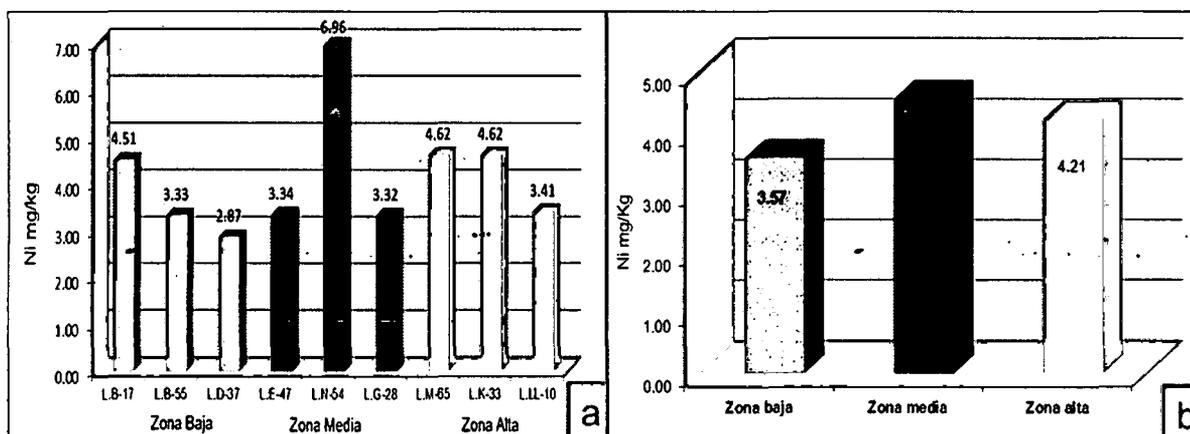


Figura 20. Níquel (Ni) en hojas de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Ni en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio.

En la figura 20: **a)** se observa que la concentración de Ni en las muestras de hojas para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona media (parcela L.N-54) existe una mayor concentración de Ni (numéricamente) con 6.96 mg/kg superando drásticamente a la zona baja y alta. El menor valor en concentración de Ni fue obtenido en la zona baja (parcela L.D-37). **b)** Se observa los promedios de Ni en hojas para cada zona, obteniendo una variabilidad notable de la zona media con la zona baja y alta. Además los valores de Ni son inferiores a Limite Permisible para las muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando Ni > 10-100 mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta. Además la concentración promedio de Níquel en hojas para las tres zonas se considerarían como suficiente o normal (Anexo 30) (Kabata – Pendias, 2000).

El análisis de varianza muestra con un 95% de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Ni en hojas de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 28. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (10%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal. Datos transformados ($\sqrt{X} + 1$).

Cuadro 28. Análisis de Varianza para Níquel en hojas de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.077	0.038	0.38	5.14	10.93
Error	6	0.599	0.100			
Total	8	0.676				

CV (%) 10.50

Fuente: Elaboración propia.

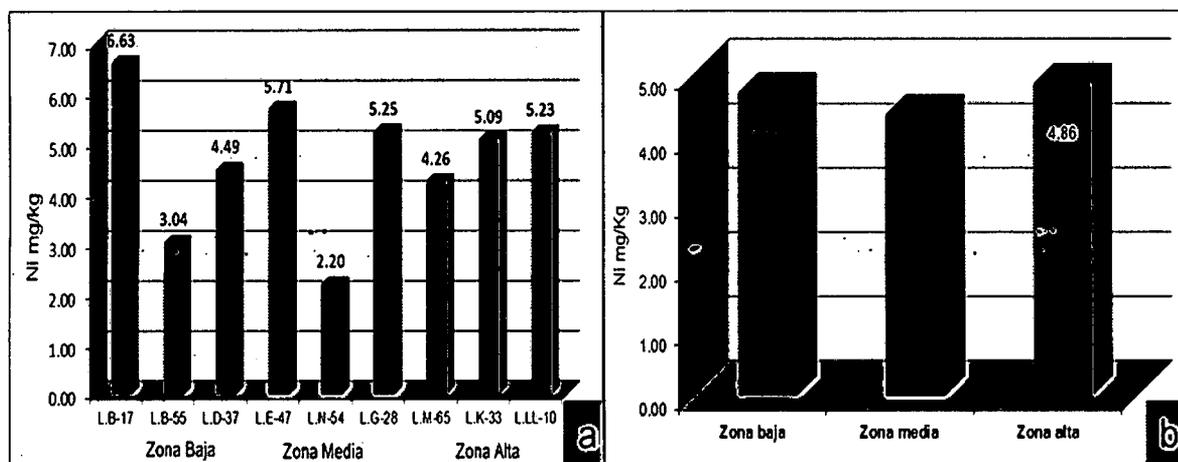
4.3.10. Níquel en fruto.

La concentración (mg/kg o ppm) de Níquel (Ni) en fruto de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 29), se encontró que la muestra de fruto de la zona baja, parcela L.B-17 (6.63 mg/kg), mostró la mayor concentración de Ni en fruto, superando ligeramente a las parcelas de fruto de la zona media y alta; y para el mayor valor promedio de níquel fue en la zona media con una diferencia ligera del promedio de la zona baja y alta (Figura 21). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Ni en vegetales de consumo (Anexo 34) (Kabata – Pendias, 2000). Se observa que el Ni en frutos y hojas presenta ligera similitud, pero diferentes a la concentración en suelo y raíz, lo cual tendría relación con Halstead *et al.*, (1969), menciona que el Ni es un elemento móvil en la planta, y se acumula preferentemente en hojas y semillas

Cuadro 29. Concentración de Níquel (Ni) en frutos de *Inga edulis*.

Zona de altitud	código de muestra	Níquel mg/kg en fruto
zona baja	L.B-17	6.63
	L.B-55	3.04
	L.D-37	4.49
zona media	L.E-47	5.71
	L.N-54	2.20
	L.G-28	5.25
zona alta	L.M-65	4.26
	L.K-33	5.09
	L.LL-10	5.23

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Níquel (Ni) en frutos de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Ni en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Ni en cada zona del área de estudio.

En la figura 21: **a)** se observa que la concentración de Ni en las muestras de frutos para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona baja (parcela L.B-17) existe una mayor concentración de Ni (numéricamente) con 6.63 mg/kg superando drásticamente a la zona media y alta. El menor valor en concentración de Ni fue obtenido en la zona media (parcela L.N-54). **b)** Se observa los promedios de Ni en fruto para cada zona, obteniendo una ligera variabilidad de la zona alta con la zona media y baja. Además los valores de Ni son inferiores a Limite Permissible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando Ni > 10-100 mg/kg, indica contaminación moderado a alto por este metal en la planta.

El análisis de varianza muestra con un 95% de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Ni en frutos de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 30. Además el coeficiente de variabilidad muestra un valor bajo (12%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal. Datos transformados ($\sqrt{X} + 1$).

Cuadro 30. Análisis de Varianza para Níquel en frutos de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.033	0.017	0.11	5.14	10.93
Error	6	0.870	0.145			
Total	8	0.904				

CV (%) 12.15

Fuente: Elaboración propia.

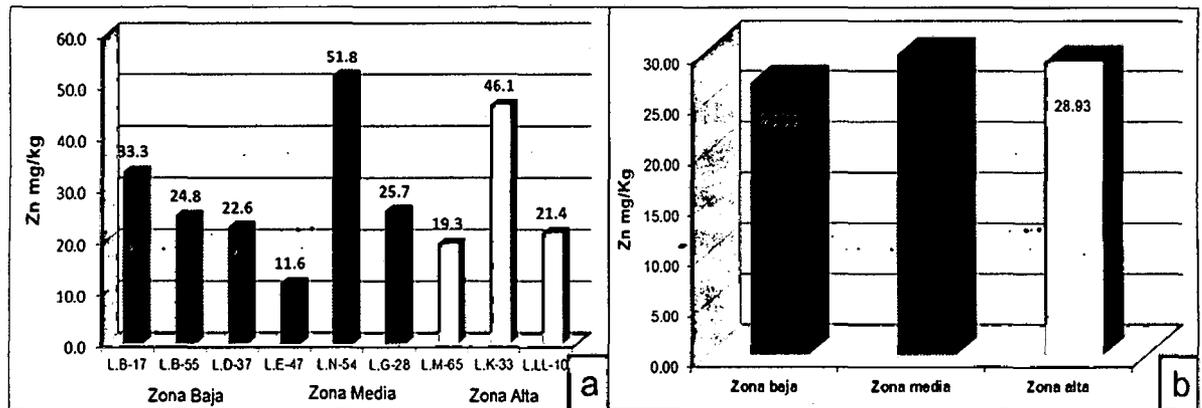
4.3.11. Zinc en raíz

La concentración (mg/kg o ppm) de Zinc (Zn) en raíz de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 31), se encontró que la muestra de raíz de la zona media, parcela L.N-54 (51.8 mg/kg), mostró la mayor concentración de Zn en raíz, superando drásticamente a las muestras de raíz de la zona baja y alta; y para el mayor valor promedio de zinc fue en la zona media con una diferencia ligera del promedio de la zona baja y alta (Figura 22). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Zn en vegetales de consumo (Anexo 35) (Kabata – Pendias, 2000). De acuerdo a los resultados se observa que el Zn de raíz es mayor a la concentración de Zn del suelo, según Pearson *et al.*, (1996), menciona que la movilización y lixiviación del Zn es mayor en suelos ligeramente ácidos al aumentar la competencia con otros cationes por los sitios de intercambio.

Cuadro 31. Concentración de Zinc (Zn) en raíz de *Inga edulis*.

Zona de altitud	código de muestra	Zinc mg/kg en raíz
zona baja	L.B-17	33.3
	L.B-55	24.8
	L.D-37	22.6
zona media	L.E-47	11.6
	L.N-54	51.8
	L.G-28	25.7
zona alta	L.M-65	19.3
	L.K-33	46.1
	L.LL-10	21.4

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Zinc (Zn) en raíz de *Inga edulis*: a) Concentración de Zn en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio.

En la figura 22: a) se observa que la concentración de Zn en las muestras de raíz para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona media (parcela L.N-54) existe una mayor concentración de Zn (numéricamente) con 51.8 mg/kg superando drásticamente a la zona baja y alta. El menor valor en concentración de Zn fue obtenido en la zona media (parcela L.E-47). b) Se observa los promedios de Zn en raíz para cada zona, obteniendo una ligera variabilidad de la zona media con la zona baja y alta. Además los valores de Zn son inferiores a Límite Permisible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando Zn > 100-400 mg/kg, indica contaminación bajo a moderado por este metal en la planta.

Resultados distinto obtuvo De la Cruz (2010), En el caso del Zn las especies con mayor contenido fueron *Lupinus leucocephala* con 275.96 mg/kg, mientras que la especie que tuvo menor contenido fue *C. ternatea* con 99.98 mg/kg.

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Zn en raíces de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 32. Además el coeficiente de

variabilidad muestra un valor moderado (22%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal. Datos transformados $(\sqrt{X} + 1)$.

Cuadro 32. Análisis de Varianza para Zinc en raíz de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	0.015	0.008	0.004	5.14	10.93
Error	6	11.286	1.881			
Total	8	11.302				

CV (%) 22.05

Fuente: Elaboración propia.

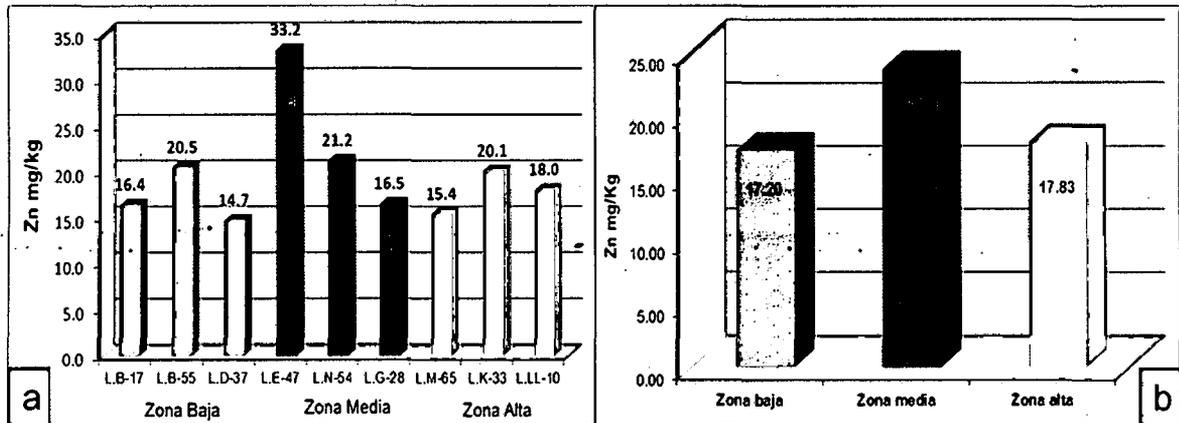
4.3.12. Zinc en hoja

La concentración (mg/kg o ppm) de Zinc (Zn) en hojas de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 33), se encontró que la muestra de hoja de la zona media, parcela L.E-47 (33.2 mg/kg), mostró la mayor concentración de Zn en hojas, superando drásticamente a las muestras de hojas de la zona baja y alta, y para el mayor valor promedio de Zn fue en la zona media con una diferencia moderada del promedio de la zona baja y alta (Figura 23). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Zn en vegetales de consumo (Anexo 35) (Kabata – Pendias, 2000).

Cuadro 33. Concentración de Zinc (Zn) en hojas de *Inga edulis*

Zona de altitud	código de muestra	Zinc mg/kg en hoja
zona baja	L.B-17	16.4
	L.B-55	20.5
	L.D-37	14.7
zona media	L.E-47	33.2
	L.N-54	21.2
	L.G-28	16.5
zona alta	L.M-65	15.4
	L.K-33	20.1
	L.LL-10	18.0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Zinc (Zn) en hojas de *Inga edulis*: **a)** Concentración de Zn en individuos muestreados en cada zona; **b)** valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio.

En la figura 23: **a)** se observa que la concentración de Zn en las muestras de hojas para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es variable en los resultados, observando que en la zona media (parcela L.E-47) existe una mayor concentración de Zn (numéricamente) con 33.2 mg/kg superando drásticamente a la zona baja y alta. El menor valor en concentración de Zn fue obtenido en la zona baja (parcela L.D-37). **b)** Se observa los promedios de Zn en hojas para cada zona, obteniendo una variabilidad notable de la zona media con la zona baja y alta. Además los valores de Zn son inferiores a Limite Permissible para el muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Zn > 100-400$ mg/kg, indica contaminación bajo a moderado por este metal en la planta. Además la concentración promedio de Níquel en hojas para las tres zonas están por debajo de lo que se considerarían como suficiente o normal (Anexo 30) (Kabata – Pendias, 2000).

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Zn en hojas de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 34. Además el coeficiente de

variabilidad muestra un valor moderado (27.7%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 34. Análisis de Varianza para Zinc en hojas de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	75.43	37.71	1.28	5.14	10.93
Error	6	177.19	29.53			
Total	8	252.62				

CV (%) 27.79

Fuente: Elaboración propia.

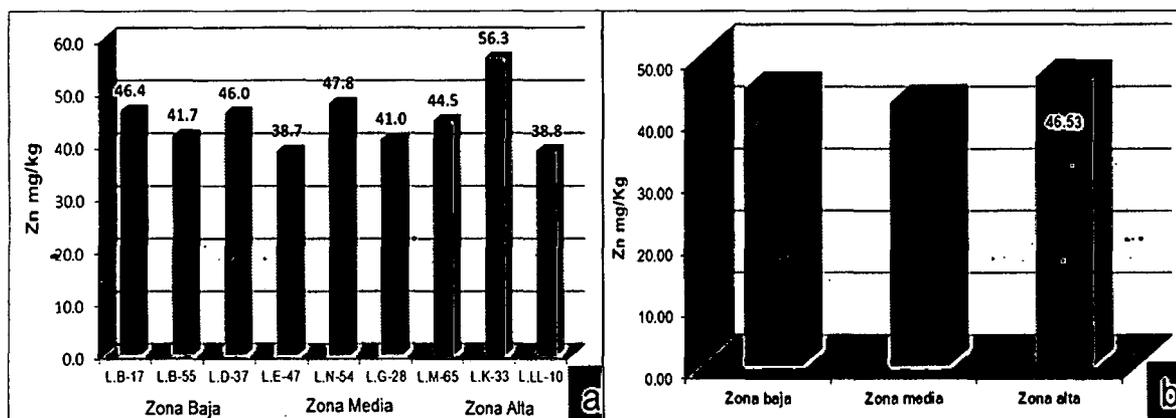
4.3.13. Zinc en fruto

La concentración (mg/kg o ppm) de Zinc (Zn) en fruto de *Inga edulis*, para cada individuo muestreado en las tres zonas del área de estudio (Cuadro 35), se encontró que la muestra de fruto de la zona alta, parcela L.K-33 (56.3 mg/kg), mostró la mayor concentración de Zn en fruto, superando ligeramente a las muestras de fruto de la zona baja y media; y para el mayor valor promedio de Zn fue en la zona alta con una diferencia ligera del promedio de la zona baja y media (Figura 24). Valor que es diferente en rango y contenido medio de Zn en vegetales de consumo (Añexo 35) (Kabata – Pendias, 2000).

Cuadro 35. Concentración de Zinc (Zn) en frutos de *Inga edulis*

Zona de altitud	código de muestra	Zinc mg/kg en fruto
zona baja	L.B-17	46.4
	L.B-55	41.7
	L.D-37	46.0
zona media	L.E-47	38.7
	L.N-54	47.8
	L.G-28	41.0
zona alta	L.M-65	44.5
	L.K-33	56.3
	L.LL-10	38.8

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Zinc (Zn) en frutos de *Inga edulis*: a) Concentración de Zn en individuos muestreados en cada zona; b) valores promedio de Zn en cada zona del área de estudio.

En la figura 24: a) se observa que la concentración de Zn en las muestras de frutos para cada zona del área de estudio (zona baja, zona media y zona alta) es poco variable en los resultados, observando que en la zona alta (parcela L.K-33) existe una mayor concentración de Zn (numéricamente) con 56.3 mg/kg superando ligeramente a la zona baja y media. El menor valor en concentración de Zn fue obtenido en la zona media (parcela L.E-47). b) Se observa los promedios de Zn en frutos para cada zona, obteniendo una ligera variabilidad de la zona alta con la zona baja y media. Además los valores de Zn son inferiores a Limite Permissible para las muestras vegetales (Anexo 31) (Hagedom, 1996); cuando $Zn > 100-400$ mg/kg, indica contaminación bajo a moderado por este metal en la planta.

Resultados inferior obtuvo Calderón y Concha (2010), En el caso del Zn la especie de *Persea americana*, con 2.90 mg/kg en condiciones naturales de la fruta.

El análisis de varianza muestra con un 95 % de certeza que no existe diferencias significativas en el contenido de Zn en frutos de *Inga edulis* de la zona baja, media y alta del experimento, tal como se aprecia en el cuadro 36. Además el coeficiente de

variabilidad muestra un valor bajo (13.5%) hecho que demuestra que los datos están dentro de una distribución normal.

Cuadro 36. Análisis de Varianza para Zinc en frutos de *Inga edulis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F _c calculado	F teórico	
					5%	1%
Tratamiento	2	24.47	12.23	0.34	5.14	10.93
Error	6	217.69	36.28			
Total	8	242.16				

CV (%) 13.51

Fuente: Elaboración propia.

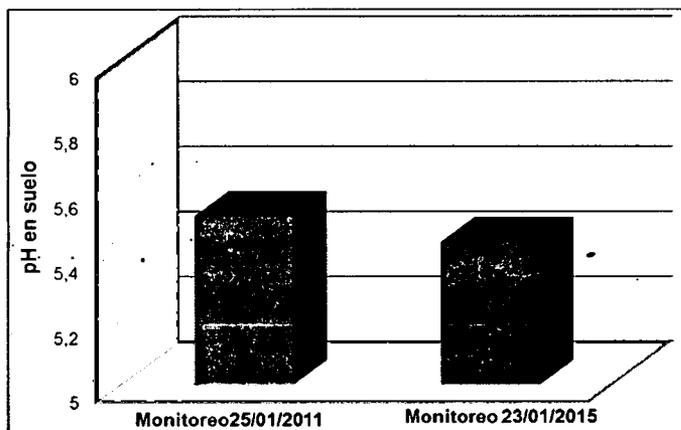
4.4. Caracterización físico-químico del suelo

El análisis de Caracterización de suelo en el área de estudio se realizó su primer monitoreo en enero del 2011 por la oficina de AIDER, consiguiendo resultados en porcentaje de materia orgánica, el intercambio de cationes cambiabes, pH, la clase de textura y otros, y en el presente estudio de investigación se realizó un monitoreo nuevo, obteniendo resultados diferentes del anterior monitoreo con porcentaje muy bajo de materia orgánica, la clase de textura arenoso, en concentración de fósforo (P) y potasio (K) (Cuadro 37). En general, las propiedades del suelo que ejercen un efecto directo en la adsorción de los metales son $pH > MO > CIC$ (Basta *et al.*, 1993).

Cuadro 37. Análisis físico-químicas del suelo.

Nombre del Laboratorio	Código del Lab. para la muestra	Fecha de Análisis	pH (1:1)	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textura	CIC	Cationes Cambiabes				
							Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺
							%	%	%			meq/100g				
Laboratorio UNAM	3500	25/01/2011	5.52	0.75	6.3	129	48	46	6	Fr.A	7.2	2.89	0.82	0.1	0.09	0.2
Laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.	15031649	23/01/2015	5.44	0.28	0.1	15.4	94	4	2	A	1.5	0.44	0.28	0.1	0.22	0.66

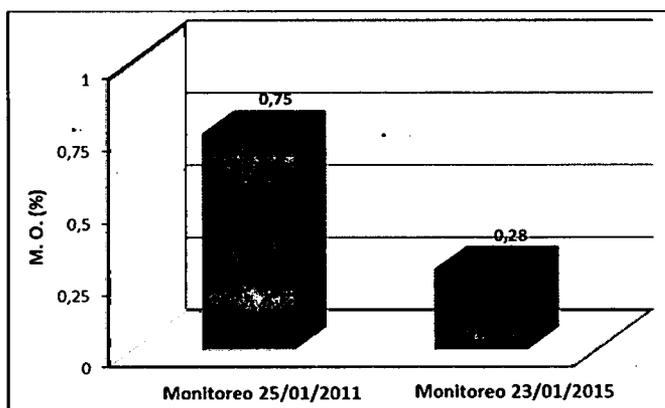
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Valor de potencial Hidrógeno (pH) en suelo.

En la figura 25 se observa que los valores del Potencial Hidrogeno (pH) en suelo ha sufrido una mínima disminución, al inicio de la plantación registro un pH de 5.44 y a los cuatros años después registró un pH de 5.52; para esta prueba no se encontraron diferencias significativas porque se clasifican como suelo fuertemente acido para cada toma de datos (Anexo 36, tabla 1) (Rioja Molina, A. 2002).

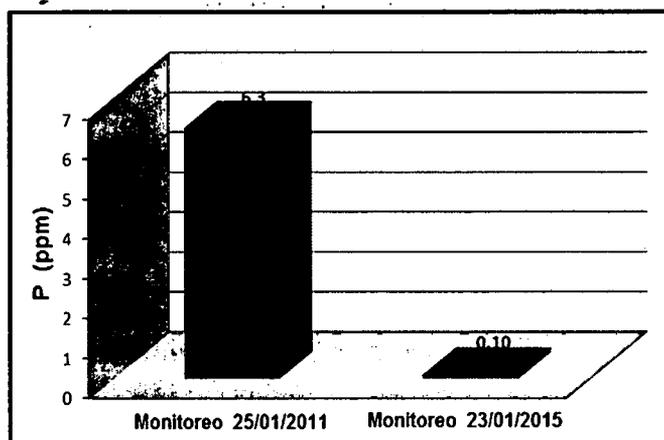


Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Porcentaje de Materia Orgánica (M.O) en suelo.

En la figura 26, con respecto a la M.O., se observa que existe una diferencia significativa, entre la medición actual y la realizada hace cuatros años, apreciando que existió una disminución de 0.75% a 0.28%. De acuerdo a García (2003) este tipo de suelo se clasifica como suelo muy mineralizado (Anexo 36, Tabla 2). El bajo contenido de MO, es debido a una baja producción de biomasa. Abdelrahman y Al-

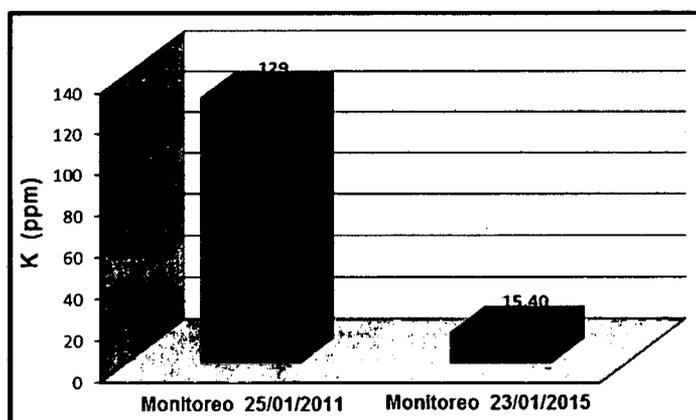
Ajmi, (1994) ; Kuo y Baker, (1980), menciona que el incremento de MO es fundamental para reducir la movilidad y la disponibilidad de los metales pesados en el suelo, dicho comportamiento es atribuido a la formación de complejos órgano-metálicos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Contenido de Fósforo (P) en suelo.

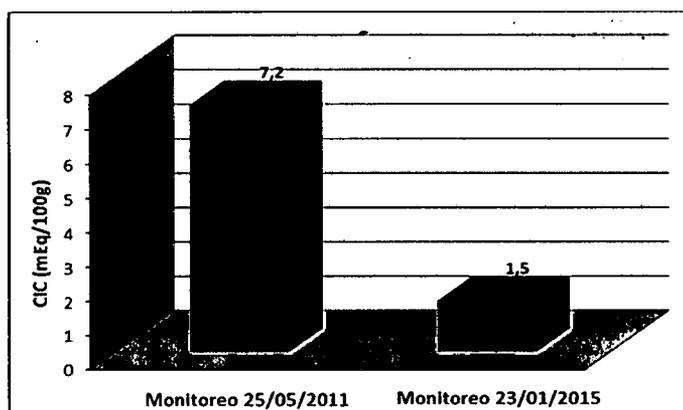
En el figura 27 se observa que existe una disminución elevadamente drástica de Fosforo en suelo, entre la medición actual y la realizada hace cuatros años, apreciando que existió una disminución de 6.3 ppm a 0.10 ppm. Según Urbano (1995) este tipo de suelo está clasificado como suelo pobre (Anexo 36, Tabla 3).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Contenido de Potasio (K) en suelo.

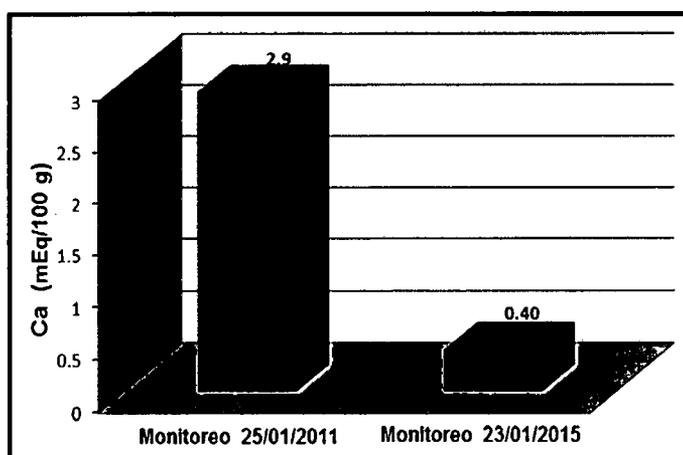
En la figura 28 se observa que el Potasio (K) en suelo ha sufrido una disminución drástica de casi 5 veces menos, al inicio de la plantación registro 129 ppm de K y a los cuatros años después registró 15.40 ppm de K; fluctuando de medio a muy pobre (Urbano, 1995) (Anexo 36, tabla 4).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en suelo.

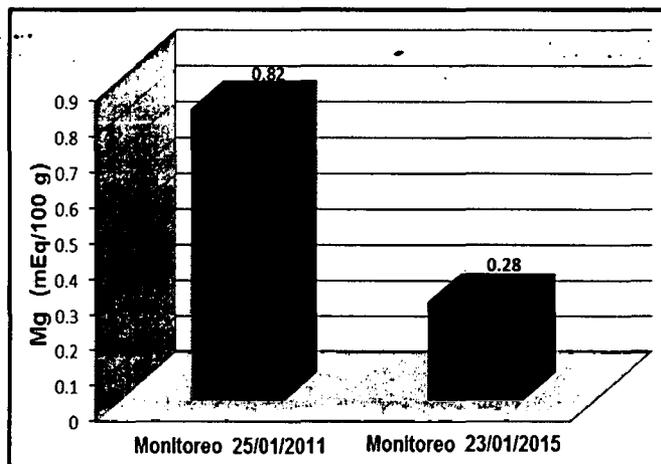
En la figura 29 se observa que los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en suelo ha sufrido una disminución, al inicio de la plantación registro 7.2 meq/100g y a los cuatros años después registró 1.5 meq/100g; fluctuando de baja a muy baja (Rioja, 2002) (Anexo 36, tabla 5).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Contenido de Calcio (Ca) en suelo.

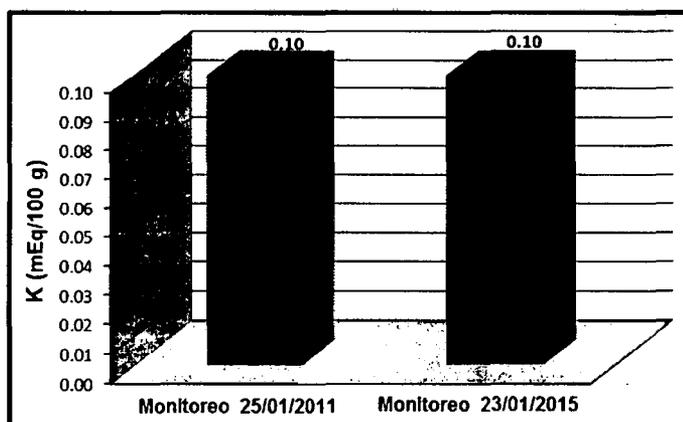
En la figura 30 se observa que el Calcio (Ca) en suelo ha sufrido una disminución, al inicio de la plantación registro 2.9 meq/100g y a los cuatros años después registró 0.40 meq/100g; fluctuando para ambos datos como muy bajo (Rioja, 2002) (Anexo 36, tabla 6).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Contenido de Magnesio (Mg) en suelo.

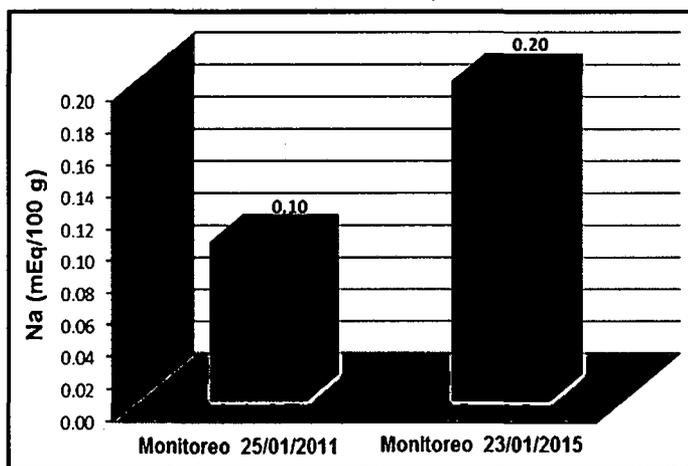
En la figura 31 se observa que el Magnesio (Mg) en suelo ha sufrido una disminución, al inicio de la plantación registro 0.82 meq/100g y a los cuatros años después registró 0.28 meq/100g; fluctuando de baja a muy baja (Rioja, 2002) (Anexo 36, tabla 7).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Contenido de Potasio (K) en suelo.

En la figura 32 se observa que el contenido de Potasio (K) en suelo del área de estudio, existe resultados homogéneos entre el monitoreo tomado antes de la plantación de *Inga edulis*, con el monitoreo de la investigación actual con contenido de 0.10 meq/100 gr, lo que indica que ambos monitoreos de suelo cuenta con un nivel en potasio muy bajo según Rioja (2002). Ver Anexo 28, Tabla 9.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Contenido de Sodio (Na) en suelo.

En la figura 33 se observa que el Sodio (Na) en suelo ha sufrido una disminución, al inicio de la plantación registro 0.20 meq/100g y a los cuatro años después registró 0.10 meq/100g; fluctuando como muy bajo (Rioja, 2002) (Anexo 37, tabla 10).

V. CONCLUSIONES

- ✦ El desarrollo en altura de la especie *Inga edulis*, instalados en una área disturbado por la minería, se ha estabilizado a 1.47 m a los cuatro años de edad. En condiciones normales debería estar a mayor altura, lo que demuestra que estos suelos están totalmente degradados. Para el estado de sobrevivencia de la especie *Inga edulis*, se determinó en un 56 % del total de individuos de la plantación, esto demuestra una reducción severa de producción de biomasa de la plantación y la ausencia de algunas variables ambientales.
- ✦ Debido a la falta de datos históricos en concentración de Metales Pesados como línea base y la no presencia de Mercurio (Hg) en el suelo y planta; y la muy baja concentración de Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Zinc (Zn) para este estudio, dificulta en llegar a una conclusión si la especie de *Inga edulis* tiene buena o nula capacidad de Fitorremediación sobre estos metales en el área de estudio.
- ✦ Las frutos y hojas de la *Inga edulis* en el área de estudio, presentaron las mayores concentraciones de Cr, Cu, Ni, Zn, pero todos están por debajo del límite de toxicidad para el consumo del ser humano.
- ✦ En cuanto a la especie vegetal, la mayoría presentó acumulación de metales pesados en sus componentes morfológicos analizados por debajo del Límite de Toxicidad. La más alta acumulación de Cr, Ni y Zn se presentó hojas y fruto (H/F) y para Cu fue en hoja. Todas las muestras reportaron niveles acumulados a nivel raíz, hoja y fruto. No hubo relación entre las concentraciones de suelo con respecto a raíz, hojas y fruto, a diferencia del Cr que si reporto relación entre la concentración de suelo con el fruto.

VI. RECOMENDACIONES

- ✦ Se recomienda para el recojo de muestras realizar los análisis de suelo para Metales Pesados a mayor profundidad de los 30 cm a fin de determinar si existe concentración de Metales Pesados.

- ✦ Realizar la evaluación de capacidad fitorremediadora de la especie de *Inga edulis*, únicamente a las áreas que presenten contaminación de metales pesados.

- ✦ Las prácticas de remediación y recuperación de áreas contaminadas deben hacer un énfasis particular en el mantenimiento de una adecuada concentración de Materia Orgánica humificada en los suelos.

- ✦ Para suelos degradados por minería, se debe de aplicar agregados de calcio (encalado) corrige los bajos valores de pH y atenúa la toxicidad causada por metales pesados, con el fin de mejorar el crecimiento de los Arboles.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Abdelrahman H. A. y Al-Ajmi H. (1994). Heavy metals in some water and wastewater irrigated soils of Oman. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 25 (5-6): 605- 613 .

Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M, Mentaste, E, Sarzanini, C., & Barberis, R. (2002). Distribution and Mobility of Metals in Contaminated sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 177.

Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos, (2000). Documento EPA 815-F-00-007.

AL-Farraj A. S. and M. I. Al-Wabel, (2007). Heavy Metals Accumulation of Some Plant Species Grown on Mining Area at Mahad AD'Dahab, Saudi Arabia. *Journal of Applied Sciences*, 7: 1170-1175.

Anderson, T. A., E. A. Guthrie, y B. T. Walton. (1993). Bioremediation in the rhizosphere. *Environ. Sci. Technol.* 27: 2630-2636

Anderson, T. and Coats J. (1995). Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. *J. Environ. Sci. Heal.* 30: 473-484.

Anderson, T. (1997). Development of a phytoremediation handbook: Consideration for enhancing microbial degradation in the rhyzosphere. Disponible en: <http://es.epa.gov/ncerqa/ru/index.html>. Accesado el 06 de agosto de 2006.

Aprill, W. and R. C. Sims. (19909). Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. *Chemosphere.* 20: 253-265.

ATSDR, 2003. Agency for toxic substances and disease registry, 2003. Niquel (nickel).

Baker, A. J. M., R. D. Reeves, y S. P. McGrath. (1991). In situ decontamination of heavy metals polluted soils using crops of metal-accumulating plants a feasibility study. In R. E. Hinchee y R. F. Olfenbuttel (ed.) *In situ Bioreclamation*. Butterworth-Heinemann Publishers, Stoneham, MA. P. 539-544.

Basta, N.T., Pantone, D.J. y Tabatabai, M.A. (1993). Path analysis of heavy metal adsorption by soil. Published in *Agon. J.* 85: 1954-1057.

Bautista, F. (2000). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. México: Universidad Autónoma de Yucatán.

Bernal, M. P., R. Clemente, S. Vasquez y D. J. Walker. (2007). Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcollar. *Ecosistemas* 16 (2): 67-76.

- Borges, D.V. C. (2002).** Tropical Forage Plants: Development and Use. *Crop Science* 42:655.
- Bowie, S. H. U.; Thornton, I. (1985).** Environmental Geochemistry and Health. Boston: D. Reidel Publishing Co.
- Brooks R. R. (1998).** Plants that hyperaccumulate heavy metals. CAB International. Reino Unido. P. 380.
- Brown L.B. LeMay H.E., Bursten B.E., Murphy C.J., (2009).** "QUIMICA: La Ciencia Central", 11 ed, PEARSON Educación, México, 1117 pp.
- Bureau-Veritas. (2008).** Manual para la formación en medio ambiente. España: Lex Nova S.A.
- Cataldo, D. A., R. E. Wilding y T. R. Garland. (1987).** Speciation of trace inorganic contaminants in plants and bioavailability to animals: an overview. In *Journal of Environmental Quality*. Vol. 16 No. 4.
- Chaney, R. L., M. Malik, Y. M. Li, S. L. Brown, E. P. Brewer, J. S. Angle and A. J. M. Baker. (1997).** Phytoremediation of soil metals. *Curr. Opin Biotechnol.* 8: 279-284.
- Chaney, R. L. (1983).** Plant uptake of inorganic waste. In J. E. Parr et al. (ed.) *Land treatment of hazardous waste*. Noyes Data Corp., Park Ridge, IL. P. 50-76.
- Chaney, R. L., M. Malik, Y. M. Li, S. L. Brown, E. P. Brewer, J. S. Angle, y A. J. M. Baker. (1997).** Phytoremediation of soils metals. *Curr. Opin. Biotechnol.* 8:279-284.
- Cossio, C., E. Martinoia and C. Keller. (2004).** Hyperaccumulation of Cadmium and Zinc in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* at the Leaf Cellular Level Plant. *Physiol.* 134(2): 716-725.
- Cruz, M., & Guzmán, A (2007).** La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales. España. Universidad de Sevilla.
- Cunningham, D. S., y R. W. Berti. (1993).** Remediation of contaminated soil with Green plants: An overview. *In Vitro Cell. Dev. Biol.* 29: 207-212.
- Cunningham. S. D., W. R. Berti, y J. W. Huang. (1995).** Remediation of contaminated soils and sludges by Green plants. En: R.E. Hinchee, J.L. Means and D.R. Burris, Editors, *Bioremediation of Inorganics*, Battelle Press, Columbus, OH.
- Cruz Landero, Nancy. (2010).** Especie de leguminosas como fitorremediadoras en suelos contaminados. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados Campus Texcoco, Montecillos, Edo. de México. 61-66.

Dec J., y J. M. Bollag. (1994). Use of plant material for the decontamination of water polluted with phenols. *Biotech. Bioeng.* 44: 1132-1139.

Desoile H, Marti-Mercadal JA, ScherrerJ, Truhaut R. (1986). *Medicina del Trabajo.* Masson SA. Barcelona, 883 paginas.

Diez, J., Kidd, P., & Monterroso , C. (2009). Biodisponibilidad de metales en suelos y acumulación en plantas en el área de Tras-os-Montes (NE Portugal): influencia del material original. *Sociedad española de la Ciencia del suelo*, 17.

Dushenkov, P. B. A., Nanda Kumar, H. Motto y I. Raskin. (1995). Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ. Sci. Technol.* 29:1239–1245.

Dushenkov, S. (2003). Trends in phytoremediation of radionuclides, *Plant and Soil.* 249, 167-175.

Enríquez, G. (1996). Sistemas de cultivo del cacao en el Ecuador. IICA. Preparado para ser presentado en el "Mini Simposio sobre Sistemas Agroforestales". Salvador, Bahia, BR. 56 p.

Estévez, J., M. L. Andrade, P. Marcet y M. J. Montero. (2000). Fijación y Movilidad de Cadmio y Zinc en tres tipos de suelos ácidos de Galicia, España. *Ciencia del Suelo* 18 (1): 28-35.

Fodor, F. (2006). Heavy metals competing with iron under conditions involving phytoremediation. *Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms*, 129-151.

Galvao, Luiz A.C & Corey, German. (1987). Centro panamericano de Ecología Humana. México, Número 5 de serie vigilancia, 66 p.

García, I., & Dorransoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados, En *Tecnología de Suelos.* Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.

Gil F y Gisbert JA (2004). Intoxicación por otros metales. En: *Gisbert-Calabuig. Medicina Legal y Toxicología,* Villanueva-Cañadas E, ed. Masson, Barcelona, (6ªed), 964-980.

Graham, H.P and C. P. Vance (2003). Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiology* 131: 872-877.

Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerant. *Journal of Experimental Botany.* Vol 53 pp 1-11.

Halstead, R.L., Finn, B.J., and MacLean, A.J.. (1969). Extractability of nickel added to soils and its concentration in plants. *Can. J. Soil Sci.* 49:335.

Han, F.B. (2003). New Approach to studies of Heavy Metal Redistribution in Soil. *Advances in Environmental Research*, 113 – 120.

- Haq, A. U., T. E. Bates and Y. K. Soon. (1980).** Comparison of extractants for plant-available zinc, cadmium, nickel and copper in contaminated soils. *Soil Science. Soc. Am. J.* Vol 44 pp 772-777.
- Haque, N., J. R. Peralta-Videa, G. L. Jones, T. E. Gill and J. L. Gardea-Torresdey. (2008).** Screening the phytoremediation potential of desert broom (*Baccharis sarothroides* Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. *Environ Pollut.* 153 (2): 362-368.
- Harvey, A. J., M. Leontien, A. Witjes, M. Benkirane, H. Duyts and R. Wagenaar. (2007).** Nutritional suitability and ecological relevance of *Arabidopsis thaliana* and *Brassica oleracea* as foodplants for the cabbage butterfly, *Pieris rapae*. *Plant ecology* 189: 117-126.
- Huertas, A & Saavedra, E. (1990).** Apuntes de Dendrologia. Universidad del Tolima. Facultad de Ingenieria Forestal. Departamento Forestal. Colombia 15 p.
- Hutchinson, S. L., A. P. Schwab, y M. K. (2003).** Biodegradation of petroleum hydrocarbons in the rhizosphere. In McCutcheon, S. C. y J. L. Schonoor (Eds.), *Phytoremediation: transformation and control of contaminants*. Hoboken, NJ Wiley-Interscience, Inc. P. 355-386.
- Kabata-Pendias, A., Pendias H., (1984).** Agricultural Problems related to excessive trace metal contents of soil. En *Heavy Metals*, Salomons W., Forstner U., Mader P. (Eds). Springer, Berlin. 412.
- Kabata-Pendias, A., Pendias H., (1995).** Trace elements in soils and plants. Edition. CRC Press, London. 365.
- Kabata-Pendias, A. (2000).** Trace elements in soils and plants. Edition. CRC Press, - Boca Raton, USA. 413 p.
- Krämer, U., R. D. Smith, W. Wenzel, I. Raskin, y D. E. Salt. (1997).** The role of metal transport and tolerance in nickel hyperaccumulation by *Thlaspi geosingense* Halacsy. *Plant Physiol.* 115:1641-1640.
- Kuo S y Baker A. S. (1980).** Sorption of copper, zinc and cadmium by some acid soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 44: 969-974
- Lacerda, L. D. and W. Salomons. (1992).** Mercurio na Amazonia. Rio de Janeiro. Brasil. 78 p. (Serie Tecnologia Ambiental)
- Lamotte, S. (1990).** Fluvial dynamics and succession in the lower Ucayali River Basin, Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 33/34. Holanda. Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam (141-156 p).

- Lasat, M. M., A. J. M. Baker y L. V. Kochian. (1996).** Physiological characterization of root Zn²⁺ absorption and translocation to shoots in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. *Plant Physiol.* 112: 1715-1722.
- Lasat, M. M. (2002).** Phytoextraction of Toxic Metals *Journal of Environmental Quality* 31: 109-120.
- Le Miére, P., P. Hadley, J. Darby y N.H. Battey. (1998).** The effect of thermal environment, planting date and crown size on growth, development a *Fragaria x ananassa* Duch cv. Elsanta. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 73: 786-795.
- Lindsay, W.L. y W.A. Norvell.(1978).** Development of a DTPA soil Zinc, iron, manganese and cooper. *J. Am. Sci. Soil.*42.pp. 421-428.
- Lugo-Morin, D. R. (2007).** Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui, Venezuela. *Ecosistemas* 16 (1): 69-79.
- Liao, M.T., Hedley, M.J., Woolley, D.J., Brooks, R.R. and Nichols, M.A. (2000a).** Copper uptake and translocation in chicory (*Cichorium intybus* L. cv Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Cv. Rondy) plants grown in NFT system. I. Copper uptake and distribution in plant. *Plant and Soil.* 221: 135-142.
- Liao, M.T., Hedley, M.J., Woolley, D.J., Brooks, R.R. and Nichols, M.A. (2000b).** Copper uptake and translocation in chicory (*Cichorium intybus* L. cv Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Cv. Rondy) plants grown in NFT system. II. The role of nicotianamine and histidine in xylem sap copper transport. *Plant and Soil.* 223: 243-252.
- Luo, L. L., Z. G. Shen and X. D. Li. (2008).** Root Exudates Increase Metal Accumulation in Mixed Cultures: Implications for Naturally Enhanced Phytoextraction. *Water Air Soil Pollut.* 193: 147-154.
- Llugany, R., C. Tolra, J. Poschnrieder, M. Barcelo. (2007).** Hiperacumulacion de metales: ¿una ventaja para la plantas y para el hombre? *Ecosistemas* 16 (2): 4-9.
- Mahler, R.L., (2003).** General overview of nutrition for field and container crops. In: Riley, L. E.; Dumroese, R. K.; Landis, T. D., Tech Coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2003 June 9-12; Coeur d'Alense, ID; and 2003 July 14-17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Mancera-Rodriguez, J.N. y R. Á. Leon. (2006).** Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta biol. Colomb.* 11(1). 3-23.

- Maruyama-Nakashita, A., E. Inoue, K. Saito, H. Takahashi. (2007).** Sulfur-responsive promoter of sulfate transporter gene is potentially useful to detect and quantify selenate and chromate. *Plant Biotechnology* 24, 261-263.
- Maqueda, A P. (2003).** Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Tesis de Opción a Maestría en Biotecnología. Departamento de Química y Biología. Cholupa, Puebla, México: Universidad de las Américas.
- Marín Garcia. M.L., (2003).** "Análisis Químico de suelos y aguas transparencias y problemas" Ed. Editorial UPV.
- Martin, C.W. (2000).** Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill.
- McCutcheon, S. C. y J. L. Schnoor. (2003).** Phytoremediation: transformation and control of contaminants. Hoboken, NJ: Wiley- Interscience, Inc.
- Morel F., Kraepiel A., Amyot M. (1998).** *Annual review of ecology and systematics*. 29: 543-566.
- Montenegro, G. y C. Fredes. (2008).** Relaciones entre el origen floral y el perfil de elementos minerales en mieles chilenas *Gayana Bot.* 65(1): 122-125.
- Mosquera, Cesar. (2005).** El desafío de la formalización en la minería artesanal y de pequeña escala. Análisis de las experiencias en Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia. Lima: CooperAcción.
- Mulligan, C. N., R. N. Yong and B. F. Gibbs. (2001).** Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation *Engineering geology* 60 193-207.
- Navarro-Aviño, J., P. A. Alonso, J. R. López-Moya. (2007).** Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas* 16 (2): 10-25.
- Nedelkoska, T., & Doran, (2000).** Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potencial for phytoremediation and phytomining. *Minerals Engineer*, 13 (5): 549-561.
- Nellessen, J. E. y J. S. Fletcher. (1993).** Assessment of published literature on the uptake, accumulation, and translocation of heavy metals by vascular plants. *Chemosphere* 27:669-1680.
- Newman, L. A., S. E. Strand, N. Choe, J. Duffy, G. Ekuan, M. Ruszaj, B. B. Shurtleff, J. Wilmoth, P. Heilman y M. P. Gordon. (1997).** Uptake and biotransformation of trichloroethylene by hybrid poplars. *Environ. Sci. Technol.* 31: 1062-1067.

- Novoa, O. (1992).** Crecimiento inicial de guaba caite (*Inga densiflora* Benth.), guaba chilillo (*Inga edulis* Mart.) y guaba machete (*Inga spectabilis* (Vahl) Willd) en dos sitios en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 132 p.
- Olayinka, I. N. (2008).** Contaminant source as factor of soil heavy metals toxicity and Bioavailability to plants. *Environmental Research Journal*. 2(6): 322-326.
- Paim, L.A.; Carvalho, R.; Abreu, C.M.P.; Guerreiro, M.C. (2006).** Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. *Quím. Nova*. 29(1):28-33.
- Parrish, Z. K., M. K. Banks and A. P. Schwab. (2005).** Effect of Root Death and Decay on Dissipation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Rhizosphere of Yellow Sweet Clover and Tall Fescue. *J. Environ. Qual.* 34: 207-216.
- Pearson, J.N., Rengel, Z., Jenner, C.F. and Graham, R.D. (1996).** Manipulation of xylem transport affects Zn and Mn transport into developing wheat grains of cultured ears. *Physiologia Plantarum* 98: 229-234.
- Pennington, T. D. (1997).** The genus *Inga* Botany. The Royal Botanical Gardens. London, England.
- Pérez, L., Moreno, A.M. y Gonzales, J., (2004).** Indices de acumulacion de metals pesados en granos y hojas de trigo. *Schironia*. N° 3: 5-9.
- Piechalak, A., A. Malecka, D. Baralkiewicz and B. Tomaszewska. (2008).** Lead uptake, toxicity and accumulation in *Phaseolus vulgaris* plant. *Biologia Plantarum* 52 (3). 565-568.
- Pineda, H. (2004).** Presencia de Hongos Micorrizicos Arbusculares, Contribucion de Glomus Intraradices en la Absorcion y Translocacion de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus* L.) Crecido en un suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tecoman. Colima: Universidad de Colima. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias.
- Price, T. D., N. E. Zimmermann, P. Van Der Meer, M.J. Lexer, P. Leadley, I. T. M. Jorristma, J. Schaber, D. F. Clark, P. Lasch, S. McNulty, W. Jianguo and B. Smith. (2001).** Regeneration in gap models: Priority issues for studying forest responses to climate change. *Climatic Change* 3-4 (51): 475-508.
- Puga, S., M. Sosa, A. Mora, C. Pinedo y J. Jiménez. (2006).** Concentraciones de As y Zn en vegetación nativa cercana a una presa de jales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 22 (2): 75-82.
- Raskin, I., Kumar, P. B .A. N., Dushenkov, S. y Salt, D. E. (1994).** Bioconcentration of heavy metals by plants. *Curr. Opin. Biotechnol.* 5: 285-290.

Raskin, I., R. D. Smith, y D. E. Salt. (1997). Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Curr. Opin. Biotechnol.* 8: 221-226.

Rioja Molina, A. (2002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., Ciudad Real.

Rodríguez-Ortiz, J., Valdez-Cepeda, R. Lara-Mireles, J., Rodríguez-Fuentes, H., Vásquez-Alvarado, R., Magallanes-Quintanar, R, & García-Hernández, J. (2006). *Soil nitrogen fertilization effect on phytoextraction of Cd and Pb by tobacco (Nicotiana tabacum) Bioremediation Journal.*

Romero, Kathia; Victor H. Pachas; Gustavo Zambrano; Yerson Guarniz. (2005). Formalización de la Minería en Pequeña Escala en América Latina y el Caribe: Un Análisis de Experiencias en el Perú. Lima: CooperAcción.

Roper, J. C., J. Dec, y J. Bollag. 1996. Using minced horseradish roots for the treatment of polluted waters. *J. Environ. Qual.* 25: 1242-1247.

Ruda, E, Mongiello, A, & Acosta, A (2004). Contaminación y salud del suelo. En E Ruda, A Mongiello, & A Acosta, Contaminación y salud del suelo (pag. 41). Argentina: Centro de tecnología educativa aplicada. Facultad de Ingeniería Química, UNL.

Sauquillo, A R. (2003). Overview of the use of Leaching / Extraction Tests for Risk Assessment of Metals in Contaminated Soil and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 152 – 159.

Sauve, S. W., & Henderson, a H. (2000). *Soild-Solution Partitioning of Metals in Contamineted Soils: Dependence on pH Total Metal Burden, and Organic Matter, Environ Sci. Technd.*

Schwartz, C., G. Echevarria, y J. L. Morel. (2003). Phytoextraction of cadmium with *Thlaspi caerulescens*. *Plant Soil.* 249:27-35.

Shibu, J., C. Merritt, and C. L. Ramsey. (2003). Growth, nutrition, photosynthesis and transpiration responses of longleaf pine seedling to light, water and nitrogen. *For. Ecol. Manage.* 180(10): 335-344.

Sterckeman, T., J, Perrigüey, M. Caël, C. Schwartz and J. L. Morel. (2004). Applying a mechanistic model to cadmium uptake by *Zea mays* and *Thlaspi caerulescens*: Consequences for the assessment of the soil quantity and capacity factors. *Plant and Soil* 262: 289-302.

Strand, S. E., L. Newman, M. Ruzaj, J. Wilmoth, B. Shurtleff, M. Brandt N. Choe, G. Ekuan, J. Duffy, J. W. Massman, P. E. Heilman, y M. P. Gordon. 1(995). Removal of trichloroethylene from aquifers using trees. In: Vidic, R. D., y F. G. Pohland. (Eds.), *Innovative Technologies for Site Remediation and Hazardous Waste Management, Proceedings of the*

National Conference of the Environmental Engineering Division of the American Society of Civil Engineers, Pittsburgh, PA, New York, NY.

Suarez, P. y R. Reyes. (2002). La incorporación de metales pesados en las bacterias y su importancia para el ambiente. *Interciencia* 27(4): 160-164.

Susarla, S., S. T. Bacchus, N. L. Wolfe. y S. C. McCutcheon. (1999). Potential species for phytoremediation of perchlorate. U.S. Environmental Protection Agency Report EPA/600/R-99/069, Athens, GA (A Project report submitted to the Wright-Patterson Air Force Base, Dayton, OH), P. 47.

Susarla, S., V. F. Medina, y S. C. McCutcheon. (2002). Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering* 18: 647-658.

Tehranifar, A.P., P. Le Miére y N.H. Battey. (1998). The effect of lifting date, chilling duration and forcing temperature on vegetative growth and fruit production in the Junebearing strawberry cultivar Elsanta. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 73: 453-460.

Thirakul, S. (1992). Manual de dendrología del bosque latifoliado. La Ceiba. Honduras. ACDI/COHDEFOR. 461 p.

Torres, G., A. E. Navarro, J. Languasco, K. Campos y N. A. Cuizano. (2007). Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratioides* (lechuga de agua). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (1): 13-20.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), (2000). Introduction to phytoremediation. Publication No. 600/R-99/107. Cincinnati, OH.

Urbano Terrón, P. (1995). "Tratado de fitotecnia general", 2° edición, Ed. Ediciones Mundi-Presa

Valencia, I. E. y B. A. Hernández. (2002). Muestreo de suelos, preparación de muestras y guía de campo. UNAM. 131pp.

Valencia Arroyo, Lenin. (2014). Madre de Dios: ¿PODEMOS EVITAR LA TRAGEDIA?, 1° edición, Ejecutado por la SPDA y Fundación MacArthur, 2: 34-39pp.

Wallace, G. A. and A. Wallace. (1994). Lead and other potentially toxic heavy metals in soils common. *Soil Sci. Plant Anal.* 25: 137-140.

Watanabe, M. E. (1997). Phytoremediation on the brink of commercialization. *Environ. Sci. Technol.* 31: 182-186.

Watt, M. y J. Evans. (1999). Proteoid roots physiology and development. *Plant Physiol.* 121, 317-323.

Welch, R.M. (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*. 14: 49-82.

White, Jr. P. M., D. E. Wolf, J. G. Thomas, and C. M. Reynolds. (2006). Phytoremediation of alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons in a crude oil-contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution* 169: 207-220.

Who. (1991). Environmental health criteria 118: inorganic mercury world health organization, geneva.

Yang, X. E., X. X. Long, H. B. Ye, Z. L. He, D. V. Calvert and P. J. Stoffella. (2004). Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance) *Plant and Soil*. 259: 181-189.

Youngman, A. L., T. L. Williams and L.S. Tien. (1998). Patterns of Accumulation of heavy metals in non-woody vegetation established on Zinc-lead smelter contaminate

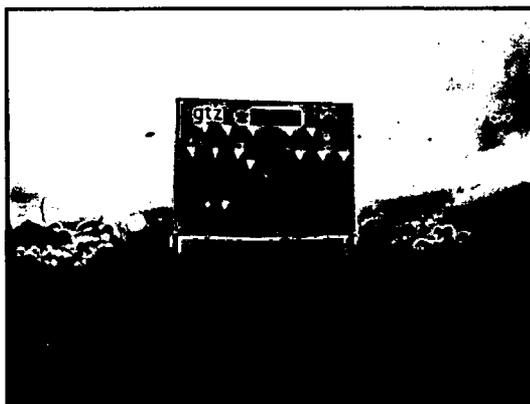
VIII. ANEXOS.

ANEXO 01. Distribución de 3x3 metros.



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 02. Proyecto piloto



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 03. Toma de datos por individuo



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 04. Medición de copa



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 05. Medición de altura



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 06. Individuo enfermo



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 07. Árbol de guaba sano



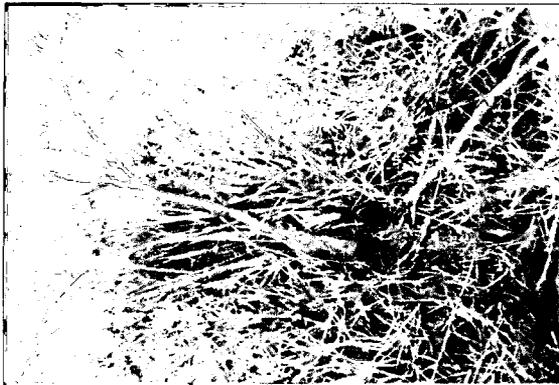
Fuente: Propia (2015)

ANEXO 08. Individuo de guaba seco



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 09. Individuo muerto/tumbado



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 10. Agentes polinizadores



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 11. Quebrada Guacamayo



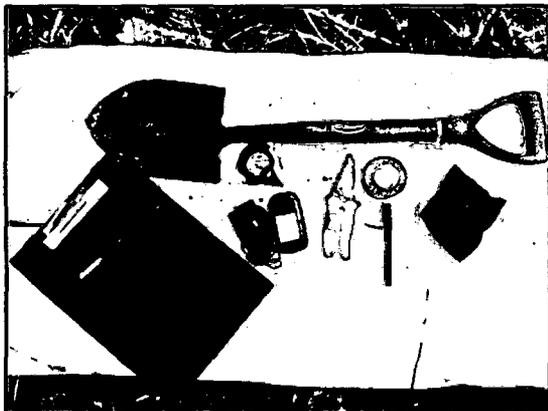
Fuente: Propia (2015)

ANEXO 12. Selección de individuos



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 13. Materiales de Campo



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 14. Muestreo de hojas



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 15. Muestreo de frutos



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 16. Muestreo de raíz



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 17. Muestreo de suelo



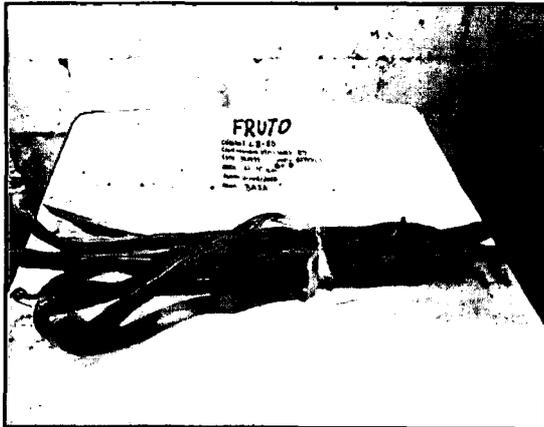
Fuente: Propia (2015)

ANEXO 18. Etiquetado de hojas



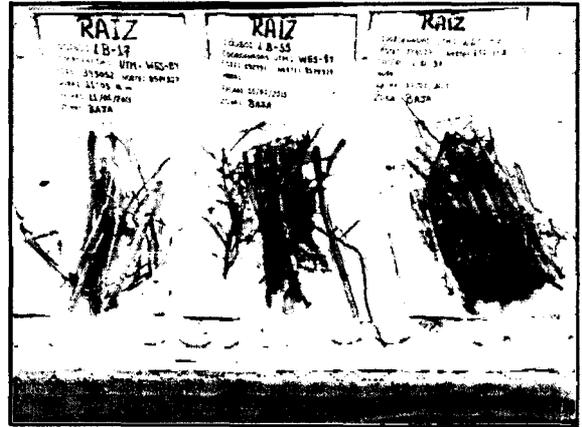
Fuente: Propia (2015)

ANEXO 19. Etiquetado de frutos de guaba.



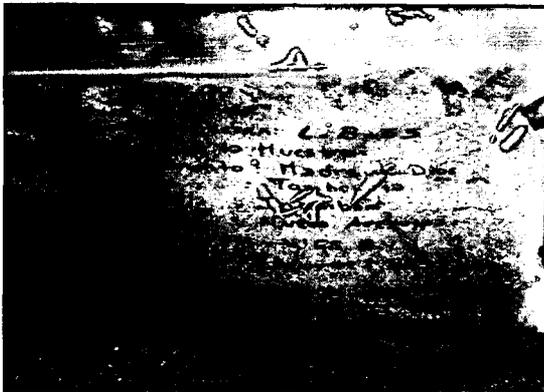
Fuente: Propia (2015)

ANEXO 20. Etiquetado de raíz desnuda.



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 21. Etiquetado de muestra de suelo



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 22. Muestra de raíz pre-tratada



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 23. Muestra de hojas pre-tratadas

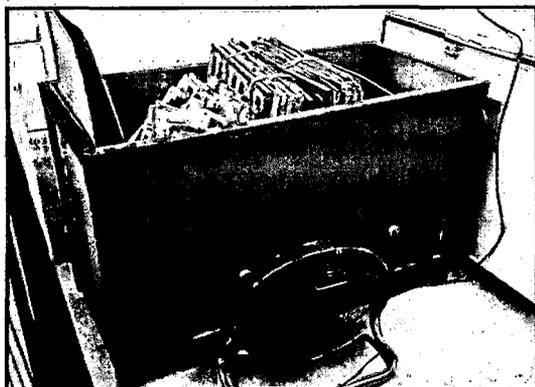


Fuente: Propia (2015)

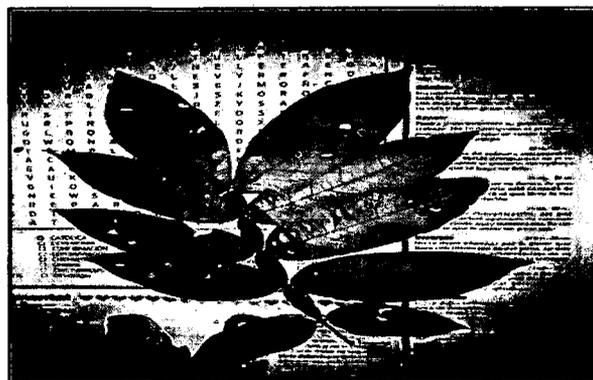
ANEXO 24. Muestras de frutos pre-tratadas



Fuente: Propia (2015)

ANEXO 25. Horno de secado de hojas

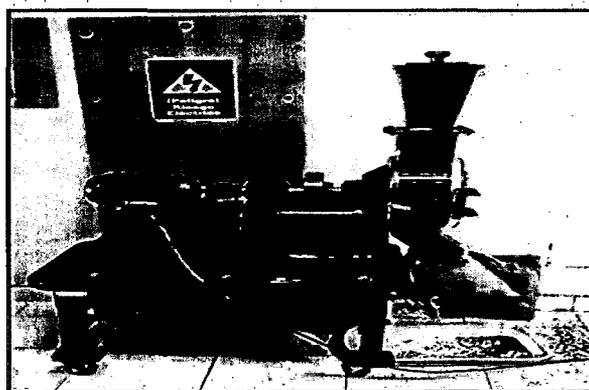
Fuente: Propia (2015)

ANEXO 26. Muestras de hoja seca.

Fuente: Propia (2015)

ANEXO 27. Codificación de muestras

Fuente: Propia (2015)

ANEXO 28. Molino eléctrico para muestras secas.

Fuente: Propia (2015)

Anexo 29. Formato para el inventario de la plantación de *Inga edulis*.

Nº	COORDENADAS UTM (WGS-84)		COD. DE ARBOL	ZONA	ALTURA (H)	DIAMETRO DE COPA		Estado Fitosanitario (E.F)	FRUTO	OBSERVACION
	NORTE	ESTE				Ancho (m)	Largo (m)			
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
...										
...										
...										
1206										
Estado fitosanitario										
1=sano/vivo; 2= muerto/ausente; 3= enfermo/con plaga										

Fuente: Propia (2015)

Anexo 30. Parámetros establecidos por algunos autores para la concentración normal de Metales Pesados en el Suelo (mg/kg).

Elemento	Concentraciones promedio determinadas en este trabajo:	(Lindsay, 1978).	(Hagedorn, 1996).	(Bowie y THORNTON, 1985).	(Kabata - Pendia y Pendias, 1995)			Rango normal mundial (Kabata-Pendias y Pendias, 1995)	Kabata-Pendias y Pendias, 2000		
					Holanda	España	Union Europea		Suficiente o normal	Suficiente o toxica	Tolerante por algunos cultivos
Cu	1.43	2 - 100	14 - 29	2.0 - 60.0	50	50 - 1000	140	20	11.07	20 - 100	5.0 - 20
Cr	2.45	1 - 1000	20 - 85	NR	100	100 - 1000	NR	65	0.1 - 0.5	5.0 - 30	2
Ni	2.15	5 - 500	13 - 30	2 - 100	50	30 - 300	75	20	0.1 - 5	10 - 100	1.0 - 10
Hg	< 0.1				0.5	01 - 16	1.5	NR		1 - 3	0.05 - 0.5
Zn	7.1	10 - 300	34 - 84	25 - 200	150	150 - 2500	300	NR	27 - 150	100 - 400	50 - 100

NR.- No registrado.

Los valores establecidos se reportan en mg/kg.

Las celdas sombreadas corresponden a valores que han sido rebasados por los determinados en este trabajo.

Anexo 31. Función biológica y de toxicidad de los metales pesados en los organismos.

Elemento	Función Biológica	Nivel de Fitotoxicidad (mg/kg)	Efecto de Toxicidad
Al	Activa la deshidrogenasa	Moderado (50-200)	No esencial, las concentraciones naturales en el suelo son muy altas que las del agua residual: La acumulación de este metal es a nivel de las raíces que se producen o presentan plasmólisis. Este no se acumula en las hojas.
As	Ninguno en animales; es un fosfolípidos en algas y hongos	Moderado a alto (5-20)	Elemento no esencial, el contenido en plantas cultivadas varia ampliamente con las concentraciones naturales de arsénico en el suelo. El crecimiento en las plantas se ve afectado por altas concentraciones de As.

Cd	Ninguno conocido	Moderado a alto (5-30)	No esencial, las plantas presentan una amplia gama de tolerancia a las concentraciones del suelo; en plantas cultivadas aumenta su concentración y se vuelven inseguras para el consumo en humanos y animales.
Cr	Metaboliza el azúcar de la sangre en los mamíferos	Moderado a alto (5-30)	No esencial, su acumulación es tóxica en el suelo cuando se presenta en su estado hexavalente (Cr ⁺⁶).
Cu	Esencial para todos los organismos, actúa sobre las enzimas redox y el transporte de oxígeno	Moderado a alto (20-100)	Elemento esencial pero tóxico, particularmente en suelos ácidos, cuando existen altas concentraciones puede existir la deficiencia de hierro y fósforo. Se acumulan en las plantas pero no a nivel de las hojas aunque aún con ello son inseguras para el consumo.
Fe	Esencial para todos los organismos. Es un cofactor en muchas enzimas y varias proteínas.	Bajo (>1000)	Elemento esencial; las concentraciones naturales en el suelo, varían mucho al aplicarse agua residual en el riego. No se considera tóxico en especies cultivadas aunque la presencia de formas amorfas contribuye a la deficiencia de fósforo y molibdeno.
Hg	Ninguna conocida	Alta (1-3)	No esencial, la magnitud de absorción por plantas terrestres es muy baja al igual que su toxicidad, pero si es alta en animales y el hombre. Se pierde del suelo por volatilización.
Mn	Esencial para todos los organismos además de participar en la fotosíntesis	Bajo a moderado (300-500)	Esencial, las concentraciones naturales en el suelo son usualmente más altas que las contenidas en el agua residual. Se restringe su toxicidad en los suelos ácidos y los síntomas en las plantas son una clorosis y rozamiento en los márgenes de las hojas
Mo	Esencial en casi todos los organismos, es un cofactor en la fijación del Nitrógeno.	Moderado (10-50)	Esencial. Presenta baja toxicidad en algunas plantas, cuando existen altas concentraciones en el suelo, el molibdeno puede acumularse en el forraje; la solubilidad del molibdeno en el suelo incrementa cuando el nivel del pH es bajo
Ni	Esencial para las plantas	Moderado a alto (10-100)	No esencial para las plantas. Relativamente existe una baja fitotoxicidad en plantas que crecen en suelos ácidos. No se absorbe de manera natural a concentraciones consideradas de riesgo para el hombre o los animales.

Pb	Ninguno conocido	Moderado (10-100)	No esencial, no es tan toxico cuando es absorbido por plantas cultivadas, pero cuando se ingiere directamente por animales o humanos se presenta un alto nivel de toxicidad.
Se	Esencial para los mamíferos y algunas plantas	Moderado a alto (5-30)	No esencial para las plantas. Hay una baja toxicidad excepto cuando hay niveles altos en el suelo y solo así es absorbido por las plantas. El selenio en el forraje puede ser dañino para los animales. Es disponible para las plantas cuando la acides del suelo es baja
Zn	Esencial en todos los mamíferos	Bajo a moderado (100-400)	Elemento esencial; se acumula en los cultivos pero en niveles considerado normales para el consumo del hombre y los animales; la fitotoxicidad es más prevalente y aguda en suelos ácidos.

Fuente: Hagedorn, (1996).

Anexo 32. Rango y contenido medio de Cr en plantas de consumo directo y forraje (Modificado de Kabata – Pendias, 2000).

País	Cultivo	Órgano	Contenido (mg/kg, base PS)
Finlandia	Pasto	Canopia	0.11 - 0.35
Polonia	Avena	Grano	0.55
	Trigo	Grano	0.2
	Centeno	Grano	0.16
	Trébol	Canopia	0.2 - 4.2
	Pasto	Canopia	0.6 - 3.4
U.S.A.	Trigo sarraceno	Semillas	0.03
	Trigo	Grano	0.014
	Papa	Tubérculo	0.021
	Porotos	Vainas	0.15
	Lechuga	Hojas	< 1.5
	Cebolla	Bulbos	0.021
	Zanahoria	Raíz	<1.5
	Tomate	Fruto	0.074
	Manzana	Fruto	0.013
	Naranja	Fruto	0.029
	Alfalfa	Canopia	0.10 - 0.91

Anexo 33. Rango y contenido medio de Cu en vegetales de consumo (Kabata – Pendias, 2000).

Planta	Órgano	Rango (mg/kg, peso seco)
Trigo invierno	Grano	2.6 - 6.8
Trigo primavera	Grano	2.1 - 10.3
Cebada	Grano	1.8 - 9.2
Avena	Grano	1.0 - 5.2
Centeno	Grano	1.4 - 8
Arroz	Grano	0.5 - 5.1
Triticale	Grano	3.2 - 7.8
Maíz dulce	Grano	1.4 - 2.1
Porotos	Vainas	5.1 - 8.0
Repollo	Hojas	2.9 - 4.0
Lechuga	Hojas	6.0 - 8.1
<i>Beta vulgaris</i>	Raíz	5.0 - 8.1
Zanahoria	Raíz	4.0 - 8.4
Cebolla	Bulbos	4.0 - 6.0
Papa	Tubérculo	3.0 - 6.6
Tomate	Fruto	6.0 - 8.8
Manzano	Fruto	1.1
Naranja	Fruto	1.9
Pastos	Hojas	1.1 - 33.1
Tréboles	Hojas	2.0 - 29.0

Anexo 34. Rango y contenido medio de Ni en vegetales de consumo (Kabata – Pendias, 2000).

Planta	Órgano	Rango (mg/kg, peso seco)
Trigo invierno	Grano	0.18 - 0.7
Trigo primavera	Grano	0.17 - 0.67
Cebada	Grano	0.10 - 0.67
Avena	Grano	0.2 - 8.0
Centeno	Grano	0.14 - 1.0
Arroz	Grano	<0.2 - 1.2
Maíz dulce	Grano	0.22 - 0.34
Porotos	Vainas	1.7 - 3.7
Repollo	Hojas	0.62 - 0.99

Lechuga	Hojas	1.0 - 1.8
Zanahoria	Raíz	0.26 - 0.98
Cebolla	Bulbos	0.59 - 0.84
Papa	Tubérculo	0.29 - 1.00
Pepino (ensalada)	Fruto	1.30 - 2.00
Tomate	Fruto	0.43 - 0.48
Manzano	Fruto	0.06
Naranja	Fruto	0.39
Pastos	Hojas	0.07 - 4.8
Tréboles	Hojas	0.2 - 8.2

Anexo 35. Rango y contenido medio de Zn en vegetales de consumo (Kabata – Pendias, 2000).

Planta	Órgano	Rango (mg/kg, peso seco)
Trigo invierno	Grano	20 - 40
Trigo primavera	Grano	19 - 47
Cebada	Grano	16 - 51
Avena	Grano	12 - 75
Centeno	Grano	14 - 73
Arroz	Grano	7.2 - 28
Triticale	Grano	22 - 26
Maíz dulce	Grano	25 - 36
Porotos	Vainas	32 - 38
Repollo	Hojas	24 - 31
Lechuga	Hojas	44 - 73
Betarraga	Raíz	28 - 46
Zanahoria	Raíz	21 - 27
Cebolla	Bulbos	22 - 32
Papa	Tubérculo	10 - 26
Tomate	Fruto	17 - 26
Manzano	Fruto	1.2
Naranja	Fruto	5.0
Pastos	Hojas	6 - 80
Tréboles	Hojas	16 - 126

Anexo 36. Interpretación del análisis físico químico del suelo.

Tabla 1. Evaluación del suelo según el pH.

Valor de pH	Interpretación
< 4.5	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Medianamente ácido
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido
6.6 - 7.3	Neutro
7.4 - 7.8	Medianamente básico
7.9 - 8.4	Moderadamente básico
8.5 - 9.0	Ligeramente alcalino
9.1 - 10.0	Alcalino
> 10.0	Fuertemente alcalino

Fuente: Rioja Molina, A. (2002).

Tabla 2. Porcentaje de Materia Orgánica (M.O)

porcentaje de Materia Orgánica (M.O.)	Interpretación
Ménos del 1% de M.O.	Contenido muy bajo. Suelo muy mineralizado
1 - 1.9 de M.O.	Contenido bajo. Suelo mineralizado
2 - 2.5 de M.O.	Contenido normal. Suelo mineral -orgánico
Más de 2.5% de M.O.	Contenido alto. Suelo orgánico

Fuente: Marín García. M. L. (2003)

Tabla 3. Clasificación del suelo según el contenido de Fosforo.

$P < 5$ ppm.	Suelo Pobre
$5 \leq P < 10$ ppm.	Suelo Medio
$P \geq 10$ ppm.	Suelo Rico

Fuente: Urbano Terrón, P. (1995).

Tabla 4. Clasificación del suelo según el contenido de Potasio.

$K < 50$ ppm.	Suelo Muy Pobre
$50 \leq K < 100$ ppm.	Suelo Pobre
$100 \leq K < 150$ ppm.	Suelo Medio
$K \geq 150$ ppm.	Suelo Rico

Fuente: Urbano Terrón, P. (1995).

Tabla 5. Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 gr)

< 6	Muy bajo
06 -12	Bajo
12 - 25	Medio
25 - 40	Alto
> 40	Muy alto

Fuente: Rioja Molina, A. (2002)

Tabla 6. Contenido de Calcio (meq/100 gr)

0 - 3.5	Muy bajo
3.5 - 10	Bajo
10 - 14	Normal
14 - 20	Alto
> 20	Muy alto

Fuente: Rioja Molina, A. (2002)

Tabla 7. Contenido de Magnesio (meq/100 gr)

0.0 – 0.6	Muy bajo
0.6 – 1.5	Bajo
1.5 – 2.5	Normal
2.5 – 4.0	Alto
> 4.0	Muy alto

Fuente: Rioja Molina, A. (2002)

Tabla 8. Contenido de Potasio de cambio (meq/100 gr)

0.0 – 0.30	Muy bajo
0.30 – 0.60	Bajo
0.60 – 0.90	Normal
0.90 – 1.50	Alto
1.50 – 2.40	Muy alto

Fuente: Rioja Molina, A. (2002)

Tabla 10. Contenido de Sodio de cambio (meq/100 gr)

0.0 – 0.3	Muy bajo
0.3 – 0.6	Bajo
0.6 – 1.0	Normal
1.0 – 1.5	Alto
> 1.5	Muy alto

Fuente: Rioja Molina, A. (2002)

Anexo 37. Análisis de Metales en Suelos, Raíces, Hojas y Frutos.

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : ASOCIACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INTEGRAL
DOMICILIO LEGAL : AV. LA JOYA N° 167, LOS CASTAÑOS, PUERTO MALDONADO - MADRE DE DIOS, PERÚ
SOLICITADO POR : SR. JORGE DUEÑAS SALAS
REFERENCIA : ANÁLISIS DE SUELOS, RAÍCES, FRUTOS Y HOJAS
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS
FECHA DE RECEPCIÓN : 2015-03-26
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2015-03-26
MUESTREO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGIA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	LC	Unidades
Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Tallo, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.

SECRETARIA GENERAL DE ASISTENCIA DE MUD.
 Señal que Suscribe

Certifico que la fotocopia
 corresponde al original, el
 cual se tuvo en cuenta.
 Puerto Maldonado, 22 DIC 2015
 Registro N° 091121-2015

Dra. Luz Mercedes Alvarado Alvarado
 SECRETARIA GENERAL

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	- Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2015-02-15	2015-02-15	2015-02-15	2015-02-15
Hora de inicio de muestreo (h)	No indica	No indica	No indica	No indica
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	L.B-17	L.B-55	L.D-37	L.E-47
Código del Laboratorio	15031699	15031700	15031701	15031702
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados	
Metales				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	1419	1159
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	0.7
Boro (B)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	8.9	10.2
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.18	0.16
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	16.1	7.5
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	0.44	0.39
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	2.9	2.0
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	2.17	2.15
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	3.09	2.58
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	1.93	1.38
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	3217.7	2811.6
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	119.5	106.6
Litio (Li)	mg/kg	0.3	3.9	3.3
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	387.1	342.5
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	39.58	46.24
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	5.7	3.6
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	2.5775	2.07
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	37.4	48.1
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	3.08	2.75
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.4	0.5
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	0.9	0.9
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	27.99	26.10
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	4.53	3.64
Zinc (Zn)	mg/kg	0.2	8.7	7.3

L.D.M.: Límite de detección del método



Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C Q P N° 648

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de muestreo	2015-02-15	2015-02-15	2015-02-15	2015-02-15		
Hora de inicio de muestreo (h)	No indica	No indica	No indica	No indica		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	L.N-54	L.G-28	L.M-65	L.K-33		
Código del Laboratorio	15031703	15031704	15031705	15031706		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
Metales						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	1274.5	1035.4	1137.0	1112.6
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	0.1	0.4	0.3
Boro (B)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	7.5	6.0	10.0	7.1
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.10	0.10	0.13	0.11
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	9.9	7.6	8.2	6.6
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	0.34	0.28	0.31	0.28
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	2.7	3.5	2.0	4.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	2.11	1.87	1.59	2.06
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	2.57	2.11	2.38	2.34
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	1.40	1.26	1.24	1.30
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	2548.0	2077.9	2357.6	2066.2
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	118.0	94.3	114.5	113.6
Litio (Li)	mg/kg	0.3	4.0	3.2	3.4	3.4
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	391.1	313.5	336.3	345.4
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	26.65	19.21	28.52	20.60
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	4.2	2.4	3.9	4.4
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	2.14	1.92	2.00	2.49
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	25.5	20.2	31.4	19.6
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	2.49	1.84	2.53	2.47
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.4	0.3	0.4	0.5
Stroncio (Sr)	mg/kg	0.1	0.8	0.6	0.9	0.7
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	26.63	19.50	24.09	27.77
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	3.69	3.11	3.32	3.38
Cinc (Zn)	mg/kg	0.2	7.1	6.1	7.0	7.1

D.M.: Límite de detección del método




 Quilm. Berbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 CQP N° 648

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado:			Suelo:
Matriz analizada:			Suelo:
Fecha de muestreo:			2015-02-15:
Hora de inicio de muestreo (h):			No indica:
Condiciones de la muestra:			Conservada:
Código del Cliente:			ELL-10:
Código del Laboratorio:			15031707:
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	1140.2
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	<0.2
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	8.3
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.21
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	8.1
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	0.33
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	2.5
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	2.33
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	2.48
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	1.65
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	2211.1
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	100.7
Litio (Li)	mg/kg	0.3	3.4
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	316.2
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	29.08
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	2.6
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	2.21
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	26.8
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	2.51
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.4
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	0.9
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	30.60
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	3.43
Cinc (Zn)	mg/kg	0.2	7.1

L.D.M.: Límite de detección del método




 Quilm. Selbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Raíces		
Matriz analizada	Vegetales	Vegetales	Vegetales
Fecha de muestreo	2015-02-15	2015-02-15	2015-02-15
Hora de inicio de muestreo (h)	No indica	No indica	No indica
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	L.B-17 R	L.B-55 R	L.D-37 R
Código del Laboratorio	15031708	15031709	15031710
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados
Metales			
Alata (Ag)	mg/kg	0.05	0.91
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	160.8
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	3.3
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	38.4
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.17
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	1703.5
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	0.14
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	0.6
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	4.83
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	0.74
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	4.32
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	274.0
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	1334.1
Litio (Li)	mg/kg	0.3	0.4
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	592.9
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	45.83
Moibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	53.7
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	4.44
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	279.8
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	0.36
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3
Estañio (Sn)	mg/kg	0.1	0.9
Stroncio (Sr)	mg/kg	0.1	14.6
Tanio (Ti)	mg/kg	0.03	2.70
Teluro (Te)	mg/kg	0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	0.31
Cinc (Zn)	mg/kg	0.2	33.3

D.M.: Límite de detección del método

El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.




 Quilm. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648

**INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015
 CON VALOR OFICIAL**
II. RESULTADOS:

Producto declarado	Raíces					
Matriz analizada	Vegetales	Vegetales	Vegetales	Vegetales		
Fecha de muestreo	2015-02-15	2015-02-15	2015-02-15	2015-02-15		
Hora de inicio de muestreo (h)	No Indica	No Indica	No Indica	No Indica		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	L.E-47 R	L.N-54 R	L.G-28 R	L.M-65 R		
Código del Laboratorio	15031711	15031712	15031713	15031714		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
Metales						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	0.16	0.32	0.12	0.06
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	103.0	77.0	179.3	193.1
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	29.1	43.9	23.1	43.5
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.06	0.16	0.13	0.11
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	1114.4	2283.9	2035.2	1336.2
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.13
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	0.3	0.3
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	1.02	1.57	3.57	2.50
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	0.59	0.32	0.69	0.72
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	2.55	6.59	4.13	3.51
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	194.2	103.9	269.4	305.3
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	1710.6	3716.6	3533.8	3878.9
Litio (Li)	mg/kg	0.3	<0.3	0.4	0.5	0.9
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	382.7	781.7	520.5	867.4
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	58.97	74.68	44.94	64.47
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	27.8	86.7	50.9	35.9
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	2.14	1.54	3.76	2.94
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	229.8	586.0	266.8	596.5
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	0.09	0.10	0.49	0.20
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.8	0.8	0.9	0.9
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	9.2	19.9	13.7	10.7
Tanio (Ti)	mg/kg	0.03	1.71	0.78	2.05	2.86
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	0.16	0.09	0.29	0.34
Zinc (Zn)	mg/kg	0.2	11.6	51.3	25.7	19.3

D.M.: Límite de detección del método

El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.



Quilm. Beibeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.



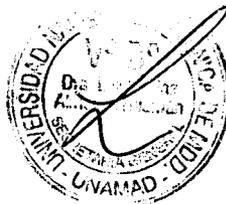
INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Raíces	Raíces	Hojas	Hojas		
Matriz analizada	Vegetales	Vegetales	Vegetales	Vegetales		
Fecha de muestreo	2015-02-15	2015-02-15	2015-03-15	2015-03-15		
Hora de inicio de muestreo (h)	No indica	No indica	No indica	No indica		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	L.K-33-R	L.LL-10-R	L.B-17-H	L.B-55-H		
Código del Laboratorio	15031715	15031716	15031717	15031718		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
*Metales						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	0.06	<0.05	0.07	0.06
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	287	87	8	7
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	3.3	3.9	17.7	13.8
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	25.0	18.4	90.7	94.6
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.14	0.21	0.06	<0.02
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	2173.3	3072.1	6963.1	5123.9
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	0.08	0.07	<0.04	20.59
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	0.5	<0.2	0.4	<0.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	6.04	1.71	0.94	0.50
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	0.90	0.62	0.14	0.15
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	12.06	3.49	6.75	6.69
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	365.6	141.6	66.2	121.6
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	2748.7	2126.7	4761.0	5651.5
Litio (Li)	mg/kg	0.3	0.5	<0.3	0.3	<0.3
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	893.6	436.0	2115.6	1786.7
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	60.97	22.30	447.59	574.20
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.7
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	61.6	44.9	236.9	134.3
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	5.24	1.95	4.51	3.33
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	531.2	357.3	1341.8	1636.4
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	0.87	0.10	<0.04	<0.04
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.8	0.9	0.8	0.8
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	20.9	21.7	37.0	43.4
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	3.05	1.38	0.35	0.30
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	0.53	0.26	<0.04	<0.04
Zinc (Zn)	mg/kg	0.2	46.1	21.4	16.4	20.5

L.D.M.: Límite de detección del método

El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.



Quim. Berbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Hojas	Hojas	Hojas	Hojas		
Matriz analizada	Vegetales	Vegetales	Vegetales	Vegetales		
Fecha de muestreo	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15		
Hora de inicio de muestreo (h)	No Indica	No indica	No indica	No indica		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	L.D-37 H	L.E-47 H	L.N-54 H	L.G-28 H		
Código del Laboratorio	15031719	15031720	15031721	15031722		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
* Metales						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	0.33	0.36	0.30	0.19
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	7.3	9.5	12.7	9.0
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	8.2	11.8	12.1	12.1
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	42.5	83.5	32.6	38.2
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	6812.4	9450.0	2547.2	6947.8
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Cesio (Ce)	mg/kg	0.2	0.3	0.3	0.3	<0.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	2.28	2.38	1.78	3.88
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	0.13	0.30	0.13	0.10
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	5.58	6.06	7.96	4.93
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	68.9	69.3	111.3	48.8
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	4740.7	5629.9	5917.5	6283.4
Litio (Li)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	2141.3	2989.9	1653.7	2240.5
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	596.53	484.74	779.52	389.67
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	0.3	<0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	193.0	268.8	192.0	201.2
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	2.87	3.34	6.96	3.32
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	1090.0	1300.9	1593.3	1106.5
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.8	0.8	0.8	0.8
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	35.2	47.2	23.0	33.6
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	0.35	0.39	0.40	3.38
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Cinc (Zn)	mg/kg	0.2	14.7	33.2	21.2	16.5

L.D.M.: Límite de detección del método

El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.



Quim. Berbeth Y. Fajardo León

Director Técnico

C.C.B. N° 042

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado:	Hojas	Hojas	Hojas	Frutos		
Matriz analizada	Vegetales	Vegetales	Vegetales	Vegetales		
Fecha de muestreo	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15		
Hora de inicio de muestreo (h)	No indica	No indica	No indica	No indica		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	L.M-65 H	L.K-33 H	L.LL-10 H	L.B-17 F		
Código del Laboratorio	15031723	15031724	15031725	15031726		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
*Metales						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	0.44	1.05	0.06	0.62
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	11.4	7.4	8.6	3.9
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	7.6	11.7	20.6	11.6
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	53.7	24.5	46.3	21.5
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.04	<0.02	0.07	<0.02
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	3211.7	4458.0	10603.2	2411.9
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	0.4	<0.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	0.95	2.24	1.79	0.81
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	0.22	<0.05	0.30	1.88
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	5.64	10.33	5.03	6.21
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	59.8	49.3	58.9	62.4
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	5127.1	5406.3	5526.5	9758.0
Litio (Li)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	0.4	<0.3
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	2655.8	2364.7	1538.6	1801.0
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	436.33	443.28	215.69	136.40
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	4.535	1.7
Yoduro (Na)	mg/kg	2.3	205.5	273.2	166.1	36.6
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	4.62	4.62	3.41	6.63
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	1479.1	1449.6	1791.5	1908.7
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.10
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.9	1.0	1.1	1.1
Stroncio (Sr)	mg/kg	0.1	21.3	29.0	58.0	10.7
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	0.38	0.32	0.48	0.19
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Cinc (Zn)	mg/kg	0.2	15.4	20.1	18.0	46.4

L.D.M.: Límite de detección del método

El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.



Quím. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Frutos	Frutos	Frutos	Frutos		
Matriz analizada	Vegetales	Vegetales	Vegetales	Vegetales		
Fecha de muestreo	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15		
Hora de inicio de muestreo (h)	No indica	No indica	No indica	No indica		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	L.B-55 F	L.D-37 F	L.E-47 F	L.N-54 F		
Código del Laboratorio	15031727	15031728	15031729	15031730		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
*Metales						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	0.42	0.22	0.09	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	8.3	4.0	3.5	5.4
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	9.6	10.6	10.3	7.9
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	25.9	7.8	10.6	3.5
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	2174.0	1555.2	2022.1	921.4
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	0.25	0.88	1.14	0.89
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	4.95	2.24	1.27	3.65
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	5.19	7.70	6.48	6.24
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	91.6	94.2	108.0	100.6
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	8489.6	11851.0	11065.8	9011.1
Litio (Li)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	1496.3	1633.6	1654.8	1667.1
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	208.09	110.31	96.49	262.22
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	2.6	1.4	1.0	1.5
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	58.9	27.3	31.9	22.5
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	3.04	4.49	5.71	2.20
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	1546.4	2103.0	1799.8	1768.0
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	0.57	0.17	<0.04	0.32
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estañio (Sn)	mg/kg	0.1	1.0	0.9	0.9	0.9
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	16.9	6.2	6.1	3.4
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	0.27	0.12	0.17	0.16
Vanadio (V)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Zinc (Zn)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Zinc (Zn)	mg/kg	0.2	41.7	46.0	38.7	47.8

L.D.M.: Límite de detección del método

El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.



[Firma]
 Quilm. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

**INFORME DE ENSAYO N° 091121-2015
 CON VALOR OFICIAL**
II. RESULTADOS:

Producto declarado	Frutos	Frutos	Frutos	Frutos		
Matriz analizada	Vegetales	Vegetales	Vegetales	Vegetales		
Fecha de muestreo	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15	2015-03-15		
Hora de inicio de muestreo (h)	No Indica	No Indica	No Indica	No Indica		
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código del Cliente	L.G-28 F	LM-65 F	LK-33 F	LLL-10 F		
Código del Laboratorio	15031731	15031732	15031733	15031734		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
*Metales						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	0.10	<0.05	0.32	0.12
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	2.5	3.8	6.5	4.1
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	13.1	10.6	9.1	8.8
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	7.0	19.7	9.3	11.8
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	<0.02	<0.02	0.04	<0.02
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	1916.5	1824.7	1866.3	2137.2
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	<0.2	0.2	<0.2	<0.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	2.39	1.52	2.00	2.76
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	1.40	3.96	3.99	2.85
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	6.35	4.63	8.64	6.26
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	59.1	195.3	106.3	95.0
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Potasio (K)	mg/kg	3.9	10679.2	9333.0	9154.3	9534.6
Litio (Li)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	1725.3	2117.4	1660.8	2099.7
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	101.25	214.25	102.09	78.94
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	1.8	2.1	2.0	5.4
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	16.7	17.5	52.9	41.0
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	5.25	4.26	5.09	5.23
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	1819.0	2077.8	1909.3	2118.7
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	<0.04	0.36	0.62	0.18
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Estañio (Sn)	mg/kg	0.1	0.9	0.9	1.0	1.6
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	5.9	6.3	8.8	9.0
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	0.12	0.21	0.28	0.25
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Zinc (Zn)	mg/kg	0.2	41.0	44.5	56.3	38.3

L.D.M.: Límite de detección del método

El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.



Lima, 14 de Abril del 2015



Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico

Anexo 38. Análisis Físico – Químico en Suelos.

INFORME DE ENSAYO N° 091103-2015 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : ASOCIACIÓN PARA LA INVESTIGACION Y DESARROLLO INTEGRAL
DOMICILIO LEGAL : AV. LA JOYA N° 167, LOS CASTAÑOS, PUERTO MALDONADO - MADRE DE DIOS, PERÚ.
SOLICITADO POR : SR. JORGE DUEÑAS SALAS
REFERENCIA : ANÁLISIS DE SUELOS
PROCEDENCIA : MADRE DE DIOS
FECHA DE RECEPCIÓN : 2015-03-26
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2015-03-26
MUESTREO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
*Acidez Intercambiable (Al ³⁺ + H ⁺)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-33 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	mEq/100g muestra
*Bases Intercambiables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	mEq/100g muestra
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-12 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	mEq/100g muestra
*Carbonatos	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12 Método AS-20 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.50	CaCO ₃ %
Conductividad	ISO 11265:1994/Cor 1:1996 . Soil quality -- Determination of the specific electrical conductivity.	0.10	mS/m
*Fosforo(Disponible)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.10 , 7.1.11 Métodos AS-10 y AS11 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.10	P mg/kg
*Materia orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Materia Orgánica	0.10	%
pH	EPA 9045 D (Rev4)2004. Soil and waste pH	...	unid pH
*Potasio disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.10 (31 de Diciembre 2002) - Extracción. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	3	k mg/kg
*Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.9 Método AS-09 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	%

L.C: límite de cuantificación



[Signature]
Quilm. Berbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

metodo indicado no ha sido acreditado por INDECOPI/SNA

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd Edition 2012. - EPA: U.S. Environmental Protection Agency - ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana
 ERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S. A. C.. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe
 nuestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio
 Página 1 de 3

IA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

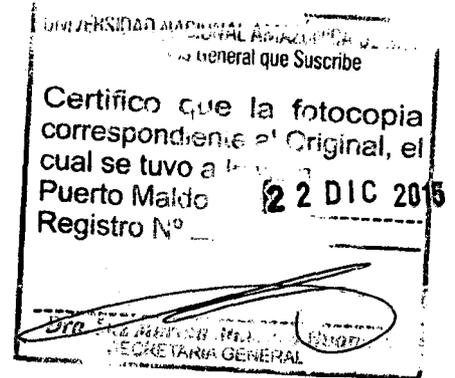
INFORME DE ENSAYO N° 091103-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2015-01-11	
Hora de inicio de muestreo (h)	No Indica	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	Suelo	
Código del Laboratorio	15031649	
Ensayo	Unidades	Resultados
*Acidez Intercambiable ($Al^{+3} + H^+$)	mEq/100g muestra	0.66
*Bases Intercambiables (Ca^{+2})	mEq/100g muestra	0.44
*Bases Intercambiables (Mg^{+2})	mEq/100g muestra	0.28
*Bases Intercambiables (K^+)	mEq/100g muestra	0.08
*Bases Intercambiables (Na^+)	mEq/100g muestra	0.22
*Capacidad Intercambio Cationico (CIC)	mEq/100g muestra	1.5
*Carbonatos	CaCO ₃ %	<0.50
Conductividad	mS/m	1.064
*Fosforo(Disponible)	P mg/kg	<0.10
*Materia orgánica	%	0.28
pH	unid pH	5.44
*Potasio disponible	K mg/kg	15.44

Resultados reportados en base seca.

* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.



[Signature]
 Quím. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.



SERVICIOS ANALITICOS GENERALES S.A.C.

SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INDECOPI - SNA,
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO N° 091103-2015 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

*ANÁLISIS DE TEXTURA						
IDENTIFICACIÓN		COMPOSICIÓN			Clase Textural	Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	% Arena	% Limo	% Arcilla		
Suelo	15031649	94.00	4.00	2.00	A	Arena

A= Arena; A.Fr.= Arena franca; Fr.A= Franco arenoso; Fr = Franco; L = Limoso; Fr.L. = Franco limoso; Fr.Ar.A = Franco arcillo arenoso; Fr.Ar. = Franco arcilloso; Fr.Ar.L. = Franco arcillo Limoso; Ar.A. = Arcillo arenoso; Ar. = Arcilloso; Ar.L. = Arcillo limoso

* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.

Modificadores de Clase Textural	
Contenido de fragmentos %V	Término
< 15	Sin adjetivo
15 a < 35	gravoso, lajoso, pedregoso
35 a < 60	muy gravoso, muy lajoso
60 a < 90	extremadamente gravoso
> 90	(no suelo) grava, laja

Observación: Los modificadores de clase textural se utilizan cuando la muestra analizada por granulometría contiene material gravoso determinado en una porción diferente a la de granulometría. Según su porcentaje se utiliza los adjetivos para dar denominación adicional a la clase textural.

III. PERIODO DE CONSERVACIÓN DE MUESTRAS:

Ensayo	Tiempo de perecibilidad
Textura	30días

Lima, 22 de Abril del 2015




Quilm. Belbéth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

do indicado no ha sido acreditado por INDECOPI/SNA

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012. - EPA: U.S. Environmental Protection Agency - ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana
ACCIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S. A. C.. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio. Página 3 de 3

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

aciones Unidas N° 1565 Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú Central Telefónica: 511-425-7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-10441-33
Website: www.sagneru.com E-mail: sagneru@sagneru.com laboratorio@sagneru.com

