



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**EVALUACIÓN IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE MANÍ
FORRAJERO (*Arachis pintoi* W.C) Y GUARUMO (*Cecropia peltata*
L) EN LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
CON MERCURIO**

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: GISELA LILIBETH MUÑOZ CHAVEZ

TUTORA: DRA. YOLANDA DÍAZ HEREDIA

Fco. de Orellana-Ecuador

2017

©2017, Gissela Lilibeth Muñoz Chávez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: EVALUACIÓN IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE MANÍ FORRAJERO(*Arachis pintoi* W.C)Y GUARUMO (*Cecropia peltata* L) EN LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO,de responsabilidad de la señorita: Gissela Lilibeth Muñoz Chávez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

DRA. YOLANDA DÍAZ HEREDIA

DIRECTORA DEL TRABAJO DE _____
TITULACIÓN

DRA. SUSANA ABDO LOPEZ

MIEMBRO DEL TRIBUNAL _____

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Gissela Lilibeth Muñoz Chávez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 26 de Junio del 2017.

Gissela Lilibeth Muñoz Chavez

Yo, Gissela Lilibeth Muñoz Chávez soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Gissela Lilibeth Muñoz Chavez

DEDICATORIA

Dedico mi Proyecto de titulación a Dios quien nunca me dejo sola, a mi hijo JEYKER JEAMPIERE quien ha sido mi motor de vida, mi inspiración para lograr este éxito. A mi madre CARMITA que, con su cariño, sus consejos y su comprensión de madre constantemente ha estado conmigo en las buenas y en las malas, enseñándome valores que me han servido a lo largo de mi carrera profesional. A mi padre VICENTE quien siempre me ha apoyado incondicionalmente en todo este tiempo de esfuerzo trabajo y sacrificio a mi única hermana GEMITA quien estuvo ahí en todas las etapas de este proceso, a mis abuelitos, mi tía, mis primos, mi única sobrina MAELY que me motivaron para cumplir esta meta.

Lilibeth

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de haber crecido en un hogar lleno de valores y educación, lo cual me ha permitido desenvolverme excelentemente bien a lo largo de mi carrera, por darme fuerzas, inteligencia y sabiduría.

Agradezco a mis padres CARMITA y VICENTE por darme la vida ellos han sido el pilar fundamental quienes me educaron, me apoyaron y siempre estuvieron ahí guiándome por un buen camino a pesar de mis errores.

A mi hijo porque llego a cambiarme la vida, me enseñó a luchar y a tener una mejor visión para darle un futuro mejor.

A mi única hermana Gemita quien me apoyo siempre en las buenas y en las malas.

Agradezco a mis abuelitos LUCITA y JOSE quienes me apoyaron siempre en todo momento cuando lo necesite.

A mi tía CECILIA y a mis primitos JAHIR Y NAYELY que son parte importante de esta meta.

Agradezco a cada uno de mis profesores por la paciencia que me tuvieron y por compartir sus conocimientos que han sido tan valioso para lograr esta meta muchas gracias.

A la Lic. Ligia Frías porque es una persona muy importante en mi vida a la cual le agradezco por su apoyo incondicional, sus consejos y su saber.

Y finalmente agradezco a cada una de las personas que conocí por diversas circunstancias y que me apoyaron con un granito de arena para llegar a culminar este trabajo muchas gracias.

Lilibeth

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
DERECHOS DE AUTOR.....	ii
CERTIFICADO DEL TRIBUNAL.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación problemática.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
CAPITULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Base Teórica.....	8
2.2.1. <i>Suelo</i>	8
2.2.2. <i>Fuentes de contaminación</i>	14
2.2.3. <i>Mercurio</i>	15

2.2.4.	<i>Mercurio en el suelo</i>	17
2.2.5.	<i>Mercurio y salud humana</i>	19
2.2.6.	<i>Biorremediación</i>	20
2.2.6.1.	<i>Tecnologías aplicadas en la Biorremediación</i>	21
2.2.6.2.	<i>Tipos de Biorremediación</i>	22
2.2.6.2.1.	<i>Fitorremediación</i>	22
2.2.6.2.2.	<i>Proceso de fitorremediación</i>	24
2.2.7.	<i>Plantas Hiperacumuladoras</i>	26
2.2.8.	<i>Guarumo(Cecropia peltata L)</i>	28
2.2.9.	<i>Mani forrajero (Arachis pintoi W.C)</i>	29
2.2.10.	<i>Actividad de la rizósfera</i>	31
2.2.11.	<i>Marco Legal</i>	32

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	35
3.1.	Ubicación	35
3.1.1.	<i>Descripción del sitio de trabajo</i>	35
3.1.2.	<i>Tipo y Diseño de Investigación</i>	36
3.1.3.	<i>Unidad de Análisis</i>	37
3.1.4.	<i>Población de Estudio y muestra</i>	37
3.1.5.	<i>Técnicas de Recolección de Datos</i>	39
3.2.	Marco Experimental	39
3.2.1.	<i>Desarrollo de procedimientos</i>	39
3.3.1.1	<i>Recolección de los sustratos</i>	39
3.3.1.2	<i>Recolección de las especies</i>	39
3.3.1.3	<i>Siembra, período de adaptabilidad y control de las plantas a los sustratos</i>	40
3.3.1.4	<i>Contaminación y análisis inicial del suelo en el laboratorio</i>	40
3.3.1.5	<i>Trasplante de las plantas al suelo contaminado</i>	40
3.3.1.6	<i>Control y Seguimiento a los tratamientos</i>	40
3.3.1.7 S	<i>elección de las muestras</i>	41

3.3.1.8	<i>Tratamiento estadístico</i>	41
CAPITULO IV		
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	Resultados	42
4.1.1	<i>Seguimiento de las especies para evaluar el crecimiento en los sustratos</i>	42
4.1.2	<i>Análisis de muestras en el laboratorio</i>	47
4.1.2.1	<i>Análisis estadísticos</i>	51
4.2	Discusión	52
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Beneficios ambientales del recurso suelo.	10
Tabla 2-2: Criterios de calidad del suelo, parámetros inorgánicos	11
Tabla 3-2. Criterios de remediación del suelo, parámetros inorgánicos, valores máximos permisibles	12
Tabla 4- 2. Generalidades de Guarumo(<i>Cecropia Peltata L.</i>)	29
Tabla 5-2. Generalidades del Mani forrajero (<i>Arachis pintoïW.C</i>)	30
Tabla 6-3. Tabla de significación de abreviaturas empleadas.....	37
Tabla 7-3. Clasificación de la muestra por planta, sustrato y concentración	38
Tabla 8-4. Seguimiento de Mani forrajero (<i>Arachis pintoïW.C</i>), en sustratos de café y cacao, en el período de dos meses.	43
Tabla 9-4. Seguimiento deGuarumo(<i>Cecropia peltata L.</i>) en sustrato de cacao y café en el periodo de dos meses.	44
Tabla 10-4. Diagnóstico del comportamiento de maní forrajero en suelos contaminados	45
Tabla 11-4. Diagnóstico del comportamiento de guarumo en suelos contaminados.	46
Tabla 12-4. Concentración de mercurio en muestra de Maní Forrajero – Sustrato de Cacao.....	47
Tabla 13-4. Concentración de mercurio en muestra de Maní Forrajero – Sustrato de Café.	48
Tabla 14-4. Concentración de mercurio en muestra de Guarumo – Sustrato de Cacao.....	48
Tabla 15-4. Concentración de mercurio en muestra de Guarumo – Sustrato de Café.	49
Tabla 16-4. Análisis para determinar si el Maní forrajero (<i>Arachis pintoï. W.C</i>) o Guarumo (<i>Cecropia peltata L.</i>) permiten una mayor disminución de mercurio en los suelos analizados..	50
Tabla 17-4. Tabla de resultados Tukey.	51
Tabla 18-4. Tabla de resultados de Mercurio.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Respuestas típicas de plantas frente a la presencia de metales pesados en el suelo	27
Gráfico 2 -3. Ubicación sitio de toma de muestras	35
Gráfico 3 -3. Ubicación Laboratorio LABSU.....	36
Gráfico 4-8.Recolección del sustrato de café.....	61
Gráfico 5-8. Recolección del sustrato de cacao	61
Gráfico 6-8. Recolección de maní forrajero.....	62
Gráfico 7-8. Recolección de guarumo	62
Gráfico 8-8. Materiales: Suelo, sustrato, arena	63
Gráfico 9-8. Mezcla de suelo, arena y sustrato	63
Gráfico 10-8. Homogenización del suelo con los sustratos	64
Gráfico 11-8. Proceso de relleno de sustratos finalizado	64
Gráfico 12-8. Siembra de las plantas en los sustratos	65
Gráfico 13-8. Seguimiento de las especies en los sustratos	65
Gráfico 14-8. Retiro de materiales adversos al suelo.....	66
Gráfico 15-8. Homogeneización del suelo.....	66
Gráfico 16-8. Preparación de mercurio a 7 ppm.	67
Gráfico 17-8. Proceso de contaminación	67
Gráfico 18-8. Identificación de plantas de Guarumo.	68
Gráfico 19-8. Identificación de plantas de Maní forrajero.....	68
Gráfico 20-8. Seguimiento del tratamiento Guarumo.....	69
Gráfico 21-8. Presencia de coloración amarillenta en hojas de Guarumo.	69
Gráfico 22-8. Presencia de coloración amarillenta en hojas de Maní forrajero	70
Gráfico 23-8. Seguimiento de Maní forrajero.....	70
Gráfico 24-8. Raíz Guarumo.....	71
Gráfico 25-8. Raíz Maní Forrajero.....	71
Gráfico 26-8. Selección de muestras.....	72
Gráfico 27-8. Toma aleatoria de 27 muestras del suelo contaminado	72
Gráfico 28-8. Etiquetado de las muestras	73
Gráfico 29-8. Análisis final de muestras en laboratorio.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico.....	
Anexo B. Resultados de análisis iniciales del suelo.....	
Anexo C. Resultados de análisis finales del suelo	

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C) y guarumo (*Cecropia peltata* L) en la biorremediación de suelos contaminados con mercurio a nivel laboratorio. Se evaluó el crecimiento de las plantas en los sustratos de cacao y café, utilizando una cinta métrica para medir el diámetro y la altura de las plantas cada 15 días durante dos meses; al culminar este periodo, se contaminó el suelo a 7 ppm de Hg realizando análisis iniciales en el laboratorio Labsu para comprobar la concentración; para el diagnóstico del comportamiento de maní forrajero y guarumo en suelos contaminados con mercurio, cada mes se registró el número de hojas por especie, el número de mortalidad y el número de hojas con clorosis durante 4 meses, posterior a ello se enviaron muestras de suelo contaminado al laboratorio con el objetivo de determinar cuál de las dos especies permite una mayor disminución de mercurio. Obteniendo análisis finales donde indican una capacidad de disminución de mercurio por especie, para el maní forrajero disminuyó 2.40 ppm (Hg) que corresponde al 36.90%, para el guarumo disminuyó 3.42 ppm (Hg) de mercurio que corresponde al 52.62%. Concluyendo según los resultados de la investigación que el mejor sustrato para el crecimiento de ambas especies fue la cascara de cacao, el guarumo (*Cecropia peltata* L.) es la especie que presentó mayor biorremediación y adaptabilidad en suelos contaminados con Hg en condiciones controladas. Se recomienda a futuras investigaciones de este tipo realizar un estudio in situ en condiciones naturales sin intervenir, nivel laboratorio para poseer estudios comparativos y establecer cuál es la mejor opción.

Palabras Clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <BIORREMEDIACIÓN>, <GUARUMO (*Cecropia peltata* L.)> <MANÍ FORRAJERO (*Arachis pintoi* W.C.)>, <SUSTRATO>, <CAFÉ>, <CACAO>, <MERCURIO Hg>

SUMMARY

The present investigation's objective was to evaluate the capacity of fodder peanuts (*Arachis pintoi* W.C.) and trumpet tree (*Cecropia peltata* L.) in the bioremediation of contaminated soils with mercury at the laboratory level. Plant growth was evaluated in cocoa and coffee substrates, using a metric tape to measure the diameter and height of the plants every 15 days for two months; at the end of this period, the soil was contaminated at 7 ppm of Hg, carrying out initial analyses in the Labsu laboratory to check the concentration; for the diagnosis of the behavior of fodder peanuts and trumpet tree in soils contaminated with mercury, each month the number of leaves per species, the number of mortality and the number of leaves with chlorosis was recorded for 4 months, subsequently samples of contaminated soil were sent to the laboratory in order to determine which of the two species allows a greater reduction of mercury. Obtaining final analyzes, where the capacity by species to decrease mercury shows, for fodder peanut a decrease of 2.40 ppm (Hg) corresponding to 36.90% for trumpet tree a decrease of 3.42 ppm (Hg) of mercury corresponding to 52.62%. According to the results of the research, the best substrate for the growth of both species was cocoa shell, trumpet tree (*Cecropia peltata* L.) is the species with the highest bioremediation and adaptability in soil contaminated with Hg under controlled conditions. It is recommended to future investigations of this type to perform an on-site study in natural conditions without intervening, laboratory level to possess comparative studies and establish which the best option is.

KEYWORDS: <BIOTECHNOLOGY>, <BIOREMEDIATION>, <TRUMPET TREET (CECROPIA PELTATA L.)>, <FODDER PEANUT (ARACHIS PINTOI W.C.)>, <SUBSTRATE>, <COFFEE>, <COCOA>, <MERCURY (Hg)>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

La presencia de metales pesados en el suelo perjudica al ambiente causando impactos negativos, como la alteración de la calidad del suelo y pérdida de vegetación. El Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA), señala que los niveles de mercurio en el ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. El mercurio se encuentra actualmente en diversos medios, en todas partes del mundo a niveles que afectan adversamente a los seres humanos y la vida silvestre. El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo.

El PNUMA indica que algunos de los procesos antropógenos más importantes que movilizan impurezas de mercurio son la generación de energía y calor a partir del carbón; la producción de cemento; la minería del mercurio; la minería del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; el uso de lámparas fluorescentes, faros de automóviles, manómetros, termostatos, termómetros, otros instrumentos y su rotura accidental; las amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen mercurio; el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contienen mercurio. Los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los sedimentos de fondo se consideran los principales depósitos biosféricos de mercurio.

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS) la exposición al mercurio (incluso a pequeñas cantidades) puede causar graves problemas de salud y es peligrosa para el desarrollo intrauterino y en las primeras etapas de vida. El mercurio puede ser tóxico para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, riñones y ojos.

La contaminación generada por el manejo inadecuado y poco responsable de los residuos del petróleo y sus derivados representan un problema alarmante, dificultad que afecta a todos, por ello a través del tiempo se han desarrollado una serie de soluciones tecnológicas y naturales las mismas que tienden a variar de una zona a otra, procesos que poseen diferentes técnicas para la

recuperación de los suelos contaminados. En la presente investigación se propone la técnica de biorremediación, misma que representa una alternativa amigable con el ambiente cuyo objetivo principal es la recuperación de ecosistemas y agro-ecosistemas cuyas características naturales se ven impactados negativamente, así mediante esta técnica se logra degradar contaminantes orgánicos o a su vez disminuir la toxicidad de contaminantes inorgánicos, este proceso ha sido llevado a cabo mediante una actividad biológica natural, contando con la presencia de microorganismos, hongos, y demás organismos que ayudan a la recuperación.(Ortiz, y otros, 2007 pág. 23)

Bajo este contexto en la actualidad, existe un interés que sigue creciendo con el paso del tiempo en aplicar los métodos de recuperación biológicos, pues se describen como metodologías sencillas, económicas y respetuosas con el ambiente, debido a que comparando con otras técnicas se busca solucionar el problema y no solamente trasladarlo a otro lugar como habitualmente se suele hacer; A pesar de aquello y de todos los beneficios que la biorrecuperación contiene, los tratamientos empleados y su eficacia son procesos que necesitan ser comprobados, es así que existe un margen de error ya que el tratamiento aplicado en cierto lugar puede resultar en dicho sitio, y consiguientemente el mismo tratamiento empleado en otra zona puede no tener efectos positivos o simplemente no resultar. (Ortiz, et. al, 2007 pág. 12)

Es por esta razón que el presente estudio tiene por objetivo, la evaluación de la capacidad de maní forrajero (*Arachis pintoi*W.C)y Guarumo (*Ceropia petalta* L.) en la biorremediación de suelos contaminados con mercurio, y de esta manera plantear cuál de las dos especies es considerada como un mejor agente biorremediador.

1.2. Justificación

Los niveles de contaminación de suelos con metales y su impacto en las diferentes áreas demandan de nuevas alternativas para la descontaminación.

Existen varias tecnologías para la restauración de suelos contaminados con metales pesados, la biorremediación implica la utilización de organismos vivos, se presenta como una técnica innovadora que supone generalmente menos costes, menor destrucción y alteración del medio.

Bajo tal contexto una opción que permite mitigar la contaminación por metales pesados es la fitorremediación, la cual es una estrategia dentro de la biorremediación que se enfoca en el uso de especies vegetales y la capacidad de ellas de absorber, acumular y tolerar altas concentraciones de sustancias contaminantes. Por medio del sistema de interacción suelo-planta se busca extraer el metal determinando como disminuir su contenido en este tipo de suelos, buscando minimizar el impacto causado por este mineral y por tanto el riesgo que genera a esta población y a su producción agrícola.

La selectividad de las dos especies a aplicar en este estudio se basa en la accesibilidad de las mismas, su bajo costo en el mercado y su tiempo de incubación corto. Las especies de maní forrajero (*Arachis pintoi*W.C) y Guarumo (*Cecropia peltata*L) son identificadas como plantas con alto potencial degradador, las mismas que podrían ser empleadas en la recuperación y remediación de ecosistemas afectados en diferentes zonas de nuestra Amazonía ecuatoriana, por tal motivo la selección de estas dos plantas es fundamental para el desarrollo de la propuesta.

Además, el presente estudio consiste en la evaluación de la capacidad de maní forrajero y guarumo en la biorremediación de suelos contaminados con mercurio. La biorremediación, reúne un gran número de ventajas, especialmente en costos, no utiliza químicos, ni afecta negativamente a la estructura del suelo, sólo aplica prácticas agrícolas comunes. Mediante análisis y pruebas realizadas en laboratorio se determina la mejor planta para que la biorremediación sea efectiva, y los aspectos técnicos a ser tomados en cuenta para la aplicación de la biorremediación. Siendo una investigación que aporta al conocimiento de qué especie es el mejor biorregulador de entre las plantas seleccionadas.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la capacidad de *Maní forrajero (Arachis pintoi*W.C) y *Guarumo (Cecropia peltata* L)en la biorremediación de suelos contaminados con mercurio a nivel laboratorio.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el crecimiento del maní forrajero y guarumo usando residuos de cáscara de cacao y cáscara de café.
- Diagnosticar el comportamiento de maní forrajero y guarumo en suelos contaminados con mercurio en condiciones controladas a nivel laboratorio.
- Determinar si elManí forrajero (*Arachis pintoi*W.C) o Guarumo (*Cecropia peltata* L)permiten una mayor disminución de mercurio en los suelos analizados.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Considerando que el Ecuador es un país con potencial minero, que tiene reservas de oro, plata y cobre, además de una variada oferta de productos mineros. Bajo este fundamento se creó el Ministerio de Minería del Ecuador, mediante Decreto Ejecutivo 578 de 13 de febrero de 2015. Esta Secretaría de Estados es el ente rector y ejecutor de la política minera del área geológico-minera de conformidad con los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia; además, es parte de sector estratégico del país. (Dirección Nacional de Síntesis Macroeconómica Subgerencia de Programación y Regulación, Banco Central del Ecuador, 2016 pág. 34)

En Ecuador, pocos son los estudios que se han enfocado a la fitorremediación de suelos contaminados con mercurio. Sin embargo, algunas investigaciones a través del tiempo a nivel nacional e internacional se mencionan a continuación, esto con el objetivo de establecer parámetros, metodologías y resultados que serán de gran ayuda para el desarrollo del presente trabajo de titulación:

Partiendo desde el conocimiento que plantean los autores Millán, R., et. al., del artículo científico denominado “Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén”.

Se conoce que los metales pesados están presentes en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de la actividad del hombre. Entre los impactos más graves que sufre el suelo se puede destacar la contaminación por metales pesados, por su lenta y difícil restauración. Uno de los metales pesados más tóxicos que se conocen es el mercurio, considerado un contaminante a escala global. Este elemento ha dejado huella en la historia de la humanidad, como el envenenamiento por mercurio orgánico en Iraq, o la exposición a metilmercurio en el Amazonas. (Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén, 2007 págs. 55-66)

Así también de los autores Vidal, J. et. al., del artículo científico “Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando *Cecropia peltata* L(guarumo).”, expresan que los metales pesados como el mercurio son un problema creciente de contaminación ambiental a nivel mundial; este puede encontrarse en suelos de forma natural o debido a actividades antrópicas, como la explotación aurífera. Existe una gran cantidad de zonas altamente contaminadas que necesitan ser rehabilitadas. Una vez en el suelo, este contaminante puede transformarse en especies más tóxicas, ingresar a la cadena trófica y, finalmente, llegar al hombre y generar graves problemas neurológicos y de teratogénesis. (“Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia Peltata*)”, 2010 págs. 113-129)

Bajo tal contexto se considera que el mercurio es un elemento contaminante, que si se presenta en el suelo puede tener reacciones dañinas en los organismos vivos por tal razón se piensa importante el realizar este tipo de estudio que ayudan a evidenciar los perjuicios que se presentan al no tomar en cuenta las características del suelo y que estas se encuentren en condiciones óptimas. Para ello se pensó en dar una solución mediante la indagación de alternativas viables que ayuden a la recuperación de los suelos contaminados con mercurio; es así que se determinó a la biorremediación como una solución viable.

En Colombia en el 2009, un grupo de investigadores, presentan un artículo científico sobre remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo, estudio que permitió determinar que después de 4 meses de crecimiento y de observar los porcentajes de remoción, su capacidad de acumulación del metal sin presentar efectos tóxicos considerables, se llegó a la conclusión de que el guarumo es una especie con capacidad fitorremediadora. (Vidal, et. al, 2010)

Lo cual esclarece la capacidad del guarumo como una especie fitorremediadora, resultado que será tomado en cuenta al final de la investigación, y de esta manera poder comprobar si es que las conclusiones arrojadas por el artículo científico en mención resultan iguales o similares a la presente.

Así mismo en Colombia se realizó un estudio de la capacidad de fitoextracción de siete especies de plantas para determinar su posible aplicación en la descontaminación de lugares afectados por mercurio, concluyendo que el factor de bioacumulación resulta ser una herramienta muy útil pues permite la comparación de los resultados y se consideraron aptas para la fitorremediación las especies *Lippiaoriganoides* y *Helianthusannuus*, esto debido a sus características de bioacumulación. (Reyes, et.al, 2008)

El efecto de biorremediación sobre la contaminación con mercurio es una técnica de ayuda que se le da al suelo, la cual si es bien llevada y aplicada de forma adecuada, produce efectos positivos sobre el suelo al que se aplique dicha técnica, es así que se ve como una alternativa viable el realizar el presente estudio, ya que se considera de suma importancia el rescate de los suelos contaminados.

De la misma manera existe un estudio que consiste en: “Evaluación de la *Medicago Sativa* L (alfalfa), Guarumo (*Cecropia peltata* L) y *Maní forrajero* (*Arachis pintoi* W.C) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en las riberas del río Nambija, Barrio Puente Azul, Cantón Zamora”. Para este estudio se utilizó suelo contaminado extraído de las riberas del río Nambija, las plantas para el ensayo fueron plantas provenientes de un semillero con sustrato y sin sustrato, la especie *Maní forrajero* (*Arachis pintoi* W.C) se adaptó a este tipo de suelo y fue la que demostró mejor desarrollo que las otras especies, así como mayor descontaminación en el suelo (León, 2016).

Bajo tal contexto es de conocimiento que la contaminación de los suelos por mercurio, ya sea por la explotación aurífera o por otros incidentes que hayan provocado dicha contaminación, puede ser remediada a través de la utilización de plantas que lo acumulan en sus tejidos, ayudando a la disminución de su impacto sobre los ecosistemas y sobre la salud del hombre; pues el mercurio y sus compuestos son bioacumulativos y tóxicos, debido a que la exposición a este metal ya sea a través de la respiración o su ingesta, puede ocasionar daños neurológicos, renales e incluso la muerte pues se ha comprobado que del mercurio es el responsable de la fitotoxicidad, es por ello que es imprescindible el investigar especies que ayuden a fitorremediar los suelos contaminados, debido a los perjuicios expuestos.(Reyes, et. al, 2008)

En base a lo anterior se especifica que la planta de maní forrajero es la especie indicada con mayor efecto remediador, lo cual establece la incógnita para el presente trabajo de investigación, siendo que en revisiones anteriores se nombró al guarumo como especie que poseía mejores características de biorremediación, es así que para conocer cuál de las dos plantas es la indicada en este tipo de efectos sobre el suelo, se obtiene la iniciativa de plantear la investigación pertinente, misma que será desarrollada a continuación.

De igual manera la Comisión Europea en la Conferencia; Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo, (2003) manifiesta que se ha desarrollado en Brasil y Méjico un proyecto para reciclar desechos de café, como la pulpa y la cáscara, con el fin de obtener productos agrícolas,

como los forrajes encilados. El Programa Biopulpa, consiste en realizar técnicas de Biotecnologías para conservar, desintoxicar y reutilizar la pulpa de café en dichos países latinoamericanos; mediante dichas técnicas se eliminan o neutralizan elementos nocivos de café (cafeína o los Taninos), de manera que se conviertan en productos de valor añadido. Un 60% de la producción mundial de café se obtiene de América latina, y la utilización de sus restos puede tener un valor importante tanto económico como ambiental. (Conferencia; Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo, 2003)

Además se ha considerado el uso del sustrato de cacao debido al artículo científico “Aprovechamiento de los desechos de cacao (*Theobroma cacao* L.)”, de los autores Crescente, O., et. al., quienes mencionan que después de analizar químicamente cáscaras de cacao con la finalidad de desarrollar técnicas y procedimientos que permitan la utilización comercial de estos desechos. Los análisis realizados en cuanto a porcentaje de proteínas (8,69 %), grasas (1 ,40 %), materia orgánica (60,1 4 %) y minerales, revelan el uso potencial de estos desechos agrícolas en la elaboración de dietas para animales y como fertilizante orgánico de numerosos cultivos, mismos que son benéficos y de gran ayuda para su desarrollo. (Aprovechamiento de los desechos de cacao (*Theobroma cacao* L.) , 2010)

2.2. Base Teórica

2.2.1. Suelo

El suelo está definido como la primera capa que va desde la superficie de un terreno hasta aproximadamente 30 cm de profundidad; es considerado como un material compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, microorganismos, materia orgánica, agua y aire; está formado además por rocas muy sólidas, capas de arena, arcillas, limos, mismas que poseen características diferentes.(Iturbe, 2010 pág. 45)

Los suelos están formados generalmente a partir de la roca madre, que es degradada gradualmente en partículas, estas se forman debido a factores climáticos, a organismos vivos, al relieve y el tiempo, para la formación de los suelos es necesario que pase un tiempo muy largo de un período de miles de años. El suelo se forma de manera continua mediante el proceso de degradación normal de la roca madre, mencionado con anterioridad. (Porta, et.al, 2003 pág. 67)

En otro contexto, desde el punto de vista químico el suelo es un conjunto de rocas y minerales que por el paso del tiempo se han erosionado, además es el conjunto de material desintegrado

como lo es el humus y los detritos, además la existencia de organismos vivos microscópicos, el suelo contiene agua y aire, en su forma habitual el suelo contiene 5% de materia orgánica y un 95% de minerales.(Mackenzie, 2005)

Además, el suelo es considerado un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; es de características vulnerables, se lo define como un elemento de difícil y larga recuperación, pues puede tardar miles y hasta cientos de miles de años en formarse, y posee una extensión limitada, es considerado por estas razones un recurso no renovable. (Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica, 2009)

El suelo es un elemento primordial que posee funciones ambientales, tales como ser el sustento de alimento para plantas, es gran almacenador de nutrientes, posee y alberga materia orgánica la cual proviene de restos animales y vegetales, también es el hábitat de diversos organismos que transforman la materia orgánica presente en él, entre otros factores que lo hacen ser esencial en el desarrollo de los ecosistemas de los cuales forma parte.(Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica, 2009)

En síntesis el suelo es un elemento importante formado por minerales y rocas, en el que la vida se desarrolla, contiene nutrientes mismos que hacen que crezcan especies de plantas, mismas que toman del suelo lo que necesitan para su crecimiento; así también como es un recurso primordial para los seres vivos también se lo considera como no renovable ya que su regeneración depende del pasar de cientos de miles de años, por lo cual buscar alternativas viables para su recuperación es indispensable. A continuación, en la Tabla 1-1 se describirán los beneficios ambientales que presta el recurso suelo.

Tabla 1-2. Beneficios ambientales del recurso suelo.

Beneficio ambiental	Descripción
Hábitat y reserva genética	El suelo es el hábitat de una cantidad ingente de organismos de todo tipo que viven tanto en el suelo como sobre él, cada uno con un genotipo irremplazable. Esta es una función ecológica esencial.
Generación de alimento y demás producción de biomasa	Los alimentos y otros productos agrícolas, esenciales para la vida humana, así como la silvicultura dependen totalmente del suelo. Prácticamente toda la vegetación-pastos, cultivos y árboles, inclusive- necesitan del suelo para obtener tanto agua y nutrientes como soporte físico.
Entorno físico y cultural para la humanidad	El suelo sirve de base a las actividades humanas y es asimismo un elemento del paisaje y del patrimonio cultural
Almacenaje, filtración y transformación	El suelo almacena minerales, materia orgánica, agua y varias sustancias químicas. Sirve de filtro natural de las aguas subterráneas, la principal reserva de agua potable, y libera dióxido de carbono, metano y otros gases a la atmósfera.
Fuente de materias primas	Los suelos proporcionan materias primas tales como las arcillas, las arenas y los minerales, entre otros, que son empleados en los diversos procesos productivos de las organizaciones.

Fuente: (Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica, 2009)

Elaborado por: Lilibeth Muñoz, 2017

2.1.1.1. Propiedades del suelo

De acuerdo a Volke, (2005) citado por León, (2016), define que la propiedad física química o biológica del suelo es aquella que caracteriza del suelo; de esta manera es posible decir que la composición química y la estructura física del suelo están definidas por el tipo de material geológico del que se origina, por su cubierta vegetal, por la topografía y además por los cambios artificiales que han sido resultado de las actividades del hombre a través del tiempo. (León, 2016 pág. 43)

2.1.1.2. Criterios de la Calidad del Suelo

Los criterios de calidad del suelo son considerados los valores de fondo estimados o límites analíticos de detección para un contaminante que se encuentra en el suelo. Son valores de fondo los que se refieren a niveles ambientales significativos para un contaminante en el suelo. Dichas cantidades pueden ser el resultado de la evolución natural del área, esto a partir de sus características geológicas, sin influencia de actividades antropogénicas. Así se pueden observar los diferentes valores en la tabla a continuación:

Tabla 2-2: Criterios de calidad del suelo, parámetros inorgánicos

Parámetro	Unidades	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/cm	200
Ph		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (índice SAR)		4*
Parámetros inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60
Concentración en peso seco de suelo		

Fuente: (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015)

Elaborado por: Lilibeth Muñoz, 2017

2.1.1.3. Criterios de remediación del suelo

Dichos criterios de remediación de suelo se establecen dependiendo del uso del suelo, tienen el fin de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes en un suelo, a partir de un proceso de remediación, de este modo se pueden observar los siguientes valores en la tabla a continuación:

Tabla 3-2. Criterios de remediación del suelo, parámetros inorgánicos, valores máximos permisibles

Parámetro	Unidades*	Uso del suelo			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
Parámetros generales					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
Ph	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (índice SAR)	-	5	12	12	5
Parámetros inorgánicos					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	-
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5
Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200
Concentración en peso seco de suelo					

Fuente: (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015)

Elaborado por: Lilibeth Muñoz, 2017

2.1.1.4. Suelo contaminado.

Un suelo contaminado es aquel que en su estado natural se ha visto alterado por diferentes causas; las más frecuentes se deben a la introducción de contaminantes en la atmósfera, producidas por las actividades del ser humano, actividades como procedimientos industriales, la

emanación de dióxido de carbono por los automóviles, y demás actividades contaminantes(Mackenzie, 2005). Existen diversos factores que influyen en la contaminación como los descritos a continuación:

Vulnerabilidad. El grado de vulnerabilidad de un suelo frente a la contaminación depende de la intensidad de afectación, del tiempo que debe transcurrir para que los efectos indeseables se manifiesten en las propiedades físicas y químicas de un suelo y de la velocidad con que se producen los cambios secuenciales en las propiedades de los suelos en respuesta al impacto de los contaminantes. (Universidad Tecnológica Equinoccial, 2009)

Poder de amortiguación. El suelo actúa como una barrera protectora de otros medios más vulnerables, como los hidrológicos y los biológicos, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc. Pues presentan los suelos una elevada capacidad de depuración. Cuando un suelo ha rebasado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias, se dice que es un suelo contaminado, y consecuencia de ello, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera, y los organismos. (Universidad Tecnológica Equinoccial, 2009)

Biodisponibilidad. Grado por el cual un contaminante en una fuente potencial, está disponible para ser tomado por un organismo.

Movilidad. Este factor regulará la distribución del contaminante y por tanto su posible transporte a otros sistemas.

Persistencia. Regulará el periodo de actividad de la sustancia y por tanto es otra medida de su peligrosidad(Mackenzie, 2005)

La mayoría de los procesos de pérdida y degradación del suelo son originados por la falta de planificación y el descuido de los seres humanos. Las causas más comunes de dichos procesos son:

1. Almacenamiento incorrecto de productos y/o residuos en actividades industriales
2. Vertidos de residuos incontrolados
3. Escombros industriales
4. Bidones enterrados
5. Almacenamiento incorrecto de productos o residuos

6. Accidentes en el transporte de mercancías (Universidad Tecnológica Equinoccial, 2009)
7. Fugas en tanques u operaciones deficientes
8. Vertidos incontrolados de aguas residuales
9. Uso incorrecto de pesticidas y/o abonos
10. Alcantarillado antiguo en mal estado
11. Antiguos entierros de residuos
12. Deposición de contaminantes atmosféricos(Universidad Tecnológica Equinoccial, 2009)

En tal contexto es importante conocer que de acuerdo al (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015), este menciona que:

Los causantes y/o responsables por acción u omisión de contaminación al recurso suelo, por derrames, vertidos, fugas, almacenamiento o abandono de materiales peligrosos, deben proceder a la reparación de la zona afectada, considerando para el efecto los criterios de remediación de suelos contaminados que se encuentran en la presente norma. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015 pág. 14)

2.2.2. Fuentes de contaminación

De acuerdo a lo anterior se pueden entonces diferenciar básicamente dos fuentes de contaminación que a continuación se describirán:

2.2.3.1. Fuente Natural

La mayor fuente natural de mercurio es la desgasificación de la corteza terrestre, las emisiones de los volcanes y la evaporación desde los cuerpos de agua (Guzman, 2007).

2.2.3.2. Fuentes Antropogénicas

La contaminación ocasionada por el hombre es realizada de muchas formas, como por ejemplo las descargas de desechos y la emisión directa a la atmósfera en la explotación minera del metal y del oro, en la quema de los combustibles fósiles misma que representa una fuente importante de contaminación atmosférica, así como la incineración de desechos sólidos los cuales incluyen mercurio volatilizado de baterías desechadas, también durante la fundición de cobre y zinc, entre otras fuentes de contaminación (Guzman, 2007 pág. 67).

A continuación, se detallan las fuentes antropogénicas más comunes existentes:

- Cunetas y alcantarillas azolvadas
- Derrames y liqueos por manejo de combustibles (carga y descarga)
- Descargas de agua de formación del separador API
- Descargas de aguas negras sin tratamiento provenientes de campamentos en funcionamiento
- Efluentes líquidos descargados al ambiente desde las trampas de grasas y aceite
- Fosas con crudo
- Líquidos de tanques de almacenamiento de crudo
- Líquidos de tanques de almacenamiento de diésel
- Líquidos por cubetos con presencia de derrames o Líquidos.
- Líquidos por falta de mantenimiento de equipos
- Mecheros en funcionamiento
- Minas y canteras en uso
- Oleoducto en mal estado y con presencia de Líquidos
- Piscina en uso
- Piscinas en uso con mecheros
- Pozos averiados y con Líquidos
- Sitios utilizados para la disposición de residuos sólidos.
- Suelos contaminados por derrames de crudo
- Suelos contaminados por derrames de diésel

2.2.3. Mercurio

Los autores Restrepo y Verbel (2002), citado por León (2016), definen al mercurio como uno de los metales que posee mayor impacto sobre los ecosistemas, y su acumulación así como su toxicidad son persistentes en el medio ambiente, lo cual afecta la salud de los seres vivos.

De acuerdo a Carrasquero y Adams, (2003) citado por León (2016), sostiene que el mercurio es conocido por ingresar al suelo bajo la forma de mercurio metálico, y este puede llegar a oxidarse hasta la forma divalente, el cual es interactúa en la superficie de los suelos, esto a través de reacciones de la adsorción.

Es decir el mercurio es un elemento contaminante, que al encontrarse a ciertos niveles en el suelo produce perjuicios en este medio, debido a que se caracteriza por ser tóxico para los seres vivos.

2.2.2.1 Características físicas y químicas del mercurio

El término “Metales pesados” hace referencia a los metales tóxicos en razón de su peso específico, elevado número de electrones y las respuestas bioquímicas específicas que provocan en animales y plantas (11). Dentro de este grupo los principales contaminantes ambientales son el cadmio, plomo y el mercurio, este último es considerado uno de los metales pesados más tóxicos y es un contaminante a escala global (Guzman, 2007 pág. 314)

El mercurio es un elemento químico, cuyo nombre y símbolo (Hg), es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente, cuyo número y peso atómico es 80 y 200.59 u.m.a, respectivamente; su punto de fusión es de -38.4°C y ebulle a 357°C a presión atmosférica estándar; su densidad es de 13,456 g/mL y tiene una presión de vapor de 0,00212 mmHg a 25°C (13).

Así mismo, la tensión superficial de mercurio líquido es de 484 dinas/cm, seis veces mayor que la del agua en contacto con el aire, por consiguiente, el mercurio no puede mojar ninguna superficie con la cual esté en contacto (14). El Hg es soluble únicamente en medio oxidantes; forma soluciones llamadas amalgamas con algunos metales (oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio) y en sus compuestos se encuentra en los estados de oxidación Hg(II) y Hg(I) (Florez, 2012 pág. 18).

El mercurio existe en diferentes especies químicas, ya sea de manera elemental, o formando compuestos inorgánicos y orgánicos. En su forma elemental Hg (0), tiene como estado de oxidación 0 y es la especie menos tóxica. En la formación de compuestos, el mercurio puede presentarse como ión mercúrico o mercurio II, Hg^{2+} ; e ion mercurioso o mercurio I, $(\text{Hg}-\text{Hg})^{2+}$, donde cada átomo tiene una carga positiva. Entre los compuestos donde el mercurio posee monovalencia se encuentra el cloruro de mercurio I (Hg_2Cl_2), mientras que el mercurio divalente se presenta en compuestos inorgánicos como cloruro de mercurio II (HgCl_2), $(\text{Hg}_3(\text{AsF}_6)_2)$, y orgánicos como metilmercurio (CH_3Hg^+), etilmercurio ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Hg}^+$) y fenilmercurio ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$). Cabe destacar que el enlace carbonomercurio (Hg-C) de los compuestos órganomercuriales no es un enlace fuerte (cerca de 60 kJ/mol), pero es más estable frente al enlace mercurio-oxígeno (HgO). Esto ayuda a explicar porqué los compuestos

organometálicos de mercurio son estables al oxígeno y al agua y por tanto persistentes en el ambiente (Fontaine, 2004)

Las especies mercuriales difieren entre sí en sus solubilidades en agua. Algunas sales de mercurio (II), por ejemplo, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ o $\text{Hg}(\text{ClO}_4)_2$, son muy solubles en agua y por lo general están disociadas; las soluciones acuosas de estas sales reaccionan como ácidos fuertes a causa de la hidrólisis que ocurre. Otras sales de mercurio como HgCl_2 o $\text{Hg}(\text{CN})_2$, también se disuelven en agua, pero en solución sólo están poco disociadas. Hay compuestos en que los átomos de mercurio están directamente enlazados a átomos de carbono o de nitrógeno; por ejemplo, $\text{H}_3\text{CHg-CH}_3$ o $\text{H}_3\text{C-CO-NH-Hg-NH-CO-CH}_3$. En complejos, como $\text{K}_2(\text{HgI}_4)$, a menudo tiene tres o cuatro enlaces (Pasivos Ambientales, 2003).

2.2.2.2 Fuentes de contaminación por mercurio

El mercurio puede llegar a los diferentes compartimientos ambientales debido a dos fuentes: naturales y antropogénicas. Este metal puede ser liberado naturalmente a la atmósfera e intercambiarse entre el agua y el suelo mediante erosión eólica, desgasificación del suelo mineralizado, formación de rocas, erupciones volcánicas, actividades geotérmicas, y liberación desde la corteza terrestre. El mercurio se encuentra en muchos tipos de rocas, generalmente en forma de sulfuros minerales, como cinabrio (HgS) y marcasita. Este contaminante también puede ser encontrado en forma nativa o asociado con oro (Au), o en menor proporción con cobre (Cu) y plata. (Florez, 2012 pág. 26)

Entre las fuentes antropogénicas de mercurio se encuentra la combustión de madera, basuras y de combustibles fósiles; producción de cal y cemento, procesamiento de metales; explotación aurífera y de mercurio; plantas cloroalcalinas, así como en la fabricación y uso de pinturas, baterías, termómetros, pesticidas, abonos y fertilizantes utilizados en la agricultura (Florez, 2012 pág. 89)

2.2.4. Mercurio en el suelo

En los últimos 125 años se han emitido a la atmósfera casi 200000 toneladas de mercurio, de los cuales cerca del 95% ha sido depositado en la superficie terrestre, convirtiendo los suelos en el principal depósito de este elemento. Esta reserva se convierte en una continua fuente de mercurio, que continuará emitiendo mercurio hacia la atmósfera durante muchos años. (León, 2016 pág. 43)

Una vez depositadas, el mercurio en el suelo, estas sufren reacciones químicas y biológicas. Las condiciones de pH, temperatura y contenidos de sales y componentes orgánicos del suelo favorecen la formación de complejos del ion inorgánico (Hg^{2+}) como $HgCl_2$, $Hg(OH)_2$ o complejos orgánicos. Aunque los complejos inorgánicos son bastante solubles en agua y, por tanto, de gran movilidad, muchos de ellos forman nuevos complejos con la materia orgánica y coloides minerales del suelo o sedimento. Son este tipo de complejos los que principalmente definen el comportamiento del mercurio. (León, 2016 pág. 44)

La utilización de mercurio en las prácticas mineras de Latinoamérica no sólo ha construido un factor de riesgo para el ambiente de las regiones en donde existen explotaciones, sino que también ha afectado la salud de los mineros. (Villas, 2001)

En el ambiente, el mercurio emitido por la minería aurífera se acumula en forma de mercurio metálico y compuestos en los sedimentos de los suelos, donde por la acción bacteriana y bajo ciertas condiciones puede convertirse en mercurio orgánico metil o dimetilmercurio, sustancia altamente tóxica para el hombre. (Villas, 2001)

De acuerdo a los autores (Reyes, y otros, 2008), el mercurio es un contaminante global que se encuentra en suelo, aire, agua y en los factores bióticos existentes en los diferentes ecosistemas, este metal pesado ha entrado en el ambiente como respuesta a procesos antropogénicos y naturales, este elemento es liberado naturalmente y puede entrar a sistemas acuáticos y suelos mediante los procesos que se describen a continuación:

1. Erosión de suelo mineralizado con mercurio y la formación de rocas
2. Procesos volcánicos eruptivos y actividades geotermales
3. Liberación del mercurio desde la subcorteza terrestre (Reyes, et. al, 2008)

De esta manera se pueden distinguir que las fuentes antropogénicas de mercurio se atribuyen a los siguientes factores:

1. Quema de combustibles fósiles, madera, basura, lodos residuales y cremaciones.
2. Actividades como procesamiento de metales, minería, extracción de oro, industria química y demás.
3. Agricultura y la aplicación de pesticidas, fertilizantes y el uso de estiércol.
4. Procesos de fundiciones, producción de cemento y cal. (Ebinghaus, y otros, 2003 pág. 106)

Se pondera que la emisión antropogénica de mercurio varía entre el 50 y 75% de la emisión anual total a la atmósfera y que esta se ha triplicado durante los últimos 100 años. Confirmando que la principal fuente de transferencia de mercurio al ambiente es mediante el intercambio a través de la superficie de suelos, ríos, lagos, océanos y vegetación con el aire. Estos representan una amenaza para la salud de los humanos, ya que el metal que se acumula en las plantas que son de consumo humano pueden ingresar directamente en la dieta humana, no únicamente a través de las plantas que crecen en suelos contaminados si no también mediante la ingesta de pescado, aves y ganado. A pesar de aquello, el intercambio de mercurio únicamente del suelo y vegetación, proporciona una posibilidad de remoción del metal del suelo mediante la absorción del mismo por parte de las plantas. (Porcella, et.al, 2000 pág. 211)

2.2.5. Mercurio y salud humana

Todas las formas conocidas de mercurio han sido establecidas como tóxicas, la exposición a concentraciones elevadas de Hg puede causar incluso la muerte; el Hg y los compuestos que este metal forma son persistentes y bioacumulativos, por consiguiente son de gran riesgo para la salud del hombre y la calidad ambiental (León, 2016 pág. 112)

La exposición al mercurio en el hombre puede ocurrir a través del consumo de alimentos contaminados (productos vegetales, peces, entre otros), la ingestión de agua y la respiración de aire contaminado (22). La principal vía de ingreso de este tóxico al hombre, es el consumo de pescado contaminado y una vez se encuentra en el cuerpo, es capaz de producir serios trastornos de salud, puesto que puede atravesar la barrera hematoencefálica, ocasionando graves problemas neurológicos; también puede atravesar la barrera placentaria, produciendo daños teratogénicos en fetos; y puede generar cáncer, especialmente de riñón (Mackenzie, 2005)

En la exposición a mercurio elemental (Hg^0) a la que están expuestos los mineros auríferos, odontólogos, personas con amalgamas dentales y trabajadores de plantas de producción de cloro, entre otros, puede generar déficit en el desarrollo neurológico y de comportamiento, lo que puede incluir daños sutiles en la memoria visual, atención y velocidad en las respuestas visuales, auditivas y psicomotoras, pérdida reversible de la capacidad para distinguir colores, además de inflamaciones severas de la piel (Ogram, 1997)

Por otra parte, el metilmercurio es acumulado tanto en el cerebelo como en la corteza cerebral donde es fuertemente enlazado a las proteínas a través de los grupos sulfidrilos. Uno de los

grandes problemas de este agente tóxico es su alta capacidad para atravesar la barrera placentaria en forma de un conjugado de mercurio-cisteína, a través del sistema de transporte activo para aminoácidos neutros. La velocidad de transporte del metilmercurio a través de la barrera placentaria es 10 veces mayor respecto al mercurio inorgánico (28-29). En virtud de que los tejidos fetales tienen mayor afinidad para unirse al metilmercurio que los de la madre, los niveles comienzan a ser más altos en el nuevo ser que en la madre expuesta. Una vez en el feto, el metilmercurio puede penetrar la barrera hemato-encefálica para llegar al sistema nervioso central, en donde ejerce gran parte de su toxicidad. (Universidad Tecnológica Equinoccial, 2009)

La intoxicación ocasionada por la ingestión de pescado con altas concentraciones de metilmercurio es caracterizada por lesiones en el sistema nervioso central y periférico. Algunas de las manifestaciones neurológicas más frecuentes son: inhabilidad para coordinar voluntariamente los movimientos de los músculos (ataxia), temblores anormales repetitivos en el cuerpo (tremor), percepción de sensaciones anormales de la piel tales como adormecimiento, quemaduras (parestesia), pérdida en el control del habla, disminución en la capacidad visual y auditiva, y parálisis cerebral (Porcella, et.al, 2000 pág. 311)

2.2.6. Biorremediación

Se denomina biorremediación al proceso que tiene como objetivo reparar un problema referente a la contaminación ambiental mediante metodologías y herramientas amigables con él, es decir evitando en lo posible problemas secundarios que resulta ser contaminaciones indirectas; y recurrir al uso de materiales y procesos ambientales con el fin de respetar el ritmo y proceso natural. Como por ejemplo utilizar los procesos metabólicos de microorganismos para degradar algún contaminante en su totalidad o convertirlo en compuestos más simples y/o estables y menos contaminantes u otros sistemas vivos como hongos o plantas teniendo un campo de aplicación variado (United States Environmental Protection Agency, 1996)

La biorremediación se define como el uso de procesos de degradación biológica en sistemas naturales para remover o reducir la presencia de contaminantes que amenazan al ser humano o al ambiente. (Thapa, et.al, 2012 pág. 210).

De este modo, los agentes biológicos pueden secretar enzimas o agentes surfactantes, factores de crecimiento o proteínas que sean de utilidad para otros miembros de una comunidad (Mukherjee, et.al, 2011 pág. 98).

Los organismos más fuertes dentro de la comunidad microbiana son aquellos que transforman el contaminante en compuestos más simples los mismos que pueden ser aprovechados por el resto del grupo, dando lugar de esta manera a procesos de degradación (Paliwal, y otros, 2012 pág. 11).

Es un proceso natural de la remediación es la biodegradación la cual no exige una inversión elevada en reactivos, así como de infraestructura y requerimientos energéticos (Joynt, y otros, 2006). Aproximadamente se estima que el valor de tratamiento por tonelada de suelo contaminado con hidrocarburos es casi 100% superior cuando se realiza un tratamiento químico en lugar de biorremediación.

Además, algunas investigaciones han reportado que el tratamiento de una contaminante in situ es hasta un 40% más económico que el tratamiento ex situ (Maila, et.al, 2004 pág. 68).

En los procesos de biorremediación generalmente se emplean mezclas de microorganismos, aunque algunos se basan en la introducción de cepas definidas de bacterias u hongos. Actualmente se están desarrollando microorganismos, algas (especialmente cianobacterias o algas azules) y plantas genéticamente modificadas para ser empleadas en biorremediación. (Van, et.al, 2010 pág. 23)

Entonces de acuerdo a lo antes mencionado se puede decir entonces que la biorremediación es un proceso que es utilizado para referir a una gran cantidad de sistemas que utilizan de los organismos vivos su potencial metabólico, organismos tales como, plantas, bacterias, hongos y demás, con el objetivo de limpiar o descontaminar ambientes que posean características de contaminación, es también un proceso que implica la descontaminación por vía biológica, así se pueden encontrar tres tipos de biorremediación, tales como: la degradación enzimática, la remediación microbiana y la fitorremediación (Van, et.al, 2010 pág. 43).

2.2.6.1. Tecnologías aplicadas en la Biorremediación

A continuación, se describen dos tipos de tecnología existentes para la aplicación de la biorremediación:

In situ.- “Aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos del suelo, sin necesidad de excavar el sitio. Así, se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación”. (Volke - Sepulveda, et.al, 2005 pág. 8)

Ventajas

- Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar
- Potencial disminución en costos.

Desventajas.

- Mayores tiempos de tratamiento
- Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo
- Dificultad para verificar la eficacia del proceso

Ex situ.- “La realización de este tipo de tecnologías, requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio o fuera de él” (Volke - Sepulveda, et.al, 2005 pág. 67).

Ventajas

- Menor tiempo de tratamiento
- Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente

Desventajas

- Necesidad de excavar el suelo
- Aumento en costos e ingeniería para equipo.
- Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante

2.2.6.2. Tipos de Biorremediación

En la actualidad existen una variedad de técnicas de biorremediación que ayudan a la masificación del empleo de microorganismos y/o plantas mismas que están en la capacidad de degradación, así como en la acumulación de sustancias contaminantes. Básicamente los procesos de biorremediación son de tres tipos, tales como de remediación microbiana, degradación enzimática y fitorremediación.

Para la presente investigación es de gran importancia el análisis de la fitorremediación.

2.2.6.2.1. Fitorremediación

Se define como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener

degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. (Ebinghaus, et.al, 2003 pág. 54)

“La utilización de plantas para la descontaminación de los suelos se denomina en forma genérica Fitorremediación, siendo una técnica que utiliza las plantas acumuladoras e hiperacumuladoras para extraer e inmovilizar los contaminantes del suelo y las aguas”. (Ebinghaus, et.al, 2003 pág. 67)

Las plantas tienen una habilidad notable para extraer y concentrar contaminantes a partir del aire a través de estomas, y del agua y suelo por medio de su rizósfera; también cuentan con mecanismos en su metabolismo para poder realizar transporte de metales. Se caracterizan, además por tener respuestas enzimáticas para frenar el estrés oxidativo provocado por el incremento en la concentración celular de metales tóxicos. (Mackenzie, 2005)

“Por otro lado, dada la particularidad de que las plantas carecen de la habilidad de desplazarse, éstas han creado sistemas bioquímicos únicos para la adquisición de sustrato, control y detoxificación en la rizósfera”. (Pasivos Ambientales, 2003)

Como resultado de estas ventajas surge el interés de usar a las plantas como medio para enfrentar la contaminación ambiental y recuperar sitios contaminados. Por tal razón la fitorremediación se considera ahora una tecnología prometedora, de bajo costo y amigable con el ambiente, con la cual, de manera integral, se podrán recuperar distintos sitios contaminados. (Marques, et.al, 2001 pág. 267)

A continuación, se describirán las ventajas y limitaciones de la Fitorremediación:

Ventajas.

- Es una tecnología sustentable.
- Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ.
- Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas.
- Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.
- Es poco perjudicial para el ambiente.
- No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho.
- Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable.

- Evita la excavación y el tráfico pesado.
- Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos
- Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales) (Ogram, 1997)

Limitaciones.

- Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos).
- Es dependiente de las estaciones.
- El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental. Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes).
- Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión.
- No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
- La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
- Se requieren áreas relativamente grandes.
- Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos) (Maila, et.al, 2004)

2.2.6.2.2. *Proceso de fitorremediación*

Fitodegradación o fitotransformación: se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas, compuestos clorados, explosivos y surfactantes. A través de reacciones enzimáticas que llevan a cabo plantas y microorganismos en la rizósfera, es decir, la zona del suelo estrechamente asociada con las raíces de las plantas, dichos contaminantes son parcial o completamente degradados o transformados. De esta manera son asimilados por las plantas y secuestrados en sus vacuolas o fijados a estructuras celulares insolubles, como la lignina.(Fitorremediación, fundamentos y aplicaciones, 2004)

Fitoestimulación: en este caso, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el

suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes. (Fitorremediación, fundamentos y aplicaciones, 2004)

Fitovolatilización: algunas plantas son capaces de volatilizar ciertos contaminantes, como mercurio y selenio, contenidos en suelos, sedimentos o agua. Tales contaminantes son absorbidos, metabolizados, transportados desde su raíz a sus partes superiores y liberados a la atmósfera en formas volátiles, menos tóxicas o relativamente menos peligrosas en comparación con sus formas oxidadas. La transformación de dichos elementos se efectúa básicamente en la raíz, y su liberación se lleva a cabo durante la transpiración. (Fitorremediación, fundamentos y aplicaciones, 2004)

Fitoestabilización: este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestro, lignificación o humidificación. Las plantas ejercen un control hidráulico en el área contaminada, es decir actúan como una bomba solar que succiona humedad de los suelos debido a sus altas tasas de evapotranspiración. Puesto que este proceso mantiene también una humedad constante en la zona de la rizósfera, se presentan las condiciones adecuadas para la inmovilización de los metales. Esto ocurre a través de reacciones químicas como la precipitación o formación de complejos insolubles o por mecanismos físicos, como la adsorción. En esta zona, los metales se fijan fuertemente en las raíces de las plantas o en la materia orgánica de los suelos, limitando así su biodisponibilidad y su migración vertical hacia los mantos freáticos. (Fitorremediación, fundamentos y aplicaciones, 2004)

Fitoextracción o fitoacumulación: en esta estrategia se explota la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje, las cuales pueden ser fácilmente cosechadas. Los contaminantes extraídos son principalmente metales pesados, aunque también puede extraerse cierto tipo de contaminantes orgánicos y elementos e isótopos radiactivos. Generalmente los sistemas de fitoextracción se implementan para extraer metales de suelos contaminados, por medio de plantas conocidas como metalofitas, es decir acumuladoras de metales; sin embargo, también pueden implementarse para tratar aguas residuales. (Fitorremediación, fundamentos y aplicaciones, 2004)

Rizofiltración: se basa exclusivamente en hacer crecer, en cultivos hidropónicos, raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas. Como puede apreciarse, las estrategias de fitorremediación hacen referencia a los mecanismos predominantes realizados por las propias plantas, pero también, en algunos casos, indican el papel que tienen las comunidades

microbianas durante el proceso de remediación. Así, se hace evidente que la fitorremediación es un proceso complejo que involucra la participación de la comunidad microbiana asociada a su sistema de raíz. (Fitorremediación, fundamentos y aplicaciones, 2004)

Cada una de las estrategias tiene condiciones particulares, determinadas principalmente por el tipo de contaminante y el sustrato a tratar: suelos, sedimentos o agua. En forma general las medidas correctivas para contaminantes orgánicos incluyen la fitodegradación y la fitoestimulación, mientras que, para los metales pesados, incluidos los metaloides, radionúclidos y ciertos tipos de contaminantes orgánicos, se aplican la fitovolatilización, la fitoestabilización, la fitoextracción y la rizofiltración.

2.2.7. Plantas Hiperacumuladoras

Existen plantas que presentan una acumulación extrema de metales en sus tejidos aéreos, que se conocen como plantas hiperacumuladoras (Brooks, 1998). Estas plantas actúan como pequeñas aspiradoras, tanto mayor sea la biomasa, más se multiplicará la capacidad acumuladora de la planta sobre la cual estemos trabajando. Siendo aquellas que acumulan unas cantidades de metales que van desde el 1 al 10 % en contenido de metal respecto al peso seco de la planta. Sin embargo estas plantas (no se sabe muy bien por qué) tienen todas una biomasa muy escasa, un ciclo de vida corto (lo que significaría multiplicar el número de recolecciones) y, sobre todo, están adaptadas a hábitos muy concretos, con lo que solo podrían servirnos en lugares muy específicos.

Por si fuera poco, se ha demostrado que la presencia de ciertas combinaciones de metales crea una interferencia en su acumulación y les hace perder esa capacidad tan ventajosa. Es como que si hubiera cierta incompatibilidad entre determinados metales. (Porta-Casanellas, et.al, 2003 pág. 23)

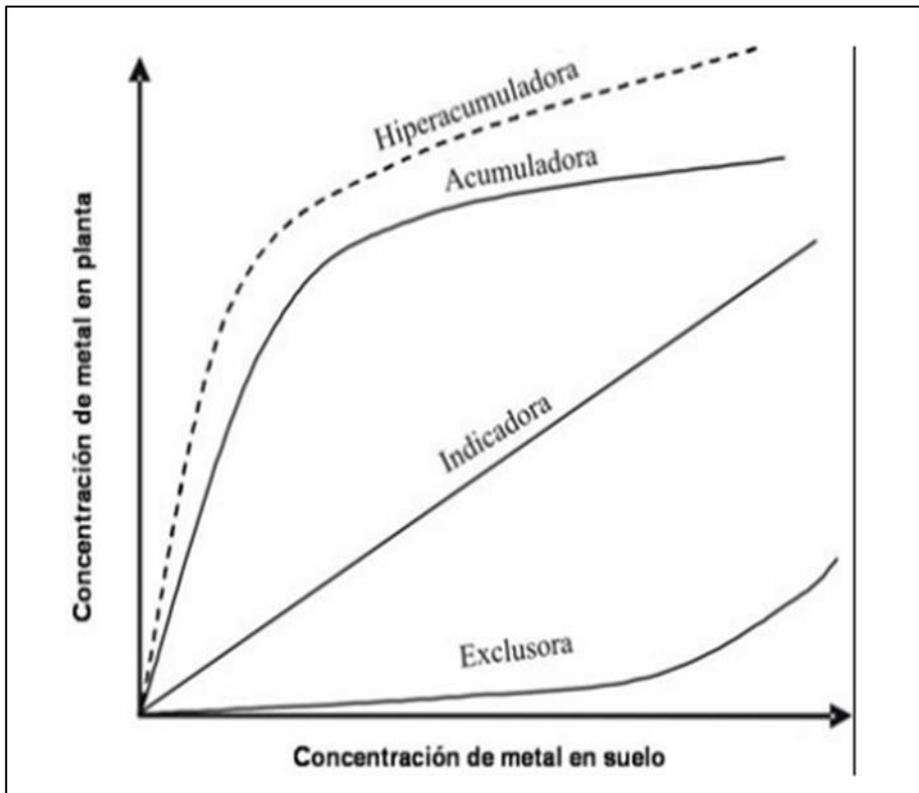


Gráfico 1-2. Respuestas típicas de plantas frente a la presencia de metales pesados en el suelo
Fuente: (Adriano, 2001)

La mayoría de las plantas capaces de crecer en tierras ricas en metales lo hacen excluyendo iones potencialmente tóxicos de sus sistemas de raíces; en otras plantas, los metales son utilizados como micronutrientes, sin embargo concentraciones mínimas saturan a la planta. La habilidad de tolerar la presencia de metales pesados está determinada por el nivel de variación genética del individuo (Reyes, et.al, 2008 pág. 311)

Los pastos son el género más adecuado para la fitorremediación de formas orgánicas e inorgánicas de metales, por su hábitat de crecimiento y adaptabilidad a una variedad de condiciones edáficas y climáticas. Además se ha reportado una gran biodiversidad de especies con potencial, probado en campo y en laboratorio para la fitorremediación. A la fecha, se han identificado más de 400 especies de plantas entre terrestres y acuáticas (31), pertenecientes a 22 familias, de las cuales la familia Brassicaceae contiene 87 especies incluidas en 11 géneros tolerantes a los metales y capaces de crecer en concentraciones elevadas (Guzman, 2007 pág. 78)

Se han reportado especies de musgos (Briofitas) y helechos (Pteridofitas) con capacidad de crecer en sustratos ricos en metales, incluyendo mercurio. Entre las angiospermas, se han identificado cerca de 400 hiperacumuladoras; entre las familias dominantes se encuentran:

- *Asteraceae*,
- *Brassicaceae*,
- *Caryophyllaceae*,
- *Cyperaceae*,
- *Cunoniaceae*,
- *Fabaceae*,
- *Flacourtiaceae*,
- *Lamiaceae*,
- *Poaceae*,
- *Violaceae*
- *Euphorbiaceae*.

De estas familias, la *Brassicaceae* tiene el mayor número de taxones (11 géneros y 87 especies) con capacidad para hiperacumular metales (Villas, 2001 pág. 98)

Entre las plantas que se han evaluado y determinado su potencial acumulador de mercurio están pastos como *Polypogon monspeliensis* y otras como *Arabidopsis thaliana*, *Brassicajuncea*, *Eichorniacrassipes*, *Typhasp* y maderables en especial el álamo (*Populus* sp), sauce (*Salix* sp) y eucalipto (*Eucalyptus* sp). Incluso se han reportado especies comestibles como maíz (*Zea mays*), tomate (*Solanum lycopersicum*), trigo (*Triticum* spp) y espárragos (*Asparagus officinalis*).

Para emplear plantas hiperacumuladoras en procesos de fitorremediación se requiere que sean de rápido crecimiento y adquieran biomasa considerablemente, puesto que facilita su siembra y recolección, contribuyendo así al proceso de extracción de la masa vegetal receptora del contaminante; sin embargo también se pueden emplear maderables como es la *Cecropia peltata* L., debido al alto potencial de acumulación en los mismos y por su gran masa vegetal, además se puede emplear para fitoremediar y recuperar suelos deteriorados por acción de la explotación minera.

2.2.8. *Cecropia peltata* L. (Guarumo)

A continuación, se describen las características generales de la planta puesta para experimentación.

Tabla 4- 2. Generalidades de *Cecropia Peltata* L (Guarumo).

Reino	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Rosales
Familia:	Urticaceae
Género:	Cecropia
Especie:	Peltata

Fuente: (Vidal, y otros, 2010)

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

El guarumo, yarumo o yagrumo es un árbol dioico que crece entre 5-10 m de altura, aunque en sus zonas de origen puede alcanzar más de 20 m, con el tronco derecho, hueco, produciendo con el tiempo raíces zancudas o contrafuertes; corteza lisa, gris claro, con grandes cicatrices circulares de las estípulas caídas y abundantes lenticelas. Esta especie es representativa de la zona intertropical americana y se extiende desde México hasta América del Sur, incluyendo las Antillas. Es común en clima cálido, aunque puede llegar a crecer a alturas de más de 2.000 metros en las laderas montañosas, en zonas conocidas como selva nublada o bosque nuboso. Es un árbol típico de la vegetación pionera, crece en los rastrojos, por lo que es ideal para proyectos de reforestación. Puede crecer en cualquier parte, incluyendo las paredes y pilares de cemento de los puentes y otras construcciones. (Marques, et.al, 2001 pág. 66)

Tiene ramas gruesas, horizontales. Ramillas huecas, tabicadas, con numerosas cicatrices anulares y lenticelas. Yemas de 10-12 cm de largo, cubiertas por una estípula pubescente, caediza. Hojas peltadas, redondeadas, coriáceas, de 30-40cm de diámetro, divididas en 7-11 lóbulos unidos cerca de la base, enteros o algo sinuosos; tienen el haz áspero al tacto, y el envés blanco-tomentoso, con la nervadura sobresaliente en el envés. Pecíolo de 30-50 cm de longitud, tomentoso.

Flores masculinas dispuestas en espigas, y éstas en grupos de 15 a 40, de 3-5 cm de longitud, sobre pedúnculos de 4-12 cm de largo, con espatas de 2,5-6,5 cm de longitud; flores femeninas dispuestas en espigas, y éstas en grupos de 4 a 5, de 4-7 cm de largo, sobre pedúnculos de 2-9 cm de largo, con espatas de 1,5-4 cm de longitud. Infrutescencia formada por numerosos aquenios muy pequeños junto con el perianto persistente (Fontaine, 2004)

2.2.9. Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C)

En la tabla siguiente se describirán las características generales que posee la planta denominada maní forrajero, misma que tendrá parte en la presente investigación.

Tabla 5-2. Generalidades del Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C)

Reino	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Género:	Arachis
Especie:	Pintoi

Fuente: (Vidal, y otros, 2010)

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

El Maní Forrajero es una leguminosa herbácea, perenne, de crecimiento rastrero y estolonífero. Tiene una altura entre 20 y 40 cm, posee raíz pivotante que crece hasta 30 cm de profundidad. Las hojas son alternas, compuestas, con cuatro folíolos aovados, de color verde claro a oscuro. El tallo es ramificado, circular, ligeramente aplanado, con entrenudos cortos y estolones que pueden llegar a medir hasta 1.5 m. de longitud. Presenta floración indeterminada y continua, las inflorescencias son axilares en espigas, con un tubo calicinal (hipanto) de color rojizo, pubescente y fistulado que sostiene el perianto y los estambres; en el interior de este tubo está el estilo. (Rincón, et.al, 1992)

El maní forrajero tiene alta variabilidad intraespecífica por lo que existe las posibilidades de identificar líneas de uso múltiple dentro de la especie. El género *Arachis* es originario de América del Sur y está restringido naturalmente a Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay.

Posee una adaptabilidad mejor a zonas entre 0 y 1800 msnm con una precipitación anual entre los 2000 a 3500 mm y con estación seca menor a 4 meses, pero también se ha adaptado adecuadamente en zonas de trópico húmedo con precipitaciones hasta de 4500 mm anuales. Maní forrajero en pierde sus hojas y estolones por desecamiento pero en el siguiente período de lluvias se presentan rebrotes y nuevas plantas emergidas del banco de semilla presente en el suelo. (Ventajas y limitaciones para el uso del maní forrajero perenne (*Arachis pintoi*) en la ganadería tropical, 2012)

Esta leguminosa crece bien en regiones tropicales desde el nivel del mar hasta 1800 m de altura, con 1500 a 3500 mm de precipitación anual bien distribuida. Se adapta bien a suelos de mediana fertilidad, tolera suelos ácidos con alta saturación de aluminio, comunes en las sabanas tropicales. Su mejor desarrollo y producción se obtiene en suelos de textura franca hasta arcillosa y con materia orgánica superior a 3%. Su tolerancia a la sequía es moderada. Tolerancia

bien la sombra, por lo cual puede usarse como cobertura del suelo en cultivos de café, palma africana, cítricos y cacao. No se recomienda su siembra en condiciones de bosque seco con precipitación inferior a 1500 mm, y no persiste en suelos arenosos en zonas con sequías prolongadas. (Rincón, et.al, 2011 pág. 99)

2.2.10. Actividad de la rizósfera

Las plantas alteran su rizósfera debido a la estimulación y regulación del crecimiento de distintas poblaciones de microbios naturales en el suelo; la alteración del pH del suelo; y a través de la segregación de enzimas y químicos considerables. La mayoría de las plantas secretan al suelo ácidos orgánicos como citratos, lactatos, malatos y otros más complejos como flavonoides; estas sustancias atraen y estimulan el crecimiento de distintas poblaciones de microorganismos, las cuales tienen diferentes efectos sobre la movilidad y toxicidad de varios contaminantes elementales (Pasivos Ambientales, 2003)

También se ha determinado que la acidez del suelo tiene un significativo impacto sobre la captura de nutrientes y de iones de metales tóxicos del suelo por parte de la planta, incluyendo Fe (III), Zn(II), Cu(II), Al(III), y Hg(II) (Guzman, 2007 pág. 103)

La capacidad de las plantas de acidificar el suelo circundante es el resultado directo de la producción fotosintética de compuestos de carbono reducido que pueden ser transportados debajo de la tierra; una vez el carbono reducido es transportado a la tierra, este se convierte en una fuente química de alto poder reductor, produciendo NADPH y ATP (Rincón, et.al, 1992 pág. 65)

La captación del elemento y transporte, tiene un mejor desempeño en sistemas de cortas distancias en las raíces, así como también que las vellosidades tengan numerosos transportadores endógenos. Es probable que en la raíz los transportadores para hierro, cobre, cinc, tomen iones mercúricos, que luego son transmitidos (junto a los nutrientes) de célula en célula (vía simplástica). Cabe destacar que periodos cortos de inanición de nutrientes como K⁺, Zn(II), Fe(II), fosfatos, hacen que las plantas tomen esos nutrientes más los tóxicos, a tasas mucho más altas que las raíces que no han sufrido la inanición (Reyes, y otros, 2008 pág. 405)

Se conoce que las raíces de las plantas, a través de sus vellos radicales y en especial su capa dérmica, son capaces de segregar enzimas, que condicionan el suelo. Las estructuras subcelulares de la epidermis de la raíz y sus células fronterizas están dominadas por membranas

ricas en sistemas de golgi y vesículas involucradas en el transporte macromolecular. En estas secreciones

están incluidas fitosideróforos de bajo peso molecular, como ácidos orgánicos y ácidos mugineicos que sueltan nutrientes firmemente limitados de la matriz de la tierra. La inanición de nutrientes induce la síntesis de algunas clases de sideróforos y la quelación de varios iones de elementos como hierro, zinc, cobre, cadmio, aluminio, arseniatos, fosfatos y mercurio, afectan su solubilidad y hacen de ellos más o menos disponibles para la captura por las plantas (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015)

2.2.11. Marco Legal

EN LA CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR (R.O. No. 449 del 20 de Octubre de 2008) se tiene:

- Título II. de los Derechos. Capítulo segundo: Derechos del Buen Vivir. Sección II Ambiente Sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Capítulo séptimo Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los

recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

- Título VII: Régimen del Buen Vivir. Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales. Sección quinta: Suelo

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

LEY DE MINERIA, Ley 45 Registro Oficial Suplemento 517 de 29-ene.-2009. Última modificación: 29-dic.-2014 Estado: Vigente.

- Título IV: De las Obligaciones de los Titulares Mineros. Capítulo I: De las Obligaciones en General

Art. 70.- Resarcimiento de daños y perjuicios. - Los titulares de concesiones y permisos mineros están obligados a ejecutar sus labores con métodos y técnicas que minimicen los daños al suelo, al ambiente, al patrimonio natural o cultural, a las concesiones colindantes, a terceros y, en todo caso, a resarcir cualquier daño o perjuicio que causen en la realización de sus trabajos. La inobservancia de los métodos y técnicas a que se refiere el inciso anterior se considerará como causal de suspensión de las actividades mineras; además de las sanciones correspondientes.

Capítulo II: De la Preservación del Ambiente

Art. 80.- Revegetación y Reforestación. - Si la actividad minera requiere de trabajos a que obliguen al retiro de la capa vegetal y la tala de árboles, será obligación del titular del derecho minero proceder a la revegetación y reforestación de dicha zona preferentemente con especies nativas, conforme lo establecido en la normativa ambiental y al plan de manejo ambiental. (Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica, 2009)

En el **Art. 85** menciona que el “Cierre de Operaciones Mineras.-En un plazo no inferior a dos” años previo al cierre o abandono total de operaciones para las actividades mineras de explotación, beneficio, fundición o refinación, el concesionario minero deberá presentar ante el Ministerio del Ambiente, para su aprobación, un Plan de Cierre de Operaciones que incluya la recuperación del sector o área, un plan de verificación de su cumplimiento, los impactos sociales y su plan de compensación y las garantías indicadas en la normativa ambientalvigente; así como, un plan de incorporación a nuevas formas de desarrollo económico”.

SEGÚN EL ACUERDO MINISTERIAL No. 028. Edición Especial N° 270 - Registro Oficial - viernes 13 de febrero de 2015

- Anexo 2: Del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados

Suelos contaminados

Los causantes y/o responsables por acción u omisión de contaminación al recurso suelo, por derrames, vertidos, fugas, almacenamiento o abandono de materiales peligrosos, deben proceder a la reparación de la zona afectada, considerando para el efecto los criterios de remediación de suelos contaminados que se encuentran en la presente norma.(Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015)

De la toma de muestras para caracterización de suelos

Se tomará una muestra compuesta por cada 100 hectáreas, formada por 15 a 20 submuestras georeferenciados, cada una con un peso no menor a 0.5 kg. Tomadas a una profundidad entre 0 a 30 cm. Las submuestras serán mezcladas y homogenizadas para obtener una muestra compuesta representativa del suelo, de la cual se tomará un peso de entre 0.5 y 1.0 kg., que servirá para realizar los análisis requeridos. Para los proyectos, obras o actividades menores a 100 hectáreas, se tomará una muestra compuesta bajo las condiciones detalladas en el párrafo que antecede. (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

- Coordenadas del laboratorio LABSU: 18 M 0278179 9948940 UTM
- Coordenadas del lugar de toma de muestras: 18M 0279263 9948509 UTM

3.1.1. Descripción del sitio de trabajo



Gráfico2 -3. Ubicación sitio de toma de muestras

Fuente: Google Earth

La toma de las muestras se realiza en la ciudad del Coca en la provincia de Orellana, de cuyo lugar de ubicación datan las siguientes coordenadas: 18M 0279263 9948509 UTM



Gráfico3 -3. Ubicación Laboratorio LABSU

Fuente: Google Earth

El análisis de las muestras se realizó en laboratorio LABSU, ubicado en la ciudad del Coca en la provincia de Orellana.

3.1.2. Tipo y Diseño de Investigación

El tipo de investigación es descriptiva y exploratoria, su diseño es experimental, a continuación, se describen cada uno de ellos para una mejor comprensión.

El diseño experimental: Este diseño se realizó mediante la metodología que describe tomar muestras al azar mediante ensayos, a esto adicionándole un blanco control con el objetivo de establecer la diferencia de biorremediación de suelo en relación al tipo de especie y concentración. Se utilizó un diseño factorial, teniendo como variable respuesta la concentración de mercurio (Hg) en el suelo y como factores: tipo de sustrato, especie vegetal y concentración.

Para la evaluación del maní forrajero y guarumo en los sustratos de café y cacao se utilizó una cinta métrica para medir la altura y el diámetro de las especies vegetales cada 15 días.

Con el objetivo de diagnosticar el comportamiento de maní forrajero y guarumo en los suelos contaminados se tomó en cuenta el número de hojas por especie y sustrato así como el número de mortalidad de las plantas y el número de hojas con clorosis, cada mes.

Finalmente al cabo de los cuatro meses del proceso experimental y para determinar el tipo de especie que tiene mayor disminución de Hg., se tomaron muestras al azar para analizar en el laboratorio.

La investigación descriptiva: Este tipo de investigación se aplicó debido a la necesidad de describir los fenómenos y responder a los cuestionamientos de como aparecen, como se manipularon las variables, además de dar una descripción general de todos los datos recabados en el presente estudio.

La investigación exploratoria: El presente estudio se rigió mediante la tipología de investigación exploratoria ya que de esta manera las interrogantes propuestas tuvieron respuesta y esto fue de gran ayuda ya que aumentó el grado de familiaridad con los fenómenos relativamente desconocidos, de esta manera se obtuvo información veraz y oportuna, características que ayudaron a obtener la posibilidad de aportar en investigaciones que se desarrollen en lo posterior con un enfoque similar.

3.1.3. *Unidad de Análisis*

La unidad de análisis fue el suelo contaminado donde se plantaron las especies de *Maní forrajero* (*Arachis pintoi* W.C) y Guarumo (*Cecropia Peltata* L)

3.1.4. *Población de Estudio y muestra*

La población de estudio a ser tomada en consideración para la presente investigación fueron los suelos contaminados con mercurio a nivel laboratorio y 80 plántulas de *Maní forrajero* (*Arachis pintoi* W.C) y Guarumo (*Cecropia peltata* L).

Dentro del modelo lineal, se desarrollaron los resultados expuestos en el proceso experimental y con objeto de determinar el procedimiento de análisis de información se tuvo como base la siguiente tabla, en la que se clarificó la significación de cada abreviación utilizada en las tablas siguientes.

Tabla 6-3. Tabla de significación de abreviaturas empleadas

FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
PLANTAS	SUSTRATO	CONCENTRACIÓN
GUARUMO= (G)	CACAO=(CC)	0 ó (blanco)
MANÍ FORRAJERO =(MF)	CAFÉ=(CF)	7 ppm de mercurio

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

De esta manera se asignó las abreviaturas que se darán para el estudio, y se procedió a realizar el diseño factorial estadístico de la toma de muestras en donde se utilizó la siguiente fórmula:

$$N^F = 2^3 = 8 * 10 = 80$$

Dónde:

N= niveles; que en este caso son 2 niveles en general de los tres factores.

F= factores; que son planta, sustrato, concentración.

10= número de plantas; 5 plantas de MF y 5 plantas G.

Tras resolver la fórmula con los datos planteados, se estableció como resultado un total de 80 plantas, que representan la población de estudio, para un análisis preliminar en cuanto a sustrato y concentración. Posteriormente de las 80 plantas establecidas como población, se tomaron aleatoriamente 27 plantas que sirvieron de muestra para el análisis, las cuales se identifican a continuación:

Tabla 7-3. Clasificación de la muestra por planta, sustrato y concentración

MANÍ FORRAJERO			
# EXP	PLANTA	SUSTRATO	CONCENTRACIÓN
1	MF	CC	0
2	MF	CC	0
3	MF	CC	0
4	MF	CC	0
5	MF	CC	0
6	MF	CF	0
7	MF	CF	0
8	MF	CF	0
9	MF	CF	0
10	MF	CC	7
11	MF	CC	7
12	MF	CF	7
13	MF	CF	7
14	MF	CF	7
GUARUMO			
# EXP	PLANTA	SUSTRATO	CONCENTRACIÓN
15	G	CC	0
16	G	CC	0
17	G	CC	0
18	G	CF	0
19	G	CF	0
20	G	CC	7
21	G	CC	7
22	G	CC	7
23	G	CC	7
24	G	CF	7
25	G	CF	7
26	G	CF	7
27	G	CF	7

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Se puede observar que, de las 14 plantas de maní forrajero, 7 de ellas se desarrollaron en un sustrato de cacao y los 7 restantes en un sustrato de café, el nivel de concentración; 9 de las plantas de maní forrajero fue de cero ppm de mercurio, mientras que los 5 restantes poseen una concentración de 7 ppm de mercurio.

De las 13 plantas de Guarumo, 7 de ellas se desarrollaron en sustrato de cacao y 6 en sustrato de café, en cuanto al nivel de concentración; 5 de las especies poseen concentración cero y las 8 restantes poseen concentración de 7 ppm de mercurio.

3.1.5. *Técnicas de Recolección de Datos*

En primera instancia se utilizó la técnica de observación directa con el objetivo de evaluar el crecimiento de las especies en los sustratos, diagnosticar el comportamiento de maní forrajero y guarumo en suelos contaminados con mercurio y para determinar cuál de las dos plantas permite una mayor disminución de mercurio se enviaron las respectivas muestras al azar al laboratorio.

3.2. Marco Experimental

3.2.1. *Desarrollo de procedimientos*

3.3.1.1 *Recolección de los sustratos*

Los sustratos fueron adquiridos de manera comercial, por lo cual las cáscaras de café se recolectaron en la Piladora de Café Rural; ubicada en la vía Francisco de Orellana – Dayuma km 3, y la cáscara de cacao en las fincas agrícolas de la zona.

3.3.1.2 *Recolección de las especies*

Las especies *Maní forrajero* (*Arachis pintoi* W.C) y Guarumo (*Cecropia peltata* L) fueron recolectadas en la región Amazónica del Ecuador, directamente en la ciudad del Coca, la recolección se dio en zonas de bosque ya que las especies en estudio crecen de forma natural en estos lugares, debido a que son plantas que se desarrollan muy fácilmente y en abundancia por ser especies nativas y su regeneración natural es viable.

En el momento de la recolección, las dos especies mencionadas poseían alturas diferentes, pero se procuró que cada especie tenga una altura promedio, así las plantas de Guarumo poseían una

altura de 29 a 30 centímetros, mientras que las plantas de Maní Forrajero tenían una altura de 12 centímetros al inicio del proceso de experimentación.

3.3.1.3 Siembra, período de adaptabilidad de las plantas a los sustratos

El proceso de siembra se realizó en fundas de polietileno negras de 1lb., con una proporción de 50% suelo, 30% sustrato y 20% arena, para cada especie.

Inicialmente el proceso de adaptación de las plántulas se llevó a cabo por 8 semanas en un suelo libre de Hg, el seguimiento dado a esta etapa constó principalmente de racionar el volumen de agua por día, el crecimiento de las plantas. En este proceso las plantas recolectadas se adaptaron a dos tipos de sustratos los cuales como se mencionó con anterioridad fueron cáscara de cacao y cáscara de café; sustratos aplicados para proporcionar fortalecimiento y crecimiento, debido a sus propiedades características que aportan nutrientes al suelo.

3.3.1.4 Contaminación y análisis inicial del suelo en el laboratorio

En el pre-tratamiento se tomó una muestra del suelo previamente contaminado en el laboratorio, utilizando cálculos de magnitudes proporcionales y de concentración y volumen, logrando una concentración de 6,49ppm de mercurio.

3.3.1.5 Trasplante de las plantas al suelo contaminado

En esta etapa al culminar las 8 semanas de adaptabilidad de las plantas a los sustratos, se trasplantó al suelo contaminado, colocando 0.6 kg de suelo contaminado a 6,49 ppm. En las fundas de polietileno previamente llenadas con el suelo contaminado; se procedió a realizar el trasplante, para lo cual se realizaron agujeros a las fundas ejerciendo presión sobre las mismas.

3.3.1.6 Seguimiento a los tratamientos

Se identificó cada planta con un código numérico con el fin de facilitar el seguimiento. El seguimiento de las plantas se realizó cada mes durante 4 meses para Guarumo (*Cecropia Peltata* L) y para Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C) sobre las características morfológicas como: número de hojas, número de hojas con clorosis y mortalidad. Tomando en cuenta que este control se hizo con la finalidad de observar el comportamiento de las especies en los suelos contaminados, la comparación se hizo con plantas del tratamiento control, el riego se hizo dos veces al día, usando una cantidad estimada de 0.04 L/planta.

Con la finalidad de evitar alteraciones en la concentración de Hg en el suelo y para conservar las características del diseño, se realizó una reposición de cada planta que murió durante los primeros 30 días.

3.3.1.7 Selección de las muestras

Tras 4 meses, se procedió a realizar el muestreo para culminar con la etapa experimental, tomando aleatoriamente 27 muestras para posteriormente llevarlas al laboratorio LABSU, donde serían analizadas para comprobar los resultados en base a los objetivos planteados.

Toma de muestra de suelo en el ensayo.

La toma de muestras de los suelos se realizó de la siguiente manera:

Transcurridos los 4 meses para el *maní forrajero (Arachis pintoi W.C)* y Guarumo (*Cecropia Peltata L*) en el proceso de biorremediación del suelo se procedió a retirar todas las plantas de las fundas; posteriormente se procedió a tomar las muestras de suelo contaminado a una profundidad de 10 cm, cada muestra tuvo una cantidad de 100 gr de suelo. Para el muestreo se dispuso de las medidas de seguridad necesarias para no contaminarse con el metal, como por ejemplo: uso de guantes, mandil y manipulación correcta de las muestras.

Etiquetado de la muestra

La muestra se etiquetó de la siguiente manera: código de la muestra, lugar, fecha y hora del muestreo, cantidad de la muestra, nombre de la persona que realizó el muestreo.

Envío de muestras al laboratorio

El análisis final de las muestras tomadas se realizó en el laboratorio LABSU (Ilustración 20-8), el tiempo de traslado de las muestras al laboratorio fue de 15 minutos

3.3.1.8 Tratamiento estadístico

Se realizó un análisis de varianza con la prueba de Tukey para establecer si existen diferencias significativas en la reducción de Hg, con Guarumo (*Cecropia Peltata L*) y Maní forrajero (*Arachis pintoi W.C*) con el uso del software SPSS.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1 *Seguimiento de las especies para evaluar el crecimiento en los sustratos*

En las tablas 8-4 y 9-4 se presenta la información obtenida de la observación directa del crecimiento y evolución de las especies de Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C) y Guarumo (*Cecropia peltata* L) en lo que corresponde a altura, diámetro, procedimiento que se realizó cada 15 días, con el fin de dar un seguimiento y cumplir con el primer objetivo trazado en la presente investigación.

4.1.1.1. *Resultados del seguimiento de la especie de Maní forrajero en sustrato de cacao y café*

Se observa que para la primera quincena en lo que se refiere a la altura de las plantas existió diferencia respecto al Maní forrajero en sustrato de cacao de 0.5 cm de altura y no hubo diferencia en el diámetro; respecto al Maní forrajero en sustrato de café hubo una diferencia de 0.3 cm de altura y no hubo diferencia en el diámetro, para la cuarta y última quincena la diferencia es de 2.1 cm de altura para maní forrajero en sustrato de cacao; en lo que tiene que ver diámetro existe una diferencia de 0.2 cm; respecto al maní forrajero en sustrato de café existe una diferencia de altura de 1.4 cm, en lo que tiene que ver al diámetro existe una diferencia de 0.15 cm. Dando como promedio de altura de 1.03 cm y un diámetro de 0.15 cm para maní forrajero en sustrato de cacao y un promedio de altura de 0.75 cm y un diámetro de 0.1 cm para maní forrajero en sustrato de café.

En la tabla 8-4 se presenta los resultados obtenidos en el proceso de observación durante un tiempo estimado de 2 meses.

Tabla 8-4. Seguimiento de Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C), en sustratos de café y cacao, en el período de dos meses.

MANÌ FORRAJERO-CACAO				
ALT	12,2	SIEMBRA	PROMEDIO ALTURA (Cm)	PROMEDIO DIÁMETRO (Cm)
DMT	0,5			
ALT	12,7	1ERA QUINCENA	0,5	0
DMT	0,5			
ALT	13,1	2DA QUINCENA	0,4	0,2
DMT	0,7			
ALT	14,2	3ERA QUINCENA	1,1	0,2
DMT	0,9			
ALT	16,3	4TA QUINCENA	2,1	0,2
DMT	1,1			
PROMEDIO GENERAL			1,03	0,15
MANÌ FORRAJERO-CAFÈ				
ALT	12,2	SIEMBRA	PROMEDIO ALTURA (Cm)	PROMEDIO DIÁMETRO (Cm)
DMT	0,5			
ALT	12,5	1ERA QUINCENA	0,3	0
DMT	0,5			
ALT	13	2DA QUINCENA	0,5	0,16
DMT	0,66			
ALT	13,8	3ERA QUINCENA	0,8	0,09
DMT	0,75			
ALT	15,2	4TA QUINCENA	1,4	0,15
DMT	0,9			
PROMEDIO GENERAL			0,75	0,1

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

4.1.1.2 Resultados del seguimiento de la especie de Guarumo (*Cecropia peltata* L.) en sustrato de cacao y café.

Se observa que para la primera quincena en lo que se refiere a la altura de las plantas existe diferencia respecto al Guarumo en sustrato de cacao de 1.01cm de altura y hubo una diferencia en el diámetro de 0.12cm; respecto al Guarumo en sustrato de café hubo una diferencia de 0.7 cm de altura y un diámetro de 0.04cm, para la cuarta y última quincena la diferencia es de 2.7cm de altura para Guarumo en sustrato de cacao en lo que tiene que ver diámetro existe una diferencia de 0.27cm; respecto al Guarumo en sustrato de café existe una diferencia de altura de 1.5 cm, respecto al diámetro existe una diferencia de 0.23 cm. Dando como promedio de altura de 1.95cm y un diámetro de 0.18cm para guarumo en sustrato de cacao y un promedio de altura de 1.63cm y un diámetro de 0.16cm para guarumo en sustrato de café.

En la tabla 9-4 se presenta los resultados obtenidos en el proceso de observación durante un tiempo estimado de 2 meses.

Tabla 9-4. Seguimiento de Guarumo (*Cecropia peltata* L) en sustrato de cacao y café en el periodo de dos meses.

GUARUMO-CACAO				
ALT	30,4	SIEMBRA	PROMEDIO ALTURA (Cm)	PROMEDIO DIÀMETRO (Cm)
DMT	2,76			
ALT	31,41	1ERA QUINCENA	1,01	0,12
DMT	2,88			
ALT	32,6	2DA QUINCENA		
DMT	3,05		1,19	0,17
ALT	35,5	3ERA QUINCENA		
DMT	3,21		2,9	0,16
ALT	38,2	4TA QUINCENA		
DMT	3,48		2,7	0,27
PROMEDIO GENERAL			1,95	0,18
GUARUMO-CAFÉ				
ALT	29,4	SIEMBRA	PROMEDIO ALTURA (Cm)	PROMEDIO DIÀMETRO (Cm)
DMT	2,76			
ALT	30,1	1ERA QUINCENA	0,7	0,04
DMT	2,8			
ALT	31,5	2DA QUINCENA		
DMT	2,9		1,4	0,1
ALT	34,4	3ERA QUINCENA		
DMT	3,15		2,9	0,25
ALT	35,9	4TA QUINCENA		
DMT	3,38		1,5	0,23
PROMEDIO GENERAL			1,63	0,16

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

En referencia a la evaluación del crecimiento del maní forrajero y guarumo, con el uso de los sustratos de cáscara de cacao y café, se pudo evidenciar que tras dos meses, el guarumo creció en promedio entre 35 a 38 cm en altura y el diámetro fue de 3 a 3.5 cm, mientras que el maní forrajero creció entre 15 a 16.5 cm de altura y de diámetro creció entre 1 a 1.5 cm; concluyendo que los sustratos de cacao generan un mayor desarrollo tanto en las plantas de guarumo como de maní forrajero, ya que se observó que las plantas crecieron más frondosas, grandes y fuertes,

mientras que las plantas que tenían sustrato de café, presentaron características de crecimiento lento.

4.1.1.3. Resultados del seguimiento de la especie de Maní forrajero para diagnosticar el comportamiento en los suelos contaminados.

En el primer mes, para el maní forrajero con cacao presento mayor número de hojas, no existió mortalidad y hubo menor número de hojas con clorosis, a diferencia de maní forrajero con café que presentó menor número de hojas, con una mortalidad de dos plantas y mayor número de hojas con clorosis, al cabo del cuarto mes el maní forrajero en sustrato de cacao obtuvo un mayor número de hojas, cero mortalidad y menor número de hojas con clorosis, a diferencia del maní forrajero en sustrato de café que tuvo menor número de hojas, cero mortalidad y mayor número de hojas con clorosis.

En la tabla 10-4 se presentan los resultados obtenidos en el proceso de diagnóstico durante un tiempo estimado de 4 meses.

Tabla 10-4. Diagnóstico del comportamiento de maní forrajero en suelos contaminados

MANÍ FORRAJERO (CAFÉ-CACAO)			
MF-CF	MF-CC	Criterios Observados	
26	30	Nº de hojas	TRANSPLANTE
0	0	Mortalidad	
7	7	Nº de hojas con clorosis	
32	35	Nº de hojas	PRIMER MES
2	0	Mortalidad	
11	10	Nº de hojas con clorosis	
40	47	Nº de hojas	SEGUNDO MES
0	0	Mortalidad	
15	13	Nº de hojas con clorosis	
58	62	Nº de hojas	TERCER MES
0	0	Mortalidad	
17	15	Nº de hojas con clorosis	
68	74	Nº de hojas	CUARTO MES
0	0	Mortalidad	
17	15	Nº de hojas con clorosis	

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017

4.1.1.3. Resultados del seguimiento de la especie de Guarumo para diagnosticar el comportamiento en los suelos contaminados.

En el primer mes, para el guarumo con cacao presento mayor número de hojas, no existió mortalidad y hubo igual número de hojas con clorosis, a diferencia de guarumo con café que presentó menor número de hojas, no existió mortalidad de plantas e igual número de hojas con clorosis, al cabo del cuarto mes el guarumo en sustrato de cacao obtuvo un mayor número de hojas, cero mortalidad y menor número de hojas con clorosis, a diferencia del guarumo en sustrato de café que tuvo menor número de hojas, cero mortalidad y mayor número de hojas con clorosis.

En la tabla 8-4 se presentan los resultados obtenidos en el proceso de diagnóstico durante un tiempo estimado de 4 meses.

Tabla 11-4. Diagnóstico del comportamiento de guarumo en suelos contaminados.

GUARUMO (CAFÉ-CACAO)			
G-CF	G-CC	Criterios Observados	
4	5	Nº de hojas	TRANSPLANTE
0	0	Mortalidad	
1	1	Nº de hojas con clorosis	
6	7	Nº de hojas	PRIMER MES
0	0	Mortalidad	
2	2	Nº de hojas con clorosis	
6	8	Nº de hojas	SEGUNDO MES
0	0	Mortalidad	
3	3	Nº de hojas con clorosis	
7	9	Nº de hojas	TERCER MES
0	0	Mortalidad	
4	3	Nº de hojas con clorosis	
8	10	Nº de hojas	CUARTO MES
0	0	Mortalidad	
3	2	Nº de hojas con clorosis	

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Respecto al diagnóstico del comportamiento del guarumo y maní forrajero, en los suelos contaminados con mercurio en condiciones controladas a nivel laboratorio; es importante manifestar que después de haber realizado el proceso de trasplante al suelo contaminado, se observó que no existieron muertes de las plantas de guarumo, pues presentaron características de adaptabilidad bastante fuertes; además se pudo observar características de contaminación en las plantas que fueron sembradas en sustrato de café ya que presentaron mayor número de hojas

con clorosis; en las plantas de Maní Forrajero que crecieron con ambos sustratos presentaron características amarillentas en las hojas.

En relación a la evaluación respecto a cuál de las dos plantas permiten una mayor disminución de mercurio en los suelos analizados; se evidenció que el Guarumo (*Cecropia peltata* L) redujo más el nivel de contaminación de Hg en el suelo, es posible que se deba a que esta especie presentó un sistema radicular mucho más extenso y ramificado; se presume una mayor absorción y asimilación del contaminante en relación al Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C), especie que en comparación presenta un sistema radicular inferior en lo que a estructura y morfología se refiere.

4.1.2 Análisis de muestras en el laboratorio

Como ya se manifestó anteriormente, de la población de 80 plántulas se tomaron 27 muestras de manera aleatoria, consiguientemente se puede observar en las tablas 9-4, 10-4, 11-4, 12-4 los resultados emitidos por el laboratorio LABSU.

Tabla 12-4. Concentración de mercurio en muestra de Maní Forrajero – Sustrato de Cacao.

N° Tratamiento	Análisis solicitados	Unidad	s 12 901	Criterio de calidad de suelo	PRE-LABSU	Método/Norma Referencia
1	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
2	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
3	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
4	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
5	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
6	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
7	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
8	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
9	MERCURIO	mg/Kg	4,12	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
10	MERCURIO	mg/Kg	4,11	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
11	MERCURIO	mg/Kg	4,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B

Fuente: Laboratorio LABSU

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017

Tabla 13-4. Concentración de mercurio en muestra de Maní Forrajero – Sustrato de Café.

N° Tratamiento	Análisis solicitados	Unidad	s 12 912	Criterio de calidad de suelo	PRE-LABSU	Método/Norma Referencia
1	MERCURIO	mg/Kg	4,01	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
2	MERCURIO	mg/Kg	4,04	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
3	MERCURIO	mg/Kg	4,18	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B

Fuente: Laboratorio LABSU

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Tabla 14-4. Concentración de mercurio en muestra de Guarumo – Sustrato de Cacao.

N° Tratamiento	Análisis solicitados	Unidad	s 12 915	Criterio de calidad de suelo	PRE-LABSU	Método/Norma Referencia
1	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
2	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
3	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
4	MERCURIO	mg/Kg	3,05	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
5	MERCURIO	mg/Kg	3,02	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
6	MERCURIO	mg/Kg	3,09	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
7	MERCURIO	mg/Kg	3,08	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B

Fuente: Laboratorio LABSU

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Tabla 15-4. Concentración de mercurio en muestra de Guarumo – Sustrato de Café.

N° Tratamiento	Análisis solicitados	Unidad	s 12 918	Criterio de calidad de suelo	PRE-LABSU	Método/Norma Referencia
1	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
2	MERCURIO	mg/Kg	<0,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
3	MERCURIO	mg/Kg	3,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
4	MERCURIO	mg/Kg	3,07	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
5	MERCURIO	mg/Kg	3,10	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B
6	MERCURIO	mg/Kg	3,09	0,1	PRE-LABSU-06/11	EPA 3050B; SM 3030B, 3111B

Fuente: Laboratorio LABSU

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Al revisar los resultados obtenidos con los análisis de laboratorio posterior a un tiempo de 17 semanas, es necesario realizar un cálculo que describa el nivel de descontaminación porcentual existente en cada caso, con el fin de establecer la planta y sustrato de mayor incidencia, para lo cual se tiene lo siguiente:

Tabla 16-4. Análisis para determinar si el Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C) o Guarumo (*Cecropia peltata* L) permiten una mayor disminución de mercurio en los suelos analizados.

PRE-TRATAMIENTO (SUELO BLANCO)	POS-TRATAMIENTO (EN SUELO CONTAMINADO)				
Concentración inicial de mercurio	Planta sustrato	RESULTADOS DEL LABORATORIO	CAPACIDAD DE DISMINUCIÓN DE MERCURIO		
		Promedio de concentración (ppm) de mercurio (Hg)	Concentración en (ppm)	Concentración (ppm) por especie	%
6,49	MF-CC	4,12	2,37	2,40	36,90
	MF-CF	4,07	2,42		
	G-CC	3,06	3,43	3,42	52,62
	G-CF	3,09	3,4		

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Al analizar los promedios obtenidos en la concentración de Hg en cada planta y sustrato, se observa que el Guarumo presenta un 52,62% de disminución de concentración de Hg, es decir, partiendo de las muestras contaminadas que presentan una concentración de 6.49ppm de mercurio, existe una reducción considerable de 3,42ppm de mercurio; a diferencia del Maní forrajero que tuvo un 36.9% de disminución en la concentración de mercurio y una reducción de 2.40 ppm de mercurio; concluyendo que el Guarumo con cacao ocafé son la mejor combinación para la biorremediación; resultados que se pueden contrastar con el estudio denominado “Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando Guarumo (*Cecropia peltata*L), donde se pudo concluir que las tasas de remoción de Hg en el suelo estuvieron entre 15.7% y 33.7 %, en cuatro meses de crecimiento de la planta; evidenciando que en el presente estudio se obtuvo una mayor biorremediación. Teniendo en cuenta que según la “Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados” en la tabla N° 3 estos suelos podrían tener un uso comercial o industrial.

4.1.2.1 Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico se utilizó el Software SPSS, de tal modo que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 17-4. Tabla de resultados Tukey.

(I) Muestras	(J) Muestras	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
MF-CC	MF-CF	,04333	,03783	,672
	G-CC	1,06000*	,03539	,000
	G-CF	1,03000*	,03539	,000
MF-CF	MF-CC	-,04333	,03783	,672
	G-CC	1,01667*	,03539	,000
	G-CF	,98667*	,03539	,000
G-CC	MF-CC	-1,06000*	,03539	,000
	MF-CF	-1,01667*	,03539	,000
	G-CF	-,03000	,03276	,797
G-CF	MF-CC	-1,03000*	,03539	,000
	MF-CF	-,98667*	,03539	,000
	G-CC	,03000	,03276	,797

Fuente: SPSS

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Tabla 18-4. Tabla de resultados de Mercurio

Mercurio

HSD Tukey^{a,b}

Muestras	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
G-CC	4	3,0600	
G-CF	4	3,0900	
MF-CF	3		4,0767
MF-CC	3		4,1200
Sig.		,831	,626

Fuente: SPSS

Elaborado por: Muñoz Lilibeth, 2017.

Los resultados de la prueba estadística nos indican que los tratamientos MF-CC (Maní Forrajero-cacao) con G-CC (Guarumo-cacao) y G-CF (Guarumo-café) son diferentes significativamente. Además el tratamiento MF-CF (Maní forrajero-café) presenta diferencia significativa con el tratamiento G-CC (Guarumo-cacao) y G-CF (Guarumo-café).

Entre el tratamiento MF-CC (Maní Forrajero-cacao) y MF-CF (Maní forrajero-café) no hay diferencia significativa; así como entre los tratamientos G-CC (Guarumo-cacao) y G-CF (Guarumo-café).

Por lo que se concluye que los tratamientos G-CC (Guarumo-cacao) y G-CF (Guarumo-café) son los mejores, por cuanto permite una menor reducción de Hg, en los suelos contaminados a nivel de laboratorio.

La Organización de las Naciones Unidas (FAO, s.f.) menciona que el Guarumo (*Cecropia peltata*L)“Se adapta bien a diversos ambientes tropicales que van desde 0 hasta 1,300 m de altitud y precipitación desde 2 000 a 5 500 mm, bien distribuidas en el año o con sequías menores de cuatro meses. Crece mejor en suelos franco-arenosos y franco-arcillosos”, a diferencia de la planta de Guarumo que en el estudio realizado murió al no presentar adaptación suficiente al medio ambiente.

4.2 Discusión

Bajo el conocimiento de los resultados obtenidos, a continuación se establecerá información relacionada con el presente estudio, con el fin de establecer las razones por las cuales se escogieron las plantas para el desarrollo de la investigación, así como sus beneficios y los perjuicios del mercurio; para de este modo demostrar que la investigación desarrollada es válida y servirá como herramienta para estudios posteriores.

En Ecuador, existen muy pocos estudios enfocados en los efectos de la fitorremediación de suelos contaminados por mercurio, o por otro tipo de elemento. Lo que lleva a plantear este tipo de estudio para con ello comprobar si los resultados obtenidos en otras investigaciones tanto a nivel nacional como internacional. Se ha logrado obtener de la revisión de los diferentes estudios la metodología y los parámetros a usar para el desarrollo de esta investigación.

Así partiendo desde el conocimiento que plantean los autores Millán, R. et., al., del artículo científico denominado “Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén”; en donde se especifica los efectos dañinos que se producen a causa del mercurio, y la lenta restauración que tiene el suelo al verse contaminado con este tipo de metales; se concuerda totalmente con dicho estudio pues se pudo evidenciar en el proceso de contaminación a nivel laboratorio que se realizó en la presente investigación, ya que ningún macroinvertebrado estuvo presente en el suelo contaminado, dando clara evidencia de que el desarrollo del suelo no fue el habitual, no siendo así en el suelo que no poseía contaminación, en donde se visualizaron macroinvertebrados mismos que se desarrollaron con total normalidad.

De igual manera en el estudio: “Evaluación de la *Medicago Sativa L* (alfalfa), Guarumo (*Cecropia Peltata L*) y Maní forrajero (*Arachis pintoi W.C*) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en las riberas del río Nambija, Barrio Puente Azul, Cantón Zamora” del autor León, I.; la especie Maní forrajero (*Arachis pintoi W.C*) se adaptó a este tipo de suelo y fue la que demostró mejor desarrollo que las otras especies, así como mayor descontaminación en el suelo .

De acuerdo a ello y en comparación con la especie de Maní Forrajero utilizada para el presente estudio, el proceso de bioacumulación ocasionó que la planta se seque, sus raíces no se desarrollaron de acuerdo al crecimiento habitual como se observa en la ilustración 31-8, en el capítulo de anexos; ya que a través de los análisis de laboratorio y al hacer una comparación con las raíces de Guarumo, las raíces de las plantas de maní forrajero se desarrollaron mucho menos de lo habitual; por lo tanto requiere de mayor riego de agua, y al ser utilizar una sola medida de agua tanto para guarumo como para maní forrajero, la planta produjo señales de mortalidad, lo cual se pudo evitar aumentando la cantidad de agua en su riego; este procedimiento no permite un proceso de fitorremediación adecuado, ya que para ello la planta debe ser lo suficientemente fuerte para adaptarse y subsistir; siendo inconsistente los resultados al comparar con el artículo científico mencionado, pues la planta de maní forrajero en esta ocasión no reaccionó adecuadamente al tratamiento y con el fin de finalizar el proceso de experimentación se utilizó métodos que no estaban contemplados como el riego de agua, y se abonó a la planta con compost, dotándole de nutrientes extra a la planta para que esta no muera.

Así mismo en el artículo científico “Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando Guarumo (*Cecropia peltata L*) de los autores Vidal, J.et. al.; se determina al Guarumo como una planta que posee gran potencial en cuanto a efectos de fitorremediación.

De acuerdo a la investigación realizada se puede determinar que el Guarumo es una especie que posee grandes características de acumulación en cuanto a mercurio se refiere, siendo la raíz la parte de la planta que presenta un mayor proceso de acumulación, así como sus hojas y tallo. La capacidad de acumulación se la relaciona con el tamaño y morfología de la raíz, lo cual después de haber realizado los estudios pertinentes, y comparar con las raíces de las plantas de maní forrajero, es posible suponer que las raíces por su crecimiento y características, nos pueden indicar el grado de contaminación de los suelos, la cual se incrementa de acuerdo al crecimiento del guarumo, ver ilustración 30-8 en el capítulo de anexos; además la presencia de clorosis que se presentó en las hojas, es decir en la epidermis de la planta, fue debido a un proceso de defensa a los efectos tóxicos adversos que genera el mercurio en las partes superiores de la

planta. Estando en total acuerdo con el artículo científico en donde señala al guarumo como una planta que posee un efecto fitorremediador óptimo.

Así mismo se para la elección de los sustratos utilizados se tomó información de la conferencia de la Comisión Europea en la Conferencia; Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo, (2003); en donde se manifiesta que la cascara de café ayuda a dotar al suelo de nutrientes importantes para su desarrollo. (Conferencia; Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo, 2003) Además se ha considerado el uso del sustrato de cacao debido al artículo científico “Aprovechamiento de los desechos de cacao (*Theobroma cacao L.*)”, de los autores Crescente, O., et. al., quienes mencionan que después de analizar químicamente cáscaras de cacao presentan un porcentaje de proteínas (8,69 %), grasas (1 ,40 %), materia orgánica (60,1 4 %) y minerales, mismos que son benéficos y de gran ayuda para su desarrollo. (Aprovechamiento de los desechos de cacao (*Theobroma cacao L.*) , 2010)

Es por ello que comparando con el presente estudio, se coincide con los artículos científicos al establecer que ambos sustratos fueron de gran ayuda para fortalecer las plantas, y por ello el haberlas utilizado en el proceso de experimentación conlleva a dar una pauta, para que en estudios posteriores a gran escala se tome en consideración a estos dos sustratos como fuente importante de nutrientes.

CONCLUSIONES

- El guarumo y el maní forrajero obtuvieron un mayor crecimiento y diámetro sembrados en sustrato de cacao. Obteniendo los siguientes resultados: guarumo con sustrato de cacao un promedio de: 1,95cm de altura, 0,18 cm diámetro; guarumo con sustrato de café un promedio de: 1,63 cm de altura, 0,16 diámetro y maní forrajero sembrado con sustrato de cacao un promedio de: 1,03 cm de altura, 0,15 diámetro y maní forrajero con sustrato de café un promedio de: 0,75 cm de altura, 0,1 cm diámetro.
- Se estableció que el Guarumo (*Cecropia peltata* L) tuvo mejor adaptabilidad en suelos contaminados con mercurio en condiciones controladas a nivel laboratorio debido a que no existió mortalidad, en comparación al Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C) que durante el ensayo hubo una mortalidad de dos plantas y mayor número de hojas amarillentas.
- Se determinó que el Guarumo (*Cecropia peltata* L), proveniente del sustrato de cacao o café presentó resultados de mayor biorremediación, presentando una media de disminución de 3,42 ppm que equivale a 52,62% de mercurio, en comparación al Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C) que presentó una media de 2,4 ppm que corresponde al 36,90 % de mercurio.
- El mejor sustrato para el crecimiento de las especies fue las cascaras de cacao y el Guarumo (*Cecropia peltata* L) adquirió mayor biorremediación y adaptabilidad en suelos contaminados con mercurio en condiciones controladas en relación al Maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C)

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones de este tipo, realizar un proceso que siga una metodología estricta, con el objetivo de evitar posibles alteraciones en los resultados, es importante que al evaluar el crecimiento de las plantas se sigan tomando notas adicionales que ayuden a corroborar los cambios producidos.
- Es de gran importancia realizar un estudio in situ, con el propósito de analizar el comportamiento y la capacidad de biorremediación sin que se tenga que intervenir a nivel laboratorio en ninguno de los procedimientos, es decir en condiciones naturales para poseer estudios comparativos y establecer cuál es la mejor opción.
- Se recomienda realizar un plan de biorremediación de suelos contaminados con mercurio utilizando Guarumo (*Cecropia petalata* L), para zonas alteradas por actividad minera.
- Se recomienda en estudios posteriores analizar las plantas para conocer en qué parte de su morfología acumulan mayor cantidad de contaminante, y de esta manera conocer más a fondo el sistema de bioacumulación que posee cada una de las plantas en mención.

BIBLIOGRAFÍA

ADRIANO, D. 2001.*Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals.* . New York : Springer Verlag, 2001.

CRESCENTE, O., ACOSTA, M. GUEVARA, M. Y ESTABA, A. 2010.*Aprovechamiento de los desechos de cacao (Theobroma cacao L.)* .Venezuela : Universidad de Maracaibo, 2010.

EBINGHAUS, R. Y MUNTHE, J. 2003.*Distribution of atmospheric mercury species in Northern Europe.* Cánada : Atmospheric Environment, 2003. págs. 9-20.

ECUADOR. Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2015 .*Acuerdo Ministerial N° 028, Libro VI de la Calidad Ambiental.* . Quito : Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015 .

ECUADOR. Ministerio del Ambiente Ecuador. 2015.*Norma Técnica Ambiental Ecuatoriana - Suelo.* Orellana : s.n., 2015.

ECUADOR. Universidad Tecnológica Equinoccial. 2009.*La Contaminación del Suelo.* Quito : UTE, 2009.

ECUADOR. DIRECCIÓN NACIONAL DE SÍNTESIS MACROECONÓMICA SUBGERENCIA DE PROGRAMACIÓN Y REGULACIÓN, BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. 2016.*Reporte de Minería.* Quito : Banco Central del Ecuador, 2016.

ESTADOS UNIDOS. United States Environmental Protection Agency. 1996. United States Environmental Protection Agency. *Bioassessment.* [En línea] 1996. <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/ch11main.html>.

FLOREZ, SILVIA NARVÁEZ. 2012.*Bacterias Degradadoras de Hidrocarburos.* Madrid-España : Editorial Académica Española, 2012. Vol. 84.

FONTAINE, GUILLAUME. 2004. Petróleo y desarrollo sostenible. *Las Apuestas.* [En línea] octubre de 2004. <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=50505>.

GUZMAN, M. 2007.*La contaminación de suelos y aguas.Su prevención con nuevas sustancias naturales.* Sevilla-España : Porvenir, 2007.

ITURBE, R. 2010.*¿Qué es la biorremediación?* México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.

- JOYNT, J., BISCHOFF, M., TURCO, D., KONOPKA, L., NAKATSU, L. 2006.** *Microbial Community Analysis of Soils Contaminated with Lead, Chromium and Petroleum Hydrocarbons*. New York : Microbial Ecology., 2006.
- LEÓN, I. 2016.** “*Evaluación de la Medicago sativa L (alfalfa), Cecropia peltata L (guarumo) y Arachis pintoi W.C (maní forrajero) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en las riveras del río Nambija*. Zamora : Universidad de Loja, 2016.
- LÓPEZ, R., YUNNY V., ORTEGA R., OLGUÍN E., 2004.** *Fitorremediación, fundamentos y aplicaciones*. 2004, Biotecnología y biología molecular. Ciencia, págs. 69 - 71.
- MACKENZIE, L. 2005.** *Ingeniería y Ciencias Ambientales, 1ra Edición*. s.l. : MacGraw-Hill, 2005. pág. 77.
- MAILA, M. Y CLOETE, T. 2004.** *Bioremediation of petroleum hydrocarbons through landfarming: Are simplicity and cost-effectiveness the only advantages?* London : Reviews in Environmental Science & Biotechnology, 2004.
- MARQUES, I. y MICHELETTO, F. 2001.** *Germination of seeds of tropical pioneer species under controlled and natural conditions*. Brasil : Revista Brasil botánica., 2001.
- MARTINEZ A. Pasivos Ambientales. 2003.** [ed.] Felipe Burbano de Lara. Quito : Rispergraf , 15 de enero de 2003, FLACSO-Ecuador, págs. 4-8.
- MILLÁN, R., CARPENA, R., SCHMID, T., SIERRA, M., MORENO, E., PEÑALOSA, J. GAMARRA, R. ESTEBAN, E. 2007.** *Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén*. 56-66, Madrid : Asociación Española de Ecología Terrestre, 2007, Vol. 16.
- MUKHERJEE, A. Y BORDOLOI, N. 2011.** *Bioremediation and reclamation of soil contaminated with petroleum oil hydrocarbons by exogenously seeded bacterial consortium a pilot-scale study*. New York : Environment Science and Pollutant Research, 2011. págs. 471 - 478.
- OGRAM, R. 1997.** *Methods of soil microbial community. Manual of Environmental Microbiology*. Washington DC : ASM Press, 1997.
- ORTIZ, I., SANZ, J., DORADO, M., VILLAR, S. 2007.** *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Huelva, España : Universidad de Alcalá, 2007.
- PALIWAL, V., PURANIK, S. Y PUROHIT, H. 2012.** *Integrated Perspective for Effective Bioremediation*. New York : Applied Biochemistry and Biotechnology, 2012. págs. 903 - 924.

PANAMÁ . COMISIÓN EUROPEA. 2003.*Conferencia; Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo.* s.n., 2003.

PORCELLA, D. Y PILGRIM, W. 2000.*Developing consensus: mercury science and policy in the NAFTA countries (Canada, the United States and Mexico).* Canada : s.n., 2000. págs. 185-193.

PORTA, J., LÓPEZ, M. Y ROQUERO, C. 2003.*Edafología para la agricultura y el medio ambiente.* España : Ediciones Mundi-prensa, 2003. pág. 412.

PORTA-CASANELLAS, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M. Y ROQUERO DE LABURU, C. 2003.*Edafología para la agricultura y el medio ambiente.* España : Ediciones Mundi-prensa, 2003.

REYES, N. Y DUARTE, F. 2008.*Evaluación de la capacidad Bioacumuladora de Mercurio de siete especies vegetales.* Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2008.

RINCÓN, C., CUESTA, P.; PÉREZ, R.; LASCANO, C.; FERGUSON, J. 1992.*Maní Forrajero Perenne (Arachis pinto; Krapovickas y Gregory): Una alternativa para ganaderos y agricultores.* Bogota : Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)., 1992.

ROJAS, A. 2012.*Ventajas y limitaciones para el uso del maní forrajero perenne (Arachis pintoi) en la ganadería tropical* Costa Rica : Escuela Zootecnia Universidad de Costa Rica, 2012.

RON, J. 2009. Organismos degradadores de petróleo. *Degradación de Hidrocarburos.* New York : s.n., 2009, págs. 209-230.

SILVA, S. Y CORREA. F. 2009. *Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica.* 23, Medellín, Colombia : Universidad de Medellín, 2009, Vol. 12.

THAPA, B., KUMAR, A. Y GHIMIRE, A. 2012.*Review on Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants in Soil.* United States of America : Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology, 2012. págs. 164 - 170.

VAN, D., LLOYD, S.; CHETRY, R.; PECK, J. 2010.*Remediación Tecnologías Screening Matrix and Reference Guide.* London : Technology Innovation Office, EPA Platinum International, Inc., 2010.

VENOSA, Á, STEPHEN, J., MACNAUGHTON, S., WHITE, D. 1999.*Microbial population changes during bioremediation of an experimental oil spill.*25-38, Canada : s.n., 1999, Microbial Biosystems, Vol. 76.

VIDAL, J., MARRUGO, J., JARAMILLO, B., PEREZ, L., 2010. *“Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia Peltata)”*.113-129, Colombia : Universidad del Norte, 2010, Vol. 27.

VILLAS, R. 2001.*La minería en el Contexto de la Ordenación del Territorio* . Rio de Janeiro-Brasil : CYTED, 2001.

VOLKE - SEPULVEDA, T., VELASCO - TREJO, J. Y DE LA ROSA, D. 2005.*Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México : Instituto Nacional de Ecología, 2005. págs. 19 - 31.

ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico



Recolección del sustrato de café
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Recolección del sustrato de cacao
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Recolección de maní forrajero
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Recolección de guarumo
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Materiales: Suelo, sustrato, arena
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Mezcla de suelo, arena y sustrato
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Homogenización del suelo con los sustratos
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Proceso de relleno de sustratos finalizado
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Siembra de las plantas en los sustratos
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Seguimiento de las especies en los sustratos
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Retiro de materiales adversos al suelo
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Homogeneización del suelo
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Preparación de mercurio a 7 ppm.
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Proceso de contaminación
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Identificación de plantas de Guarumo.
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Identificación de plantas de Maní forrajero
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Seguimiento del tratamiento Guarumo.
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Presencia de coloración amarillenta en hojas de Guarumo.
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Presencia de coloración amarillenta en hojas de Maní forrajero
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Seguimiento de Maní forrajero
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Raíz Guarumo

Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Raíz Maní Forrajero

Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Selección de muestras.
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Toma aleatoria de 27 muestras del suelo contaminado
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Etiquetado de las muestras
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017



Análisis final de muestras en laboratorio
Fuente: Muñoz Lilibeth, 2017

Anexo C. Resultados de análisis finales del suelo

 LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Laloka E-mail: laboratorios@labseu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593) 06- 2881105	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 405	
SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo	

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Escogidas por Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 05 30 08:45
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 05 30 15:10
 Fecha del análisis 2 017 05 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Mía: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSeu Identificación de la muestra.
 a 12 910 Muestra de Suelo # 10, MF.CC

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Item	Análisis solicitados	Unidad	a 12 910	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	4,11	0,1	PEE-LABSU-06/1)	EPA 3050 B; NM 3000 B, 3111 B	-

FUENTE: ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2013:

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:


 Autorización: Ing. Viviana Lara Villegas.
 LABORATORIO TECNICO




 Téc. Andres Solis Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: 593306-2881105</p>	<p>Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</p>
	<p>INFORME DE ENSAYO N°: 113 406</p>	
	SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Recogidas por: Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra: 2017 05 30 08:50
 Fecha hora ingreso al Laboratorio: 2017 05 30 15:10
 Fecha del análisis: 2017 05 30 a 2017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu: Identificación de la muestra.
 s 12 911: Muestra de Suelo # 11, MF.CC

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Item	Análisis solicitados	Unidad	s 12 911	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	4,30	0,1	PEE-LABSU-06/11	EPA 3090 B, NM 3050 B, 3111 B	-

FUENTE: ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2005.

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:

Autorización: Ing. Viviana Lara Villegas.
DIRECTORA TÉCNICA



Téc. Andrés Solís Plaza.
RESPONSABLE CALIDAD

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 409	
SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo	

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Recogidas por Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 30 09:05
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 30 15:10
 Fecha del análisis 2 017 03 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis.. T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu..... Identificación de la muestra.
 s 12 914 Muestra de Suelo # 14, MF,CF

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	s 12 914	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	4,18	0,1	PEE-LABSU-06/11	EPA 3050 B, SM 3050 B, 3111 B	-

FUENTE: ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2015:

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
Ing. Viviana Lara Villegas,
DIRECTOR TÉCNICO




Téc. Andres Solis Plaza,
RESPONSABLE CALIDAD

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 422	
SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo	

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Recogidas por _____ Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra _____ 2 017 03 30 10:10
 Fecha hora ingreso al Laboratorio _____ 2 017 03 30 15:10
 Fecha del análisis _____ 2 017 03 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis. T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu _____ Identificación de la muestra.
 s 12 927 _____ Muestra de Suelo # 27, G.CF

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	s 12 927	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Mercurio	mg/Kg	3,09	0,1	PEE-LABSU-06/11	EPA 3050 B; SM 3050 B, 3111 B	-

FUENTE: ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2015.

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:

Autorización: Ing. Viviana Lara Villegas
DIRECTOR TÉCNICO



Téc. Andres Solis Plaza
RESPONSABLE CALIDAD

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06-2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 421		
	SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo	

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Recogidas por Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 30 10:05
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 30 15:10
 Fecha del análisis 2 017 03 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 s 12 926 Muestra de Suelo # 26, G.CF

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	s 12 926	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	3,10	0,1	PEE-LABSU-06/11	EPA 3050 B; SM 3030 B, 3111 B	-

FUENTE: ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2015:

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:

Autorización: Ing. Viviana Lara Villegas,
 DIRECTORA TÉCNICA



Téc. Andrés Solís Plaza,
 RESPONSABLE CALIDAD

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593) 06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 419		
	SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo	

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

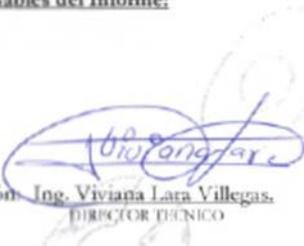
Recogidas por Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 30 09:55
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 30 15:10
 Fecha del análisis 2 017 03 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis. T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 s 12 924 Muestra de Suelo # 24, G.CF

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	s 12 924	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	3,10	0,1	PEE-LABSU-06/11	EPA 3050 B; SM 3030 B, 3111 B	~

FUENTE: ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2015:
 Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:

Autorización:  Ing. Viviana Lara Villegas.
 DIRECTOR TÉCNICO



 Téc. Andrés Solís Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

 LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 418	
	SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Recogidas por Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 30 09:50
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 30 15:10
 Fecha del análisis 2 017 03 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 s 12 923 Muestra de Suelo # 23, G.CC

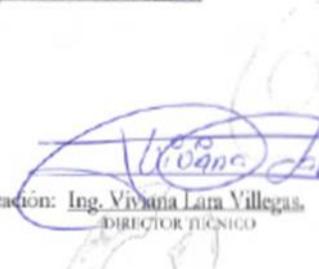
2.- Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	s 12 923	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incidencia (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	3,08	0,1	PEE-LABSU-06/11	EPA 3050 B; SM 3030 B, 3111 B	-

FUENTE: ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2015:

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
 Ing. Viviana Lara Villegas
 DIRECTOR TÉCNICO




 Téc. Andrés Solís Plaza
 RESPONSABLE CALIDAD

	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06-2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 417		
	SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo	

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Recogidas por _____ Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra _____ 2 017 03 30 09:45
 Fecha hora ingreso al Laboratorio _____ 2 017 03 30 15:10
 Fecha del análisis _____ 2 017 03 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu _____ Identificación de la muestra.
 s 12 922 _____ Muestra de Suelo # 22, G.CC

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	s 12 922	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	3,09	0,1	PEE-LABSU/06/11	EPA 3050 B, SM 3030 B, 3111 B	-

FUENTE: ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2015.

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:

Autorización:  **Ing. Viviana Lara Villegas**
 DIRECTORA TÉCNICA



 **Téc. Andres Solis Plaza**
 RESPONSABLE CALIDAD

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 113 415		
	SPS: 17 - 0 118	Análisis de suelo	

Coca, 17 de abril de 2017

Srta. Lilibeth Muñoz.

Dirección: Barrio 12 de Noviembre.

1.- Datos generales:

Recogidas por Srta. Lilibeth Muñoz
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 30 09:35
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 30 15:10
 Fecha del análisis 2 017 03 30 a 2 017 04 17
 Condiciones Ambientales de Análisis.. T. Máx: 26,5°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 s 12 920 Muestra de Suelo # 20, G.CC

2.- Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Análisis solicitados	Unidad	s 12 920	Criterio de calidad de suelo	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	*Mercurio	mg/Kg	3,05	0,1	PEE-LABSU-06/11	EPA 3050 B; SM 3030 B, 3111 B	~

FUENTE: ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Registro Oficial Noviembre 2015.

Tabla 1: Criterios de Calidad del Suelo.

3.- Responsables del Informe:


 Autorización: Ing. Viviana Lara Villegas,
 DIRECTOR TÉCNICO


 Téc. Andrés Solís Plaza,
 RESPONSABLE CALIDAD