



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE
LA ESPECIE *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. EN
SUELOS CONTAMINADOS POR MERCURIO, EN EL BARRIO
KURINTZA, PARROQUIA LA PAZ, CANTÓN YACUAMBI,
PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”**

Tesis de grado previa a la obtención
del título de ingeniero en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTOR:

Wilson Rodrigo Sarango Gualán

DIRECTOR:

Ing. Osmani Eduardo López Celi Mg. Sc.

ZAMORA – ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN

Ing. Osmani Eduardo López Celi. Mg. Sc.

DOCENTE DE LA MODALIDAD DE ESTUDIOS PRESENCIAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SEDE ZAMORA.

CERTIFICO:

Que el presente trabajo de titulación denominado: “**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE LA ESPECIE *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. EN SUELOS CONTAMINADOS POR MERCURIO, EN EL BARRIO KURINTZA, PARROQUIA LA PAZ, CANTÓN YACUAMBI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE**”, desarrollado por el señor Wilson Rodrigo Sarango Gualán, ha sido elaborado bajo mi dirección y cumple con los requisitos de fondo y de forma que exigen los respectivos reglamentos e instructivos.

Por ello autorizo su presentación y sustentación.

Zamora, 07 de Noviembre de 2016

Atentamente

Ing. Osmani Eduardo López Celi. Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

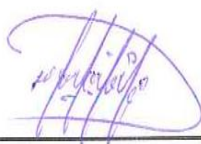
AUTORÍA

Yo **Wilson Rodrigo Sarango Gualán**, declaro ser autor del presente Trabajo de Tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

AUTOR: Wilson Rodrigo Sarango Gualán

FIRMA: _____



CÉDULA: 1900743087

FECHA: Loja, 12 de Diciembre de 2016

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios quien me ha dado salud y fortaleza para seguir adelante, así mismo a mi familia de manera especial a mis padres, Rosa Gualán y Manuel Sarango por apoyarme incondicionalmente en todo momento, por los sabios consejos que me guiaron por el buen camino, permitiéndome alcanzar uno de mis sueños que es ser un profesional.

Wilson Rodrigo Sarango Gualán

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por darme la oportunidad de vivir, por llenarme de bendiciones y fortalezas para alcanzar una de mis metas planteadas, de igual manera a mi familia en especial a mis padres por apoyarme incondicionalmente en todo momento y guiarme por el buen camino.

Agradezco también a la Universidad Nacional de Loja por haberme permitido continuar con mis estudios académicos en esta prestigiosa institución para optar el título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Así mismo a los docentes de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, sede Zamora quienes compartieron sus conocimientos y experiencias que han inspirado a la formación de profesionales competentes y por ultimo a todas las personas quienes colaboraron en el desarrollo de esta investigación.

1 TÍTULO

“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMEDIADOR DE LA ESPECIE *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. EN SUELOS CONTAMINADOS POR MERCURIO, EN EL BARRIO KURINTZA, PARROQUIA LA PAZ, CANTÓN YACUAMBI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”

2 RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con el propósito de evaluar el potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., para remediar suelos contaminados con mercurio, como una alternativa viable de ser implementada en el barrio Kurintza del cantón Yacuambi, Provincia de Zamora Chinchipe.

Esta investigación se realizó de manera ex situ, bajo invernadero, en el barrio Chapintza del cantón Yacuambi, provincia de Zamora Chinchipe, aplicando un tratamiento con tres repeticiones y un testigo para estudiar el contaminante mercurio. Se obtuvieron cuatro muestras simples en el barrio Kurintza de zonas altamente contaminados con mercurio, expuestos directamente por los procesos de amalgación, siendo enviados al laboratorio para el análisis de los parámetros físicos y químicos cuyos reportes demostraron que el mercurio supera los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial N° 028.

En cada repetición se sembraron 8 plantas de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., excepto en la repetición de control (testigo) y se realizó el seguimiento de las características morfológicas de las plantas durante cuatro meses, una vez finalizado la investigación se procedió a recolectar las muestras de suelo para enviar al laboratorio. Los resultados del ensayo mostraron el 64,42% de remoción de mercurio en el suelo por esta especie, sin embargo la repetición de control (testigo) presentó mayor porcentaje de remoción con 87,14%, por lo tanto de acuerdo a esta investigación esta especie no es recomendable para remediar suelos contaminados con mercurio.

2.1 SUMMARY

The present research was developed with the purpose of evaluating the phytoremediation of the *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. Specie, to remedy mercury-contaminated soils, as a viable alternative to be implemented in Kurintza neighborhood, Yacuambi canton, province of Zamora Chinchipe.

This research was carried out ex situ under greenhouse in the Chapintza neighborhood, Yacuambi canton, province of Zamora Chinchipe, applying a treatment with three repetitions and a control to study the pollutant mercury. Four simple samples were obtained in the Kurintza neighborhood of areas highly contaminated with mercury, exposed directly by the amalgamation process. These samples were sent to the laboratory for the analysis of the physical and chemical parameters whose reports show that the mercury exceeds the permissible limits established in Ministerial Agreement N° 028.

Eight plants of the species *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., were planted in each replicate, except in the control repeat and the morphological characteristics of the plants were monitored for four months, once the investigation was finished, the soil sample were collected and sent to the laboratory. The results of the test showed and average percentage (65.08%) of mercury removal in the soil by this species.

3 INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable, “cumple con importantes funciones ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana” (PNUMA, 2000). De ahí que la degradación del suelo es considerada como el mayor problema que afecta el soporte de la vida.

Las actividades mineras auríferas no controladas que se desarrollaron en el barrio Kurintza han generado desfavorables efectos tales como alteración del paisaje, contaminación de suelo y agua, además suelos abandonados sin ningún uso, causados por el uso irracional del mercurio utilizado en los procesos de extracción aurífera.

Una alternativa para mitigar estos impactos es la fitorremediación. “Esta técnica consiste en el uso de especies vegetales y la capacidad de ellas para absorber, volatizar, tolerar y acumular altas concentraciones de contaminantes” Carpena y Bernal (citado por Cordero, 2015, p. 24). Es decir “por medio del sistema de interacción suelo-planta se busca extraer los elementos tóxicos, disminuir su contenido buscando minimizar los impactos causados y por tanto los riesgo que genera ésta a los seres vivos y a la producción agrícola” Cartes (citado por Cordero, 2015, p. 16).

Es por ello que el propósito de esta investigación fue evaluar el potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., que contribuya a la remediación de suelos contaminados por mercurio, los resultados beneficiaran directamente al barrio Kurintza y a los demás sectores mineros a nivel del país, de esta manera brindando un aporte especial a los propietarios de los

terrenos abandonados, permitiendo restaurar e incrementar la capacidad del sitio para realizar las prácticas agropecuarias.

Los objetivos planteados en la presente investigación fueron.

Objetivo general:

Contribuir a la remediación de los suelos contaminados por mercurio, mediante la técnica de fitorremediación en el barrio Kurintza, parroquia La Paz, cantón Yacuambi, provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar el grado actual de contaminación del suelo por mercurio en el barrio Kurintza.
- ✓ Evaluar el potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., en suelos contaminados por mercurio, en el barrio Kurintza.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 El suelo

4.1.1 Concepto de suelo.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO,s.f.) establece que:

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo (párr. 1).

4.1.2 Propiedades físico-químicos que inciden en la remediación de suelos.

“Los factores que influyen en la biodisponibilidad de los metales pesados en un suelo, son el pH, la temperatura, capacidad de intercambio catiónico, textura y materia orgánica” Acosta *et al.* (citado por Rojas, 2010, p8). Además Lindsay *et al.* (citado por Lominchar *et al.*, 2010) Mencionan que “la cantidad de mercurio acumulado en los suelos depende de una gran cantidad de factores físico-químicos como textura, pH, materia orgánica, iones y óxidos” (p4). A continuación se describen los más importantes:

4.1.2.1 Propiedades físicas.

4.1.2.1.1 Textura.

“La textura de un suelo está determinada por las cantidades de partículas minerales inorgánicas (medidas como porcentajes en peso) de diferentes tamaños (arena, limo y arcilla) que contiene” Buckman y Brady (citado por Huerta, 2010, p7).

La textura de los suelos favorecer la infiltración de los metales pesados. Los suelos ricos en arcillas tienen mayor capacidad para acumular metales debido a que éstos son retenidos en ciertas posiciones de intercambio presentes en estas partículas. Los suelos arenosos carecen de esta capacidad de fijación, por lo que los metales lixivian rápidamente al subsuelo, llegando a contaminar aguas subterráneas. Kabata (citado por Rojas, 2010, p9, 10).

4.1.2.2 Propiedades químicas.

4.1.2.2.1 pH del suelo.

De acuerdo con McBride *et al.* (citado por Rojas, 2010), “el pH del suelo es el principal factor que afecta la biodisponibilidad de gran parte de los metales pesados, pues modifica el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo” (p. 8). “Un bajo valor de pH produce la desorción (disolución) de los metales pesados, aumentando su concentración y biodisponibilidad en los suelos” Alloway (citado por Rojas, 2010, p.9). Por otra parte, “un elevado valor de pH provoca que estos iones sean eliminados de la solución del suelo y queden adsorbidos en las partículas del suelo, disminuyendo así su biodisponibilidad” Basta y Tabatabai (citado por Rojas, 2010, p.9).

4.1.2.2.2 Capacidad de intercambio catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de una muestra de suelo o de alguno de sus componentes, expresa: el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada. Porta *et al.* (citado por Huerta, 2010, p.11).

4.1.2.2.3 Materia orgánica.

“Junto con las arcillas, la materia orgánica presente en un suelo, puede reaccionar con ciertos metales formando complejos de intercambio (a través de agentes quelantes presentes en estas partículas), facilitando su migración a lo largo del perfil del suelo” González *et al.* (citado por Rojas, 2010, p.10).

Según Warren (citado por Lominchar *et al.*, 2010) Manifiesta que “los suelos con elevados contenidos en materia orgánica o arcillas generalmente poseen mayores cantidades de mercurio” (p6). Por otra parte Landa (citado por Lominchar *et al.*, 2010) observó que “las pérdidas en suelos de mercurio por volatilización eran menores si éstos tenían cierto contenido en materia orgánica” (p6).

4.2 Mercurio

El mercurio (Hg) es un metal pesado, elemento metálico de color plateado que permanece en estado líquido a temperatura ambiente. De entre sus propiedades físico-químicas, cabe mencionar que el Hg tiene un número atómico de 80, un peso atómico de 200.59 g/mol, una temperatura de fusión de -38.87°C, una temperatura

de ebullición de 356.58°C, a 20°C su gravedad específica es 13.456 g/ml y la presión de vapor 0.16 Pa. Tiene una elevada tensión superficial, bastante mal conductor del calor y buen conductor de la corriente eléctrica. The Merck Index (citado por Martínez, 2013, p.7).

4.2.1 Fuentes de contaminación del mercurio.

Las principales fuentes de contaminación por mercurio al medio ambiente se pueden clasificar en dos grupos:

4.2.1.1 Fuentes naturales.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2005) establece que “las fuentes naturales de mercurio Hg comprenden los volcanes, la evaporación de los sistemas terrestres y acuáticos, la degradación de minerales y los incendios forestales” (p. 115).

4.2.1.2 Fuentes antropogénicas.

La contaminación ocasionada por el hombre es realizada de muchas formas: la descargas de desechos y la emisión directa a la atmósfera en la explotación minera del metal y del oro, la quema de los combustibles fósiles representa una fuente importante de contaminación atmosférica, así como la incineración de desechos sólidos, los cuales incluyen mercurio volatilizado de baterías desechadas y durante la fundición de cobre y zinc Fitzgerald y Clarkson (citado por Olivero y Johnson, 2002, p.26). La contaminación con mercurio en las zonas tropicales, particularmente en Brasil, Colombia, Ecuador y Bolivia es originada en los procesos de beneficio del oro, el cual es extraído mezclando la roca triturada enriquecida con

el metal precioso con mercurio metálico para formar una amalgama, la cual es presionada con la mano para remover el exceso de mercurio. Este proceso ocasiona el derramamiento directo de grandes cantidades del metal en los ríos y en cuerpos de agua como ciénagas y lagunas. La amalgama mercurio-oro obtenida es quemada usualmente a campo abierto dejando libre el oro y liberando el tóxico metálico en forma de vapor directamente a la atmósfera Turizo *et al.* (citado por Olivero y Johnson, 2002, p.26,27).

4.2.2 Toxicidad del mercurio en la 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 Brodtkin *et al.* (citado por Vidal, 2009, p.7). Además “la exposición al mercurio en el hombre puede ocurrir a través del consumo de alimentos contaminados (productos vegetales, peces, entre otras), la ingesta de agua y la respiración de aire contaminado” Canuel *et al.* (citado por Vidal, 2009, p.7).

4.3 Fitorremediación de suelos contaminados con mercurio

4.3.1 Concepto de fitorremediación.

La fitorremediación (phyto=planta y remediación= mal por corregir), es uno de los procesos que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en el suelo, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Los mecanismos de fitorremediación

incluyen la rizodegradación, fitoextracción, la fitodegradación y fitoestabilización Betancur (citado por López, 2014, p. 12).

“La fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto del metal, y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo” Chaney (citado por Ortega, Benavides, Arteaga , y Zeremeño s.f, p.4). “Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes” Cunningham (Ortega, *et al.* s.f, p.4).

4.3.2 Mecanismos de fitorremediación.

4.3.2.1 Rizodegradación.

“La rizodegradación se lleva a cabo en el suelo que rodea las raíces. La sustancia excretada naturalmente por estas, suministra nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica” (Agudelo, Macias , y Suárez, s.f, p. 57-60).

4.3.2.2 Fitoextracción.

“Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces, y posteriormente estos son traslocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas” (Agudelo, et al., s.f, p. 57-60).

4.3.2.3 Fitoestabilización.

“En la fitoestabilización, las plantas limitan la movilidad y disponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción de compuestos químicos en las raíces, que pueden absorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interface raíces – suelo.” (Agudelo, *et al.* s.f, p. 57-60).

4.3.2.4 Fitodegradación.

“La fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación” (Agudelo, *et al.* s.f, p. 57-60).

4.3.3 Ventajas y limitaciones de la fitorremediación

4.3.3.1 Ventajas.

Las ventajas de la fitorremediación son las siguientes según Ortega *et al.* (s.f, p. 9) y Agudelo *et al.* (s.f, p. 57-60).

- ✓ Las plantas pueden ser utilizadas como entidades extractoras de bajo costo económico para depurar suelos y aguas contaminadas.
- ✓ Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- ✓ Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.
- ✓ Los metales absorbidos por las plantas, pueden ser extraídos de la biomasa cosechada y después ser reciclados. La fitorremediación se puede utilizar para

limpiar una gran variedad de contaminantes, por su capacidad de absorción de estos metales en sus raíces.

4.3.3.2 Limitaciones.

En la técnica de fitorremediación existen varias limitaciones que deben considerarse para su aplicación. “El tipo de plantas utilizado determina la profundidad a tratar, altas concentraciones de contaminantes pueden resultar tóxicas, la toxicidad y disponibilidad de los productos de la degradación no siempre se conocen y pueden mobilizarse o bioacumularse en organismos vivos.” Agudelo *et al.* (citado por Arenas y Hernández, 2012, p.14,15).

4.4 *Gynerium sagittatum* Aubl. P. Beauv., como especie con potencial fitorremediador

4.4.1 Clasificación taxonómica de la especie *Gynerium sagittatum* Aubl. P. Beauv.

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta (Angiosperma)
Clase:	Liliopsida (Monocotiledoneas)
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Genero:	<i>Gynerium</i>
Especie:	<i>Sagittatum</i>
Nombre	<i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P. Beauv.
Nombre Vulgar:	Caña brava, caña flecha, pindo.

4.4.2 Descripción de la especie.

La especie *Gynerium sagittatum* (Aubl) Beauv., pertenece a la familia de las Poaceae, presenta hábitos similares a la de los pastos de corte, sus tallos son generalmente de 5 a 6 metros de altura y de 2 a 4 centímetros de diámetro. Los cuales pueden nacer de rizomas subterráneos que producen raíces laterales débiles y flexibles con un diámetro menor, las hojas son alternas y lanceoladas se distribuye en forma de abanicos cerca al ápice alcanzando de 1 a 2 metros de longitud y tiene un borde marginal aserrado; las inflorescencias masculinas y femeninas son similares en apariencia, pero la femeninas tienen una apariencia velluda en forma de cabellera. Jhon, F. (citado por Sehuanes y Flores, 2004, p.23).

4.5 Marco legal favorable para la remediación de suelos en el Ecuador

4.5.1 Constitución de la República del Ecuador.

La (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2008) en la Constitución de la República del Ecuador entre algunos artículos establece:

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.

Artículo 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 dependen 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.

Art. 276.- Dentro del régimen de desarrollo, literal 4 tendrá los siguientes objetivos recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

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.

4.5.2 Ley Orgánica Acuerdo Ministerial N° 028.

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2015) para la remediación de suelos se debe considerar los criterios de calidad y criterios de remediación de

suelo establecidos en el Acuerdo Ministerial N° 0.28. Normas de calidad ambiental del recurso suelo.

4.5.2.1 Criterios de calidad del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.

4.5.2.1.1 Criterios de calidad de suelo.

Los criterios de calidad del suelo son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante presente en el suelo. Los valores de fondo se refieren a los niveles ambientales representativos para un contaminante en el suelo. Estos valores pueden ser el resultado de la evolución natural del área, a partir de sus características geológicas, sin influencia de actividades antropogénicas. Los criterios de calidad del suelo constan en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Criterios de calidad del suelo*

Parámetro	Unidades (concentración en peso seco de suelo)	Valor
Parámetros generales		
Conductividad	Us/m	200
pH		6 - 8
Parámetros inorgánicos		
Mercurio	mg/kg	0.1

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2015)

4.5.2.1.2 Criterios de remediación de suelo

Los criterios de remediación se establecen de acuerdo al uso del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes en un suelo luego de un proceso de remediación, y son presentados en la siguiente tabla los valores máximos permisibles para suelo agrícola.

Tabla 2. Criterios de remediación (valores máximos permisibles)

Parámetro	Unidades	Uso de suelo
		Agrícola
Parámetros generales		
Conductividad	Us/mm	200
pH		6 - 8
Parámetros inorgánicos		
Mercurio	mg/kg	0.8

Fuente: MAE (2015)

4.5.3 Ley Orgánica Reformatoria a la Ley de Minería.

La Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, publicada en el Registro Oficial No. 517 del 29 de enero de 2009 y con su última modificación el 16 de julio de 2013 en los siguientes artículos establece:

Art. 17. Prohibición del uso del mercurio en operaciones mineras. Sin perjuicio de la aplicación de la normativa minera ambiental, se prohíbe el uso del mercurio en el país en actividades mineras, de acuerdo a los mecanismos que

la autoridad ambiental nacional establezca para el efecto, en conjunto con las instituciones con potestad legal sobre la materia.

La inobservancia a esta prohibición será sancionada con la revocatoria del derecho minero, sin perjuicio de las sanciones de orden penal a las que hubiere lugar.

Art. 57. Las afectaciones al ambiente y el daño al ecosistema y biodiversidad producidos a consecuencia de la explotación ilícita o invasiones, serán considerados como agravantes al momento de dictar las resoluciones respecto del amparo administrativo.

4.6 Estudios realizados

Un estudio denominado “Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv. In Vitro” realizado en el laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Universidad de Sucre, Colombia establece que:

En esta investigación se utilizó el diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento y cada ensayo se evaluó en diferentes tiempos (20, 40 y 60) días. Los resultados de acuerdo con el análisis de varianza ($P < 0,05$) mostró que la concentración media del HgT resultó ser diferente entre las concentraciones para cada tiempo de evaluación y también para cada una de las concentraciones en los tres tiempos evaluados; y mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$) arrojó diferencias significativas entre los tratamientos $15 \mu\text{g g}^{-1}$, $25 \mu\text{g g}^{-1}$ y $75 \mu\text{g g}^{-1}$ para las raíces y los tallos-hojas, indicando que el tiempo de exposición favorece el aumento de la concentración de mercurio total en las raíces hasta llegar a $55,98 \mu\text{g g}^{-1}$ en los 60 días. (Ortega *et al.*, 2011, 10p).

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Materiales de campo

Entre los materiales de campo que se utilizó son los siguientes:

- ✓ GPS
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Pala
- ✓ Machete
- ✓ Fundas ziplog
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Platabandas de madera

5.1.2 Materiales de oficina

Entre los materiales de oficina que se utilizó son los siguientes:

- ✓ Computadora
- ✓ Internet
- ✓ Programa SIG
- ✓ Impresora
- ✓ Hojas A4
- ✓ Libreta de registro
- ✓ Calculadora
- ✓ Flash memory
- ✓ Esferos

5.2 Métodos

5.2.1 Descripción del área en estudio.

La investigación se realizó en el barrio Kurintza perteneciente a la parroquia La Paz, cantón Yacuambi, provincia de Zamora Chinchipe, la misma geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM X: 0733097 Y: 9582499 a una altura de 821 m.s.n.m.



Mapa 1. Ubicación Política del lugar en estudio

5.2.2 Suelo.

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia La Paz (GADP de La Paz 2011) en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial establece que en la zona se presentan “suelos moderadamente profundos con baja cantidad de material orgánico, baja fertilidad y pendientes ligeramente ondulados, característicos de zonas aluviales” (p. 43).

5.2.3 Clima.

Según el (GADP de La Paz, 2011) en el Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial, la parroquia posee un “clima sub tropical cálido húmedo, la temperatura oscila entre 18 °c y 22 °c y la precipitación varía de 2000 a 2500 milímetros al año y hasta más de 3000 milímetros en las temporadas lluviosas”

5.2.4 Hidrología.

La zona se encuentra conformada por la principal red hídrica que es el río Yacuambi y las vertientes que alimentan el cauce de la misma (GAD de la Parroquia La Paz, 2011).

5.3 Planteamiento de Hipótesis

5.3.1 Hipótesis de investigación

El nivel de descontaminación del suelo contaminado por mercurio depende del potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

5.4 Operacionalización de las variables

- ✓ **Enfoque del estudio:** Cuantitativo
- ✓ **Alcance del estudio:** Correlacional

Se estableció un enfoque cuantitativo, debido al empleo del método analítico y de síntesis, con el fin de descubrir el comportamiento de los experimentos.

Es correlacional por la formulación de hipótesis correlacionales, por las variables presentes en el estudio, como se muestra a continuación:

5.4.1 Variable Independiente.

Potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

- ✓ **Indicador de la variable:** Porcentaje de descontaminación obtenido mediante el análisis de laboratorio

5.4.2 Variable dependiente.

Nivel de descontaminación del suelo contaminado con mercurio.

- ✓ **Indicador de la variable:** Análisis de mercurio, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica en el laboratorio.

5.4.3 Metodología para el primer objetivo específico:

Determinar el grado actual de contaminación del suelo por mercurio en el barrio Kurintza

Para determinar el grado actual de contaminación del suelo por mercurio se realizó el siguiente procedimiento.

5.4.3.1 Recopilación de información secundaria

Se recopiló información secundaria referente a la minería aurífera, del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia La Paz 2012 - 2018.

5.4.3.2 Entrevista

Para obtener información del lugar en estudio se aplicó una entrevista al propietario del terreno para la cual se elaboró un cuestionario de preguntas (ver anexo 1).



Fotografía 1. *Entrevista al propietario del terreno intervenido por las actividades mineras.*

5.4.3.3 Caracterización del área de influencia directa

Se realizó recorridos por el área en estudio, con el fin de verificar el estado en el que se encuentra la zona, para esto se elaboró una ficha de campo tomando en cuenta los parámetros para caracterización del área de influencia directa establecidos en el Acuerdo Ministerial N° 0.28 (ver anexo 2).

5.4.3.4 Selección del sitio para la toma de muestras

Se seleccionó un sector en el barrio Kurintza considerando que la zona fue intervenida por las actividades mineras con la utilización de grandes cantidades de mercurio, también debido a que en la zona intervenida no se realizó ningún tipo de remediación luego del aprovechamiento aurífero. En el sector se tomaron coordenadas UTM con la utilización de un GPS cerrando un polígono, puntos sirvieron para el diseño un mapa en el software ArcGis 9.3.

5.4.3.5 Tipo de muestreo.

Se aplicó el muestreo a juicio ya que el material extraído de la explotación aurífera se encuentra almacenado sobre la superficie (escombreras).

5.4.3.6 Identificación de los puntos de muestreo.

Se identificaron cuatro puntos de muestreo, tres puntos se ubicaron en las escombreras provenientes del material lavado y uno en el área recuperada.



Fotografía 2. *Ubicación de los puntos de muestreo.*

5.4.3.7 *Tipo de muestra.*

Se aplicó la muestra puntual en cada uno de los puntos identificados.

5.4.3.8 *Construcción de las platabandas.*

Se construyeron cuatro platabandas de madera con las siguientes dimensiones: 80 cm de largo, 40 cm de ancho por 22 cm de altura, donde se colocó el sustrato contaminado para desarrollar el experimento. Con el fin de evitar la adsorción del contaminante mercurio (Hg) en la madera las platabandas fueron forradas internamente con plástico.



Fotografía 3. *Platabandas de madera construidas.*

5.4.3.9 Toma de muestras

La recolección de las muestras se realizó de la siguiente manera:

- ✓ Se procedió a limpiar aproximadamente 80 cm de diámetro en la parte superficial del terreno en cada punto previamente establecido, con el fin de eliminar los residuos (malezas, hojas) que puedan alterar la muestra.
- ✓ Seguidamente con una pala se excavó a una profundidad de 50 cm y se procedió a recoger 0,0576 m³ de suelo en cada punto identificado, se colocó en la platabanda previamente construida, las mismas fueron utilizadas para la implementación del ensayo. Finalmente se tomó 1 kilogramo de muestra de cada platabanda para enviar al laboratorio.



Fotografía 4. *Excavación del suelo para la recolección de muestras*

5.4.3.10 Tipo de recipiente y conservación de las muestras.

Las muestras fueron envasadas en una funda hermética ziploc de 1kg en condiciones adecuadas hasta el envío al laboratorio Gruntec para su respectivo análisis.

5.4.3.11 Etiquetado de las muestras

Las muestras obtenidas fueron etiquetadas considerando los siguientes datos: código de la muestra, fecha de muestreo, cantidad de la muestra, horario de recolección y responsable del muestreo (ver anexo 3).



Fotografía 5. *Muestras etiquetadas*

5.4.3.12 Análisis de laboratorio

Las muestras recolectadas se enviaron al laboratorio “Gruntec Cia. Ltda” acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano. Los parámetros analizados en el laboratorio fueron los siguientes: parámetros físicos (textura), parámetros químicos (mercurio, conductividad eléctrica, materia orgánica y pH).

5.4.3.13 Comparación de los resultados

Los resultados de materia orgánica fueron comparados con los valores de referencia establecidos por Iñiguez 2010 y los resultados de (mercurio, conductividad eléctrica, y pH) fueron comparados con la Tabla 1. “Criterios de calidad de suelo”, establecidos en el Acuerdo Ministerial N° 028.

5.4.4 Metodología segundo objetivo:

Evaluar el potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., en suelos contaminados por mercurio

La evaluación del potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., en suelos contaminados por mercurio, se desarrolló de manera ex situ en el barrio Chapintza perteneciente a la parroquia La Paz, cantón Yacuambi, donde inicialmente se construyó un invernadero de 5 m por 5 m, con el fin de evitar que los factores naturales incidan en los resultados del experimento.

5.4.4.1 Diseño experimental y estadístico.

El diseño que se aplicó fue de tipo experimental con un tratamiento, tres repeticiones y un testigo para el contaminante mercurio (Hg). Como se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. *Distribución de las repeticiones.*

Tratamiento	
Repeticiones	Aplicaciones
R1	Suelo contaminado con mercurio + <i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl) Beauv.
R2	Suelo contaminado con mercurio + <i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl) Beauv.
R3	Suelo contaminado con mercurio + <i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl) Beauv.
Testigo	Suelo contaminado con mercurio

Para determinar si los datos obtenidos de las muestras presentan variaciones estadísticamente significativas respecto a la hipótesis nula, se aplicó el diseño estadístico Chi cuadrado (χ^2), donde se utilizó la siguiente fórmula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Donde:

χ^2 = Chi cuadrado

F_o= Frecuencia observada

F_e= Frecuencia esperada

5.4.4.2 *Obtención del material vegetal.*

La especie vegetal se obtuvo en una zona libre de contaminación aledaño al barrio Chapintza, donde se procedió a cortar 25 estacas de 45 centímetros de largo con tres nódulos cada una, ya que según Ballesteros y Guardo (citado por Sehuanes y Florez, 2004) señalan que “para la propagación de esta especie por estacas se debe cortar tallos de 40 a 60 cm de largo que abarque dos o más nódulos, uno de los cuales enraizará y el otro originará la parte aérea” (p28).

5.4.4.3 *Siembra de las especies vegetales.*

La siembra de la especie se realizó por estacas, introduciendo uno de los nódulos en el sustrato y los dos nódulos dejando en la parte aérea de las cuales originaran los brotes. En cada repetición se plantaron ocho estacas con una

separación de 20 centímetros entre estacas y 10 centímetros de distancia desde el borde de la platabanda excepto en la testigo.



Fotografía 6. *Densidad de siembra de la especie vegetal*

5.4.4.4 Riego.

Se realizó diariamente de forma manual con una regadera, aplicando 500ml en cada repetición excepto en la testigo durante todo el ciclo del experimento; evitando de esta manera el exceso de humedad y la lixiviación del contaminante (mercurio).



Fotografía 7. *Aplicación de 500 ml de agua en cada uno de las repeticiones*

5.4.4.5 Seguimiento de las características morfológicas.

Para realizar el seguimiento de la especie, cada planta se identificó con un código numérico de 1 al 8, facilitando de esta manera el registro de las características morfológicas.

El monitoreo de las plantas se realizó cada 15 días durante 4 meses de las siguientes características morfológicas: crecimiento de las plantas (cm), número de hojas, porcentaje de hojas con clorosis y porcentaje de mortalidad (ver anexo 4).



Fotografía 8. Seguimiento de las características morfológicas de la especie.

5.4.4.6 Toma de muestras de suelo.

Se realizó después de los 4 meses de haber concluido con el experimento, tomando una muestra de cada repetición, para la cual se procedió a extraer las plantas del sustrato, seguidamente se homogenizó el sustrato de cada repetición y finalmente se tomó un kilogramo de suelo., las muestras fueron colocados en una funda hermética de 1 kg.

Asimismo las muestras fueron conservadas y etiquetadas siguiendo el mismo protocolo del objetivo 1.

5.4.4.7 Análisis de laboratorio

Las muestras finales fueron enviadas al laboratorio acreditado AGQ (Labs & Technological Services), cuyos parámetros a analizar fueron los siguientes: parámetros físicos (textura), parámetros químicos (mercurio, conductividad eléctrica, materia orgánica y pH).

5.4.4.8 Interpretación y análisis de los resultados.

Los resultados finales fueron comparados e interpretados con la tabla 2 “Criterios de remediación del suelo” (valores máximos permisibles) establecidos en el Acuerdo Ministerial 028. También fueron comparados con los resultados iniciales con el fin de determinar la eficiencia de remediación por la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl) Beauv.

6 RESULTADOS

6.1 Situación actual del área en estudio recopilada del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia La Paz.

6.1.1 Población

En el barrio Kurintza existen 371 habitantes que pertenecen a la nacionalidad shuar de las cuales de las cuales el 51,75 % son hombre y el 48.25 % son mujeres (GAD de la Parroquia La Paz, 2011).

6.1.2 Educación

En el barrio Kurintza existe un establecimiento educativo bilingüe de educación básica "Luis Tzukanka" donde se educan 125 alumnos de las cuales 52,8 % son hombres y el 47,2 % son mujeres (GAD de la Parroquia La Paz, 2011).

6.1.3 Salud

Las enfermedades mas frecuentes que presenta en la comunidad son gripes, dolor de cabeza, fiebres los mismos son tratados con hierbas y plantas medicinales en su propio domicilio, cuando sufren de enfermedades graves acuden al centro de salud mas cercano a su comunidad o al hospital de Yantzaza o Zamora (GAD de la Parroquia La Paz, 2011).

6.1.4 Servicios básicos

En cuanto a servicios básicos el barrio cuenta con sistema de alcantarillado, recolección de desechos sólidos, agua potable, energía eléctrica y servicio de transporte público (GAD de la Parroquia La Paz, 2011).

6.1.5 Socioeconómico

Las principales actividades económicas del sector se basan en la actividad agrícola, pecuaria y la extracción de madera. En la actividad agrícola se dedican a la producción de yuca, plátano, papaya, cacao, caña, papa china, camote y en la actividad pecuaria se dedican a la crianza de ganados y animales menores. Estos productos lo destinan para el autoconsumo y los excedentes para la comercialización (GAD de la Parroquia La Paz, 2011).

6.1.6 Flora y Fauna

En el sector los bosques naturales constituye uno de los pocos remanentes de flora y fauna nativa, el mismo que soporta una presión permanente observándose como consecuencia la expansión de la frontera agrícola, deforestación y las actividades mineras (GAD de la Parroquia La Paz, 2011).

6.2 Entrevista

De acuerdo a la información obtenida de la entrevista realizada al propietario del área intervenida por las actividades mineras, se tiene que la minería en el barrio Kurintza dio inicio en el año 2005 realizando frecuentemente hasta el año 2014, en este mismo año muchos mineros se retiraron debido a los controles realizados por las entidades competentes. En el área de investigación las actividades mineras se desarrollaron desde el segundo semestre del año 2005 hasta el mes de enero del 2016.

En cuanto al permiso de operación aprobado por el MAE, la compañía minera realizó las actividades sin contar con el respectivo permiso, es decir desarrolló informalmente laborando únicamente en las noches.

Con respecto al tipo de minería, en el lugar se practica la pequeña minería la misma que consiste principalmente en el uso de maquinarias como excavadoras, bombas de agua y una clasificadora en forma de "Z", el proceso de este tipo de minería básicamente consta de los siguientes pasos:

- ✓ Retiro de la cobertura vegetal y la capa arable
- ✓ Extracción del material (subsuelo)
- ✓ Lavado del material
- ✓ Liquidación del material lavado procedente de la clasificadora
- ✓ Recuperación del área aprovechada

Por otra parte en el área de investigación la compañía minera utilizó mercurio en la clasificadora tipo "Z" para lavar el material, a pesar de que en la ley minera aprobado en julio del 2013 prohíbe en su totalidad el uso del mercurio en todas las empresas mineras, manifestó que es un método fácil y eficaz para extraer la mayor cantidad de oro. La cantidad aproximada de mercurio utilizado fue de 2,5 kg semanales.

Finalmente con respecto a la remediación de suelo donde se han desarrollado actividades mineras, manifestó que no han realizado ningún tipo de restauración, generalmente los terrenos intervenidos solamente son recuperados colocando primeramente el material inerte (material lavado) y en la parte superficial la capa arable extraído del mismo lugar antes ser aprovechado. En el área de investigación

el 50% es recuperado donde actualmente el propietario lo destina para la producción agrícola (cultivo de yuca, caña y plátano) y el 50% no es recuperado quedando esta parte sin ningún tipo de aprovechamiento o uso.



Fotografía 9. *Uso actual del suelo: área sin recuperar (sin uso solo escombros) y área recuperada (cultivos de yuca, caña y plátano).*

6.3 Caracterización del área de influencia directa

Las características del área de influencia directa donde se desarrolló el proyecto se describen a continuación.

Cuadro 2. Caracterización del área de influencia directa.

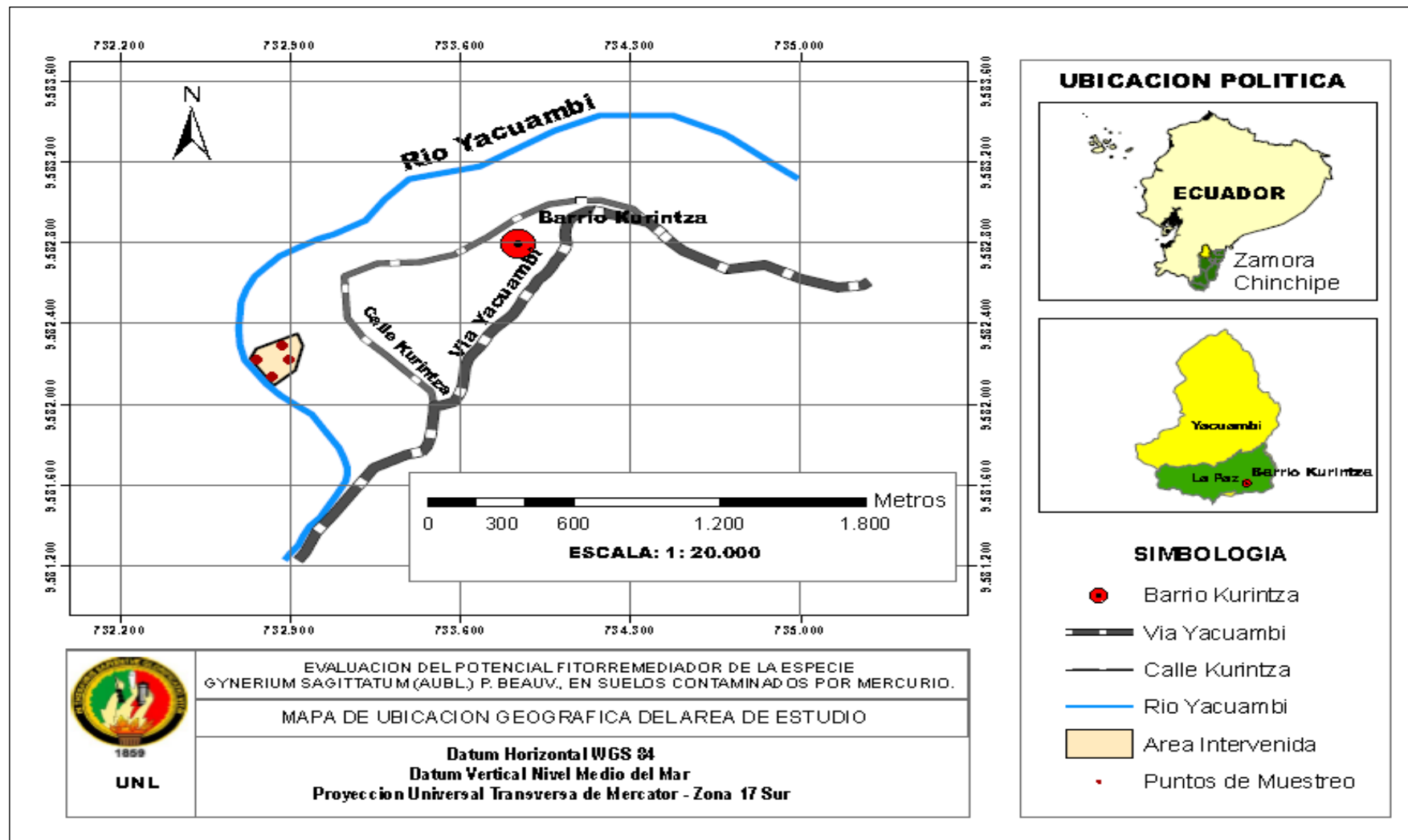
Ficha: Caracterización del Área de Influencia Directa	
Ubicación Geográfica del sitio: El área de investigación perteneciente al Sr. Flavio Tentés, se encuentra localizado en el barrio Kurintza perteneciente a la parroquia La Paz del cantón Yacuambi.	
Condiciones locales de la zona:	
Clima: El clima de la zona es Subtropical cálido húmedo	Precipitación: La precipitación varía entre 2000 y 2500 mm al año.
Temperatura del ambiente: La temperatura media anual es de 18 a 22 °C.	Ubicación de cuerpos de agua aledaños: Aledaños al área de investigación se encuentra el río Yacuambi y el río Kim.
Caracterización del suelo:	
Uso del suelo: En la actualidad el suelo está destinado principalmente para la producción agrícola (Cultivos de yuca, caña y plátano)	Vegetación presente: Malas hierbas (malezas) y la especie <i>Gynerium sagittatum</i>
Topografía: La topografía del área de investigación es semiplano	

6.4 Selección del lugar para la toma de muestras

Los puntos donde se tomaron las muestras de suelo se detallan en el cuadro 3 y en el mapa 2.

Cuadro 3. *Ubicación geográfica del lugar muestreado*

Código Muestras	Coordenadas UTM (X)	Coordenadas UTM (Y)	Descripción del punto de muestreo
RT 1	733137	9582411	Escombrera 1. Material lavado utilizando mercurio
RT 2	733163	9582418	Zona de liquidación. Derrame de material clasificado con altos contenidos de mercurio
RT 3	733135	9582467	Área recuperada. Mezcla del material lavado con la capa arable
RT 4 (Testigo)	733163	9582486	Escombrera 2. Material lavado utilizando mercurio



Mapa 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de suelo.

6.5 Resultados iniciales y finales de las muestras de suelo referentes a la investigación.

En los siguientes cuadros se presentan los resultados iniciales y finales obtenidos de los análisis de suelo referentes a la investigación.

Cuadro 4. *Resultados iniciales de las muestras de suelo intervenido por las actividades mineras.*

MUESTRAS DE SUELO					Acuerdo Ministerial 028 Tabla 1. Criterios de calidad del suelo
Numero de muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
Código de muestra	RT1	RT2	RT3	RT4 (Testigo)	
PARAMETROS ANALIZADOS					
Mercurio (mg/kg)	215	377	196	287	0.1
pH	5,7	5,3	5,6	5,5	6 a 8
Conductividad (uS/m)	38	55	35	51	200
Materia Orgánica (%)	0,2	0.1	0.1	0.1	
Textura	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa	

Fuente: Laboratorio Gruntec, 2016

Mediante los resultados iniciales obtenidos por el laboratorio se determinó que el suelo del área de estudio se encuentra altamente contaminado por mercurio (Hg)

con un valor promedio de 262,7 mg/kg, este valor supera a los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 028. En cuanto al potencial de hidrógeno el valor promedio es de 5,5 denominándose como fuertemente ácido y la conductividad eléctrica es de 44,75 uS/m determinando que la presencia en el suelo se encuentra por debajo de los límites permisibles establecidos. Además el suelo presenta una textura arenosa y el contenido promedio de materia orgánica es de 0,13% denominándose como suelos con baja concentración de materia orgánica según Iñiguez (2010).

Cuadro 5. Resultados finales de las muestras de suelo

MUSTRAS DE SUELO					Acuerdo Ministerial 028 Tabla 2. Criterios de remediación
Numero de muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
Código de muestra	RT1	RT2	RT3	RT4	
PARAMETROS ANALIZADOS					
Mercurio (mg/kg)	116	135	29,4	36,9	0.8
pH	5,28	4,99	5,15	6,83	6 a 8
Conductividad (uS/mm)	10,3	48,4	17,8	24	200
Materia Orgánica (%)	0,64	0,65	0,18	0,29	
Textura	Franco Arenosa	Areno - Franca	Areno - Franca	Areno- Franca	

Fuente: Laboratorio AGQ, 2016

6.6 Datos de las características morfológicas de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

Los resultados de características morfológicas de los parámetros de mortalidad, crecimiento y porcentaje de hojas con clorosis de cada una de las repeticiones se detallan en las siguientes figuras:

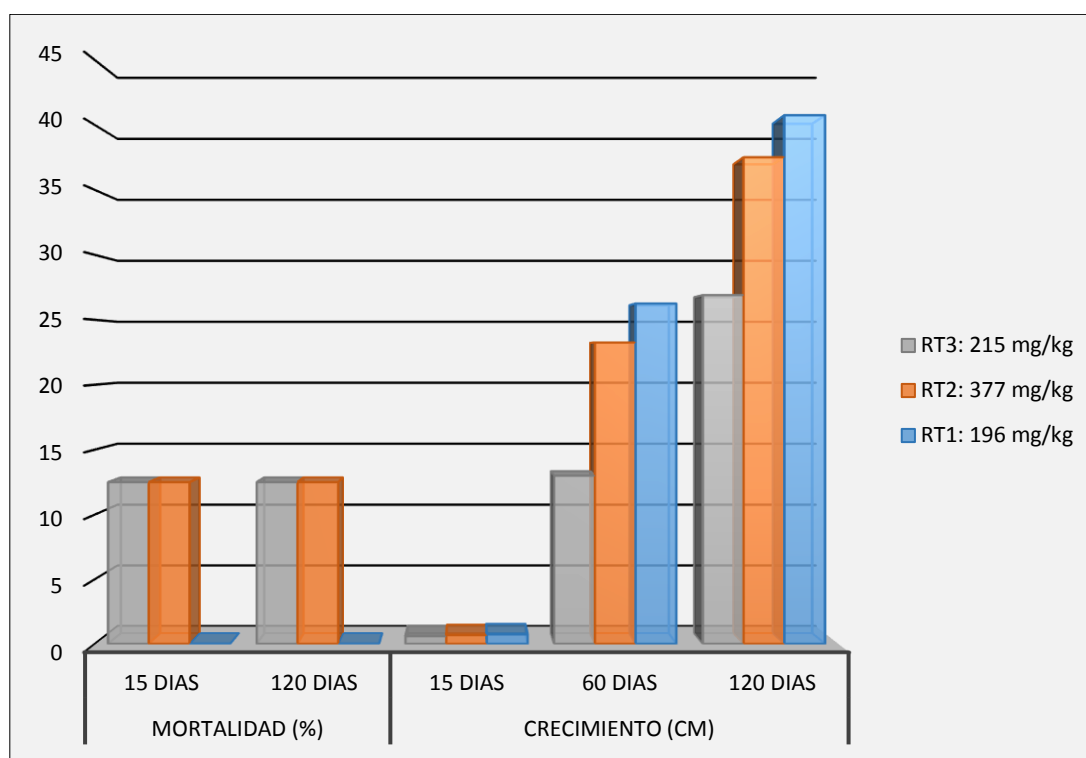


Figura 1. Porcentaje de mortalidad y promedio de crecimiento de las plantas (cm) de cada uno de las repeticiones.

La mortalidad de las plantas solo se presentó en las repeticiones RT2 y RT3 en los primeros 15 días con un valor de 12,5%. En cuanto al crecimiento de las plantas se observa que el tiempo influyó en el desarrollo de las plantas de las tres repeticiones, alcanzando en la repetición RT1 un mayor desarrollo con un valor de 40,75 cm en los 120 días.

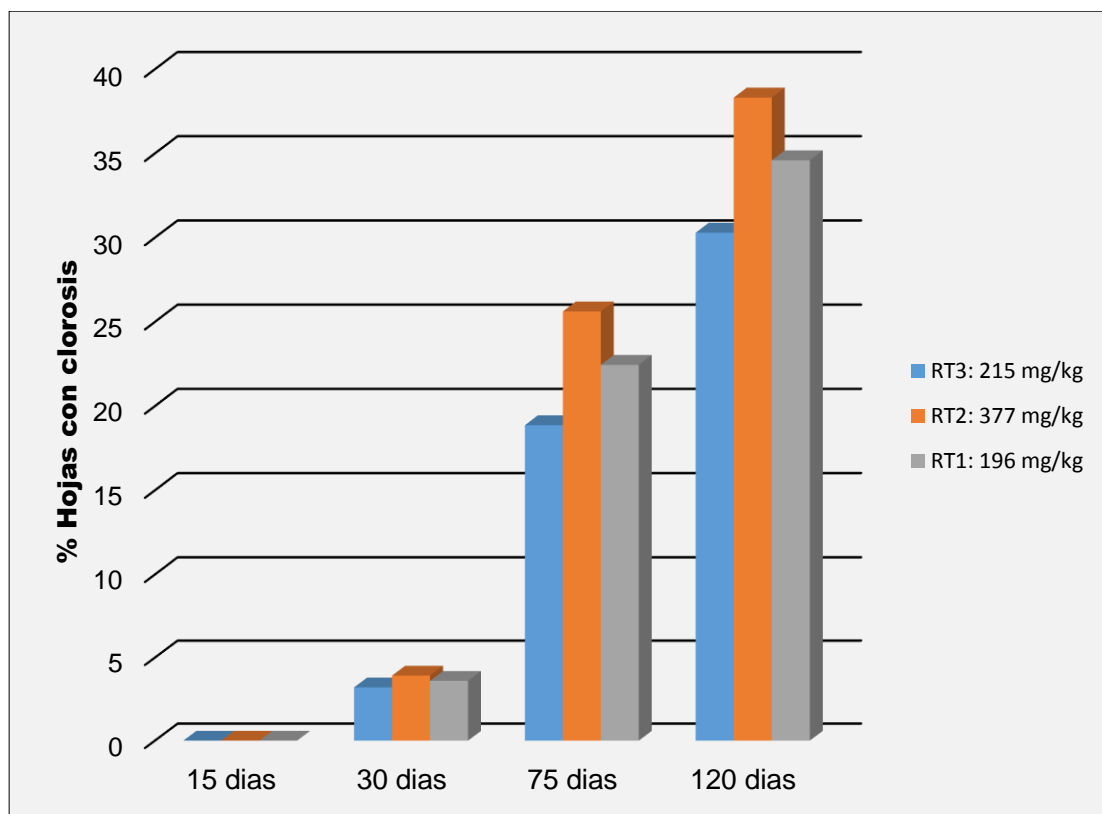


Figura 2. *Porcentaje de hojas con clorosis de cada repetición.*

El porcentaje de clorosis presentó de acuerdo a la concentración de mercurio en el suelo. Las repeticiones donde contenía mayor cantidad de mercurio (377 mg/kg) se obtuvieron mayor porcentaje de hojas con clorosis. Así mismo el porcentaje de clorosis incrementó de acuerdo al tiempo de exposición de las plantas en cada una de las repeticiones, manifestándose con mayor fuerza a partir de los 75 días hasta alcanzar el valor más alto de (38,32%) en los 120 días.

6.7 Comparación entre los resultados iniciales y finales de las muestras de suelo del tratamiento y la testigo.

En el siguiente cuadro se presenta los resultados obtenidos y su respectiva comparación entre los resultados iniciales y finales referentes a la investigación.

Cuadro 6. Comparación entre los resultados iniciales y resultados finales del tratamiento.

Parámetros	Tratamiento 1		Mejoramiento o disminución	Testigo (RT4)		Mejoramiento o disminución
	Inicial	Final		Inicial	Final	
Mercurio (mg/kg)	262,7	93,47	64,42	287	36,9	87,14
pH	5,53	5,14	0,39	5,5	6,83	1,33
Conductividad (uS/mm)	4,27	25,5	58,56	5,1	24	41,34
Materia Orgánica (%)	0,13	0,49	0,36	0,1	0,29	0,19

Los resultados comparados en el presente cuadro de cada uno de los parámetros se detallan en las siguientes figuras.

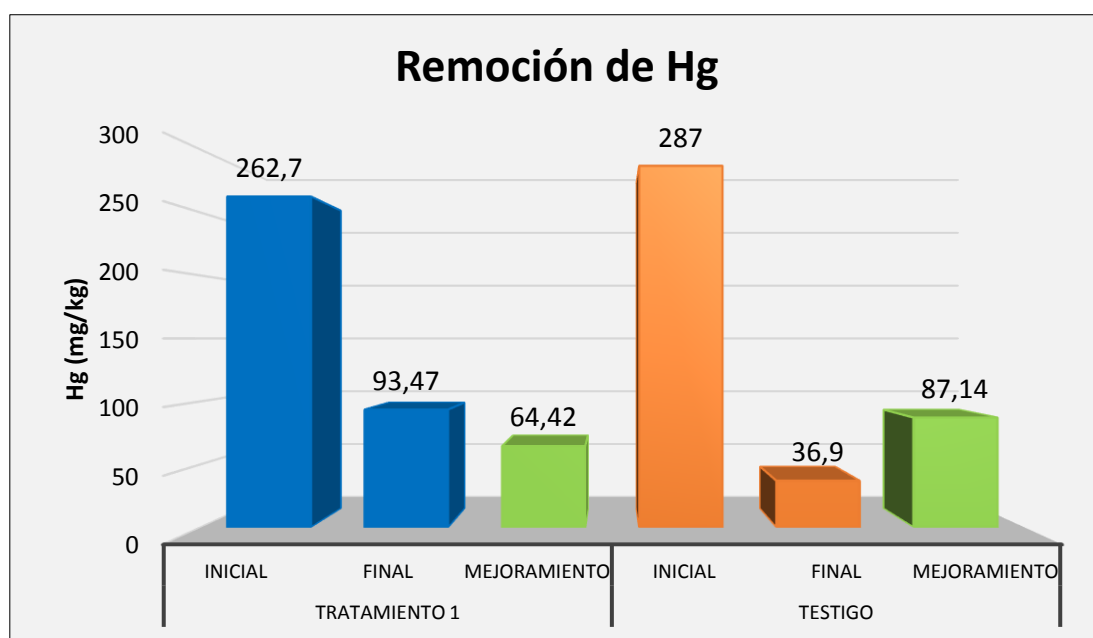


Figura 3. Comparación de la remoción de mercurio entre el tratamiento 1 y el testigo.

El tratamiento implementado con la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., presentó el 64,42% de remoción de mercurio, mientras que la repetición de control (testigo) removió el 87,14% superando al tratamiento con la especie. A pesar que existe un buen porcentaje de remoción de mercurio efectuado tanto del tratamiento como de la repetición de control, estos valores aún se encuentran sobre los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 028.

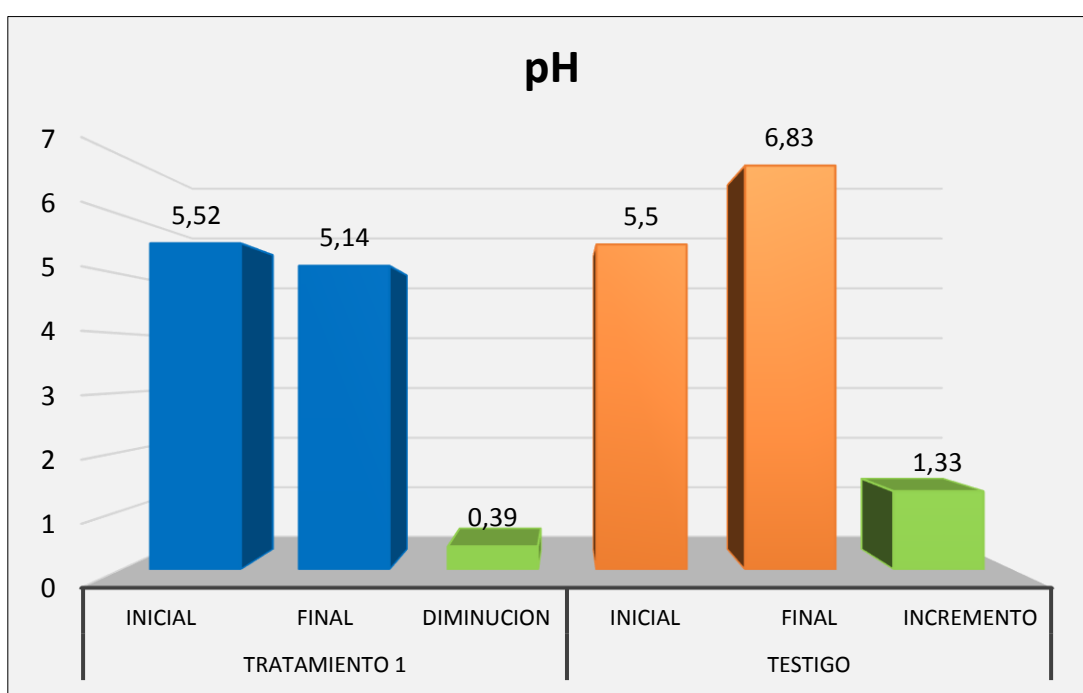


Figura 4. Comparación del pH entre los resultados iniciales y finales.

En cuanto al potencial de hidrógeno se evidencia que existe una disminución 0,39 en el tratamiento 1 en comparación con el valor de la muestra inicial, mientras que en la repetición de control (testigo) mostró un incremento de 1,33 con relación al valor inicial.

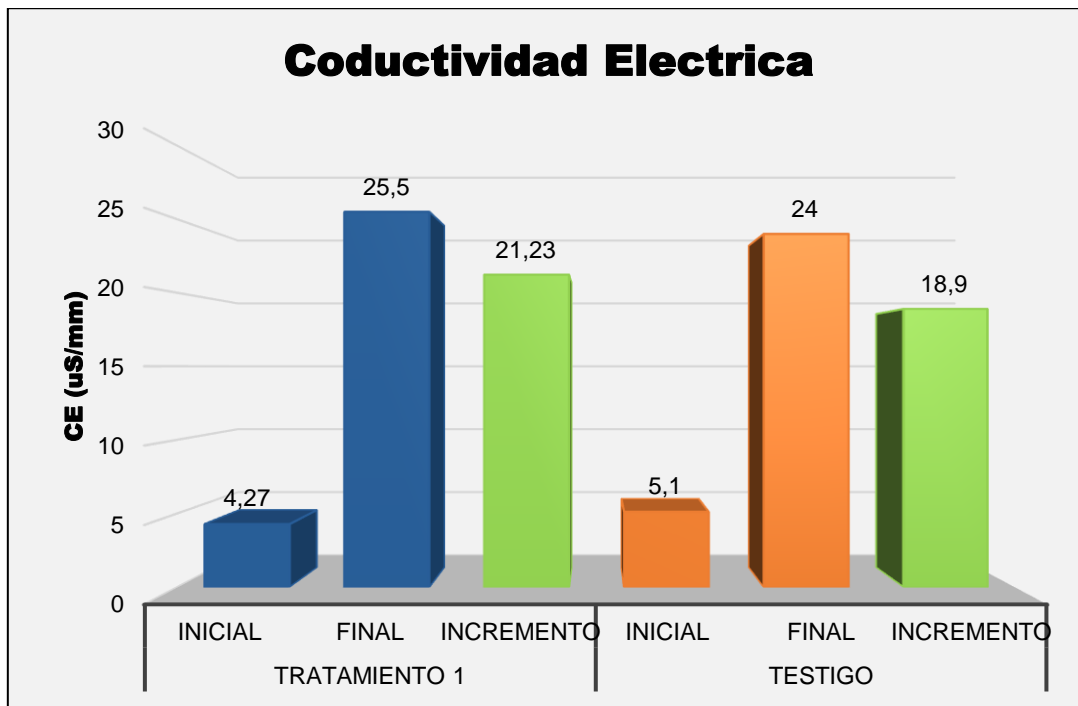


Figura 5. Comparación del incremento de conductividad eléctrica en el suelo.

La conductividad eléctrica tanto del tratamiento 1 como de la testigo ha incrementado en comparación con el valor inicial de la muestra, siendo más evidente el incremento en el tratamiento 1. A pesar que existe una considerable diferencia respecto a los valores de la conductividad eléctrica, estos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 028.

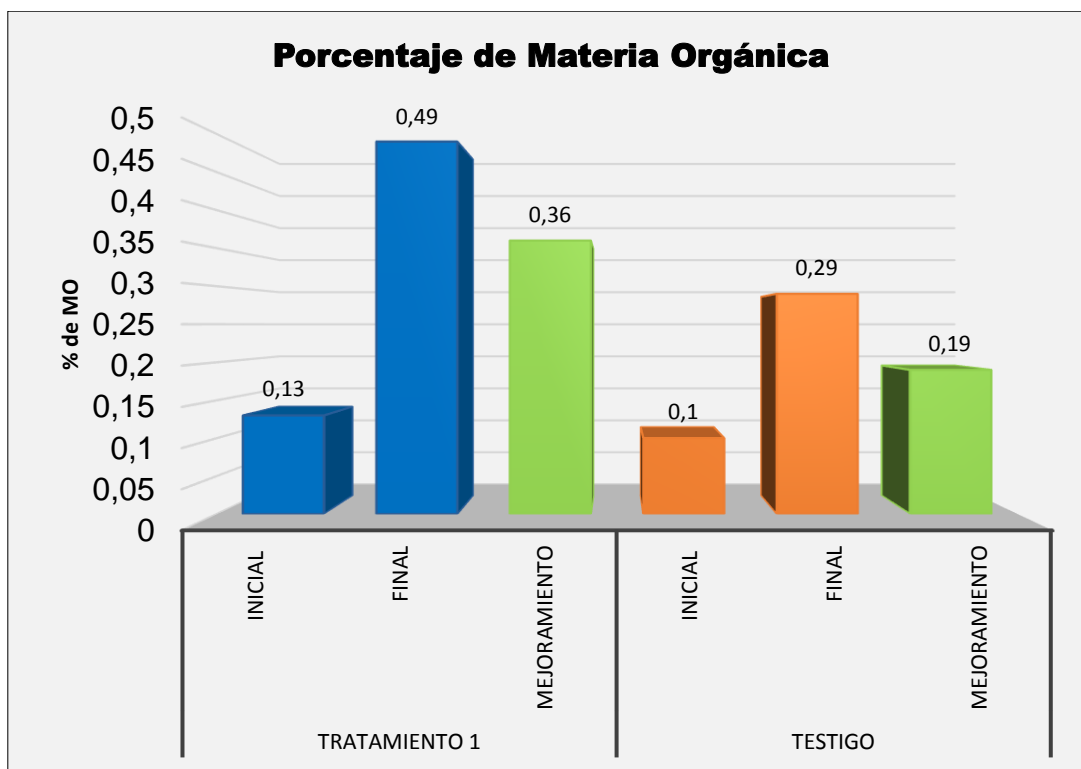


Figura 6. Comparación de la materia orgánica entre el tratamiento 1 y la testigo.

La concentración inicial de materia orgánica se determinó en un porcentaje del 0,13%, una vez concluido el experimento se determinó un porcentaje del 0,49%, incrementando el 0,36% mediante la aplicación del ensayo, mientras que la muestra testigo presentó un resultado de 0,1% incrementado a 0,29% al finalizar el ensayo.

6.8 Desarrollo del modelo estadístico no paramétrico Chi cuadrado (x²) para los parámetros analizados.

Desarrollo del método estadístico Chi cuadrado para verificar la hipótesis.

6.8.1 Hipótesis

El nivel de descontaminación del suelo contaminado por mercurio, depende del potencial fitorremediador de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

6.8.2 Planteamiento de la hipótesis nula y la hipótesis alternativa

Hipótesis Nula (H₀).- La efectividad del tratamiento del suelo por el proceso de fitorremediación no depende de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

Hipótesis Alternativa (H₁).- La efectividad del tratamiento del suelo por el proceso de fitorremediación depende de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

6.8.3 Calcular el valor del Chi cuadrado

Se obtuvo los valores de contingencia de las frecuencias observadas, de los resultados de los análisis de suelo contaminado con mercurio de cada repetición empleada en el tratamiento con la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., como se detalla en siguiente cuadro.

Cuadro 7. Frecuencias observadas en el tratamiento

Parámetro	Tratamiento 1			
	R1	R2	R3	Suma
pH	5,28	4,99	5,15	15,42
Conductividad (uS/mm)	10,3	48,4	17,8	76,5
Mercurio (mg/kg)	116	135	29,4	280,4
Materia Orgánica (%)	0,64	0,65	0,18	1,47
Suma	132,22	189,04	52,53	373,79

Con los datos del cuadro correspondiente a las frecuencias observadas del resultado del análisis de los tratamientos del suelo contaminado por Hg, se procedió a realizar la suma de los resultados tanto de las filas como de las columnas para obtener el cuadro de las frecuencias esperadas.

Cuadro 8. Contingencia de las frecuencias esperadas

Parámetro	Tratamiento 1		
	R1	R2	R3
pH	5,4545	7,7985	2,1670
Conductividad (uS/mm)	27,0602	38,6890	10,7508
Mercurio (mg/kg)	99,1853	141,8091	39,4056
Materia Orgánica (%)	0,5200	0,7434	0,2066

Con los datos obtenidos de las frecuencias observadas y esperadas, se procedió a realizar el cálculo del Chi cuadrado (χ^2) utilizando la siguiente fórmula.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Donde:

χ^2 = Chi cuadrado

F_o= Frecuencia observada

F_e= Frecuencia esperada

6.8.4 Desarrollo del procedimiento para el cálculo del Chi cuadrado (χ^2).

Cuadro 9. *Calculo del Chi cuadrado (χ^2).*

Parámetro	Tratamiento	FO	Fe	X2
pH	R1	5,28	3,2649	1,2437
	R2	4,99	9,0672	1,8333
	R3	5,15	3,0879	1,3770
Conductividad (uS/Cm)	R1	10,3	27,0602	10,3807
	R2	48,4	38,6890	2,4375
	R3	17,8	10,7508	4,6221
Mercurio (mg/kg)	R1	116	59,3694	54,0180
	R2	135	164,8788	5,4145
	R3	29,4	56,1518	12,7451
Materia Orgánica (%)	R1	0,64	0,3112	0,3473
	R2	0,65	0,8644	0,0532
	R3	0,18	0,2944	0,0444
TOTAL				94,5168

6.8.5 Determinación del valor “p” y el grado de libertad

Se determinó el valor “p”.

P= 1 - Nivel de significancia (0,05)

P= 1- 0,05

P= 0,95

6.8.6 Se determinó el grado de libertad (V)

V= (cantidad de columnas -1)*(cantidad de filas -1)

V= (3-1) * (4 -1)

V= (2) * (3)

V= 6

6.8.7 Obtención del valor crítico

De acuerdo a la tabla para valores de Chi cuadrado (χ^2), el valor crítico (vc) es:

Vc= 12,592

6.8.8 Comparación entre el Chi cuadrado calculado y el valor crítico (vc).

X2 calculado	≥	Vc
94,5168		12,592

6.8.9 Interpretación de los datos obtenidos

El chi cuadro calculado es 94,5168 es mayor que el valor del Chi cuadrado critico 12,592 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho): La efectividad del tratamiento del suelo por el proceso de fitorremediación no depende de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (H1): La efectividad del tratamiento del suelo por el proceso de fitorremediación depende de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

7 DISCUSIÓN

Mercurio

En cuanto a la remoción de mercurio en el suelo, en el análisis inicial se determinó una concentración de 262,7 mg/kg. Luego de la aplicación del ensayo con la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., se determinó un valor de 93,47 mg/kg, alcanzando un porcentaje de remediación de 64,42%; mientras que la concentración inicial de la muestra testigo fue de 287 mg/kg, al concluir el experimento presentó un valor de 36,9 mg/kg, obteniendo el 87,14% de remoción de mercurio en el suelo.

El alto grado de descontaminación del suelo se debe a la capacidad que posee esta especie para degradar el contaminante mercurio, este resultado es corroborado por (Ortega *et al*, 2011) en un estudio *in vitro* de acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv., donde determinó la acumulación de 55,98 $\mu\text{g g}^{-1}$ de mercurio de 78 $\mu\text{g g}^{-1}$ en dos meses. Si embargo en función de los resultados obtenidos, el testigo presentó un mejor porcentaje de degradación del contaminante ya que posiblemente se debe al proceso de volatilización, según Frear y Dills (citado por López *et al.*, 2010) la volatilización de este elemento se incrementa cuando el pH está entre 5,3 y 6,8, la repetición testigo presentan un rango de pH en el que se ve favorecida la pérdida de mercurio por volatilización.

Otro factor fundamental para la volatilización del mercurio es la temperatura según Millán y Carrasco (citado por López *et al.*, 2010), durante la investigación se presentaron condiciones climáticas fuertes que influyeron en la pérdida de mercurio debido a este factor, además es importante recalcar que en el sustrato de control

(testigo) no hubo influencia de riego, permitiendo de esta manera el aumento de temperatura en el suelo e influyendo en la volatilización del mercurio.

Potencial de hidrógeno

En el análisis inicial se determinó un pH de 5,52. Luego del ensayo se determinó un valor de 5,14, disminuyendo 0,39 en comparación con el valor de la muestra inicial, mientras que en la repetición de control (testigo) mostró un incremento de 1,33 con relación al valor inicial.

La disminución pH en el tratamiento 1, se atribuye a la respiración de los microorganismos y los exudados liberados por las raíces de las plantas; los procesos metabólicos generan CO₂ y ácidos orgánicos solubles acidificantes los cuales se comportan como ácidos libres en el suelo. Por efecto de la hidrólisis del CO₂ a la presión que se alcanza en el suelo, el pH puede llegar a ser menor o cercano a 5,0 según Stumm y Morgan (citado por Zapata, s/f). En la muestra testigo sucedió lo contrario ya que no existió presencia de plantas.

Materia Orgánica

En lo que respecta a la materia orgánica se determinó en un porcentaje del 0,13% en la muestra inicial, una vez concluido el experimento se determinó un porcentaje del 0,49%, mejorando el 0,36% mediante la aplicación del ensayo; mientras que la muestra testigo presentó un resultado de 0,1% incrementado a 0,29% al finalizar el ensayo. De acuerdo a los resultados del presente estudio el tratamiento 1 presentó un mayor aumento de materia orgánica, ya que según (Pascual e Izquierdo s/f) manifiestan que la materia orgánica de la naturaleza se transforma mediante conversiones biológicas. En esta transformación

biogeoquímica, los microorganismos convierten el material orgánico del suelo a una forma inorgánica, mejorando la fertilidad del suelo, otro factor que pudo influir en el mejoramiento de la materia orgánica es la presencia de humedad en el suelo como lo ratifica (Ramos y Zúñiga, 2008) estableciendo que el porcentaje de humedad favorece la actividad de los microorganismos en el suelo, mejorando de esta manera la disponibilidad de materia orgánica en el suelo.

8 CONCLUSIONES

El suelo del área de investigación se encuentra altamente contaminado por mercurio (Hg) con un valor promedio de 262,7 mg/kg, este valor supera a los límites máximos permisibles de la tabla 1 criterios de calidad establecidos en el Acuerdo Ministerial N° 028.

El suelo del área de investigación presentó bajo contenido de materia orgánica con un valor promedio de 0,13% y el potencial de hidrogeno con un valor promedio de 5,52.

La mortalidad de las plantas presentó solo en los primeros 15 días, en función de la concentración de mercurio en el suelo. Las repeticiones con mayor cantidad de mercurio se obtuvieron mayor porcentaje de mortalidad con un valor de 12,5%.

El porcentaje de hojas cloróticas presentó en función de la concentración de mercurio en el suelo e incrementó de acuerdo al tiempo de exposición de las plantas en el sustrato contaminado hasta alcanzar el valor más alto de 38,32% en los 120 días.

El tratamiento implementado con la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., presentó el 64,42% de remoción de mercurio, mientras que la repetición de control (testigo) removió el 87,14% superando al tratamiento con la especie.

9 RECOMENDACIONES

Realizar nuevas investigaciones con la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., utilizando distintas dosificaciones y a diferentes tiempos de exposición con el fin de establecer el nivel de tolerancia y su potencial fitorremediador.

En nuevas investigaciones se recomienda incorporar nuevos parámetros como el análisis químico de las diferentes partes de la planta para determinar con mayor exactitud la eficiencia de fitorremediación por esta especie.

Considerando que la repetición de control (testigo) presentó mayor porcentaje de remoción de mercurio que el tratamiento implementado con la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv., no se recomienda esta especie para remediar suelos contaminados con mercurio.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, L., Macias , K., & Suárez, A. (s.f.). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosolidos. *Lasallista de investigacion*, 2. Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de <http://hdl.handle.net/10567/332>
- Arenas Moya, S., & Hernández Caro, S. A. (2012). Fitotoxicidad del cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) en la especie *Brassica nigra*. Medellín, Colombia.
- Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Montecristi.
- Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2013). Ley Orgánica Reformatoria a la Ley Minera Publicada en el Registro Oficial No. 517 del 29 de enero de 2009 última modificación 16 de Julio de 2013.
- Cordero. (2015). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca Furatena Alta en el municipio de Utica (Cundinamarca)*. Bogotá.
- Gobierno Autonomo Descentralizado de la Parroquia La Paz. (2011).
- Huerta, H. (2010). *Determinacion de propiedades fisicas y quimicas de suelos con mercurio en la region de San Joaquin, QRO; y su relacion con el crecimiento bacteriano* . México.

- Lominchar, M., Sierra, M., Rodríguez, J., & Millán, R. (2010). Estudio del Comportamiento y Distribución del Mercurio Presente en Muestras de Suelo Recogidas en la Ribera del Río Valdeazogues. España: CIEMAT.
- López Corrales, E. (2014). Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por actividades mineras. *Especialización en gestión integral de residuos sólidos y peligrosos*. Caldas, Antioquia.
- López Tejedor, I., Sierra, M., Rodríguez, J., & Millán, R. (2010). Estudio de la Absorción y Distribución del Mercurio en Nerium Oleander L. en la Ribera del Río Valdeazogues (Estación de Chillón - Almadén). CIEMAT.
- Martínez Trinidad, S. (2013). Comportamiento del mercurio total en los sistemas terrestres del distrito minero de San Joaquín, QRO. Aplicación de modelos geoestadísticos y de regresión con árboles de decisión. México.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE. (2015). Acuerdo Ministerial No. 028. Quito, Ecuador.
- Olivero Verbel, J., & Johnson Restrepo, B. (2002). El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (s.f.). Ecología y enseñanza rural: El Suelo. Recuperado el 24 de Mayo de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s04.htm#TopOfPage>
- Ortega Ortega, R. E., Beltrán Herrera, J. D., & Marrugo Negrete, J. L. (2011). Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl)

Beauv. in vitro Revista Colombiana de Biotecnología. *XIII*, 33-41. Bogotá, Colombia. Recuperado el 3 de Noviembre de 2016, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77621348005>

Ortega Ortiz , H., Benavides Mendoza , A., Arteaga , R., & Zeremeño Gonzáles , A. (s.f.). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de http://abenmen.com/a/Nutricion_Vegetal-4.pdf

Pascual, R., & Izquierdo, S. (s.f.). La Materia Orgánica del Suelo. Papel de los Microorganismos. Ciencias Ambientales.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2005). Evaluación mundial sobre el mercurio. *Productos químicos*. Ginebra, Suiza.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2000). Annual Review, Nairobi, Kenia.

Ramos Vásquez , E., & Zúñiga Dávila , D. (2008). Efecto de la Humedad, Temperatura y PH del Suelo en la Actividad Microbiana a Nivel de Laboratorio. Perú.

Rojas, C. (2010). Efecto de la interacción hongo- *Dodonaea viscosa* L. Jacq en la fitorremediación de plomo en un sistema in vitro. México.

Sehuanes Herrera, I., & Flores Suárez, H. (2004). Micropropagacion In Vitro de la Caña Flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv, c,v, "Criolla" Mediante el Uso de Segmentos Nodales. Sincelojo.

Vidal Durango, J. (2009). Capacidad del guarumo (*Cecropia peltata*) como planta fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio. Cartagena, Colombia.

Zapata Hernández, R. (s.f.). Origen de la Acidez en el Suelo: Capitulo 2.

11 ANEXOS

Anexo 1. Modelo de entrevista para aplicar propietario del terreno intervenido



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

AREA AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

Entrevista aplicable al propietario del terreno intervenido

Provincia:..... Parroquia:.....

Cantón:..... Sector:.....

1.- ¿Desde cuándo se viene desarrollando la minería aurífera en este sector?

.....

2.- ¿La compañía minera cuenta con permiso de operación aprobado por el MAE?

.....

3.- En el área de investigación ¿Qué tipo de minería realizan?

Pequeña minería..... Minería artesanal..... Otros.....

4.- ¿Qué sustancias utilizan los consorcios mineros en el proceso de extracción minera?

.....

5.- ¿Se ha realizado actividades de remediación de suelos?


.....

6.- ¿Cuál es el uso actual de su terreno?

.....

.....


Anexo 2. Ficha para la caracterización del área de influencia directa

	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA AREA AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente Sede-Zamora	
Ficha para la Caracterización del Área de Influencia Directa	
Ubicación Geográfica del sitio:	
Condiciones locales de la zona	
Clima:	Precipitación:
Temperatura del ambiente:	Ubicación de cuerpos de agua aledaños:.....
Caracterización del suelo:	
Uso del suelo:	Vegetación presente:
Topografía:	


Anexo 3. Etiqueta para las muestras de suelo.

<u>DATOS DE LA MUESTRA</u>			
CÓDIGO	<input type="text"/>	FECHA:	<input type="text"/>
CANTIDAD DE SUELO:	<input type="text"/>		
COORDENADAS: X	<input type="text"/>	Y:	<input type="text"/>
HORA DE RECOLECCION:	<input type="text"/>		
RESPONSABLE:	<input type="text"/>		


Anexo 4. Hoja de registro para el seguimiento de la especie *Gynerium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA AREA AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente					
Hoja de registro de las características morfológicas de la especie <i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P. Beauv.					
Repetición:			Fecha:/.....2016		
Repeticione s	Código de las plantas	Mortalidad (%)	Altura (Cm)	Numero de hojas	Hojas con clorosis (%)
R1	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
R 2	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
R 3	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				

Anexo 5. Resultados Iniciales de las muestras de suelo



REPORTE DE ANÁLISIS



Servicio de Acreditación Ecuatoriana
Acreditación N° 056 LE 20 05-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

Cliente: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Guashán
Chapinta
Tel: 0988992008

Atn: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Guashán
"Evaluación del Potencial Fitorremediador de la Especie
Gynerium sagittatum (Aubl.) P. Beauv. en Suelos
Contaminados por Mercurio"

Proyecto: Gynerium sagittatum (Aubl.) P. Beauv. en Suelos
Contaminados por Mercurio"

Muestra Recibida: 21-abr-16
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Suelo
Análisis Completado: 28-abr-16
Número reporte Gruntec: 1604270-S001

Rotulación Muestra:	RT1	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestra:	15-abr-16	
No. Reporte Gruntec:	1604270-S001	
Parámetros en Extracción Acroosa 2:1:		
pH ^(1,2)	5.7	EPA 9545 D / MMAQ/S-01
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^(1,2)	38	EPA 9050 A / MMAQ/S-02
Parámetros Generales en Suelos:		
Textura *	Arenosa	Método Interno
Metales en peso seco:		
Mercurio mg/kg ^(1,2)	215	EPA 8225 A / MMAQ/S-36
Parámetros Orgánicos en peso seco:		
Materia Orgánica % *	0.2	HACH 8097

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 20 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005


Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE.

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30; Conductividad en sólidos = 0.11; Humedad = 0.06

Cálculo: $C \pm U \times C$ en donde: C=valor medido, U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Este análisis, opiniones y interpretaciones están basadas en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede adoptar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 2

REPORTE DE ANÁLISIS



Cliente: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Gualán
Chapinza
Tel: 0929943050

Atn: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Gualán

Proyecto: "Evaluación del Potencial Fitorremediador de la Especie
Gynerium sagittatum (Aubl.) P. Beauv. en Suelos
Contaminados por Mercurio"

Muestra Recibida: 21-abr-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Suelo

Análisis Completado: 29-abr-16

Número reporte Gruntec: 1604270-S002

Rotulación Muestra:	IRT2	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	15-abr-16	
No. Reporte Gruntec:	1604270-S002	
Parámetros en Extracción Acuosa 2:1:		
pH ^(1,2)	5.3	EPA 9045 D / MM-AGIS-01
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1,2)	55	EPA 9050 A / MM-AGIS-02
Parámetros Generales en Suelos:		
Textura *	Arenosa	Método Interno
Metales en peso seco:		
Mercurio mg/kg ^(1,2)	377	EPA 6023 A / MM-AGIS-08
Parámetros Orgánicos en peso seco:		
Materia Orgánica % *	<0.1	HWCH 8067

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. DAE LE 20 06-006

⁽²⁾ Registro SA / NCMQ No. LEA-R-006

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.33; Conductividad en sólidos = 0.11; Humedad = 0.33

Cálculo: C = \pm UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 2 de 8

REPORTE DE ANÁLISIS



Cliente: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Gualán
Chapinza
Tel: 0659992088

Atn: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Gualán

Proyecto: "Evaluación del Potencial Fitoremedador de la Especie
Gynerium sagittatum (Aubl.) P. Beauv. en Suelos
Contaminados por Mercurio"

Muestra Recibida: 21-abr-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Suelo

Análisis Completado: 29-abr-16

Número reporte Gruntec: 1604270-S003

Rotulación Muestra:	RT3	Método Aceptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestra:	15-abr-16	
No. Reporte Gruntec:	1604270-S003	
Parámetros en Extracción Acuosa 2:1:		
pH ^(1,2)	5.6	EPA 9045-D / MM-AGIS-21
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1,2)	35	EPA 8220-A / MM-AGIS-22
Parámetros Generales en Suelos:		
Textura *	Arenosa	Método Interno
Metales en peso seco:		
Mercurio mg/kg ^(1,2)	196	EPA 8220-A / MM-AGIS-30
Parámetros Orgánicos en peso seco:		
Materia Orgánica % *	<0.1	ISO 10397

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 20 06-006

⁽²⁾ Registro SA / MDAG No. LEA-R-006

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U)

Metales en sólidos = 0.35; Conductividad en sólidos = 0.11; Humedad = 3.25

Cálculo: $C \pm U \cdot C$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre



Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provista por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 3 de 8



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Gualán

Chapinza
Tel: 0833992558

Atn: Ing. Wilson Rodrigo Sarango Gualán

"Evaluación del Potencial Fitoremediador de la Especie

Proyecto: *Gynenium sagittatum* (Aubl.) P. Beauv. en Suelos Contaminados por Mercurio"

Muestra Recibida: 21-abr-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Suelo

Análisis Completado: 29-abr-16

Número reporte Grüntec: 1604270-S004

Rotulación Muestra:	RT4	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	15-abr-16	
No. Reporte Grüntec:	1604270-S004	
Parámetros en Extracción Acuosa 2:f:		
pH ^(1,2)	5,5	EPA 9045 D / MM-AGIS-01
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1,2)	51	EPA 9050 A / MM-AGIS-02
Parámetros Generales en Suelos:		
Textura *	Areosa	Método Interno
Metales en peso seco:		
Mercurio mg/kg ^(1,2)	257	EPA 9020 A / MM-AGIS-30
Parámetros Orgánicos en peso seco:		
Materia Orgánica % *	<0,1	HMCH 9027

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. QAE LE 20 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-025

Los análisis marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del QAE

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0,2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0,30; Conductividad en sólidos = 0,11; Humedad = 0,05

Cálculo: C +(-) UxG en donde: C=valor medido; U= incertidumbre



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente pero quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.


Página 4 de 8

Anexo 6. Resultados finales de las muestras de suelo

		INFORME DE ENSAYO			
N° de Referencia:	S-46/07854	Registrado en:	AGQ Ecuador	Cliente:	WILSON RODRIGUEZ RAMIRO GUAYAN
Analista:	S-1260-PC	Centro Analista:	AGQ Perú	Dirección:	JANORA, BARRIO POCOPARANILLO
Tipo Muestra:	SUELO AGRICOLA	Fecha Recepción:	07/04/2016	Código:	PRE-CCIS-0000
Fecha Inicio:	12/04/2016	Fecha Fin:	02/14/2016	Cliente 2º:	—
Descripción:	COBICORTI				
Fecha de Muestra:	05/04/2016	Muestra de por:	Clasificación		

A continuación se exponen el Informe de Errores y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este Informe, no han sido corregidos con base en la recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guarda bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.



Yael Higo COP 406
 Resp. Lab. Inorgánica

FECHA DE EMISIÓN: 02/14/2016

OBSERVACIONES
 Muestra de suelo agrícola RTI Provino: Evaluación del potencial fitomicrobiano de la especie *Genentrix sagittatus* (Publ.) en suelos con rinde de parronales en el Barrio Kuntza, Paraguri la Paz, cantón Yumbi, Provincia de Tarma, Chinche.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normativas de producción o como un certificado de calidad de la entidad que lo produce.



INFORME DE ENSAYO



Número Referencial: S-160726A

Descripción: COBICORTI

Tipo Muestra: SUELO AGRICOLA

Fecha Fin: 09/10/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	Phi T	Técnica	Referencia	Rango (l)
Propiedades físicas - Granulometría				
• Arena	PCC-019	Densitometría		0,00-0,00%
• Arena	PCC-019	Densitometría		0,00-0,00%
• Granulometría	PCC-019	Densitometría		0,00-100
• Llama	PCC-019	Densitometría		0,00-0,00%
Acididad				
Conductividad Eléctrica (Corriente l/l)	PCC-002	Electrometría		70,0-20.000 µS/cm a 20°C
• Materia Orgánica Oxidable	PCC-013	Volúmetría		0,17-6,00%
pH (Corriente l/l)	PCC-001	Electrometría		2,00-12,0
Metales pesados				
Mercurio Total	PP-209	Espectroscopía		0,001-10,0 mg/kg

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

AGQ PERU, S.A.C

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Calle 11ava. 11ava. PERU

T: (511) 7102700

F: (511) 7102094

operacion@agq.com.pe

www.agq.com.pe

3/3

El presente informe es válido únicamente para el laboratorio de ensayos de suelos de la entidad AGQ PERU, S.A.C.



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: S-16/07825	Registro de an: AGQ Ecuador	Cliente: WILSON RODRIGUEZ RAMIRO GUAYAN
Análisis: S-1260-PC	Centro Análisis: AGQ Paró	Dirección: TAMORA, BARRIO POCIPARANMI LO
Tipo Muestra: SUCRO AGRICOLA	Fecha Recepción: 07/09/2016	Centro: PRE-ECI6-0000
Fecha Inicio: 07/09/2016	Fecha Fin: 08/10/2016	Cliente 2º: —
Descripción: COCINO RITO		

Fecha de an: 08/10/2016	Muestra de par: Cliente
-------------------------	-------------------------

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este Informe, no han sido corregidos con fines de recuperación siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guarda bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Yasli Negró Cordero
Resp. Lab. Inorgánica

FECHA DE EMISIÓN: 08/10/2016

OBSERVACIONES

Muestra de suelo agrícola RTO-Provincia: Delación del personal Promovido del de la Espacia General de Seguridad (Audi) en suelo controlado por y enviado al Barrio Kumbra, Parroquia la Paz, cantón Yaguajayán, Provincia de Táchira, Chiriquí.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normativas de producción o como un certificado de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Ave. Santa Rosa 5111 La Paz - Callao, Ilimo, PERU

Tel: 51 | 7102700

Fax: 51 | 7102024

operaciones@agq.org.pe

www.agq.org.pe

1/0



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: 546/27225	Registrado en: AGQ Ecuador	Ciudad: WISCH RUIRGOSPARHGO GUPIA
Analista: S4760-PC	Centro Analista: AGQ Perú	Dirección: TAMORA, BARRIO POCORAMILLO
Tipo Muestra: SACO AGRICOLA	Fecha Recepción: 07/09/2016	Centro: PRE-DCS-00000
Fecha Inicio: 12/09/2016	Fecha Fin: 02/10/2016	Ciudad: —
Descripción: COBICORT		
Fecha de Emisión: 02/10/2016	Muestra de por: Ciema	

A continuación se exponen el Informe de Error y Ancho Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este Informe, no han sido corregidos con base en la recuperación, siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guarda bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Yoel Higo COP 406
Resp. Lab. Ingeniería

FECHA DE EMISIÓN: 02/10/2016

OBSERVACIONES

Muestra de suelo agrícola RT2 Proxima: Detección del pesticida Flumetadidor de la Empresa Guertler Sogromun (Sulb) en suelo controlado por el analista en el Barrio Kurima, Parroquia la Paz, cantón Yasuni, Provincia de Tarma Chichipe.

Los resultados de los ensayos deben ser utilizados como una estimación de confiabilidad con base en la producción o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 5111 La Paz - Cllao. Hno. Hno. RRU

T: (51) 7102760

F: (51) 7102094

open.donaparu@agq.com.pe

www.agq.com.pe

1/0



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: S-1607225
Designación: CODIGORT2

Tipo Muestra: SUELO AGRICOLA
Fecha Fin: 05/10/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	Mét.	Técnica	Referencia	Rango (l)
Propiedades físicas - Granulometría				
• Arena	PCC-019	Determinación		0,00-0,00%
• Limo	PCC-019	Determinación		0,00-0,00%
• Grudavento	PCC-019	Determinación		0,00-100
• Lila	PCC-019	Determinación		0,00-0,00%
Acididad				
Conductividad Eléctrica (Estrato l/l)	PCC-002	Determinación		70,0-20.000 µS/cm a 20°C
Materia Orgánica Oxidable	PCC-013	Valoración		0,17-6,00%
pH (Estrato l/l)	PCC-001	Determinación		2,00-12,0
Metalos pesados				
Mercurio Total	PP-204	Espectro AFS		0,001-10,0 mg/kg

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

AGQ PERU, S.A.C

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Caba Llave, Iloca, PERU

T: (511) 7102700

F: (511) 7102094

apartadonapar@agq.com.pe

www.agqbo.com

3/0



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: S-46/07266	Registrado en: AGQ Ecuador	Cliente: WILSON RODRIGUEZ RAMIRO GUANAH
Analista: S-1260-PC	Centro Analista: AGQ Perú	Dirección: TAMORA, BARRIO POCOPARANMI 10
Tipo Muestra: SUELO AGRICOLA	Fecha Recepción: 07/09/2016	Centro: PRE-CCIS-0000
Fecha Inicio: 10/09/2016	Fecha Fin: 02/10/2016	Cliente 2º: —
Descripción: COBILGORTO		

Fecha de Emisión: 02/10/2016	Muestra de por: Cliente
------------------------------	-------------------------

A continuación se exponen el Informe de Errores y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este Informe, no han sido corregidos con fines de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guarda bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Yael Higo COP 426
Resp. Lab. Inorgánica

FECHA DE EMISIÓN: 02/10/2016

OBSERVACIONES

Muestra de suelo agrícola RTD Provino: Detección del parásito *Phomoxanthus* de la especie *Genarivus Sagittarius* (Aublé) en suelo controlado por su presencia en el Barrio Kumbra, Pomaquia la Paz, cantón Yacumbi, Provincia de Tarma Chinchipe.

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



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: S-1607226
Descripción: COBICORTO

Tipo Muestra: SUELO AGRICOLA
Fecha Em: 04/10/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	Phi T	Técnica	Referencia	Rango (l)
Propiedades físicas - Granulometría				
• Arena	PCC-010	Densimetría		0,00-0,00%
• Limo	PCC-010	Densimetría		0,00-0,00%
• Grudulento	PCC-010	Densimetría		0,00-100
• Llave	PCC-010	Densimetría		0,00-0,00%
Acididad				
Conductividad Eléctrica (Extracto 1:1)	PCC-002	Densimetría		70,0-20.000 µS/cm a 20°C
• Materia Orgánica Oxidable	PCC-013	Volúmetría		0,17-6,00%
pH (Extracto 1:1)	PCC-001	Densimetría		2,00-12,0
Metales pesados				
Mercurio Total	PP-200	Espectroscopía		0,001-10,0 mg/kg

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como un certificado de libre venta de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU S.A.C

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Caba I Iva, I Iva, PERU

T: (511) 7102700

F: (511) 7102024

aperturas@agq.com.pe

www.agq.com.pe

2/3

El presente informe es propiedad de AGQ PERU S.A.C. y no debe ser utilizado sin el consentimiento escrito de AGQ PERU S.A.C.



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: 546/0787	Registrado en: AGQ Ecuador	Cliente: WILSON RODRIGUEZ RAMIRO GUAYAN
Analito: S-1260-PC	Centro Analito: AGQ Perú	Dirección: TAMAYO, BARRIO PICHARAME 10
Tipo Muestra: SUELO AGRICOLA	Fecha Recepción: 07/09/2016	Comuna: PRE-CCIS-GUISO
Fecha Inicio: 07/09/2016	Fecha Fin: 09/10/2016	Cliente 2º: —
Descripción: COBISORPA		

Fecha Hora Muestreo:	05/09/2016	Muestra de por:	Clasificación
----------------------	------------	-----------------	---------------

A continuación se exponen el Informe de Errores y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los errores realizados.

Los Resultados emitidos en este Informe, no han sido corregidos con fines de recuperación, siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guarda bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Yael Inga COF 626
Resp. Lab. Inorgánica

FECHA DE RECEPCIÓN: 04/10/2016

OBSERVACIONES

Muestra de suelo agrícola RTA-Provincia: Delineación del parámetro Fierro/abundancia de la Espectro Generalizado (según normativa) en suelos controlados perteneciente al Barrio Kuntza, Parroquia la Paz, Cantón Yaguajayán, Provincia de Tarma Chinchipe.

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

AGQ PERU, S.A.C

Av. Santa Rosa 5111a Paro - Callao - Ima. Ima. PERU

T: +51 (0) 710 27 00

F: +51 (0) 710 20 94

operacionespasa@agq.org.pe

www.agq.org.pe

1/0



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: S-1607967
Descripción: COBICORTA

Tipo Muestra: SÚPO AGRICOLA
Fecha Fin: 09/10/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidad	Unidad	OP
Propiedades físicas - Granulometría				
• Arena	0,00	-	%	
• Arena	75,0	-	%	
• Granulometría	Arena Fina	-		
• Llama	25,0	-	%	
Fertilidad				
Conductividad Eléctrica (Estrato 1/l)	240	-	µS/cm a 20°C	
• Materia Orgánica Soluble	0,96	-	%	
pH (Estrato 1/l)	6,60	-		
Metales (tóxicos)				
Mercapto Total	26,9	-	mg/kg	

Nota: Los Resultados de este Informe solo tienen validez si la muestra es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este Informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Los Incidenciales serán recogidos en el mismo reporte adjunto. Si aparece marca de acreditación, los parámetros marcados con asterisco (*) no serán incluidos en el Anexo de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos necesarios y la Tarea de Muestra, cuando sea la que se realice por el. A: Cueva subcamerada y acreditada. h: Cueva subcamerada y no acreditada. RE: Recuento en placa activada

Los resultados de los ensayos no deben ser atribuidos a una certificación de conformidad con normas de producto o a una certificación de laboratorio de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU S.A.C

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Criba Llama, Iloca, PERU

T: (511) 7102700

F: (511) 7102094

op.asistencia@agq.com.pe

www.agq.com.pe

2/3



INFORME DE ENSAYO



N° de Referencia: S-1607967
 Descripción: COBRO RTA

Tipo Muestra: SUELO AGRICOLA
 Fecha Fin: 02/10/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	Phi T	Técnica	Referencia	Rango (l)
Propiedades físicas - Granulometría				
• Arena	PCC-019	Densimetría		0,00-0,00%
• Arcilla	PCC-019	Densimetría		0,00-0,00%
• Grudavento	PCC-019	Densimetría		0,00-100
• Llena	PCC-019	Densimetría		0,00-0,00%
Acididad				
Conductividad Eléctrica (Cerrado l/l)	PCC-002	Densimetría		70,0-20.000 µS/cm a 20°C
• Materia Orgánica Oxidable	PCC-013	Volúmetría		0,17-0,00%
pH (Cerrado l/l)	PCC-001	Densimetría		2,00-12,0
Metales pesados				
Mercurio Total	PP-209	Espectro AFS		0,001-10,0 mg/kg

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

AGQ PERU, S.A.C

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Calle I y Av. Iloilo, ILOILO, PERU

T: (511) 7162700

F: (511) 7162094

operacionperu@agq.com.pe

www.agq.com.pe

3/0

El presente informe es válido únicamente para el laboratorio de Iloilo, Iloilo, Perú.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA.....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
1 TÍTULO	1
2 RESUMEN	2
2.1 SUMMARY.....	3
3 INTRODUCCIÓN	4
4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1 EL SUELO.....	6
4.1.1 CONCEPTO DE SUELO.....	6
4.1.2 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICOS QUE INCIDEN EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS.....	6
4.2 MERCURIO	8
4.2.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL MERCURIO.	9
4.2.2 TOXICIDAD DEL MERCURIO EN LA SALUD HUMANA	10
4.3 FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO	10
4.3.1 CONCEPTO DE FITORREMEDIACIÓN.	10
4.3.2 MECANISMOS DE FITORREMEDIACIÓN.	11

4.3.3	VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA FITORREMEDIACIÓN	12
4.4	GYNERIUM SAGITTATUM AUBL. P. BEAUV., COMO ESPECIE CON POTENCIAL FITORREMEDIADOR	13
4.4.1	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA ESPECIE GYNERIUM SAGITTATUM AUBL. P. BEAUV.	13
4.4.2	DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE.....	14
4.5	MARCO LEGAL FAVORABLE PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS EN EL ECUADOR	14
4.5.1	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....	14
4.5.2	LEY ORGÁNICA ACUERDO MINISTERIAL N° 028.....	15
4.5.3	LEY ORGÁNICA REFORMATORIA A LA LEY DE MINERÍA.....	17
4.6	ESTUDIOS REALIZADOS.....	18
5	MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1	MATERIALES	19
5.1.1	MATERIALES DE CAMPO	19
5.1.2	MATERIALES DE OFICINA	19
5.2	MÉTODOS	20
5.2.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	20
5.2.2	SUELO.....	21
5.2.3	CLIMA.....	21
5.2.4	HIDROLOGÍA.....	21
5.3	PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.....	21
5.3.1	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	21
5.4	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	22
5.4.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	22
5.4.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	22
5.4.3	METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO:	22
5.4.4	METODOLOGÍA SEGUNDO OBJETIVO:	29

6 RESULTADOS	35
6.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL ÁREA EN ESTUDIO RECOPIADA DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA LA PAZ.	35
6.1.1 POBLACIÓN `.....	35
6.1.2 EDUCACIÓN	35
6.1.3 SALUD	35
6.1.4 SERVICIOS BÁSICOS	35
6.1.5 SOCIOECONÓMICO.....	36
6.1.6 FLORA Y FAUNA.....	36
6.2 ENTREVISTA	36
6.3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA	38
6.4 SELECCIÓN DEL LUGAR PARA LA TOMA DE MUESTRAS.....	40
6.5 RESULTADOS INICIALES Y FINALES DE LAS MUESTRAS DE SUELO REFERENTES A LA INVESTIGACIÓN.....	42
6.6 DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA ESPECIE <i>GYNERIUM SAGITTATUM</i> (AUBL.) P. BEAUV.	44
6.7 COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS INICIALES Y FINALES DE LAS MUESTRAS DE SUELO DEL TRATAMIENTO Y LA TESTIGO.	45
6.8 DESARROLLO DEL MODELO ESTADÍSTICO NO PARAMÉTRICO CHI CUADRADO (x2) PARA LOS PARÁMETROS ANALIZADOS.	50
6.8.1 HIPÓTESIS	50
6.8.2 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS NULA Y LA HIPÓTESIS ALTERNATIVA	50
6.8.3 CALCULAR EL VALOR DEL CHI CUADRADO	50
6.8.4 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL CHI CUADRADO (x2).....	52
6.8.5 DETERMINACIÓN DEL VALOR “P” Y EL GRADO DE LIBERTAD	53
6.8.6 SE DETERMINÓ EL GRADO DE LIBERTAD (V)	53

6.8.7	OBTENCIÓN DEL VALOR CRITICO	53
6.8.8	COMPARACIÓN ENTRE EL CHI CUADRADO CALCULADO Y EL VALOR CRÍTICO (VC).	53
6.8.9	INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	54
7	DISCUSIÓN	55
8	CONCLUSIONES	58
9	RECOMENDACIONES.....	59
10	BIBLIOGRAFÍA	60
11	ANEXOS.....	64

Índice de Tablas

Tabla 1.	Criterios de calidad del suelo	16
Tabla 2.	Criterios de remediación (valores máximos permisibles)	17

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Distribución de las repeticiones.	29
Cuadro 2.	<i>Caracterización del área de influencia directa.</i>	39
Cuadro 3.	Ubicación geográfica del lugar muestreado.....	40
Cuadro 4.	<i>Resultados iniciales de las muestras de suelo intervenido por las actividades mineras.</i>	42
Cuadro 5.	Resultados finales de las muestras de suelo	43

Cuadro 6. <i>Comparación entre los resultados iniciales y resultados finales del tratamiento.</i>	46
Cuadro 7. Frecuencias observadas en el tratamiento	51
Cuadro 8. Contingencia de las frecuencias esperadas	51
Cuadro 9. Calculo del Chi cuadrado (x2).....	52

Índice de Figuras

Figura 1. Porcentaje de mortalidad y promedio de crecimiento de las plantas (cm) de cada uno de las repeticiones.....	44
Figura 2. Porcentaje de hojas con clorosis de cada repetición.....	45
Figura 3. <i>Comparación de la remoción de mercurio entre el tratamiento 1 y el testigo.</i>	46
Figura 4. <i>Comparación del pH entre los resultados iniciales y finales.</i>	47
Figura 5. <i>Comparación del incremento de conductividad eléctrica en el suelo.</i> ...	48
Figura 6. <i>Comparación de la materia orgánica entre el tratamiento 1 y la testigo.</i>	49

Índice de Fotografías

Fotografía 1. <i>Entrevista al propietario del terreno intervenido por las actividades mineras.</i>	23
Fotografía 2. <i>Ubicación de los puntos de muestreo.</i>	25
Fotografía 3. <i>Platabandas de madera construidas.</i>	26

Fotografía 4. Excavación del suelo para la recolección de muestras.....	27
Fotografía 5. Muestras etiquetadas.....	28
Fotografía 6. <i>Densidad de siembra de la especie vegetal</i>	31
Fotografía 7. Aplicación de 500 ml de agua en cada uno de las repeticiones	32
Fotografía 8. Seguimiento de las características morfológicas de la especie.	33
Fotografía 9. <i>Uso actual del suelo: área sin recuperar (sin uso solo escombros) y área recuperada (cultivos de yuca, caña y plátano).</i>	38

Índice de Mapa

Mapa 1. Ubicación Política del lugar en estudio.....	20
Mapa 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de suelo.	41

Índice de Anexos

Anexo 1. Modelo de entrevista para aplicar propietario del terreno intervenido ..	64
Anexo 2. Ficha para la caracterización del área de influencia directa	65
Anexo 3. Etiqueta para las muestras de suelo.	66
Anexo 4. Hoja de registro para el seguimiento de la especie <i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P. Beauv.	67
Anexo 5. Resultados Iniciales de las muestras de suelo.....	68
Anexo 6. Resultados finales de las muestras de suelo	72