

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACUMULADORA DE MERCURIO DE  
ESPECIES VEGETALES ESTABLECIDAS EN MINA SANTA CRUZ, SUR DE  
BÓLIVAR-COLOMBIA**

**LIBIA MARÍA PÉREZ CASTRO**



**SISTEMA DE UNIVERSIDADES ESTATALES DEL CARIBE COLOMBIANO  
SUE- CARIBE**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**SEDE UNIVERSIDAD DE SUCRE**

**NOVIEMBRE, 2010**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACUMULADORA DE MERCURIO DE  
ESPECIES VEGETALES ESTABLECIDAS EN MINA SANTA CRUZ, SUR DE  
BÓLIVAR-COLOMBIA**

**Trabajo de grado presentado para aspirar al título de  
Magíster en Ciencias Ambientales por:**

**LIBIA MARÍA PÉREZ CASTRO**



---

**JOSÉ LUIS MARRUGO NEGRETE, Ph.D**

**Director**

---

**JHON VICTOR VIDAL DURANGO, M.Sc.**

**Codirector**

**SISTEMA DE UNIVERSIDADES ESTATALES DEL CARIBE COLOMBIANO  
SUE- CARIBE**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**SEDE UNIVERSIDAD DE SUCRE**

**NOVIEMBRE, 2010**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma de jurado**

---

**Firma de jurado**

---

**Firma de jurado**

**Sincelejo Noviembre del 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía y fortaleza y por permitirme una vida llena de aventura experiencias y aprendizajes constantes

A mi director Ph.D. José Luis Marrugo por su colaboración en todo el proceso que hizo posible esta investigación. De igual forma a mi codirector M.sc Jhon Víctor Vidal por sus excelentes aportes y disponibilidad, y por su colaboración para desarrollar en conjunto con el ingeniero Luis Domínguez las fases de campo y la elaboración de los mapas de zona de estudio y perfiles de contaminación.

Al químico José Joaquín Pinedo por toda su colaboración en cuanto a la realización de los análisis de mercurio, a la estudiante de Biología Rosmary Caraballo por su entrega, y capacidad de trabajo. Agradezco de manera muy especial al biólogo Giovany Montes por su apoyo incondicional y sus aportes invaluablemente principalmente en campo. Así como también agradezco al estudiante de ingeniería agrícola Orlando Martínez por su paciencia, entrega y dedicación en las arduas y extensas labores de campo. A las estudiantes Marcela Argumedo, Karen De hoyos, Paulina Chica y al biólogo Hiver Pérez por su colaboración.

A la Universidad de Córdoba por su gran respaldo en el aspecto analítico y a la Universidad de Sucre, asimismo agradezco a mis compañeros y docentes de clases porque sus aportes y discusiones para con este trabajo.

A los habitantes de Mina Santa Cruz por su confianza, hospitalidad y disposición a colaborar.

A mi familia por toda su paciencia y comprensión en el desarrollo de esta etapa y a todas aquellas personas que contribuyeron para que la realización de este proyecto fuera posible. Muchas gracias.

## DEDICATORIA

A Dios por su amor inmenso hacia mí.

A mis queridos padres Antonio y teresa por todo su amor y apoyo.

A mi esposo Luis Manuel por su amor y compañía.

A mis hermanas María Eugenia, Omaris, Olga y Yuranis, por su afecto incondicional.

A mis sobrinos Víctor, Jorge Mario, Nissayeth, Jhorjanis, María Angelica, Diego, Jhonier David y Marisel por llenar mi vida de alegría.

A la memoria de Nico.

A mis amigos y amigas.

Libia María

## CONTENIDO

	<b>Pág</b>
INTRODUCCION	1
1. ESTADO DEL ARTE	3
1.1. ESTUDIOS FLORISTICOS	3
1.2. MINERIA ARTESANAL EN COLOMBIA	4
1.3. INVESTIGACIONES SOBRE MERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE	5
1.4. INVESTIGACIONES EN FITORREMEDIACIÓN	6
2. MARCO TEORICO	9
2.1. DIVERSIDAD FLORISTICA	9
2.1.1. Metodologías para la creación de inventarios	9
2.1.2.. Parámetros para medir la vegetación	10
2.2. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DEL MERCURIO	11
2.2.1. Problemática ambiental por mercurio	12
2.3. PLANTAS HIPERACUMULADORAS DE METALES PESADOS	12
2.31.. Efectos del mercurio en las plantas	13
2.4. FITORREMEDIACIÓN	14
2.4.1 Procesos de fitoremediación	14
2.4.2. Mecanismos en el interior de la planta	16
2.5. ANÁLIS DE MERCURIO POR ESPECTOFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	18
2.5.1. Control de calidad del método	18
2.5.1.1. Linealidad	18
2.5.1.2. Exactitud	19
2.5.1.3. Precisión	19
2.5.1.4. Límite de detección (LD)	19

3.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1.	MINA SANTA CRUZ (SUR DE BOLÍVAR)	21
3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONA DE ESTUDIO	21
3.1.1..	Identificación de las plantas silvestres e introducidas que habitan en suelos contaminados con Hg en la mina de estudio	22
3.2.	EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ESPECIES FLORÍSTICAS	29
3.3.	Determinación de la concentración de Hg en las especies vegetales	30
3.3.1	Preparación del material vegetal	30
3.3.2.	Análisis de las muestras	31
3.3.3.	Parámetros de acumulación, fitorremediación y retención en raíz	31
3.3.4.	Análisis de datos	32
4.	RESULTADOS	33
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	33
4.2.	ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN FLORÍSTICA	33
4.2..1.	Análisis de diversidad	40
4.3.	CONCENTRACIONDE HG DE LAS ESPECIES EVALUADAS	44
4.4..	FITOREMEDIACIÓN DE LAS ESPECIES EVALUADAS	55
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
6.	CONCLUSIONES	77
7.	RECOMENDACIONES	79
8.	REFERENCIAS	80
9.	ANEXOS	97

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1:</b> Principales especies fitoremediadoras a nivel mundial	15
<b>Tabla 2:</b> Ubicación geográfica de los transectos en Mina Santa Cruz	23
<b>Tabla 3.</b> Familias y especies vegetales presentes en el área de estudio.	34
<b>Tabla 4.</b> Especies vegetales y número individuos presentes en la zona de ladera y en la zona Poblada.	36
<b>Tabla 5.</b> Test de diversidad de Shannon- Wiener para las zonas de estudio.	41
<b>Tabla 6.</b> Especies con mayor índice de valor de importancia.	41
<b>Tabla 7.</b> Valores de la cobertura (m <sup>2</sup> ), para las especies arbóreas	42
<b>Tabla 8.</b> Valores de la cobertura (m <sup>2</sup> ), para las especies arbustivas.	43
<b>Tabla 9.</b> Clasificación de especies evaluadas de acuerdo a su estrato vegetal y tipo (silvestres y no silvestres)	45
<b>Tabla 10.</b> Concentración promedio de Hg total en tejidos, tallos, hojas y raíz de las especies evaluadas.	46
<b>Tabla 11.</b> Concentración de (Hg T) en raíz sobre suelo circundante, tejido sobre suelo circundante y raíz sobre tejido los datos se presentan en media ± error estándar.	47
<b>Tabla 12.</b> Índice de retención en raíz de las especies evaluadas.	53
<b>Tabla 13.</b> Capacidad fitoremediadora de las especies evaluadas	55

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura. 1.</b> Mapa de Subzonas de Mina Sata Cruz- sur de Bolívar	24
<b>Figura. 2.</b> Mapa de corrientes mixtas y de corrientes de amalgamación.	25
<b>Figura. 3.</b> Ubicación geográfica de los transectos.	26
<b>Figura. 4.</b> Mapa de niveles de concentración de Hg en suelos de Mina Santa Cruz	27
<b>Figura. 5.</b> Ubicación geográfica de las 27 especies vegetales a las que se le evaluó su capacidad acumuladora.	28
<b>Figura. 6.</b> Medias de concentraciónde (HgT) en las especies evaluadas	49
<b>Figura 7.</b> Capacidad acumuladora de HgT en tejidos en especies de diferente estrato vegetacional	50
<b>Figura. 8.</b> Capacidad acumuladora de HgT en plantas silvestres y no silvestres	51
<b>Figura. 9.</b> Capacidad acumuladora de HgT en tejidos de las especies evaluadas	52
<b>Figura. 10.</b> Índice de retención en raíz de especies de diferente estrato vegetacional	54
<b>Figura. 11.</b> Medias de retención de mercurio en raíz de (HgT) de las especies evaluadas	55
<b>Figura.12.</b> Medias de la capacidad fitoremediadora de mercurio en las especies evaluadas	57
<b>Figura 13.</b> Tasa deremediación de suelos por plantas con diferente estrato vegetacional	58
<b>Figura. 1.4</b> Capacidad fitoremediadora de Hg de las especies evaluadas.	59

## LISTA DE ANEXOS

	Pag.
<b>ANEXO A.</b> Fotos de trabajo de campo: medición de DAP y medida de transectos	99
<b>ANEXO B.</b> Zona de explotación.	99
<b>ANEXO C.</b> Zona Poblada.	100
<b>ANEXO D.</b> Corrientes de amalgamación	100
<b>ANEXO E.</b> Corrientes mixtas	101
<b>ANEXO F.</b> Erosión en la zona montañosa	101
<b>ANEXO G.</b> Sucesión e implantación de <i>Curatella americana</i>	102
<b>ANEXO H.</b> Sustrato bajo: licopodios y helechos	102
<b>ANEXO I.</b> Melastomataceae presentes en Mina Santa Cruz	103
<b>ANEXO J.</b> Fotografías de las especies evaluadas	103
<b>ANEXO K.</b> Tabla de correlaciones de las especies evaluadas	107
<b>ANEXO L.</b> Resumen de análisis estadístico	111
<b>ANEXO M.</b> Determinación de parámetros analíticos en el control de calidad del método	124

## RESUMEN

La contaminación de suelos con mercurio, resultante de la explotación aurífera puede ser remediada mediante la utilización de plantas que lo acumulan en sus tejidos, disminuyendo su impacto sobre los ecosistemas. En el sur de Bolívar, (Colombia) existe alta contaminación por este metal. Sin embargo, no existía conocimiento sobre la composición florística del sitio, por lo que este proyecto tuvo como objetivo evaluar la capacidad remediadora de mercurio de especies vegetales establecidas en esta zona. Para ello, inicialmente se identificaron las plantas silvestres e introducidas presentes. Posteriormente, se realizó la determinación de la concentración de Hg en los distintos órganos de las especies más abundantes en la zona de mayor contaminación. Los resultados indicaron que en general la composición florística corresponde a un relicto de bosque con diferentes estados sucesionales, encontrándose 61 familias distribuidas en 116 géneros y 160 especies. El valor de los índices de Shannon-Wiener y Simpson evidencia diversidad florística a pesar de ser una zona altamente intervenida. Los valores del índice de valor de importancia (I.V.I), demuestran que éste se encuentra concentrado en un número pequeño de individuos que poseen un alto peso ecológico. Por otro lado, las especies evaluadas muestran diferencias en la capacidad de captar y acumular mercurio, siendo las herbáceas las que presentaron mayor acumulación, mientras que los árboles presentaron mayor porcentaje de fitorremediación debido a su gran biomasa. En general, el órgano que presentó mayor concentración fue la raíz, seguida de hojas y finalmente tallos, aunque la mayor capacidad de retención en raíz no se relacionó con el tipo de planta y el comportamiento de fitorremediación y concentración de especies, incluso del mismo género fueron diferentes. En conclusión, existen plantas típicas de la zona de rápido crecimiento con capacidad remediadora que pueden establecerse en sitios con historial minero, siendo factibles a ser potencializadas genéticamente para aumentar su capacidad fitoremediadora.

**Palabras claves:** Flora, Mercurio, Hiperacumuladoras, Fitorremediación

## ABSTRACT

Soil pollution by mercury resulting from gold mining, can be solved by using plants that accumulate this metal in their tissues, reducing its impact on ecosystems. There is evidence of high pollution by mercury in the south of the department of Bolívar, Colombia; nevertheless, there was no information about the floristic composition in these zones. For that reason this project is aimed to evaluate the capacity of vegetable species established in this zone to accumulate mercury. Wild and planted plants' diversity was identified initially, later determination of Hg's concentration in the different organs of the most abundant vegetable species in the zone of major pollution was carried out. Results indicate that in general the floristic composition corresponds to a relict with different successional conditions. 61 families were found distributed in 116 genera and 160 species. Shannon and Simpson's value of indexes show floristic diversity in spite of being a highly disturbed zone. The importance value index (I.V.I) demonstrates that the I.V.I is concentrated in a small number of individuals, who have a high ecological weight. On the other hand the species of tested plants show differences in the capability to absorb and accumulate mercury, being the herbaceous ones those who presented the biggest figures, while trees showed a higher percentage of phytoremediation due to their great biomass. In general, the organ with the highest percentage of accumulation was the root followed by the leaves and finally stems, though the major capacity of retention in root did not relate to the type of plant and the behavior of phytoremediation and accumulation of species even from the same genus were different. In conclusion, they found typical plants of the zone of rapid growth that can be scattered in sites with mining record, and feasible to being genetically enhanced to increase phytoremediation capacity.

**Key words:** Flora, Mercury, hyperaccumulators, phytoremediation

## INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg), genera uno de los mayores problemas ambientales actuales debido a su alta toxicidad y capacidad para bioacumularse y biomagnificarse (Zheng *et al.*, 2008), por lo que altera el equilibrio ecológico y genera graves problemas de salud pública. Las concentraciones en los compartimientos ambientales de este metal aumentan continuamente ya que pueden acumularse en plantas, pasar a los animales y por último a los seres humanos (Islam *et al.*, 2007). Este contaminante está relacionado con daños severos al sistema nervioso central, teratogénesis, así como afecciones a hígado y riñones (Pacyna *et al.*, 2001; Bocayuva *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2008; Tsuchiya *et al.*, 2008; Novoa *et al.*, 2008).

En Colombia, la mayor zona de explotación minera de oro, se encuentra ubicada entre el norte de Antioquia y el sur de Bolívar (UPME, 2001), donde se liberan al ambiente aproximadamente entre 80 toneladas y 100 toneladas de mercurio al año. El manejo inadecuado de este metal, ha originado la contaminación de los compartimientos ambientales, que ponen en riesgo las poblaciones circunvecinas. Un caso representativo es el de Mina Santa Cruz, municipio Barranco de Loba, departamento de Bolívar, donde se han encontrado altas concentraciones de mercurio en humanos (Olivero y Johnson, 2002).

Para remediar suelos contaminados con mercurio se han diseñado técnicas de tratamiento físicas como la excavación, fijación y lixiviación, pero presentan costos elevados y además contribuyen con el deterioro del sitio tratado (Salt, 2006). En contraste, existen plantas que naturalmente pueden establecerse en medios contaminados con metales pesados y acumularlos en sus tejidos. Esta propiedad se aprovecha en una técnica llamada *fitorremediación*, que es la utilización de plantas para remover, acumular e inactivar estos contaminantes (Prabha y Loretta,

2007). Sin embargo, en la costa Caribe colombiana son escasos los estudios de identificación de recursos florísticos en zonas mineras contaminados por mercurio, así como aspectos relacionados como fitotoxicidad, potencial de concentración y remediación.

En tal sentido, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la capacidad acumuladora de mercurio de plantas establecidas en mina Santa Cruz, Sur de Bolívar, teniendo en cuenta la caracterización florística y el grado de contaminación del suelo. Para ello se hizo necesario identificar las especies que crecen naturalmente en estos lugares, debido a que su aplicación en proyectos de restauración ambiental no alteraría el equilibrio ecosistémico y pueden responder mejor a condiciones de estrés, que especies foráneas en términos de supervivencia, crecimiento y reproducción. Asimismo, la realización de este proyecto es pertinente, debido al rápido deterioro de la cobertura vegetal generado por la minería aurífera, lo que puede conllevar a la pérdida de especies endémicas, así como a una mayor dispersión de la contaminación en el ecosistema.

## 1. ESTADO DEL ARTE

### 1.1. ESTUDIOS FLORÍSTICOS

Colombia presenta gran diversidad de especies vegetales. Con aproximadamente 45 mil especies, ocupa el segundo lugar de diversidad en el mundo (Ocampo *et al.*, 2007). En el país se han realizado gran variedad de estudios en la línea florística en las diferentes regiones geográficas, tales como, el Inventario florístico en el Cerro del Cuchillo en el Tapón del Darién (Brand, 1985), donde se resaltó la importancia de conocer las características de la región en cuanto a vegetación, lo que aumentó los conocimientos sobre el Chocó biogeográfico. Otros estudios de gran importancia incluyen el levantamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo requerido para la formulación del plan de ordenamiento y manejo de la Subcuenca Sambingo – Hato Viejo, en el departamento del Cauca (CRC, 2006). Sin embargo, a pesar de existir diversidad de estudios florísticos, en el país son pocos los estudios realizados en zonas mineras.

En el decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974 de la ley 99 de 1993, se establece la importancia de preservar los recursos naturales y la flora. Sin embargo, la actividad minera ha generado graves consecuencias sobre la composición florística, como lo demuestra el estudio realizado por la Universidad Pontificia Javeriana titulado “Caracterización florística y estructural de la vegetación en tres áreas con diferente condición de abandono y dos fragmentos de bosque en la cantera Soratama en Bogotá”, donde se encontraron áreas con baja riqueza de especies, poca cobertura vegetal y un alto porcentaje de suelo desnudo, como resultado de la intervención minera (Arias y Barrera, 2007).

## 1.2. MINERÍA ARTESANAL EN COLOMBIA

La actividad minera en Colombia, legalmente debe regirse por estatutos y parámetros establecidos por la guía minera del Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En esta se especifican los acuerdos y pautas que deben seguir las industrias en lo concerniente a la estructuración y manejo del paisaje. La guía contempla que las plantas de beneficio y transformación de minerales, deben realizar sus procesos industriales en armonía con el paisaje, adaptar barreras visuales que eviten el contraste de las pilas de mineral, piscinas, canales, grandes construcciones y maquinarias con el contexto natural predominante. Igualmente, establece que el paisaje se armonizará desde lo visual, lo sonoro y lo olfativo para que las comunidades humanas cercanas y los sistemas naturales no se vean alterados (Guía Minero Ambiental, 2004). No obstante, en Colombia es deficiente el control de las actividades mineras, específicamente la explotación aurífera, que en su mayoría no se realiza bajo los parámetros legales establecidos, lo que conlleva a unos costos ambientales muy altos (Heemskerk, 2005).

Por otro lado, en el país no existe ninguna normatividad ambiental para metilmercurio. Internacionalmente, existen dos entidades que se han encargado de investigar sobre las concentraciones de metilmercurio, nocivas para el ser humano, estas son la EPA (Environmental Protection Agency) que define la RfD (Reference Dose), o nivel de exposición, que no causa efectos adversos en la salud como 0,1 microgramos por kilogramo de peso del cuerpo por día, con el fin de proteger a los fetos humanos de desarrollar efectos perjudiciales, y la FDA (The Food and Drug Administration) que define la ADI (Acceptable Daily Intake o nivel de ingestión diaria aceptable como 0,47 microgramos por kilogramo de peso del cuerpo por día, con el propósito de proteger al adulto promedio, que es capaz de tolerar los niveles más altos de metilmercurio.

La extracción de oro de aluvión, trae consigo una alta tasa de deforestación, asociada con incremento de la erosión, desaparición de hábitats para las especies vegetales y animales por la utilización del mercurio (Reyes, 2003). En Mina Santa Cruz en el sur de Bolívar, la explotación aurífera se lleva a cabo ya sea desde la zona montañosa o en la zona Poblada, lo que produce deterioro del paisaje y sus elementos, o a través de calicatas en la zona donde se encuentra ubicada la población. El proceso de minería artesanal se desarrolla dentro de su casco urbano, donde se encuentran ubicados los molinos de amalgamación, generando concentraciones elevadas de mercurio en suelo, debido a las corrientes acuosas con mercurio que salen de los molinos de amalgamación y llegan hasta la ciénaga, y la quema de mercurio para la purificación del oro, lo que genera vapores (Olivero y Jhonson, 2002).

### **1.3. INVESTIGACIONES SOBRE MERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE**

Se han realizado diversas investigaciones sobre el efecto del mercurio en los ecosistemas terrestres (Fernández *et al.*, 1997; García *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 2006) y recientemente, sobre el impacto de las emisiones atmosféricas de mercurio (Carballeira y Fernández, 2002). Igualmente existen muchos estudios que muestran contaminación por mercurio en el suelo, en diferentes formas químicas reportándose niveles de contaminación natural en rangos de 0,003-4,6 mg/Kg (Ahmad y Goni, 2009). Igualmente, en estos estudios se indica que las especies químicas y la contaminación están condicionados por factores como el pH, el potencial redox, la biota microbiana, así como también por el contenido de compuestos inorgánicos y materia orgánica con la que pueden formar compuestos estables (Gustin *et al.*, 2002; Almeida, 2005). Las investigaciones muestran que en la atmósfera, el mercurio elemental puede ser convertido a la forma soluble ( $\text{Hg}^{2+}$ ) como producto de procesos de oxidación-reducción o reacciones fotoquímicas, retorna luego a la superficie de la tierra, mediante las precipitaciones (Develin, 2006).

Diversas investigaciones afirman que en condiciones normales, el mercurio, se puede encontrar en el suelo, en cualquiera de sus tres estados de oxidación:  $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg}^{1+}$ , y  $\text{Hg}^{2+}$ . Su movilidad está determinada por la solubilidad de los compuestos que forma, entre ellos el  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ , el  $\text{HgS}$  y el  $\text{Hg}^0$ , predomina el  $\text{Hg}^0$ , en solución a pH por encima de 5 y en condiciones moderadamente oxidantes, con una solubilidad baja de 56 ng/g, mientras que en condiciones ligeramente reductoras, el  $\text{Hg}^0$  precipita como  $\text{HgS}$ , con una solubilidad muy baja de 0,002 ng/g. El Hg alcanza sus mayores solubilidades en ambientes muy bien oxigenados de 350 a 400 mV (Summers y Silver, 1978; Fernández *et al.*, 1997).

Dentro de los estudios que han considerado la concentración de Hg en plantas, están los realizados en ecosistemas forestales de España, cuyo objetivo fue determinar las concentraciones de Hg total (HgT) en suelos ácidos y en las principales especies de plantas ubicadas en la cuenca del río Sor. Estos revelan la importancia de la vegetación en la captación atmosférica de Hg y su transferencia a distintos niveles del ecosistema. De igual forma, se han evaluado las concentraciones de Hg en diferentes tejidos de plantas cultivadas, tales como el maíz, encontrándose que las concentraciones de Hg en las hojas fueron significativamente más altas que en otras partes de la planta y, por lo general, se redujo en el orden hojas > raíces > tallos > granos (Nóvoa *et al.*, 2008).

#### **1.4. INVESTIGACIONES EN FITORREMEDIACIÓN**

Para la fitorremediación, a la fecha se han identificado más de 400 especies de plantas, entre terrestres y acuáticas (Kamnev y Van der Lelie, 2000), pertenecientes a 22 familias, de las cuales la familia *Brassicaceae* contiene 87 especies, incluidas en 11 géneros tolerantes a los metales y capaces de crecer en concentraciones elevadas de contaminantes (Ghosh y Singh, 2005).

Han sido reportadas especies de musgos (Briofitas) y helechos (Pteridofitas) con capacidad de crecer en sustratos ricos en metales, incluyendo el mercurio. Entre las angiospermas se han identificado, entre otras, las siguientes familias: *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Cunouniaceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae* y *Europhobiaceae*. De estas familias, la *Brassicaceae* tiene el mayor número de taxones (11 géneros y 87 especies) con capacidad para hiper-acumular metales (Nedelkoska y Doran, 2000). Entre las plantas que se han evaluado y determinado su potencial acumulador de mercurio están: *Polipogon monspeliensis*, *Arabidopsis thaliana*, *Brassica júncea*, *Eichornia crassipes*, *Typha sp* y maderables, en especial, álamo (*Populus sp*), sauce (*Salix sp*) y eucalipto (*Eucalyptus sp*). Incluso se han reportado especies comestibles como maíz (*Zea mays*), tomate (*Solanum lycopersicum*), trigo (*Triticum spp*) y espárragos (*Asparagus officinalis*).

El efecto fitotóxico de los compuestos mercuriales, ha sido reportado en algunas plantas como el trigo, el arroz y otros cereales donde se ha observado necrosis en la punta de las hojas, germinación anormal, disminución del porcentaje de germinación y reducción de la longitud de tallos y raíces. Cabe destacar que los efectos fitotóxicos afectan también el suelo, dejándolo no apto para el desarrollo de las plantas y destruyendo su biodiversidad (Cavallini *et al.*, 1999).

Se han realizado también estudios para evaluar la absorción de Hg en las plantas a través de la raíz y para caracterizar las vías foliares de flujos de Hg (Liu *et al.*, 2008). Algunos de estos estudios han indicado que el mercurio foliar tiene influencia tanto del mercurio del suelo como del atmosférico (Ericksen *et al.*, 2003 Ericksen *et al.*, 2004). Mientras que otras investigaciones indican que el nivel de Hg en las raíces de las plantas presentes en suelos contaminados, puede ser más elevado que el suelo mismo (Rothenberg *et al.*, 2007).

En 1993 se realizaron los primeros experimentos con plantas hiperacumuladoras para extraer metales de lugares contaminados (McGrath *et al.*, 1993; McGrath *et*

*al.*, 2006) y desde entonces se han descubierto muchas plantas con esta capacidad, que acumulan distintos metales (*Alyssum sp.*-Ni, *Thlaspi caerulescens*-Zn/Cd, *Melastoma malabanthricum*-Al, etc.). La capacidad de absorción de metales pesados por parte de la planta, va de acuerdo al tipo de suelo y pH del mismo. Una ventaja del uso de plantas hiperacumuladoras, es que pueden ser tolerantes a más de un metal y además conservan los organismos vivos asociados al suelo. El sistema radicular de las plantas, tampona el suelo químicamente y lo estabiliza frente a la erosión. Además, la presencia de vegetación es estéticamente placentera (Chaney *et al.*, 2000). De igual forma, las plantas con mayor potencial de biorremediación, son las que presentan mayor capacidad de acumular o degradar diversos contaminantes y una mayor producción de biomasa (Marchiol *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2006).

La concentración de Hg en el follaje de las plantas verdes, se lleva a cabo fundamentalmente a través de la absorción atmosférica de Hg. Esta observación ha sido corroborada por varios autores (Rea *et al.*, 2002; Ericksen *et al.*, 2003; Ericksen *et al.*, 2004). Asimismo, se han realizado estudios de metales pesados, en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera, en reservas forestales en Venezuela. Los resultados indican que las mejores especies para la reforestación en el proceso sucesional podrían ser las ciperáceas y gramíneas que además, son de fácil localización y práctico manejo (Reyes, 2003).

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. DIVERSIDAD FLORÍSTICA**

El término diversidad comprende la variedad genética de las especies, biomasa, paisajes, ecosistemas y hábitats (Rondeux, J. 2009), y como último nivel, la biodiversidad, que fluctúa en función de la geografía y el grado de intervención antrópica. De este modo, la flora define, según el clima y otros factores ambientales, la vegetación de un lugar (Mosquera *et al.*, 2007).

#### **2.1.1. Metodologías para la creación de inventarios**

La realización de estudios de composición florística, están basados en la creación de inventarios para conocer la clasificación y distribución de la cobertura vegetal en los distintos estratos arbóreos presentes, fundamentados en el análisis e identificación taxonómica de especies (Rondeux, 2009). Estos pueden ser de gestión, nacional, regional y local (Rondeux 1993; Rondeux y Lecomte, 1996).

Para realizar un inventario, se considera la unidad de muestreo, variables integrantes de la biodiversidad y vinculadas al suelo, vegetación, composición arbórea por capas y daños causados por la intervención del hombre. Estas variables permiten describir la biodiversidad a un nivel de percepción global. Las unidades de muestreo son parcelas de extensión fija o variable y los datos recogidos no reflejan necesariamente las características del sitio. Una de las metodologías para inventarios rápidos es la propuesta por Foster *et al* (1995), que consiste en la realización de transectos, siendo eficaces para realizar evaluaciones rápidas de la vegetación. Con este método se pueden muestrear todas las clases de plantas separadas por formas de vida y hacer agrupaciones por estratos.

Actualmente, se usan sistemas de información geográfica (SIG), para georreferenciar los inventarios en coordenadas, que permiten ubicar el sitio de muestreo y realizar procesamiento y análisis de la información. Los programas más utilizados, entre otros, son ArcInfo, Arc View, ArcGis, GRASS, MapInfo, IDRISI, GéoConcept (Arancibia, 2008). Existen, de igual forma, varios programas para realizar análisis de diversidad y distribución de una población determinada.

### **2.1.2. Parámetros para medir la vegetación**

Dentro de los principales parámetros para medir la vegetación se encuentran: La altura, el diámetro, que se mide a una altura de 1,3 m de la superficie del suelo (DAP=diámetro a la altura del pecho), la densidad, que permite conocer la abundancia de una especie o una clase de plantas. Igualmente, la frecuencia, definida como la probabilidad de encontrar un atributo en una unidad muestral, se mide en porcentaje, la cobertura, que sirve para determinar la dominancia de especies o formas de vida y el área basal que sirve para estimar el volumen de especies arbóreas o arbustivas (Matteucci y Colma, 1982).

Los análisis comparativos y descriptivos de la vegetación incluyen la aplicación de índices que tienen en cuenta el número de especies (riqueza) y el número de individuos de cada especie. Uno de los más utilizados es el Índice de Shannon-Wiener. Para usarlo el muestreo debe ser aleatorio y todas las especies de una comunidad vegetal deben estar presentes en la muestra. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum P_i \cdot \ln P_i$$

$H$  = índice de Shannon-Wiener

$P_i$  = Abundancia relativa

$\ln$  = Logaritmo natural.

Otro índice utilizado, con mucha frecuencia, es el índice de Simpson, el cual permite conocer grado de dominancia de las especies. Es aplicable tanto a biotas pequeñas como a grandes (Ramírez, 1988; Mostacedo y Fredericksen, 2000).

## **2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL MERCURIO**

El mercurio es un metal líquido a temperatura ambiente, con número atómico 80 y densidad mayor a los 5 g/mL (Liao *et al.*, 2003), soluble en medios oxidantes, forma amalgamas con algunos metales como el oro (Gochfeld, 2003).

La composición iónica de las soluciones del suelo, la capacidad de cambio, la presencia de carbonatos, la materia orgánica y la textura; la naturaleza misma de la contaminación, el origen de los metales o la forma de disposición y las condiciones medioambientales, como la acidificación, los fenómenos redox, la variación de temperatura y la humedad, son factores determinantes para la movilización del metal (Sauquillo *et al.*, 2003). Es así, como la movilidad del metilmercurio aumenta con las lluvias (Liu *et al.*, 2008).

El mercurio puede metilarse, al pasar de forma inorgánica a moléculas orgánicas, como el metilmercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) y el dimetilmercurio ( $\text{CH}_3\text{HgCH}_3$ ), con características liposolubles y capacidad de acumularse en los organismos (Sauve *et al.*, 2000; Shaban, *et al.*, 2008). Por su sinergia, con otras sustancias, es un elemento peligroso y perjudicial, aún en pequeñas cantidades (Chaney *et al.*, 2000). Su toxicidad aumenta al ser ingerido en alimentos de origen animal como el pescado y los mariscos, dado que incrementa su concentración pues éste se biomagnifica en la cadena trófica (Dorea, 2008).

### **2.2.1. Problemática ambiental por mercurio**

La contaminación por mercurio puede ser causada por fenómenos naturales o antrópicos (Pirrone *et al.*, 2006). En el primer caso, puede intercambiarse entre el agua y el suelo mediante erosión eólica, formación de rocas, erupciones volcánicas y actividades geotérmicas (Otero *et al.*, 2004). En el caso antrópico, el mercurio es usado desde hace muchos años. Sin embargo, las actividades humanas industriales, han alterado su ciclo global (Porcella *et al.*, 1996; Fitzgerald *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 1999; Lutter and Irwin, 2002; Caille *et al.*, 2005), teniendo como característica agravante su persistencia (Reimann *et al.*, 2005).

En humanos funciona como una neurotóxina, afecta principalmente el cerebro y el sistema nervioso. En dosis pequeñas, puede afectar el desarrollo del infante, causar Déficit de atención y Problemas de aprendizaje. En concentraciones elevadas, ocasiona la muerte (Kobal *et al.*, 2006; Corbett *et al.*, 2007).

### **2.3. PLANTAS HIPERACUMULADORAS DE METALES PESADOS**

Las plantas pueden absorber una amplia variedad de metales del suelo, pero la mayoría absorbe sólo metales esenciales para su supervivencia y desarrollo (Karunasagar *et al.*, 2005). No obstante, existen plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles de ciertos metales, conocidas como hiperacumuladoras (Chen *et al.*, 2001; Pineda, 2004; Thangavel y Subhuram, 2004). Estas tienen aplicaciones interesantes en la protección del ambiente (Lasat, 2002).

Las plantas presentan distintos grados de fitotoxicidad, del mismo modo, el crecimiento puede ser afectado por la concentración de sustancias tóxicas y por factores medioambientales que producen disminución del rendimiento (Yamamoto *et al.*, 1994; Naidu *et al.*, 2003). Por esto, para confirmar fitotoxicidad por metales, se requiere que las anomalías presentadas no correspondan a otros desórdenes o enfermedades.

Las plantas adoptan distintas estrategias frente a la presencia de metales (Barceló *et al.*, 2003; Barceló y Poschenrieder, 2002). De acuerdo con la estrategia de concentración de Baker (1981), las plantas hiperacumuladoras, pueden superar en 100 ó más veces los valores normales de metales acumulados en sus tejidos (Salt, 2006). La hiperconcentración implica la existencia de mecanismos internos de detoxificación de iones metálicos libres, para evitar daño oxidativo, dentro de estos mecanismos tenemos la acción de las fitoquelatinas (Navarro *et al.*, 2007).

La planta puede protegerse al formar complejos metálicos estables, menos tóxicos con quelantes y/o al secuestrar los metales desde el citoplasma hacia el interior de vacuolas o en la pared celular, dónde no puedan ocasionar efectos adversos (Tolrà *et al.*, 1996; Barceló *et al.*, 2002; Schat *et al.*, 2002; Vázquez *et al.*, 2009). La tolerancia viene determinada por la acción de varios mecanismos internos que actuarían conjuntamente.

### **2.3.1. Efectos del mercurio en las plantas**

El mercurio es altamente fitotóxico y genotóxico (Fridovich, 1986; Suszeynsky y Shann, 1995; Ma, 1998). Puede alterar reacciones fisiológicas y bioquímicas, como fotosíntesis, captación de nutrientes minerales, permeabilidad de la membrana plasmática, transpiración y funciones normales de las enzimas, vitaminas y hormonas. De la misma forma, reduce el índice mitótico en el meristemo apical de la raíz, aumenta la frecuencia de aberraciones cromosómicas y puede inducir precipitación total de proteínas (Gustin *et al.*, 2002; Patra, 2004).

Concentraciones mayores a 10  $\mu\text{M}$  Hg inducen estrés oxidativo, por incrementar la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), existiendo diversos trabajos que muestran la presencia de estos en vegetales, después de la exposición a mercurio (Cho y Park, 2000; Cao *et al.*, 2004; Dreiem *et al.*, 2005; Zhou *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2008).

En términos de genotoxicidad, iones de mercurio se unen de forma covalente al ADN induciendo cambios en cromátides hermanas y en el ácido nucleico (Chaoui *et al.*, 1997). Este evento conlleva a cambios a nivel de membranas celulares (Ma, 1998), reducción de la asimilación de nutrientes (Cho y Park, 2000; Patra y Sharma, 2000) y reducciones en la fotosíntesis y transpiración.

## **2.4. FITORREMIEDIACIÓN**

Los vegetales pueden realizar procesos de remediación ambiental (Meagher y Heaton, 2005) mediante mecanismos metabólicos para realizar transporte de metales desde el agua o suelo y los transporta a las partes cosechables de la planta (Prasad y Freitas, 2003). De igual modo, tienen sistemas bioquímicos únicos para la adquisición de nutrientes, control y detoxificación en la rizósfera. Además, el sistema de raíces de las plantas puede hacer infiltraciones en grandes volúmenes de suelo. Como resultado de estas ventajas en las plantas, la fitorremediación es considerada una tecnología prometedora, de bajo costo y amigable con el ambiente para recuperar sitios contaminados (Malikova *et al.*, 2008).

A pesar de ello, presenta algunas limitantes como la profundidad de la zona a tratar, pues depende del tamaño de las raíces. De igual manera, depende de factores climáticos y el grado de contaminación. Además, tiene el riesgo de ingresar los contaminantes a la cadena trófica y de emitirlos al ambiente (Zhangwei *et al.*, 2009). Otra limitante es el tiempo de remediación. Sin embargo, en la actualidad se emplean técnicas químicas y biotecnológicas que favorecen las tasas de concentración de mercurio, al igual que especies con poca interacción con cadenas tróficas (Watanabe y Suzuki, 2002; Pulford y Watson, 2003).

**2.4.1. Procesos de fitorremediación** Existen diferentes procesos de fitorremediación, dentro de estos tenemos la fitoextracción que consiste en la

absorción y traslado de los contaminantes desde las raíces hasta las partes aéreas de la planta; la fitoestabilización que consiste en el desarrollo de raíces densas para reducir la biodisponibilidad y la movilidad de los contaminantes evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera; la fitovolatilización que es el proceso mediante el cual las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración ; la rizofiltración en donde las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar contaminantes de efluentes líquido el mecanismo es dependiente del contaminante, condiciones del lugar, nivel de descontaminación requerido y tipos de plantas (Susarla *et al.*, 2002). Cada proceso requiere de la capacidad de las plantas para tolerar la toxicidad de los contaminantes y la habilidad para acumular, translocar y volatilizar a los mismos (Pineda, 2004; Thangavel y Subhuram, 2004), existiendo gran cantidad de especies que han sido empleadas para estos procesos (Tabla 1).

Tabla 1. Principales especies fitoremediadoras a nivel mundial (Willey y Fawcett, 2005).

<b>NO</b>	<b>ESPECIES FITOREMEDIADORAS</b>
1	<i>Pinus taeda</i>
2	<i>Lespedeza cuneata</i>
3	<i>Paspalum notatum</i>
4	<i>solidago Sp</i>
5	<i>Glicyne max</i>
6	<i>Brassica juncea</i>
7	<i>Arabidopsis Sp</i>
8	<i>Zea mays</i>
9	<i>Populus trichocarpax</i>
10	<i>P. deltoides</i>
11	<i>Solanun melongena</i>
12	<i>Arabidopsis Sp</i>
13	<i>Phaseolus vulgaris</i>
14	<i>Populus trichocarpax</i>
15	<i>Populus deltoides</i>
16	<i>Oriza sativa</i>

17	<i>Allium cepa</i>
18	<i>Beta vulgaris</i>
19	<i>Brassica oleracea botrytis</i>
20	<i>Brassica oleracea capitata</i>
21	<i>Cucumis sativo</i>
22	<i>Daucus carota</i>
23	<i>Hordeum vulgare</i>
24	<i>Lactuca sativa</i>
25	<i>Lycopersicon esculentum</i>
26	<i>Medicago sativa</i>

---

#### 2.4.2. Mecanismos en el interior de la planta

El estado electroquímico y la especiación química de elementos contaminantes pueden contribuir a su movilidad desde las raíces a los retoños. En el caso del mercurio se consideran las especies más móviles el mercurio elemental y el ión mercurio II. La mayoría del mercurio Hg (II) que es capturado permanece ligado a los tejidos de la raíz, mientras que el mercurio Hg(0) capturado por las raíces y por las hojas es reducido a Hg(II) y permanece ligado a los tejidos (Moreno *et al.*, 2006).

El control sobre el estado electroquímico y la especiación química de los metales pesados en las partes superiores de la planta es una condición que deben tener las plantas hiperacumuladoras. Una vez el tóxico es transportado a las partes superiores de la planta se concentra y almacena; esto requiere de la transformación a especies más o menos reactivas que favorezcan esta acumulación. El control de estas dos variables maximiza el almacenamiento de los elementos en las hojas, tallos y los tejidos vasculares, así el mercurio es transportado como Hg<sup>0</sup> a las partes superiores de las plantas, donde los niveles de peroxidasa y catalasa oxidan el Hg(0) a Hg(II). El Hg (II) es altamente reactivo y forma productos particularmente estables con tioles reducidos; los cuales pueden almacenarse en las plantas en grandes cantidades (Bizily *et al.*, 2003).

Los reservorios físicos como vacuolas subcelulares, células epidermales y elementos vasculares muertos han mostrado su capacidad para almacenar grandes cantidades de algunos tóxicos en las partes superiores de las plantas nativas hiperacumuladoras. Plantas específicas ya pueden reconocer el glutatión conjugado de Hg(II) y lo bombea a las vacuolas; así por ejemplo la APS *Indian mustard* (modificada genéticamente) puede tolerar mejor los metales porque tiene altas concentraciones de glutatión en comparación con la planta nativa (Moreno *et al*, 2005).

Para hacer frente al estrés oxidativo y disminuir la concentración celular de metales tóxicos, las plantas tienen la capacidad de secuestrar iones tóxicos en complejos dentro del citoplasma y así evitar su interacción en rutas metabólicas. Las fitoquelatinas (PC's) juegan un papel fundamental en la detoxificación de metales tóxicos en las plantas y los hongos, debido a que forman complejos con los metales y son translocados a través del tonoplasto y secuestrados en las vacuolas, disminuyendo así el contenido de metales tóxicos en el citosol (Cobbett, 2005).

Las fitoquelatinas son sintetizadas a partir del complejo glutatión por la enzima PC sintasa, su estructura primaria generalmente consiste en  $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{-Gly}$  ( $n=2-11$ ); tienen la capacidad de formar complejos con metales como Cd, Cu, Zn, Ag y Hg. La fuerza de unión del Hg (II) a los complejos glutatión y fitoquelatinas, ocurre de la siguiente manera:  $(\gamma\text{-Glu-Cys})\text{-Gly} < (\gamma\text{-Glu-Cys})_2\text{ Gly} < (\gamma\text{-Glu-Cys})_3\text{ Gly} < (\gamma\text{-Glu-Cys})_4\text{ Gly}$ . Otros mecanismos que tienen las plantas hiperacumuladoras para evadir la acción tóxica del mercurio es depositarlo sobre la pared celular, y hacer enlaces a grupos -SH en el límite del citoplasma (Thuman, 1991).

## **2.5. ANALIS DE MERCURIO POR ESPECTOFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

Es un método instrumental de química analítica que determina una gran variedad de elementos al estado fundamental como analitos, existiendo diversas técnicas, una de las cuales es la técnica de vapor frío. Esta técnica se utiliza solamente para el caso del análisis de Hg, aprovechando la facultad de este metal de emitir vapores monoatómicos a temperatura ambiente. Debido a que el mismo posee una presión de vapor elevada no es necesario la utilización de un nebulizador para atomizar la muestra ni de entregarle la energía de una llama, como sí es indispensable en la técnica de espectrofotometría de absorción atómica en llama.

### **2.5.1 CONTROL DE CALIDAD DEL METODO**

El análisis de muestras ambientales como agua, sedimentos y material biológico, implica la determinación de pequeñas concentraciones de mercurio ( $\mu\text{g/g}$  o  $\text{ng/g}$ ). La obtención de estos datos analíticos requiere el cumplimiento de ciertas condiciones para garantizar una alta confiabilidad de los resultados (Miller y Miller, 2002). Los criterios de control de calidad que debe poseer un procedimiento analítico son: linealidad, exactitud, precisión y límite de detección, entre las más usuales. A continuación analizaremos cada uno de ellos.

#### **2.5.1.1. Linealidad**

Este parámetro permite establecer la proporcionalidad entre la concentración de analito y la señal registrada por el instrumento de medición (absorción atómica en el caso de HgT). Para determinar la cantidad de mercurio en una muestra se construye una curva de calibración, que consiste en preparar una serie de diluciones de un estándar en un intervalo de concentraciones específicas donde los datos guardan linealidad. Para estimar la mejor relación entre la señal medida

y la concentración del analito, sobre una serie de estándares, es aplicado el procedimiento matemático conocido como regresión lineal, calculándose el coeficiente de correlación,  $r$ , el cual toma valores en el intervalo -1 y 1, aceptándose sólo aquellos donde el valor de  $r$  es mayor de 0.995.

### **2.5.1.2. Exactitud**

Este indicador de calidad evalúa la capacidad del método analítico de dar resultados lo más próximos posibles al valor verdadero. Se determinará con el análisis de muestras de material certificado de referencia; Dorm-2 y IAEA-407 (para material biológico) del NRCC (National Research Council of Canada) e IAEA (International Atomic Energy Agency), y CRM-008-050 y IAEA-405 (para sedimentos o suelos) del RTC (Resource Technology Corporation) y la IAEA.

### **2.5.1.3. Precisión**

Este criterio evalúa la dispersión de las medidas alrededor de la media, la cual corresponde al grado de concordancia entre los valores de una serie de ensayos repetidos sobre una misma muestra homogénea. Este parámetro es calculado empleando el coeficiente de variación (CV), a partir de la ecuación:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Donde  $S$  es la desviación estándar y  $\bar{X}$  el promedio obtenido para las mediciones. Para análisis de muestras complejas, éste parámetro se tolera hasta un valor del 20%.

### **2.5.1.4. Límite de detección (LD)**

Este parámetro es definido como tres veces la desviación estándar del blanco. Este valor se tiene a partir de los valores determinados para 10 soluciones con todos los reactivos empleados en el proceso de digestión y análisis del mismo

(excepto el Hg) y corridos como muestras. Concentraciones de analito por debajo de este nivel no pueden ser detectados cuantitativamente, ya que son confundidas con la señal del ruido del instrumento. Este valor se calcula mediante la ecuación:  $LD = 3S_b/B$  donde  $S_b$  es la desviación estándar de los blancos y B la pendiente de la curva de calibración (Long y Winefordner, 1983). El LD para los correspondientes métodos se determinará multiplicando el LD encontrado por el aforo y dividido por el peso de muestra.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MINA SANTA CRUZ (SUR DE BOLÍVAR)**

Mina Santa Cruz es un corregimiento de Barranco Loba, municipio ubicado en el sur de Bolívar, Colombia. Sus coordenadas geográficas son: N 08° 42'31", W 074° 11'54,6". Este municipio es atravesado por el cordón montañoso de Taraza, perteneciente a la Serranía San Lucas (IGAC, 2005). Es una comunidad con aproximadamente 2000 habitantes, dedicados en su mayoría a la explotación artesanal de oro, la cual se desarrolla dentro de su casco urbano. Este proceso conlleva a concentraciones elevadas de mercurio en suelo, debido a las corrientes acuosas que salen de los molinos de amalgamación y a la quema mercurio para purificación de oro. Valores que incluso superan los 30000 ng/g HgT en suelos aledaños a las corrientes procedentes de los molinos (Vidal *et al*, 2010).

#### **3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Para la caracterización de la zona de estudio se realizó un levantamiento topográfico, previo al estudio, donde se delimitó el área a muestrear y se establecieron subzonas acorde al uso del suelo y cobertura vegetal presente, encontrándose que Mina Santa Cruz existen tres subzonas Figura 1. Estas son el sector de explotación (ANEXO B), la zona aledaña a la ciénaga La Redonda (que se interconecta directamente con el brazo de loba del río Magdalena), y la zona poblada (ANEXO C), donde se encuentra ubicada la población. La extensión total de la zona es de 28.4 has. En la zona de explotación, que está sobre la falda de la montaña, inicia el proceso de extracción de suelo para la obtención de oro, se inicia a través del lavado de las rocas, de las cuales se desprende un material de menor granulometría que es llevado a los molinos de amalgamación ubicados en la zona poblada, donde es mezclado con mercurio, cal y agua, generando unas corrientes de amalgamación (ANEXO D), que posteriormente se mezclan con las

corrientes provenientes de la zona de explotación corrientes mixtas (ANEXO E) , que se vierten directamente a ciénaga La Redonda (Figura 2). El mapa que muestra las corrientes presentes fueron elaborados usando el programa Autocad. 2007. De igual forma, con los datos de la concentración de mercurio total en suelo se diseñó un mapa que muestra los niveles de concentración de Hg en el área de estudio, este fue diseñado en Arview 2007. En la zona de explotación se encuentra el relicto de bosque, sobre esta zona se ubicaron los transectos para determinar el análisis florístico (Figura 3).

### **3.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS PLANTAS SILVESTRES E INTRODUCIDAS QUE HABITAN EN SUELOS CONTAMINADOS CON Hg EN LA MINA DE ESTUDIO**

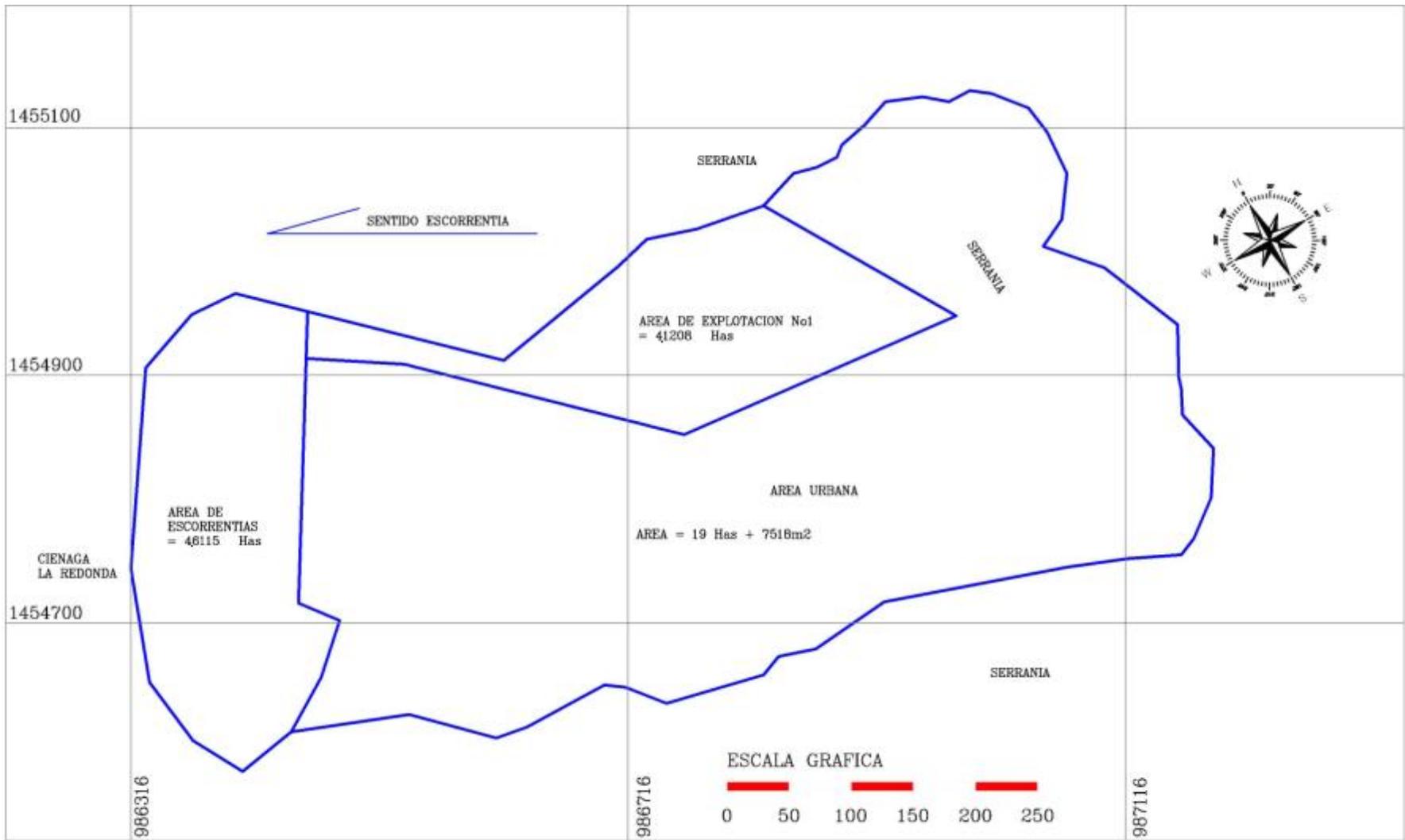
Se elaboró un listado sistemático de especies distribuidas en los distintos estratos vegetales y en las subzonas identificadas en Mina Santa Cruz. De igual modo, se realizó un inventario general de la vegetación. Para ello, las muestras fueron colectadas en 7 salidas de campo, de 5 días cada una. Estas se realizaron entre los meses de mayo a septiembre de 2010. En la mayoría de los casos fue posible la obtención de ejemplares botánicos con órganos reproductores (flores y frutos). La determinación taxonómica se realizó mediante bibliografía especializada, consulta a expertos y con el registro fotográfico de cada espécimen, con ayuda de claves taxonómicas (Geantry, 1995). algunas especies que no lograron identificarse, fueron enviadas al Herbario de la Universidad Nacional sede Bogotá.

El área a muestrear para el inventario, se dividió en dos zonas o áreas de interés, que son la zona de ladera y la zona poblada. La primera, corresponde al área de elevación, donde se encuentra el relicto de bosque. En esta se realizaron al azar 10 transectos de 100 m<sup>2</sup> , trazados según el curso de la pendiente de la elevación y medidos desde la parte más alta, hasta la base o borde de la cobertura boscosa, atendiendo a las recomendaciones dadas por Mostacedo y Fredericksen (2000). Estos transectos fueron debidamente georeferenciados. (Tabla 2 y Figura 4). A

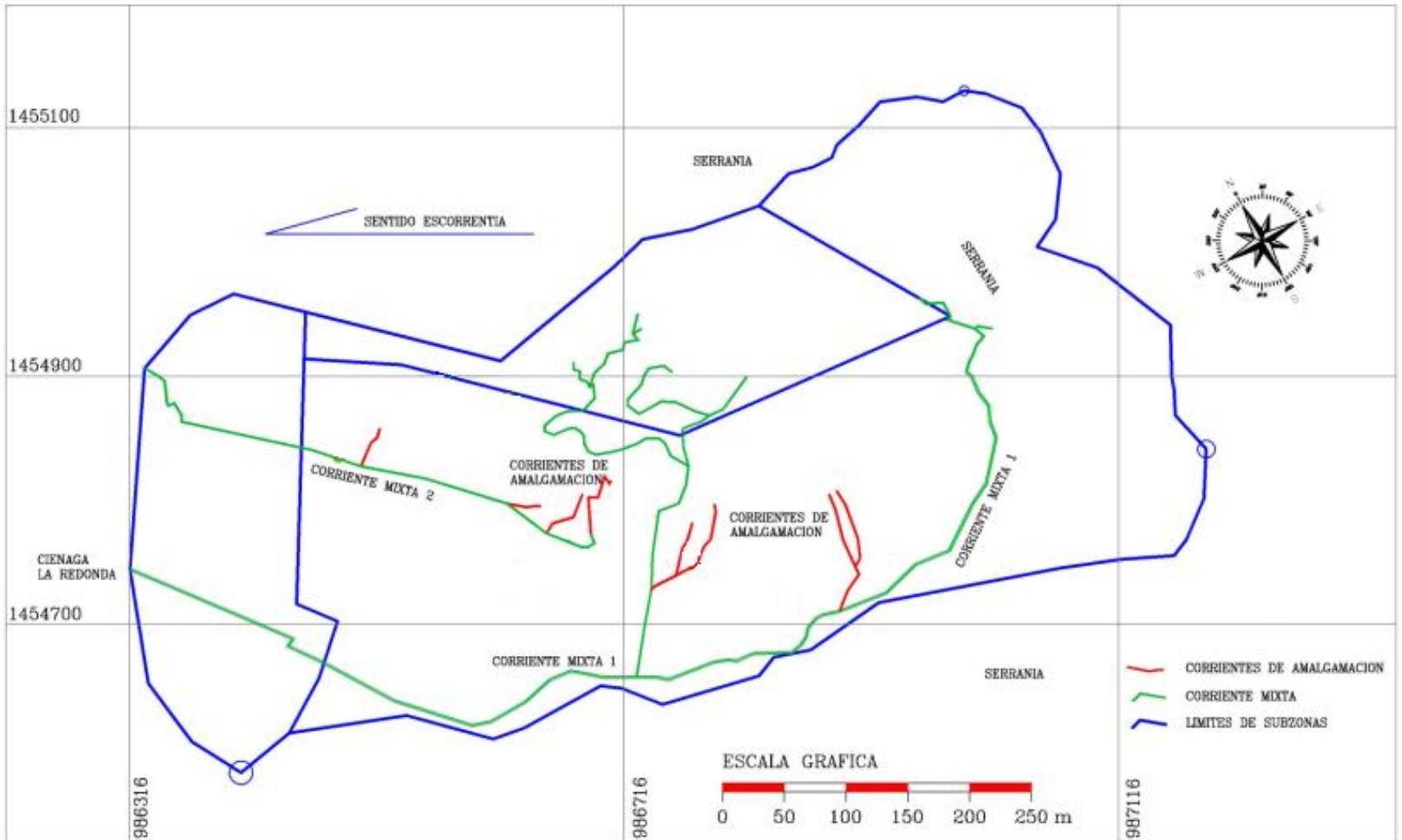
cada especie encontrada a lo largo del transecto, se le tomaron los siguientes medidas utilizando una cinta métrica: altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y cobertura para la cual se midió el area total cubierta, area basal o follaje de la copa acorde a la metodología de Brower *et al* (2007) y como se muestra en el ANEXO A, Luego, se realizaron los cálculos de área basal, densidad y frecuencia, teniendo en cuenta todos aquellos individuos cuyo DAP fuera igual o mayor a 1,5cm. Esto permitió el muestreo de estratos inferiores, para el muestreo de la vegetación en la zona poblada, se realizaron extensos recorridos por las calles y caminos de la localidad. Y se colectaron ejemplares botánicos para posterior identificación y consideración de los análisis de diversidad. La presentación de la información taxonómica, se realizó siguiendo el sistema de clasificación de Cronquist (1981).

**Tabla 2:** Ubicación geográfica de los transectos en Mina Santa Cruz

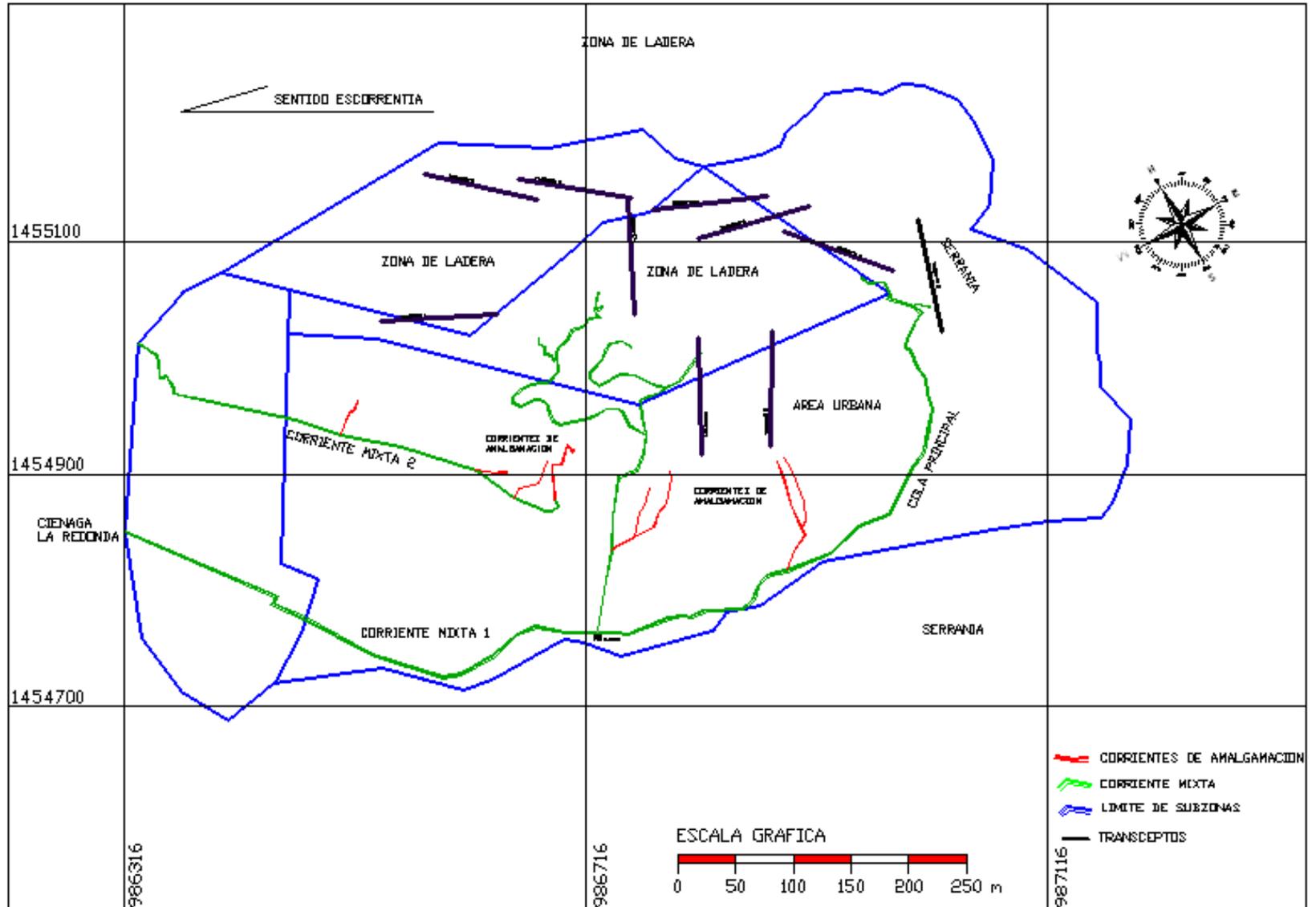
<b>Transecto</b>	<b>Coordenadas en N</b>	<b>Coordenadas en w</b>
1	08° 42'49,1"	74° 12'02,0"
2	08° 42'48,8"	74° 12'02,06"
<b>3</b>	08° 42'47.1"	74° 11'57.1"
4	08° 42'48.6"	74° 11'56.4"
5	08° 42'49,4"	74° 12'08.4"
6	08° 42'49,4"	74° 12'05.9"
7	08° 42'47,5"	74° 12'04.6"
8	08° 42'45,7"	74° 12'11 ,6"
9	08° 42'49,1"	74° 12'02.5"
10	08° 42'47,5"	74° 12'16 ,6"



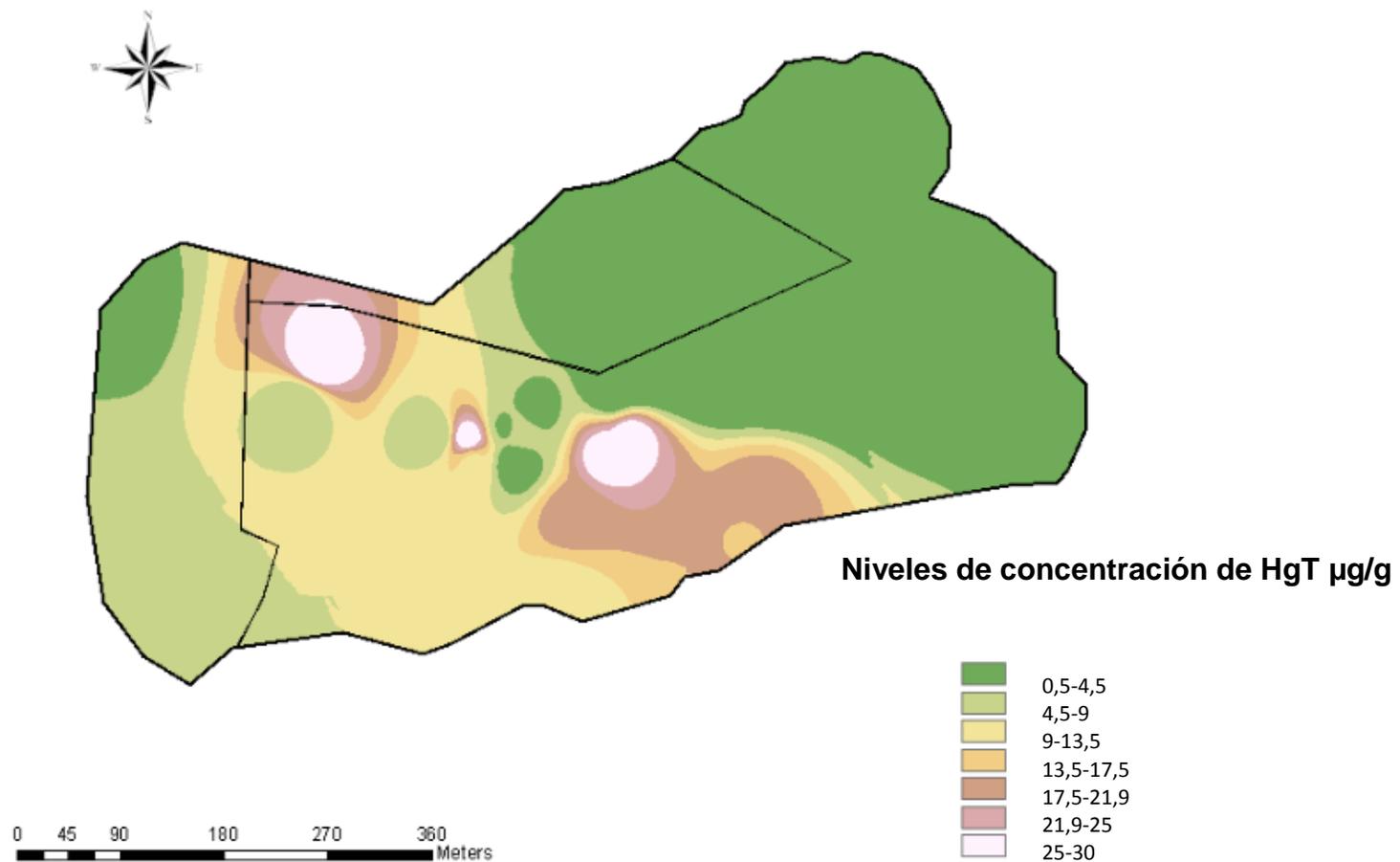
**Figura. 1.** Mapa de Subzonas de mina Sata Cruz- sur de Bolívar.



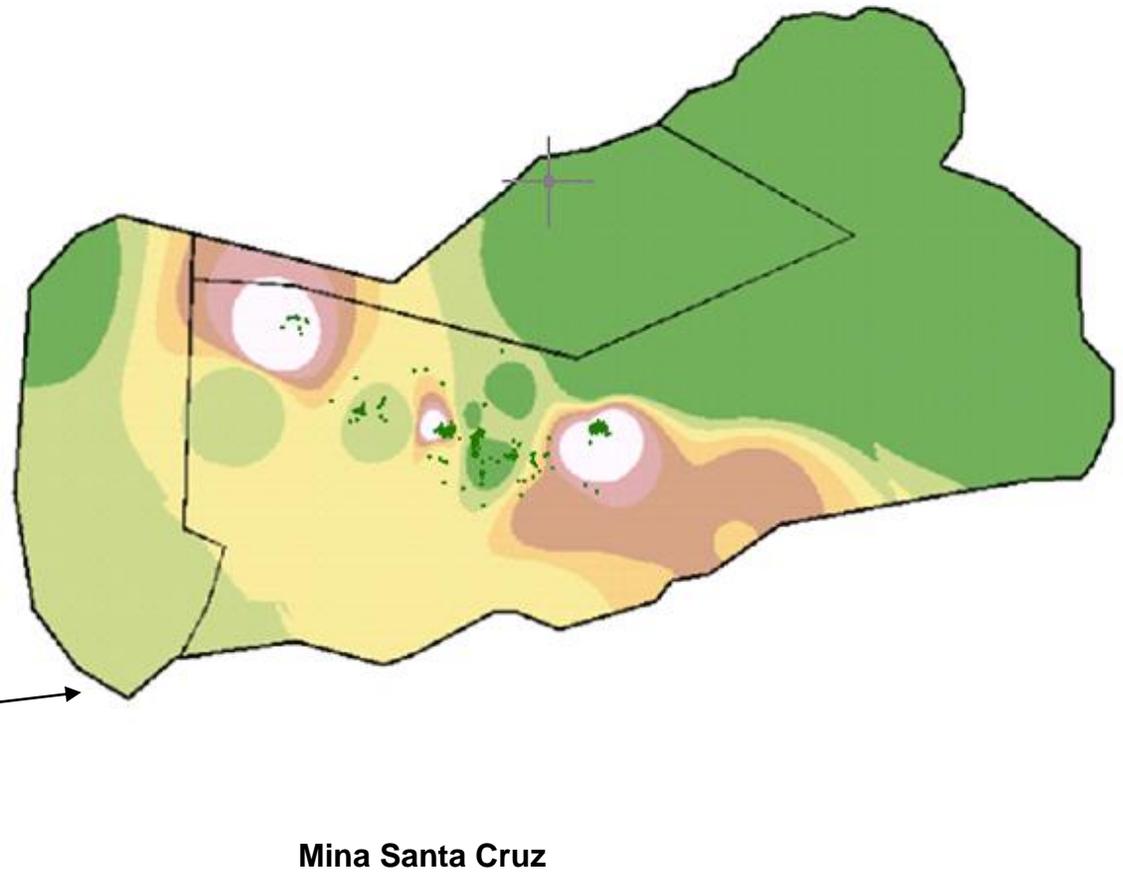
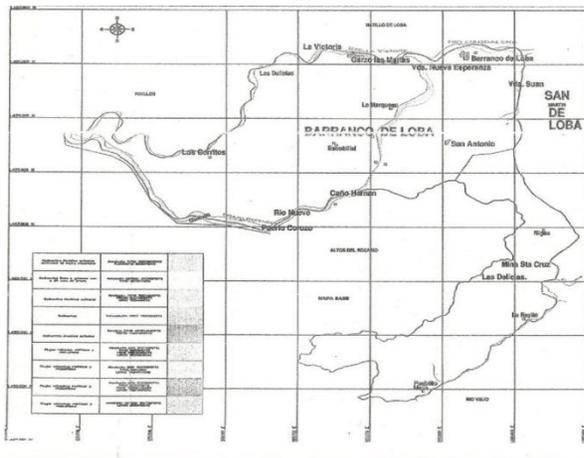
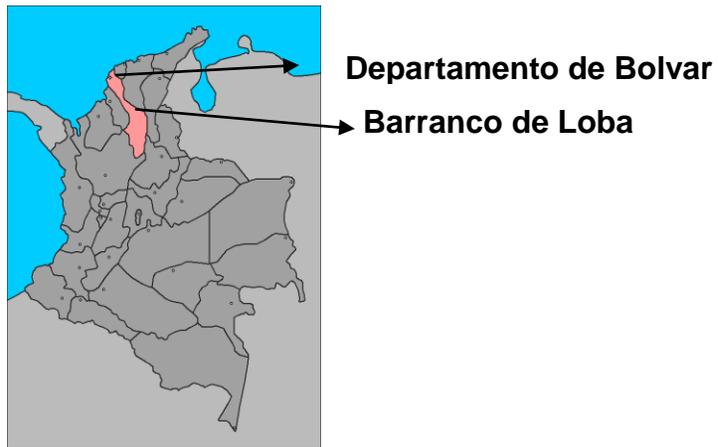
**Figura. 2.** Mapa de corrientes y de corrientes de amalgamación.



**Figura 3.** Ubicación de los transectos en la zona de estudio



**Figura. 4.** Concentración de HgT en suelos provenientes de la Mina Santa Cruz.



**Figura 5.** Puntos de muestreo de las 27 especies vegetales consideradas para el estudio de concentración de Hg

### 3.2. EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ESPECIES FLORÍSTICAS

Los datos obtenidos permitieron la agrupación de los individuos en familias y especies. Igualmente, se logró tabular la información del número de individuos de cada familia en los distintos transectos. La información fue organizada en tablas utilizando el programa Excel versión 2007. Para el procesamiento de los datos, el software utilizado fue la versión libre de PAST 1.96. (Programmer of the original PALSTAT package, 2001). (Hammer *et al.*, 2001). De acuerdo a este se evaluó la proporción de cada especie y el grado de dominancia, según el índice de Shannon – Weiner y el índice de Simpson, respectivamente.

Para efectos de comparación de diversidad en las dos zonas estudiadas, se realizó el test de diversidad (Brower, *et al* 1997), y El índice de valor de importancia (IVI) que identifica las especies que podrían representar la comunidad estudiada (Lozano, 2005) éste fué realizado para cada especie y se calculó como la sumatoria de los valores de densidad relativa ( $N^{\circ}$  de individuos por especie/ $N^{\circ}$  total de individuos\*100), frecuencia relativa (frecuencia de la especie /suma total de toda las especies\*100) y cobertura relativa (cobertura de la especie/sumatoria de la cobertura de todas las especies\*100). Luego este valor fue dividido entre tres para obtener así el porcentaje de importancia con el propósito de evaluar la similitud entre las comunidades se estimó el índice de Sorensen (Méndez *et al*, 2010) utilizando los valores de importancia relativa de las especies presentes en cada una de las zonas de estudio.

Índice de similitud de Sorensen

$$ISS \frac{2C}{(A + B)} X 100$$

Donde:

Iss = Índice de similitud de Sorensen

A = Número de especies de la comunidad A

B = Número de especies de la comunidad B

C = Número de especies comunes a ambas comunidades

Para la comparación cuantitativa de las especies en las zonas de estudio, se utilizó el Índice de los Mínimos Porcentajes Comunes (IMPC), (Odum, 1986; Fuentes *et al.*, 2003).

$$\text{IMPC} = \sum pm100$$

### **3.3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Hg EN LAS ESPECIES VEGETALES**

Se seleccionaron las 27 especies que presentaron mayor abundancia en la subzona de mayor contaminación. Se recolectaron muestras de cinco (5) plantas de cada una de las 27 especies seleccionadas en la mina, cada uno de los individuos fue georeferenciado y ubicados en el mapa de la zona (Figura.5). A los árboles y arbustos se les recolectó muestras de raíz y tallo a la mitad de la profundidad y altura, respectivamente. Los pastos fueron extraídos por completo. Los ejemplares vegetales recolectados fueron depositados en bolsas plásticas herméticas y trasladadas al laboratorio para la cuantificación del contenido de mercurio total (HgT).

#### **3.3.1. Preparación del material vegetal**

El material vegetal y la rizósfera fueron procesados inmediatamente después de su colecta en campo. Esto con la finalidad de prevenir actividad biológica de descomposición y volatilización del Hg. Los diferentes órganos de las plantas fueron separados. Las raíces fueron lavadas varias veces con agua destilada, con la finalidad de eliminar partículas minerales adsorbidas a la superficie (Wang,

2004). El mismo procedimiento se realizó para el tallo. Los tejidos de las plantas fueron puestos en bolsas plásticas herméticas.

### 3.3.2 Análisis de las muestras

Las muestras se deshidrataron a 60 °C durante 72 horas. Se pesaron y se tomaron 100 mg para ser digeridas en 2 ml de solución HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> (7:1, v/v) a 80°C durante 6 horas y posteriormente fueron enfriadas, filtradas y diluidas con agua destilada hasta 10 ml para su análisis de mercurio total por espectrofotometría de absorción atómica en frío (Wei y Zhou, 2004), El anexo M muestra los parámetros analíticos sobre el control de calidad en el análisis de Hg

### 3.3.3 Parámetros de acumulación, fitorremediación y retención en raíz

Debido a que la concentración de mercurio en las plantas depende del grado de contaminación del suelo, se determinó la capacidad de concentración (CC) de cada planta evaluada, dividiendo la concentración sobre la concentración del contaminante en el suelo de su rizósfera, como se indica en la ecuación 1.

$$CC \text{ Hg} = \frac{[\text{HgT en tejidos}] (\mu\text{g HgT})/(\text{g tejido seco})}{[\text{HgT en suelo}] (\mu\text{g HgT})/(\text{g suelo seco})} \quad \text{Ecuacion 1}$$

Un parámetro importante para determinar el comportamiento de la planta, es el índice de retención en raíz, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$IRR = \frac{[\text{HgT en raíz}] (\mu\text{g Hg}) \text{ raíz}}{[\text{HgT en tejido seco}] (\mu\text{g Hg}) \text{ tejido seco}} \quad \text{Ecuacion 2}$$

Para determinar la tasa de remediación, se elaboró la fórmula 3, que relaciona la concentración de HgT en suelo de circundante a cada planta y la concentración del

contaminante en su rizósfera. Las muestras fueron tomadas a 30 cm como lo indica Smolinka y Cedzyńska (2007).

### **Ecuacion 3**

$$TR = \frac{[\text{HgT en suelo circundante}] - (\text{HgT rizosfera}) \times 100 (\mu\text{gHgT})(\text{g suelo seco})}{[\text{HgT en suelo circundante}] (\mu\text{gHgT})(\text{g suelo seco})}$$

#### **3.3.4. Análisis de datos**

Se demostró la no normalidad de los datos utilizando prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y la prueba de homogeneidad de varianza de Bartlett. Los datos de concentración de HgT en los tejidos vegetales (raíces, tallos, hojas) y de las rizósferas, se presentan como media  $\pm$  error estándar. Para determinar diferencias estadísticas entre la capacidad de acumulación, fitoremediación y potencial de retención entre especies de diferentes características de crecimiento (herbáceas, arbustivas, arbóreas), se realizó un ANOVA y un post test de Tukey con los datos transformados a  $\log_{10}$  y un nivel de confianza de 95%. En las tablas se ofrece la información con los datos originales para su mejor comprensión. Para determinar diferencias estadísticas entre la capacidad de acumulación y de fitoremediación se realizó un ANOVA y un post test de Tukey con cada una de las especies evaluadas con las respectivas graficas de box-plot.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En general el área evaluada presenta alto deterioro de los recursos, encontrándose niveles de erosión elevados por la constante actividad minera, los análisis de mercurio en suelo, muestran una alta contaminación en la zona de estudio (Figura 4); en donde la concentración de HgT, va desde 0,5 a 30,5 µg/g, en tal sentido se observa que la zona de mayor contaminación es la zona poblada y que las concentraciones más altas de HgT se encuentran alrededor de los molinos de amalgación, ubicados en esta zona. Es preciso anotar, que sobre el área de explotación donde se encuentra el relicto de bosque se encuentran ubicados parches que fueron explotados y sobre los cuales se ha iniciado un proceso de regeneración de la cobertura vegetal. Se anota igualmente, que existen parches en explotación, que muestran un alto deterioro en su biota y suelo (ANEXO F).

### 4.2. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Se encontraron 160 especies distribuidas en 116 géneros y 61 familias (Tabla 3). De estas especies las más representativas, en cuanto a número de especies y géneros, fueron las familias *Euphorbiaceae*, con 8 géneros y 10 especies, *Melastomataceae*, con 4 géneros y 11 especies, *Mimosaceae* con 3 géneros y 8 especies, *Rutaceae* con 3 géneros y 6 especies, *Fabaceae* con 5 géneros y 6 especies. Se destaca el hecho de que varias de las especies fueron encontradas en ambas zonas de estudio. Las especies con el número de individuos por zona se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 3.** Familias y especies vegetales presentes en el área de estudio

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia lacera</i> , <i>Miconia sp</i> , <i>Miconia calvescens</i> , <i>Tibouchina lepidota</i> , <i>Tibouchina sp</i> , <i>Medinilla cumingii</i> , <i>Miconia emarginata</i> , <i>Miconia macrotis</i> , <i>Tibouchina acerifolia</i> , <i>Clidemia serícea</i> , <i>Miconia jucunda</i>
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Ricinus comunis</i> , <i>Jatropha aconitifolia</i> , <i>Euphorbia milli</i> , <i>Euphorbia tirucalli</i> , <i>Acalipha hispida</i> , <i>Hura crepitans</i> , <i>Euphorbia sp</i> , <i>Pedilanthus tithymaloides</i> , <i>Codiaeum variegatum</i> , <i>Phyllanthus itymalloides</i>
<i>Mimosaceae</i>	<i>Mimosa romeriana</i> , <i>Mimosa sp</i> , <i>Phytechellobium dulce</i> , , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Mimosa púdica</i> , <i>Phytechellobium guachepele</i> , <i>Phytechellobium sp</i> , <i>Phytechellobium saman</i>
<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus aurantifolium</i> , <i>Citrus sp</i> , <i>Muraya paniculata</i> , <i>Citrus aurantius</i> , <i>Swingla glutinosa</i> , <i>Citrus limonium</i>
<i>Fabaceae</i>	<i>Clitoria ternatea</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Mirospermun frutescens</i> , <i>Inga edulis</i> , <i>Inga spectabilis Durantha sp</i> .
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus máxima</i> , <i>Ficus citrifolia</i> , <i>Ficus gigante</i> , <i>Ficus dendrocida</i> , <i>Ficus benjamina</i> , <i>Ficus sp</i>
<i>Malvaceae</i>	<i>Gossipum sp</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Sida abutifolia</i> , <i>Sida rhombifolia</i> , <i>Sida cordifolia</i> , <i>Hibiscus sp</i>
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Schinus terebinthifolius</i> , <i>Spondias mombin</i> , <i>Manguifera indica</i> , <i>Anacardium occidentale</i> , <i>Astronium graveolens</i>
<i>Verbenaceae</i>	<i>Verbena sp</i> , <i>Lantana aculeata</i> , <i>Tectona grandis</i> , <i>Stachytarpheta mutabilis</i> , <i>Verbena hispida</i> .
<i>Lauraceae</i>	<i>Nectandra turbacences</i> , <i>Nectandra sp</i> , <i>Laurus sp</i> , <i>Ocotea sp</i> , <i>Ocotea foetens</i>
<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum heterophylla</i> , <i>Physalis angulata</i> , <i>Solanum sp</i> , <i>Capsicum sp</i> , <i>Capsicum annum</i>
<i>Pteridaceae</i>	<i>Pterys sp</i> , <i>Asplenium sp</i> , <i>Aurantium sp</i> , <i>Pteris longifolia</i> , <i>Adiantum sp</i>
<i>Sapindaceae</i>	<i>Paullinia sp</i> , <i>Sapindaceae sp</i> , <i>Sapium biglandulosum</i> ,

---

	<i>Melicocca bijuga</i>
<i>Poligonaceae</i>	<i>Coccoloba pubescens</i> , <i>Poligonaseae sp</i> , <i>Triplaris americana</i> , <i>Coccoloba sp</i> .
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona glabra</i> , <i>Xylopia aromática</i> , <i>Annona muricata</i> , <i>Annona chirimoya</i> ,
<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus sculentus</i> , <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Cyperus longus</i> , <i>Cyperus rotundus</i>
<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia collococa</i> , <i>Cordia sebestana</i> , <i>Cordia sp</i> .
<i>Asteraceae</i>	<i>Artemisia sp</i> , <i>Calyptocarpus vialis</i> , <i>Taraxacum officinale</i>
<i>Apocynaceae</i>	<i>Vinca minor</i> , <i>Allamanda composite</i> , <i>Thevetia ahuoai</i>
<i>Arecaceae</i>	<i>Bactris gasipae</i> , <i>Cocos nuccifera</i> , <i>Copernicia sp</i> .
<i>Caesalpinaceae</i>	<i>Senna alata</i> , <i>Delonix regia</i> , <i>Tamarindus indica</i>
<i>Gramineae</i>	<i>Saccharum sp</i> , <i>Graminea sp</i> , <i>Coquito sp</i> ,
<i>Araceae</i>	<i>Philodendron giganteum</i> , <i>Philodendron sp</i>
<i>Bignoniaceae</i>	<i>Tabebuia rosea</i> , <i>Crescentia cujete</i>
<i>Myrtaceae</i>	<i>Psidium guajava</i> , <i>Eugenia malacensis</i>
<i>Cannaceae</i>	<i>Canna edulis</i> , <i>Canna sp</i>
<i>Erythroxilaceae</i>	<i>Erythroxilum coca</i> , <i>Erythroxilum sp</i>
<i>Rubiaceae</i>	<i>Ixora coccígea</i> , <i>Ixora chinensis</i>
<i>Bromeliaceae</i>	<i>Ananas cosmosus</i> , <i>Ananas sp</i>
<i>Ranunculaceae</i>	<i>Thalictrum sp</i> , <i>Clematis sp</i>
<i>Agavaceae</i>	<i>Cordyline terminalis</i>
<i>Azollaceae</i>	<i>Azolla fililioides</i>
<i>Balsaminaceae</i>	<i>Impatiens wallesiana</i>
<i>Bixaceae</i>	<i>Bixa Orellana</i>
<i>Bombacaceae</i>	<i>Ceiba pentandra</i>
<i>Cactaceae</i>	<i>Hylocereus triangularis</i>
<i>Caricaceae</i>	<i>Carica papaya</i>
<i>Cecropiaceae</i>	<i>Cecropia peltata</i>
<i>Chenopodiaceae</i>	<i>Chenopodium ambrossoides</i>
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia cattapa</i>

---

---

<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Momordica charantia</i>
<i>Cycadaceae</i>	<i>Cyca sp.</i>
<i>Dilleniaceae</i>	<i>Curatella americana</i>
<i>Dioscoraceae</i>	<i>Dioscorea sp</i>
<i>Elaeocarpaceae</i>	<i>Muntigia calabura</i>
<i>Gesneriaceae</i>	<i>Chrysothemis pulchella</i>
<i>Licopodiaceae</i>	<i>Licopodium palustris</i>
<i>Lythraceae</i>	<i>Cuphea hyssopifolia</i>
<i>Malpighiaceae</i>	<i>Malpighia glabra</i>
<i>Musaceae</i>	<i>Musa paradisiaca</i>
<i>Nyctaginaceae</i>	<i>Bouganvillea glabra</i>
<i>Orchiidaceae</i>	<i>Pandanum sanderiana</i>
<i>Opuntoideae</i>	<i>Opuntia variegata</i>
<i>Oxalidaceae</i>	<i>Averrhoa carambola</i>
<i>Passifloraceae</i>	<i>Passiflora edulis</i>
<i>Piperaceae</i>	<i>Piper peltata</i>
<i>Tiliaceae</i>	<i>Apeiba tibourbou</i>
<i>Violaceae</i>	<i>Leonia triandra</i>
<i>Zingiberaceae</i>	<i>Alpinia purpurata</i>
<i>Liliaceae</i>	<i>Lilium sp</i>
<i>Rubiáceae</i>	<i>Morinda citrifolia</i>

---

**Tabla 4.** Especies vegetales presentes y número de individuos en la zona de ladera y en la zona Poblada.

<b>Especie</b>	<b>Ladera</b>	<b>Poblada</b>
<i>Acalipha hispida</i>	5	5
<i>Adiantum sp</i>	2	14
<i>Allamanda composite</i>	1	0
<i>Alpinia purpurata</i>	1	0
<i>Anacardium occidentale</i>	1	1
<i>Ananas cosmosus</i>	1	1
<i>Ananas sp</i>	1	0
<i>Annona glabra</i>	2	6
<i>Annona muricata</i>	9	9
<i>Anonna chirimoya</i>	0	12

<i>Apeiba tibourbou</i>	2	0
<i>Artemisia sp</i>	3	1
<i>Asplenium sp</i>	2	0
<i>Astronium graveolens</i>	13	0
<i>Aurantium sp.</i>	0	3
<i>Averrhoa carambola</i>	0	1
<i>Azolla fililioides</i>	1	0
<i>Bactris gasipae</i>	1	0
<i>Bixa Orellana</i>	0	5
<i>Bouganvillea glabra</i>	0	1
<i>Calyptocar pusvialis</i>	3	0
<i>Canna edulis</i>	2	1
<i>Canna sp</i>	2	1
<i>capsicum anuum</i>	1	2
<i>Capsicum sp</i>	0	8
<i>Carica papaya</i>	0	1
<i>Cecropia peltata</i>	55	15
<i>Ceiba pentandra</i>	3	12
<i>Chenopodium ambrossoides</i>	0	1
<i>Chrysothemis pulchella</i>	2	0
<i>Cyperus rotundus</i>	2	4
<i>Citrus aurantifolium</i>	0	9
<i>Citrus aurantius</i>	0	1
<i>Citrus limonium</i>	0	12
<i>Citrus sp.</i>	4	2
<i>Clematis sp.</i>	1	2
<i>Clidemia serícea</i>	6	0
<i>Clitoria ternatea</i>	2	0
<i>Coccoloba pubescens</i>	11	0
<i>Coccoloba sp.</i>	0	1
<i>Cocos nucifera</i>	0	11
<i>Codiaeum variegatum</i>	0	5
<i>Copernicia sp.</i>	0	1
<i>Coquito sp</i>	2	0
<i>Cordia collococa</i>	53	0
<i>Cordia sebestana</i>	3	3
<i>Cordia sp</i>	2	0
<i>Cordyline terminalis</i>	0	4
<i>Crescentia cujete</i>	4	4
<i>Cuphea hyssopifolia</i>	1	0
<i>Curatella americana</i>	30	1

<i>Cyca sp.</i>	0	1
<i>Cyperus longus</i>	1	0
<i>Cyperus sculentus</i>	0	15
<i>Delonix regia</i>	1	1
<i>Dioscorea sp.</i>	0	1
<i>Durantha sp.</i>	1	0
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	3	3
<i>Erythroxylum sp.</i>	0	1
<i>Erythroxylum coca</i>	1	0
<i>Eugenia malacensis</i>	0	2
<i>Euphorbia mili</i>	1	2
<i>Euphorbia sp</i>	0	1
<i>Euphorbia tirucalli</i>	1	1
<i>Ficus benjamina</i>	5	11
<i>Ficus citrifolia</i>	1	1
<i>Ficus dendrocida</i>	7	5
<i>Ficus gigantea</i>	1	1
<i>Ficus máxima</i>	10	1
<i>Ficus sp</i>	4	0
<i>Gliricidia sepium</i>	1	0
<i>Gossipium sp</i>	4	0
<i>Graminae sp</i>	8	0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	3	5
<i>Hibiscus sp</i>	0	12
<i>Hylocereus triangularis</i>	0	1
<i>Hura crepitans</i>	1	1
<i>Impatiens wallesiana</i>	0	1
<i>Inga edulis</i>	10	10
<i>Inga spectabilis</i>	3	0
<i>Ixora chinensis</i>	3	0
<i>Ixora coccínea</i>	3	3
<i>Jatropha aconitifolia</i>	8	9
<i>Lantana aculeata</i>	1	0
<i>Laurus sp</i>	4	0
<i>Leonia triandra</i>	0	1
<i>Licopodium palustris</i>	0	1
<i>Lilium sp.</i>	0	1
<i>Malpighia glabra</i>	5	0
<i>Mangifera indica</i>	32	28
<i>Medinilla cumingii</i>	2	0
<i>Melicocca bijuga</i>	0	2

<i>Miconia calvescens</i>	3	0
<i>Miconia emarginata</i>	4	0
<i>Miconia jucunda</i>	13	12
<i>Miconia lacera</i>	12	11
<i>Miconia macrotis</i>	2	0
<i>Miconia sp</i>	2	0
<i>Mimosa púdica</i>	0	1
<i>Mimosa romeriana</i>	1	4
<i>Mimosa sp</i>	8	0
<i>Momordica charantia</i>	8	0
<i>Morinda citrifolia</i>	0	12
<i>Muntigia calabura</i>	4	5
<i>Murraya paniculata</i>	2	2
<i>Musa paradisiaca</i>	0	13
<i>Myrospermum frutescens</i>	1	0
<i>Nectandra sp</i>	4	1
<i>Nectandra turbacences</i>	34	0
<i>Ocotea foetens</i>	3	0
<i>Ocotea sp.</i>	3	5
<i>Opuntia variegata</i>	1	0
<i>Pandanum sanderiana</i>	0	1
<i>Passiflora edulis</i>	0	1
<i>Paullinia sp.</i>	4	0
<i>Pedilanthus tithymaloides</i>	4	0
<i>Philodendron sp</i>	1	1
<i>Phoradendron giganteum</i>	0	1
<i>Phyllanthus itymaloides</i>	2	1
<i>Physalis angulata</i>	1	2
<i>Phytocellobium dulce</i>	4	0
<i>Phytocellobium guachepele</i>	0	1
<i>Phytocellobium saman</i>	1	0
<i>Piper peltata</i>	1	0
<i>Pithecellobium sp</i>	3	0
<i>Poligonaseae sp</i>	4	0
<i>Psidium guajava</i>	3	28
<i>Pteris longifolia</i>	0	13
<i>Pteris sp.</i>	11	4
<i>Ricinus communis</i>	36	5
<i>Saccharum sp.</i>	1	0
<i>Sapindaceae sp</i>	1	0
<i>Sapium biglandulosum</i>	1	1

<i>Schinus terebinthifolius</i>	14	8
<i>Schoenoplectus californicus</i>	0	16
<i>Senna alata</i>	15	10
<i>Sida abutilifolia</i>	2	24
<i>Sida cordifolia</i>	2	0
<i>Sida rhombifolia</i>	13	34
<i>Solanum heterophylla</i>	11	15
<i>Solanum sp.</i>	2	3
<i>Spondias mombin</i>	18	1.8
<i>Stachytarpheta mutabilis</i>	3	1
<i>Sterculia apétala</i>	7	3
<i>Swingla glutinosa</i>	0	1
<i>Tabebuia rosea</i>	21	17
<i>Tamarindus indica</i>	0	2
<i>Taraxacum officinale</i> Weber	1	0
<i>Tectona grandis</i>	1	0
<i>Thalictrum sp</i>	1	0
<i>Terminalia cattapa</i>	0	14
<i>Thevetia ahuoai</i>	0	2
<i>Tibouchina acerifolia</i>	4	0
<i>Tibouchina lepidota</i>	2	0
<i>Tibouchina sp</i>	5	0
<i>Triplaris americana</i>	2	1
<i>Verbena hispida</i>	2	5
<i>Verbena sp</i>	2	0
<i>Vinca minor</i>	1	0
<i>Xylopia aromatica</i>	15	0

#### 4.2.1. Análisis de diversidad

Los valores del índice de diversidad agrupando todos los especímenes y para cada zona de estudio, se observan en la Tabla 5. Existen unas pocas especies dominantes, desde el punto de vista numérico en cada zona, lo que se corrobora por los altos valores del índice de Simpson y porque IVI muestra que sólo 5 especies representan el 81.3% del total (Tabla 6). Ambas zonas presentan similar diversidad de especies, ya que el  $t$  calculado mediante el Test de diversidad es de

-0,63701 con 1217,5 grados de libertad y un nivel de confianza del 95%, que es menor que el t tabulado (1.645).

**Tabla 5.** Prueba de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson (IS) para las zonas de estudio.

	Zona de ladera	Zona Poblada	General
H'	4.039	4.073	4, 754
Varianza	0.002	0.002	
IS	0.968	0.977	0,986

**Tabla 6.** Especies con mayor índice de valor de importancia.

<b>Especie</b>	<b>Den. Relativa</b>	<b>Cobertura Relativa</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>I.V.I</b>
<i>Ricinus comunis</i>	0,052	0,057	0,024	13,284
<i>Nectandra turbacences</i>	0,053	0,054	0,028	13,497
<i>Mangifera indica</i>	0,048	0,093	0,028	16,973
<i>Cordia collococa</i>	0,083	0,064	0,032	17,934
<i>Cecropia peltata</i>	0,080	0,080	0,036	19,631
<b>Total</b>				81,319

El índice de Sorensen, muestra que las zonas presentan un valor de similitud cualitativa de 53,39%, mientras que el índice de los mínimos porcentajes comunes tuvo un valor de 27.7, lo que indica que las zonas presentan una composición distinta. Cabe destacar que las especies arbóreas fueron dominantes en cuanto a cobertura, siendo las especies *Cordia collococa*, *Cecropia peltata* y *Nectandra*

*turbacences* con mayor aporte a la cobertura, con 75,5m<sup>2</sup>, 60,4m<sup>2</sup> y 54,1m<sup>2</sup> respectivamente. La cobertura total fue de 692,25m<sup>2</sup> en área estudiada (Tabla 7).

**Tabla 7.** Valores de la cobertura (m<sup>2</sup>), para las especies arbóreas.

<b>Especie</b>	<b>Estrato vegetacional</b>	<b>Cobertura(m<sup>2</sup>)</b>
<i>Coccoloba pubescens</i>	Árbol	15,1
<i>Nectandra turbacences</i>	Árbol	54,1
<i>Phytocellobium sp</i>	Árbol	3,5
<i>Inga edulis</i>	Árbol	24,3
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Árbol	25,8
<i>Spondias mombin</i>	Árbol	32,6
<i>Mangifera indica</i>	Árbol	88
<i>Cordia collococca</i>	Árbol	75,5
<i>Clidemia seríceea</i>	Árbol	14,1
<i>Cecropia peltata</i>	Árbol	60,4
<i>Psidium guajava</i>	Árbol	5,5
<i>Tabebuia rosea</i>	Árbol	33,8
<i>Phytocellobium dulce</i>	Árbol	4,6
<i>Ficus máxima</i>	Árbol	13,9
<i>Ficus citrifolia</i>	Árbol	2,5
<i>Inga spectabilis</i>	Árbol	7
<i>Ocotea foetens</i>	Árbol	7
<i>Muntingia calabura</i>	Árbol	12,2
<i>Piteselobium sp</i>	Árbol	2
<i>Ficus dendrocida</i>	Árbol	10,9
<i>Triplaris americana</i>	Árbol	3,9
<i>Verbena hispida</i>	Árbol	1,9
<i>Ceiba pentandra</i>	Árbol	10,4
<i>Curatella americana</i>	Árbol	42,6
<i>Ocotea sp.</i>	Árbol	4,4
<i>Nectandra sp</i>	Árbol	5,6
<i>Cordia sebestana</i>	Árbol	3,7
<i>Laurus sp</i>	Árbol	6,5

<i>Xylopia aromatica</i>	Árbol	20,4
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Árbol	6
<i>Astronium graveolens</i>	Árbol	12,4
<i>Crescentia cujete L</i>	Árbol	7,8
<i>Delonix regia</i>	Árbol	1,5
<i>Tectona grandis</i>	Árbol	1
<i>Gliricidia sepium</i>	Árbol	2
<i>Sterculia apétala</i>	Árbol	4,7
<i>Apeiba tibourbou</i>	Árbol	4,6
<i>Annona muricata</i>	Árbol	21
<i>Phythescellobium saman</i>	Árbol	1,3
<i>Ficus gigantea</i>	Árbol	2
<i>Hura crepitans</i>	Árbol	3
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Árbol	8
<i>Ficus benamina</i>	Árbol	8,7
<i>Jatropha aconitifolia</i>	Árbol	11,05
<i>Anacardium occidentale</i>	Árbol	2

Para las especies arbustivas, las cobertura total fue de 205,8m<sup>2</sup>, donde se destacaron especies como *Ricinus comunis* con 50,9m<sup>2</sup>, *Senna alata* con 21m<sup>2</sup>, *Miconia lacera* con 12m<sup>2</sup> y *Miconia jucunda* con 11,3m<sup>2</sup> (Tabla 8).

**Tabla 8.** Valores de la cobertura (m<sup>2</sup>), para las especies arbustivas.

<b>Especie</b>	<b>Estrato vegetal</b>	<b>Cobertura (m<sup>2</sup>)</b>
<i>Miconia lacera</i>	Arbusto	12
<i>Ricinus comunis</i>	Arbusto	50,9
<i>Miconia jucunda</i>	Arbusto	11,3
<i>Ixora chinensis</i>	Arbusto	3,2
<i>Miconia sp</i>	Arbusto	1,9
<i>Paullinia sp.</i>	Arbusto	4
<i>Sapindaceae sp</i>	Arbusto	0,7
<i>Miconia calvescens</i>	Arbusto	3,7

<i>Tibouchina máxima</i>	Arbusto	2,7
<i>Tibouchina sp</i>	Arbusto	4
<i>Medicilla cumingli</i>	Arbusto	2,3
<i>Miconia emarginata</i>	Arbusto	5,7
<i>Miconia macrotis</i>	Arbusto	3,1
<i>Tibouchina acetifolia</i>	Arbusto	7,1
<i>Senna alata</i>	Arbusto	21
<i>Senna alata</i>	Arbusto	21
<i>Phyllanthus tithymaloides</i>	Arbusto	1,8
<i>Ixora coccínea</i>	Arbusto	2,3
<i>Vinca minor</i>	Arbusto	1,2
<i>Clematis sp.</i>	Arbusto	1,1
<i>Solanum sp</i>	Arbusto	0,7
<i>Sida abutifolia</i>	Arbusto	0,7
<i>Physalis angulata</i>	Arbusto	2
<i>Verbena sp</i>	Arbusto	2,9
<i>Lantana aculeata</i>	Arbusto	0,5
<i>Sida cordifolia</i>	Arbusto	1,3
<i>Acalipha hispida</i>	Arbusto	3,8
<i>Tibouchina sp.</i>	Arbusto	0,7
<i>Philodendron sp</i>	Arbusto	0,7
<i>Opuntia variegata</i>	Arbusto	0,3
<i>Erythroxylum coca</i>	Arbusto	0,5
<i>Piper peltata</i>	Arbusto	1,4
<i>Euphorbia milli</i>	Arbusto	0,7
<i>Sida rhombifolia</i>	Arbusto	1,9
<i>Euphorbia tirucalli</i>	Arbusto	0,8
<i>Citrus sp</i>	Arbusto	4,9
<i>Bactris sp</i>	Arbusto.	0,7
<i>Ananas cosmosus</i>	Arbusto	1
<i>Annona glabra</i>	Arbusto	3,4
<i>Cuphea hyssopifolia</i>	Arbusto	0,7
<i>Durantha sp.</i>	Arbusto	0,5
<i>Muraya paniculata</i>	Arbusto	6
<i>Malpighia glabra</i>	Arbusto	8,2

#### 4.3. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO DE LAS ESPECIES EVALUADAS

De las 27 especies encontradas en la zona de mayor contaminación hay cuatro (4) herbáceas, diez (10) arbustivas y trece (13) árboles (ANEXO J); de ellas una

es maderable, once (11) frutales y quince (15) silvestres. Los puntos donde se realizó la captura de las muestras se referencian en la Figura 5 y las especies con su estrato vegetacional y tipo se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Clasificación de especies evaluadas de acuerdo con su estrato vegetacional y tipo (silvestres y no silvestres)

<b>Nombre Vulgar</b>	<b>Especie</b>	<b>Estrato vegetacional</b>	<b>Tipo</b>
Helecho	<i>Pteris longifolia</i>	Herbácea	Silvestre
Helecho crespo	<i>Adiantum sp.</i>	Herbácea	Silvestre
Escobilla mojosa	<i>Sida rhombifolia</i> )	Herbácea	Silvestre
Hierba	<i>Cyperus esculentus</i>	Herbácea	Silvestre
Junco	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Arbusto	Silvestre
Puerca pelua	<i>Miconia jucunda</i>	Arbusto	Silvestre
Berenjenita	<i>Solanum heterophylla</i>	Arbusto	Silvestre
Totumo	<i>Crescentia cujete</i>	Arbusto	Silvestre
Bajagua	<i>Senna alata</i>	Arbusto	Silvestre
Noni	<i>Morinda citrifolia</i>	Arbusto	Frutal
Lancerita	<i>Miconia lacera</i>	Arbusto	Silvestre
Hoja grande	<i>Miconia Maxima</i>	Arbusto	Silvestre
Ají	<i>Capsicum annuum</i>	Arbusto	Frutal
Limón	<i>Citrus limonum</i>	Arbusto	Frutal
Platano	<i>Musa paradisiaca</i>	Árbol	Frutal
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	Árbol	Frutal
Naranja	<i>Citrus aurantifolium</i>	Árbol	Frutal
Pimientillo	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Árbol	Silvestre
Guanabana	<i>Annona muricata</i>	Árbol	Frutal
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Árbol	Frutal
Almendro	<i>Terminalia catappa</i>	Árbol	Silvestre
Guama	<i>Inga edulis</i>	Árbol	Frutal
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Árbol	Frutal
Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	Árbol	Maderable
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Árbol	Frutal
Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>	Árbol	Silvestre
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>	Árbol	Silvestre

Los datos de concentración de HgT en tejidos de las 27 especies vegetales se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Concentración de Hg-T ( $\mu\text{g/g}$ ) en tejidos (sumatoria de concentración de Hg en tallos, raíces y hojas), tallos, hojas y raíz de las especies evaluadas (media  $\pm$  error estándar), n=5.

<b>Especie</b>	<b>(<math>\mu\text{g HgT/g}</math>) tejido</b>	<b>(<math>\mu\text{g HgT/g}</math>) Hojas</b>	<b>(<math>\mu\text{g HgT/g}</math>) Tallos</b>	<b>(<math>\mu\text{g HgT/g}</math>) Raíz</b>
<i>Pteris longifolia</i>	46,01 $\pm$ 12,4	9,77 $\pm$ 3,9	10,02 $\pm$ 1,0	26,22 $\pm$ 8,3
<i>Adiantum sp.</i>	34,76 $\pm$ 8,2	17,92 $\pm$ 4,8	-	16,84 $\pm$ 2,6
<i>Sida rhombifolia</i>	32,76 $\pm$ 4,2	7,5 $\pm$ 1,8	7,09 $\pm$ 2,0	18,17 $\pm$ 4,9
<i>Miconia jucunda</i>	24,02 $\pm$ 5,6	10,08 $\pm$ 3,4	3,87 $\pm$ 0,33	10,07 $\pm$ 3,1
<i>Solanum heterophylla</i>	20,57 $\pm$ 3,8	6,69 $\pm$ 1,2	2,47 $\pm$ 0,80	11,41 $\pm$ 2,2
<i>Cyperus esculentus</i>	20,27 $\pm$ 5,7	4,65 $\pm$ 1,1	-	15,62 $\pm$ 4,7
<i>Spondias mombin</i>	20,24 $\pm$ 0,1	9,47 $\pm$ 6,4	1,19 $\pm$ 0,53	9,58 $\pm$ 12,7
<i>Crescentia cujete</i>	19,9 $\pm$ 5,0	5,9 $\pm$ 2,7	1,98 $\pm$ 0,80	8,96 $\pm$ 5,4
<i>Citrus aurantifolium</i>	19,6 $\pm$ 3,9	5,6 $\pm$ 1,6	1,22 $\pm$ 0,3	9,22 $\pm$ 5,9
<i>Cassia alata</i>	19,27 $\pm$ 10,4	8,17 $\pm$ 4,9	6,46 $\pm$ 5,4	4,64 $\pm$ 3,5
<i>Schinus terebinthifolius</i>	17,31 $\pm$ 4,6	3,5 $\pm$ 1,0	2,26 $\pm$ 1,4	7,53 $\pm$ 5,4
<i>Annona muricata</i>	15,99 $\pm$ 2,7	3,07 $\pm$ 0,7	3,81 $\pm$ 0,83	6,09 $\pm$ 4,3
<i>Cocos nucifera</i>	15,93 $\pm$ 5,1	3,61 $\pm$ 1,4	1,81 $\pm$ 0,52	7,06 $\pm$ 12,1
<i>Terminalia catappa</i>	15,66 $\pm$ 3,8	4,88 $\pm$ 2,7	5,39 $\pm$ 1,3	5,39 $\pm$ 3,1
<i>Morinda citrifolia</i>	14,93 $\pm$ 5,6	2,66 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,4	10,37 $\pm$ 11,6
<i>Miconia lacera</i>	14,2 $\pm$ 3,5	5,75 $\pm$ 1,7	3,48 $\pm$ 1	4,97 $\pm$ 1,3
<i>Inga edulis</i>	13,84 $\pm$ 2,6	3,91 $\pm$ 0,8	1,57 $\pm$ 0,34	6,13 $\pm$ 3,5
<i>Miconia Maxima</i>	11,66 $\pm$ 1,5	3,71 $\pm$ 0,1	2,98 $\pm$ 0,71	4,97 $\pm$ 2,8
<i>Mangifera indica</i>	10,76 $\pm$ 1,3	4,33 $\pm$ 1,0	1,68 $\pm$ 0,37	4,54 $\pm$ 3,4
<i>Capsicum annuum</i>	10,4 $\pm$ 2,0	3,17 $\pm$ 1,2	2,37 $\pm$ 1,35	4,85 $\pm$ 3,3
<i>Schoenoplectus californicus.</i>	9,01 $\pm$ 0,7	1,17 $\pm$ 0,4		4,51 $\pm$ 1,4
<i>Tabebuia rosea</i>	8,24 $\pm$ 3,5	2,61 $\pm$ 0,5	1,05 $\pm$ 0,42	4,57 $\pm$ 6,6
<i>Citrus limonum</i>	7,95 $\pm$ 5,9	7,83 $\pm$ 5,2	1,21 $\pm$ 0,41	3,37 $\pm$ 2,0
<i>Psidium guajava</i>	7,9 $\pm$ 0,8	3,03 $\pm$ 0,4	0,98 $\pm$ 0,19	3,46 $\pm$ 0,9
<i>Gliricidia sepium</i>	5,7 $\pm$ 1,0	1,59 $\pm$ 0,4	0,83 $\pm$ 0,08	2,44 $\pm$ 1,5
<i>Musa paradisiaca</i>	5,01 $\pm$ 1,4	1,38 $\pm$ 0,1	1,64 $\pm$ 0,99	1,68 $\pm$ 0,8
<i>Cecropia peltata</i>	1,28 $\pm$ 0,30	0,37 $\pm$ 0,09	0,27 $\pm$ 0,02	0,63 $\pm$ 0,17

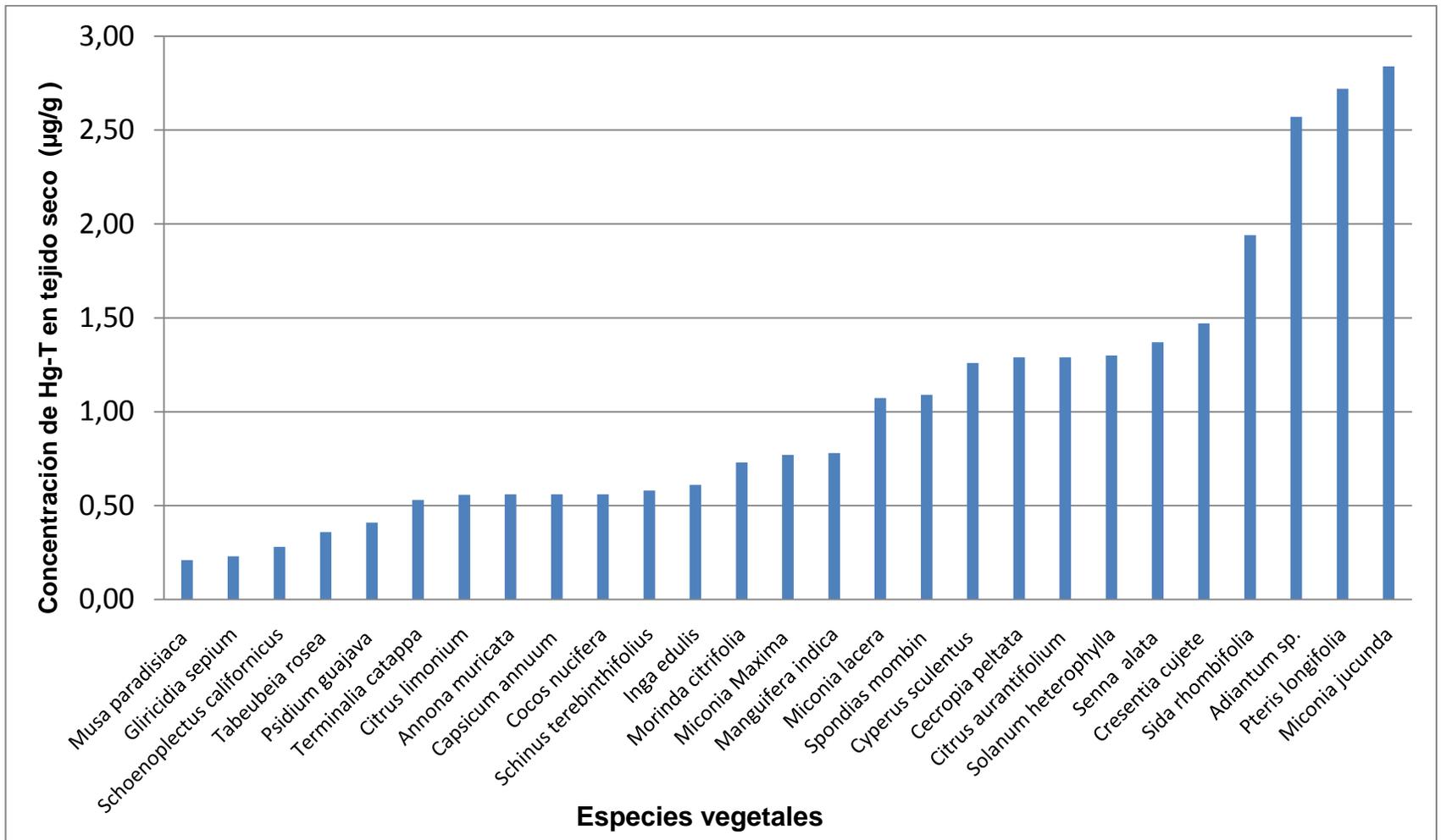
La Tabla 11 muestra los datos de concentración de mercurio total en tejido en función del grado de contaminación del suelo (suelo circundante). En ella también se presenta la concentración en raíz sobre concentración de suelo circundante y la concentración de HgT en raíz entre la concentración de Hg en el total de tejidos, que son parámetros que sirven para estimar los mecanismos de defensa tóxica que tiene cada especie.

**Tabla 11.** Concentración de mercurio total en: raíz/suelo circundante, tejidos/suelo circundante, raíz/ tejido.

<b>Especie</b>	<b>(HgT) raíz/Suelo circ</b>	<b>(HgT) tejidos/Suelocirc</b>	<b>(HgT) raíz/(HgT)tej</b>
<i>Pteris longifolia</i>	1,69 ± 0,06	2,72 ± 0,81	0,59 ± 0,05
<i>Adiantum sp.</i>	1,31 ± 0,02	2,57 ± 0,81	0,75± 0,27
<i>Miconia jucunda</i>	1,20 ± 0,08	2,84 ± 0,70	0,43 ± 0,03
<i>Sida rhombifolia</i>	1,09 ± 0,03	1,94 ± 0,57	0,54 ± 0,04
<i>Cyperus esculentus</i>	0,98± 0,23	1,26 ± 0,26	0,75 ± 0,04
<i>Crescentia cujete</i>	0,74 ± 0,38	1,47 ± 0,84	0,55 ± 0,03
<i>Solanum heterophylla</i>	0,72 ± 0,18	1,3 ± 0,33	0,55 ± 0,04
<i>Citrus aurantifolium</i>	0,69 ± 0,19	1,29 ± 0,36	0,56± 0,10
<i>Spondias mombin</i>	0,58 ± 0,40	1,08 ± 0,57	0,43 ± 0,08
<i>Morinda citrifolia</i>	0,51 ± 0,24	0,73 ± 0,14	0,60 ± 0,09
<i>Senna alata</i>	0,45 ± 0,22	1,37 ± 0,57	0,39 ± 0,10
<i>Miconia lacera</i>	0,37 ± 0,12	1,07 ± 0,35	0,36 ± 0,03
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0,33 ± 0,10	0,58 ± 0,18	0,57± 0,07
<i>Inga edulis</i>	0,32 ± 0,09	0,61 ± 0,14	0,51± 0,03
<i>Annona muricata</i>	0,32 ± 0,09	0,66 ± 0,13	0,47± 0,07
<i>Mangifera indica</i>	0,31 ± 0,09	0,78 ± 0,20	0,41± 0,10
<i>Cocos nucifera</i>	0,30 ± 0,22	0,56 ± 0,20	0,38± 0,14
<i>Miconia Maxima</i>	0,29 ± 0,07	0,77 ± 0,15	0,37± 0,02
<i>Capsicum annuum</i>	0,25 ± 0,07	0,56 ± 0,12	0,49± 0,11
<i>Terminalia catappa</i>	0,23 ± 0,06	0,53 ± 0,16	0,43± 0,07
<i>Schoenoplectus californicus</i>	0,22 ± 0,03	0,28± 0,03	0,80± 0,06
<i>Tabebuia rosea</i>	0,20± 0,13	0,36 ± 0,15	0,43± 0,09
<i>Psidium guajava</i>	0,19 ± 0,03	0,41 ± 0,07	0,46± 0,04
<i>Citrus limonum</i>	0,16 ± 0,05	0,56 ± 0,25	0,38± 0,10

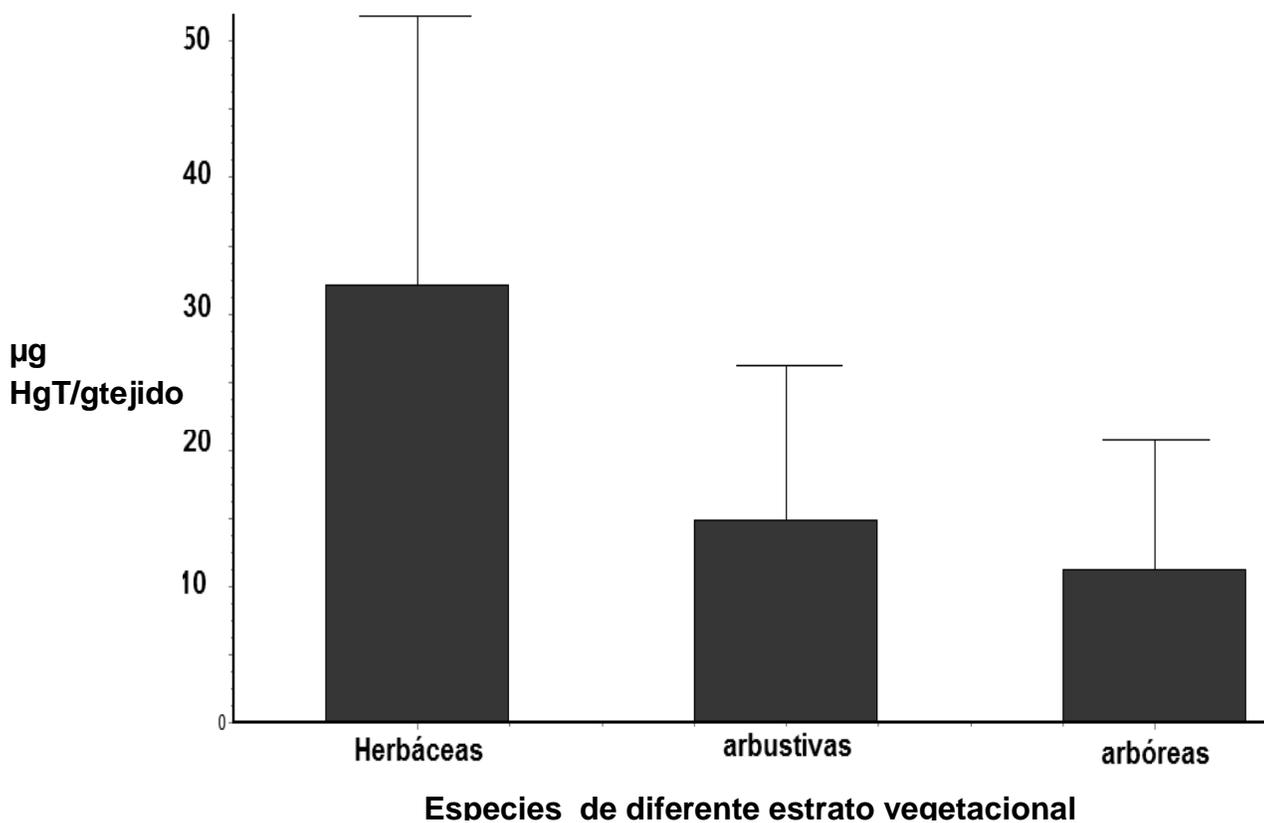
<i>Gliricidia sepium</i>	0,12 ± 0,19	0,23 ± 0,05	0,48 ± 0,07
<i>Musa paradisiaca</i>	0,08 ± 0,02	0,21 ± 0,06	0,38 ± 0,04
<i>Cecropia peltata</i>	0,005 ± 0,001	0,10 ± 0,0001	0,44 ± 0,01

Las medias de las concentraciones de HgT en tejidos de las especies se muestran en la Figura 6



**Figura 6.** Concentración de mercurio total en tejidos en µg/g de las especies evaluadas en Mina Santa Cruz.

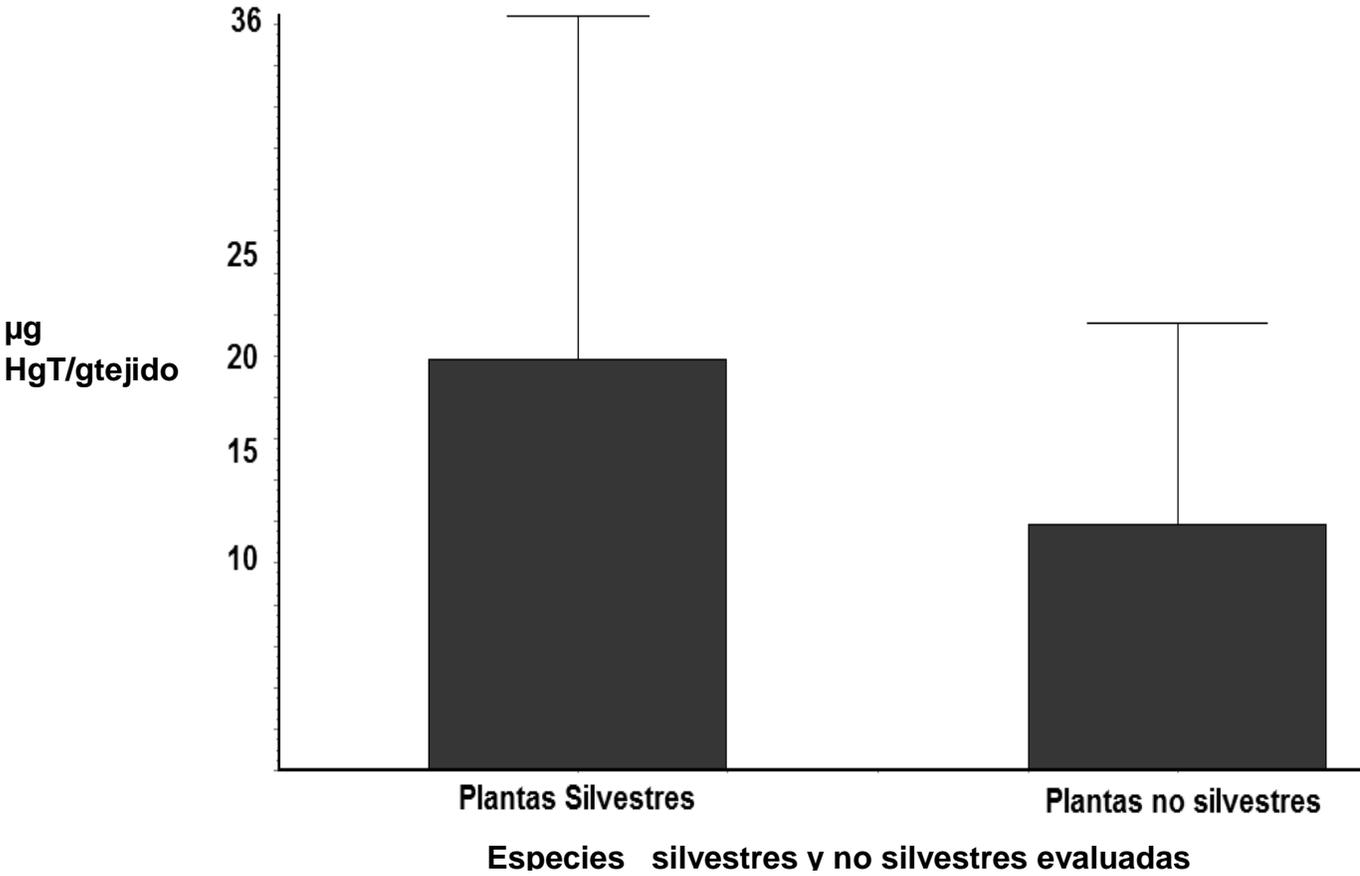
Por lo general las especies herbáceas presentaron mayor media de concentración de HgT en tejidos que las arbustivas y arbóreas ( $P < 0.05$ ), como se muestra en la Figura 7.



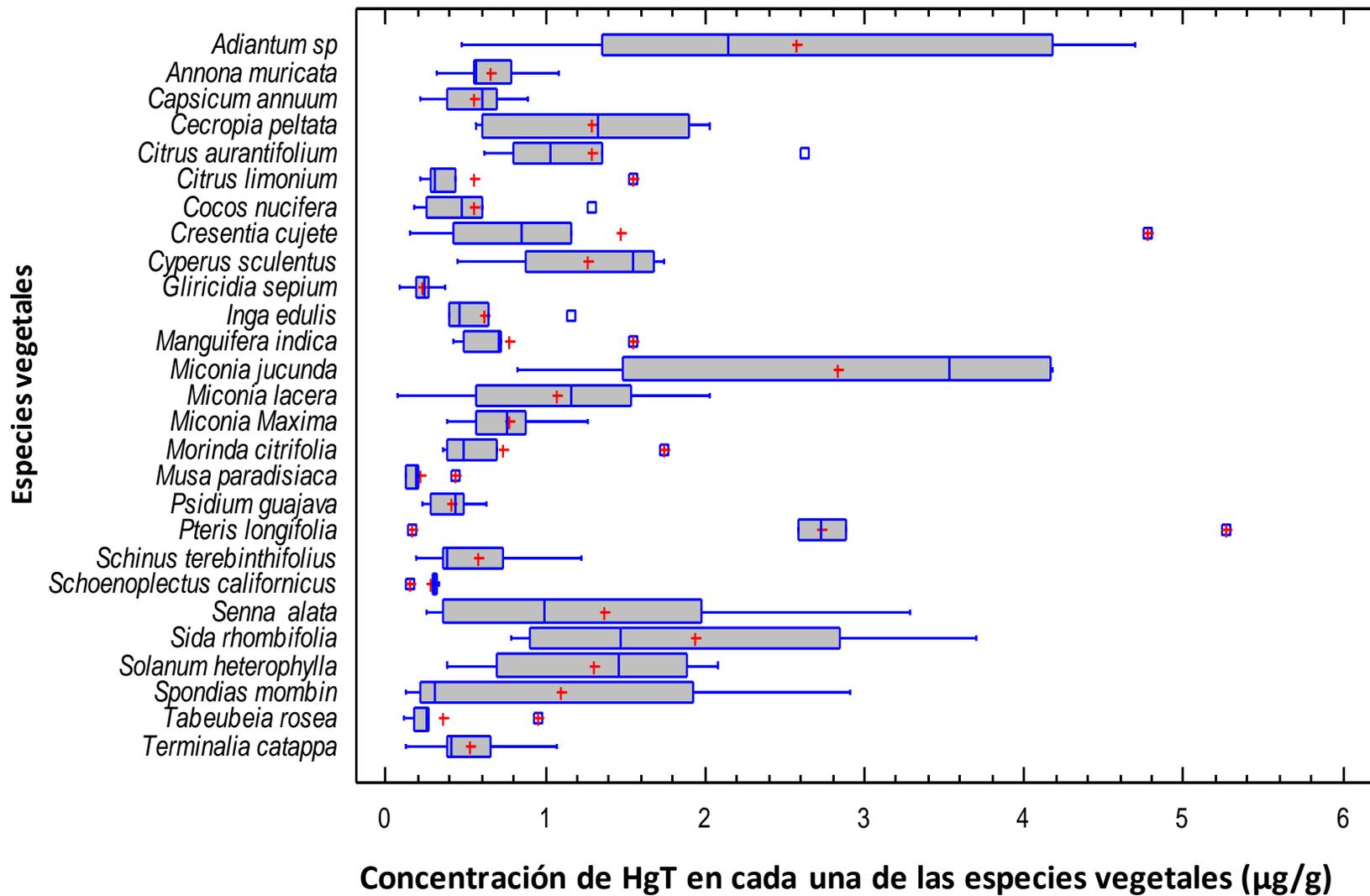
**Figura. 7.** Acumulación de HgT en tejidos en especies de diferente estrato vegetacional.

Algunos resultados de especies individuales como *Cyperus sculentus*, que a pesar de ser una especie herbácea presentó una concentración menor que la de otras especies con diferente estrato vegetacional, conllevó a que se realizarán análisis individuales como se muestra en la Figura 9. Por otro lado se observa que

las plantas silvestres presentaron mayor media de capacidad acumuladora de HgT en sus tejidos que las especies no silvestres Figura 8.



**Figura. 8.** Acumulación de HgT en plantas silvestres y no silvestres.



**Figura 9.** Acumulación de HgT en tejidos de las especies evaluadas en Mina Santa Cruz.

El índice de retención en raíz fué variable entre las diferentes especies evaluadas como se muestra en la Tabla 12 Figura 10.

**Tabla 12.** Índice de retención en raíz de las especies evaluadas en Mina Santa Cruz.

<b>Especie</b>	<b>Índice de retención raíz</b>
<i>Schoenoplectus californicus</i>	0,8
<i>Cyperus sculentus</i>	0,75
<i>Morinda citrifolia</i>	0,6
<i>Pteris lonugifolia</i>	0,59
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0,57
<i>Citrus aurantifolium</i>	0,56
<i>Solanum heterophylla</i>	0,55
<i>Crescentia cujete</i>	0,55
<i>Sida rhombifolia</i>	0,54
<i>Inga edulis</i>	0,51
<i>Capsicum annum</i>	0,49
<i>Gliricidia sepium</i>	0,49
<i>Adiantum sp.</i>	0,48
<i>Annona muricata</i>	0,47
<i>Psidium guajava</i>	0,46
<i>Cecropia Peltata</i>	0,45
<i>Spondias mombin</i>	0,43
<i>Miconia jucunda</i>	0,43
<i>Terminalia catappa</i>	0,43
<i>Tabeubeia rosea</i>	0,43
<i>Manguifera indica</i>	0,41
<i>Senna alata</i>	0,39
<i>Musa paradisiaca</i>	0,38
<i>Cocos nucifera</i>	0,38
<i>Citrus limonium</i>	0,38
<i>Miconia Maxima</i>	0,37
<i>Miconia lacera</i>	0,36

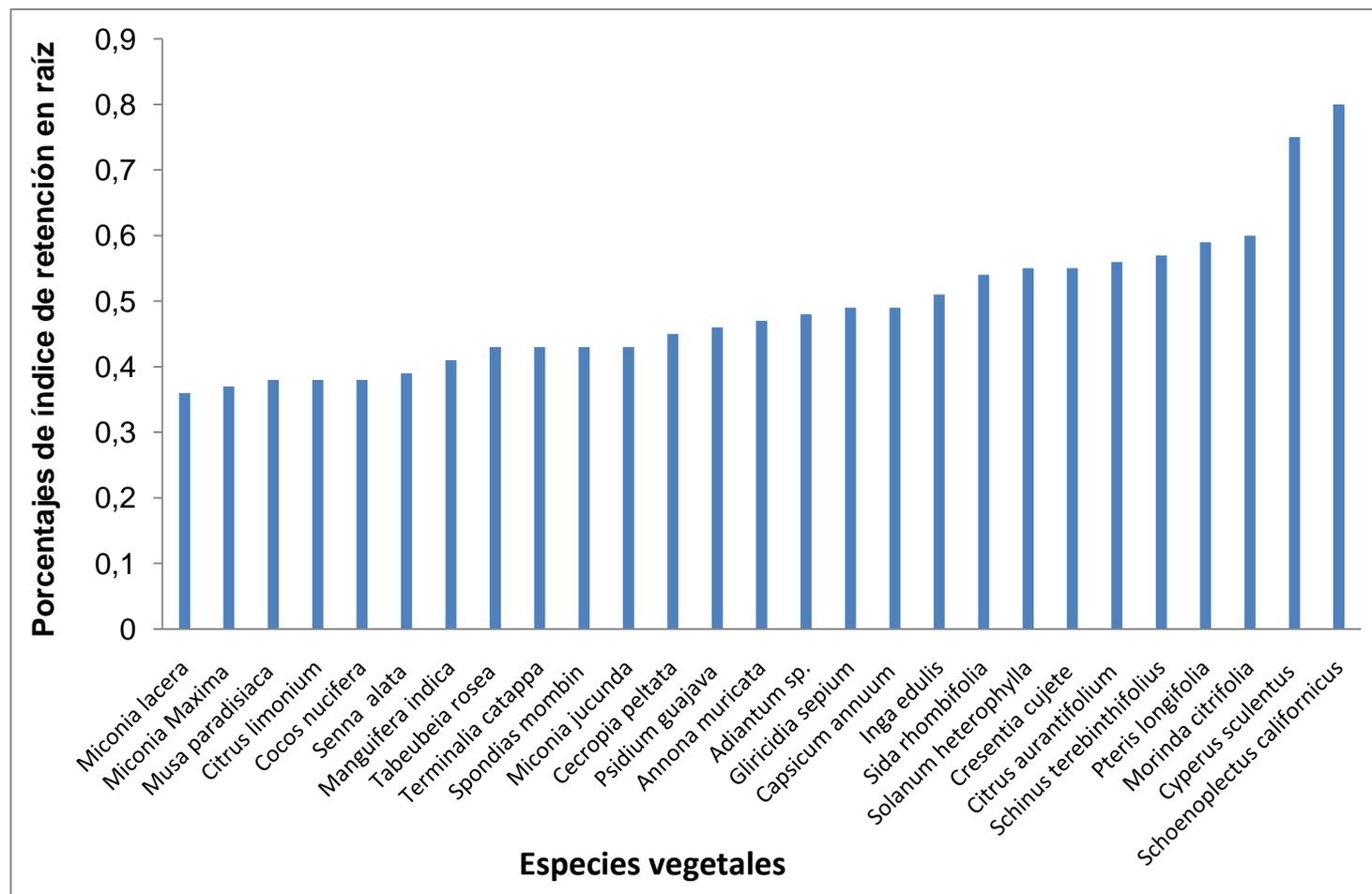
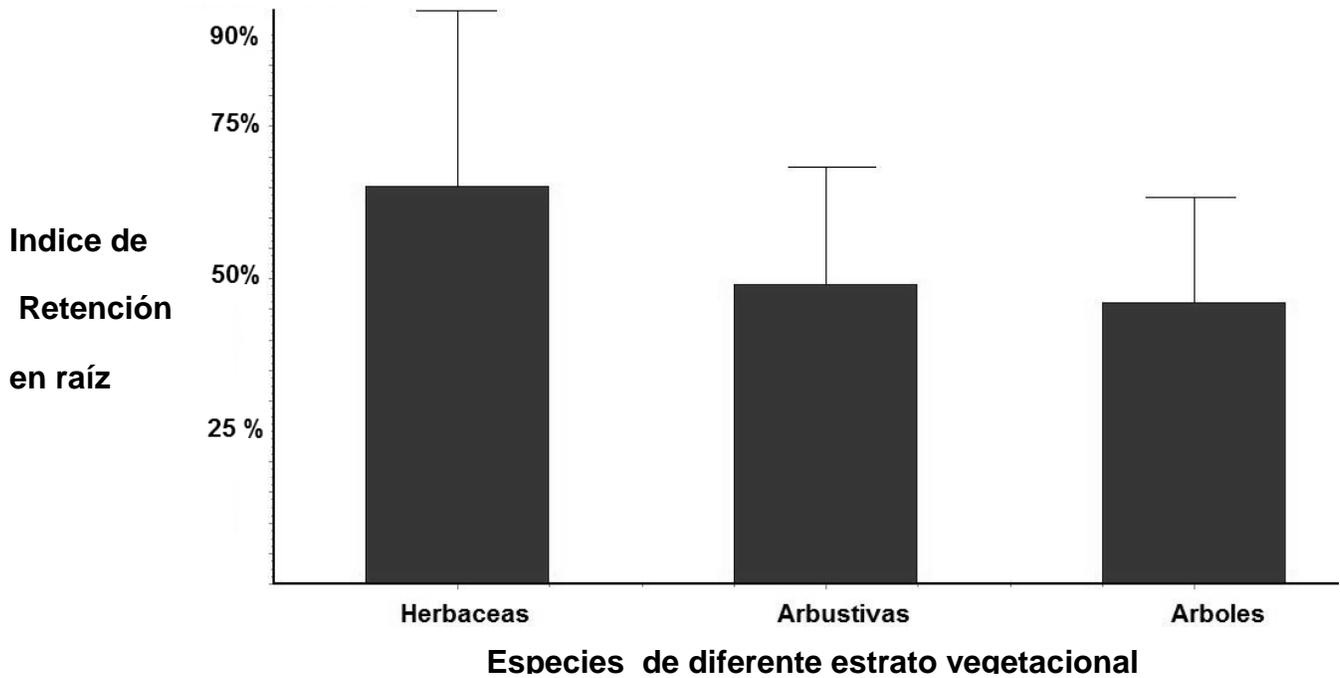


Figura 10. Índices de retención de mercurio en raíz de las especies evaluadas en Mina Santa Cruz.

De igual forma los resultados muestran que la media del índice de retención en raíz es mayor en las herbáceas que en los árboles y arbustos Figura 11.



**Figura. 11.** Índice de retención en raíz de especies de diferente estrato vegetal

**4.3. FITORREMEDIACIÓN DE LAS ESPECIES EVALUADAS.** Las especies evaluadas, muestran variabilidad en su capacidad fitorremediadora, existiendo especies con capacidad de fitorremediación en campo mayor al 80%, mientras otras, como el *Adiantum sp*, presentan capacidad de fitorremediación negativa (Tabla 13 y Figura 12).

**Tabla 13.** Capacidad fitorremediadora de las especies evaluadas.

Especie	Capacidad fitorremediadora
<i>Gliricidia sepium</i>	82,56
<i>Cocos nucifera</i>	81,87
<i>Citrus limonum</i>	73,77
<i>Schoenoplectus californicus</i>	73,07
<i>Tabebuia rosea</i>	71,57

---

<i>Inga edulis</i>	71,47
<i>Musa paradisiaca</i>	71,32
<i>Cecropia peltata</i>	67,81
<i>Miconia Maxima</i>	65,40
<i>Annona muricata</i>	64,90
<i>Crescentia cujete</i>	64,29
<i>Capsicum annuum</i>	64,16
<i>Miconia lacera</i>	57,97
<i>Morinda citrifolia</i>	49,37
<i>Psidium guajava</i>	39,92
<i>Senna alata</i>	35,01
<i>Terminalia catappa</i>	34,48
<i>Spondias mombin</i>	14,83
<i>Mangifera indica</i>	10,84
<i>Schinus terebinthifolius</i>	-17,81
<i>Cyperus esculentus</i>	-20,57
<i>Miconia jucunda</i>	-37,22
<i>Solanum heterophylla</i>	-45,14
<i>Citrus aurantifolium</i>	-54,7
<i>Pteris lonçgifolia</i>	-66,73
<i>Sida rhombifolia</i>	-67,15
<i>Adiantum sp.</i>	-125,81

---

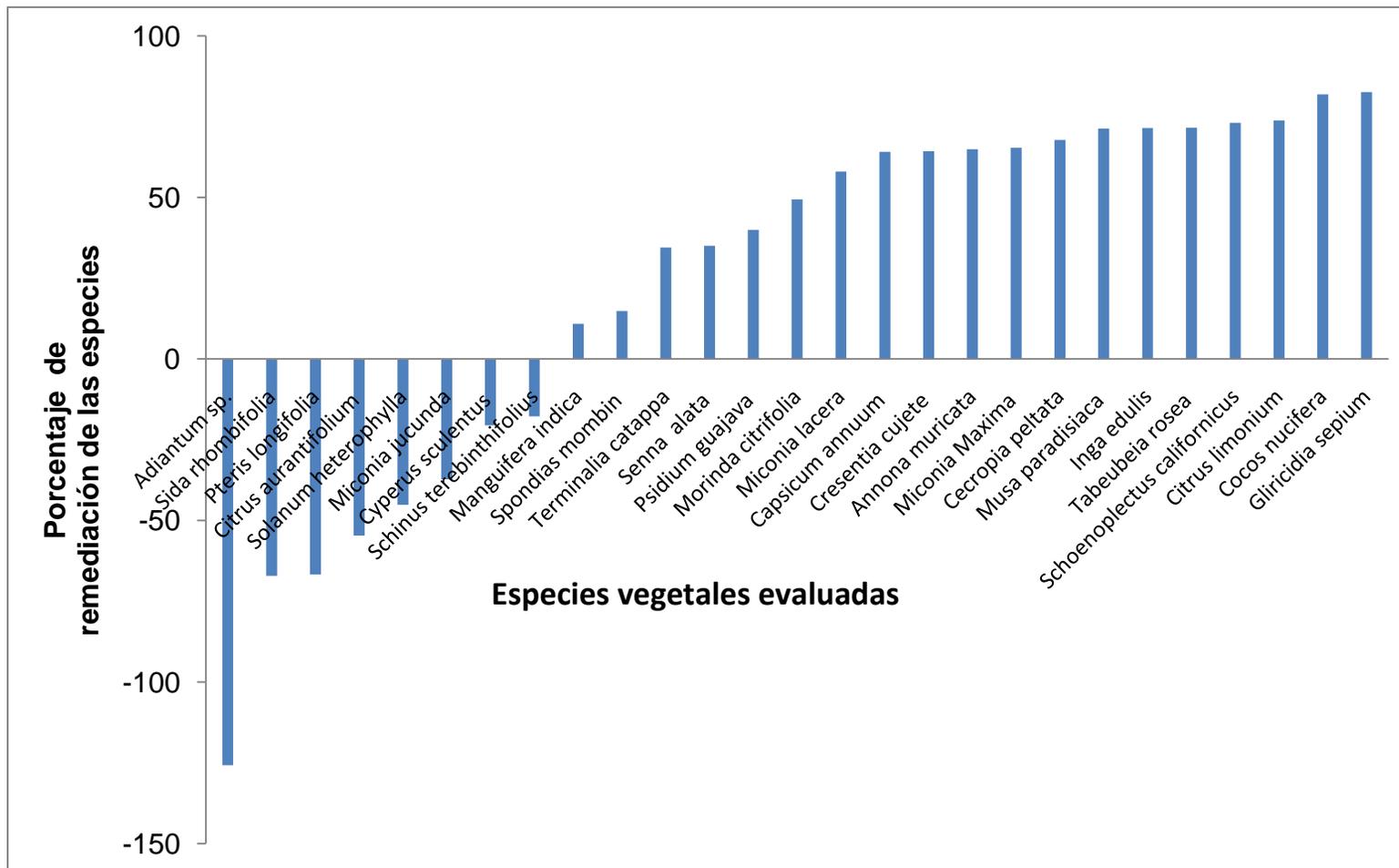
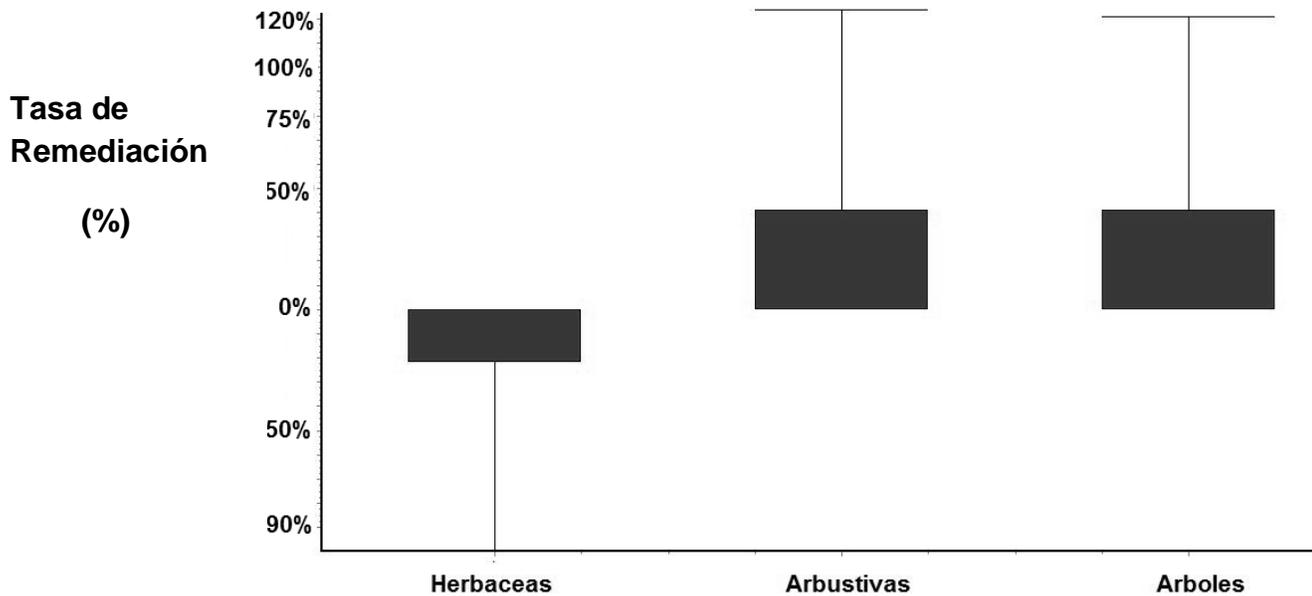


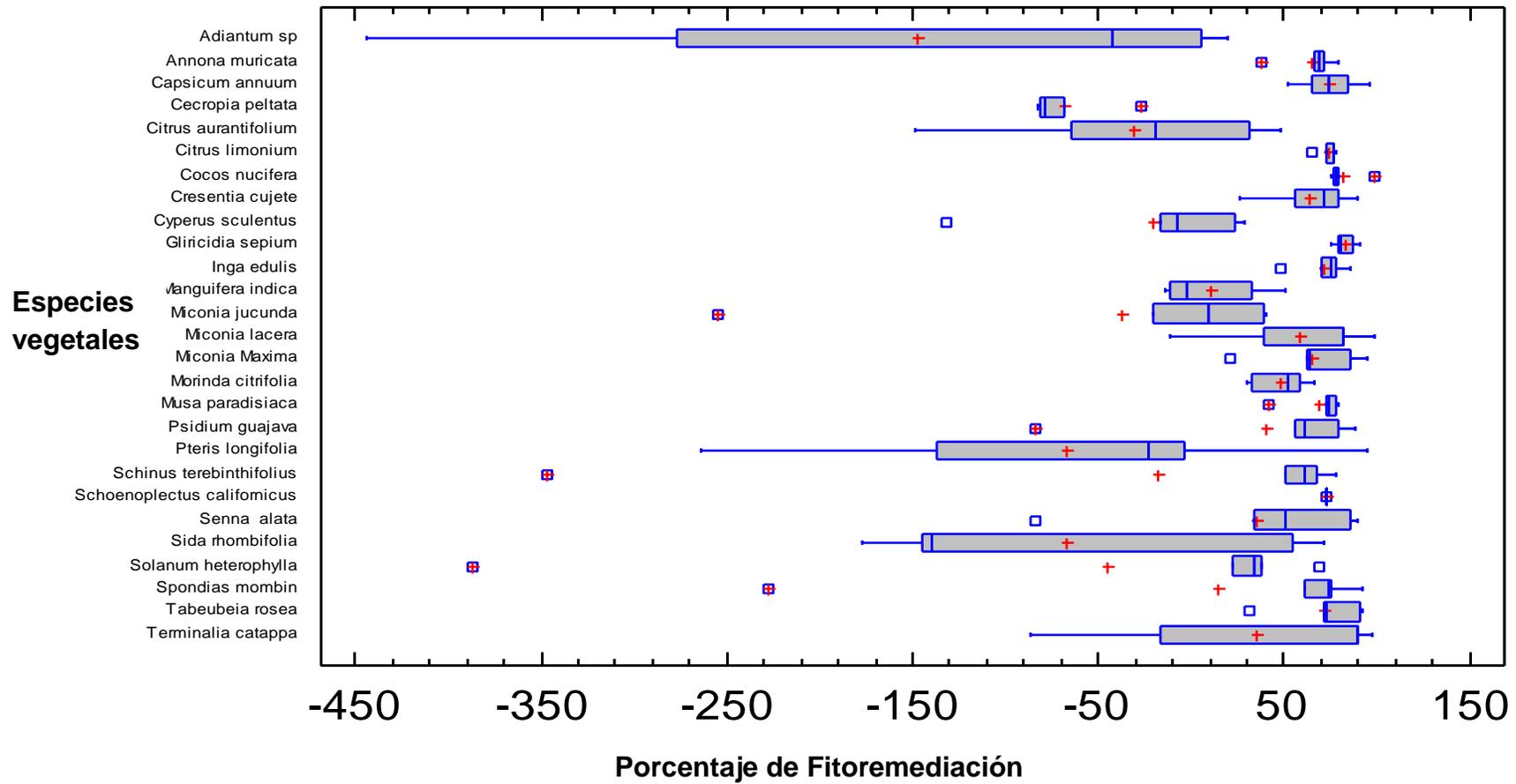
Figura 12. Capacidad fitoremediadora de mercurio en las especies vegetales evaluadas

La Figura 13 muestra la media de la tasa de remediación de suelos de especies vegetales de diferentes características de crecimiento



**Figura 13.** Tasa de remediación de suelos de plantas con diferente estrato vegetal

Debido a la gran variabilidad de los datos se realizó análisis individual de la capacidad emediadora de las especies evaluadas los resultados se muestran en la Figura 14.



**Figura 14.** Capacidad fitoremediadora de Hg de las especies evaluadas

A continuación se detallan el comportamiento en cuanto a la capacidad remediadora de cada una de las especies evaluadas.

***Gliricidia sepium***: Tiene alta capacidad remediadora con 82,6%. No obstante, su capacidad acumuladora en tejidos, sobre la concentración de mercurio en suelo circundante es de 0,23, que es mucho menor comparada con otras especies que por lo que se deduce que su acción fitoremediadora se realiza a través de fitovolatilización. La concentración en raíz, sobre la concentración total de tejidos es de 0,49, muy lejos de la principal especie retenedora en raíz, la que presenta un valor de 0,80, por lo que se cree que el mercurio pasa rápidamente desde el suelo hacia las partes cosechables de la planta donde es fitovolatilizado.

***Cocos nucifera***: Tiene la segunda mayor capacidad remediadora con 81,87 y una concentración de tejido total sobre suelo circundante de 0,56. Lo que le permite retener grandes cantidades de mercurio debido a su gran biomasa. Esta planta está en capacidad de acumular el metal en las partes superiores y fitovolatilizar parte de él, puesto que su capacidad de retención en raíz es de las más bajas encontradas con un valor de 0,38.

***Citrus limoniun***: Tiene una capacidad remediadora alta de 73,76 y tiene una concentración de tejido total sobre suelo circundante de 0,56, similar a la del Cocos nucifera. Asimismo, su índice de retención en raíz es de 0,38 por lo que la menor biomasa de la *Citrus limonum*, en comparación al cocos nucifera, podría estar incidiendo en su capacidad de recuperar mercurio del suelo.

***Schoenoplectus californum***: Esta especie se caracteriza por presentar un alto índice de retención en raíz y baja concentración total en los tejidos. Es una planta excluyente que probablemente no se encuentra volatilizando mercurio, dada la baja concentración de mercurio total en sus tejidos.

***Tabebuia rosea***: Tiene una alta capacidad remediadora con valores de 71,6 y tiene una concentración de tejido total sobre suelo circundante baja de 0,36, lo

que le permite retener grandes cantidades de mercurio debido a su gran biomasa. Esta planta está en capacidad de acumular el metal en las partes superiores y fitovolatilizarlo, su capacidad de retención en raíz es de 0,43, ello indica que está distribuyendo mercurio de manera más o menos equitativa en los diferentes órganos de la planta.

***Inga edulis***: Se caracteriza por presentar alta capacidad remediadora (71,47). Presenta una concentración total de mercurio relativamente baja de 0,61, comparada con *Miconia jucunda*, que tiene una concentración total de mercurio sobre suelo circundante de 2,84, por lo que se infiere que su principal mecanismo de remoción de mercurio es de fitovolatilización. Debido a que el índice de retención en raíz es similar al índice de traslocación, se asume que la planta está distribuyendo el mercurio de manera similar, tanto en la raíz como en las partes aéreas. Por otro lado, si bien es una planta que presenta gran cantidad de biomasa, es de muy bajo crecimiento.

***Musa paradisiaca***: Es una especie caracterizada por tener alta capacidad remediadora (71,3) y bajo índice de retención en raíz (0,38), lo que indica que es una especie que se encuentra traslocando el mercurio hacia las partes aéreas de la planta. *Musa paradisiaca*, es una la especie que presenta los valores de concentración total más bajo de todas las especies evaluadas, lo que podría indicar que se encuentra volatilizando el mercurio.

***Miconia máxima***: Es la especie con mayor porcentaje de remediación de las melastomatáceas evaluadas, con 65. Presenta un valor de 0,77 de concentración de mercurio total en tejidos sobre suelo circundante. Se caracteriza por presentar bajo índice de retención en raíz (0,37). Por tanto, estos resultados sugieren que su principal mecanismo de remoción de mercurio del suelo es la fitovolatilización.

***Annona muricata***: Es la especie de frutos carnosos que presenta mayor capacidad de remediación con un porcentaje de 64.9%. Pese a ello, se puede

considerar que presenta baja concentración de mercurio total en relación al suelo circundante (0,77). Presenta un índice de retención en raíz de 47%, por lo que podría deducirse que es una planta que tiene como principal mecanismo de remoción de mercurio la fitovolatilización.

***Crescentia cujete***: Al igual que *Annona muricata*, es una especie caracterizada por presentar abundante biomasa y crecimiento lento, con capacidad remediadora también muy similar con valores de 64,3%. Sin embargo, es una especie que presenta una concentración de mercurio total en tejidos sobre suelo circundante mucho más alta de 1,47. Por lo que se deduce que gran parte del mercurio que se extrae del suelo es acumulado en sus tejidos, principalmente en raíz. Lo cual indica que es una planta con capacidad fitoextractora y que además se puede considerar como una planta excluyente.

***Capsicum annum***: Esta especie frutal está caracterizada por presentar alta capacidad de remediación de 64,1%. A pesar de ello, presenta baja concentración de mercurio en sus tejidos, en relación al suelo circundante (0,56), al ser comparada con las otras especies evaluadas, que presentan valores mayores a 2,5. Se puede decir con esto, que se encuentra volatilizando mercurio como principal mecanismo de remoción del metal del suelo. Por otro lado, tiene un índice de retención en raíz, similar al índice de translocación lo cual indica que es una especie no excluyente.

***Miconia lacera***: Esta especie presentó un índice de remediación de 57,9% y una concentración de mercurio total en tejidos relacionada con suelo circundante de 1,07, por lo que gran parte de su capacidad remediadora se realiza por medio de fitoextracción, teniendo una gran influencia la concentración en partes aéreas debido a que el índice de retención es de 0,36 el más bajo de todas las especies evaluadas.

***Morinda critifolia***: Es una especie que presenta capacidad acumuladora media y un alto índice de retención en raíz. Considerándose como una especie excluyente.

Es además de las especies arbustivas, la que presenta el mayor grado de concentración en tejidos. Esta es una planta que presenta gran cantidad de biomasa, pero podría considerarse como una especie de bajo crecimiento.

***Psidium guajava*** : Esta especie presentó una capacidad remediadora de 39,9 % con concentración total en tejidos sobre suelo circundante de 0,41. Mostró además, un índice de retención en raíz de 0,46, lo que indica que esta planta se ha estabilizado y presenta tasas medias de retención, concentración y fitorremediación, probablemente como mecanismos de defensa tóxica

***Senna alata***: Tiene una capacidad de remediación de 35%, siendo al parecer su principal mecanismo de remoción, la concentración en tejidos puesto que presenta una tasa de concentración total en tejidos sobre suelo circundante de 1,37, acumulando principalmente en las partes aéreas, dado que su índice de retención en raíz es de tan sólo de 0,39. Cabe destacar que esta planta nace y se desarrolla en zonas de alta presencia de mercurio en suelo.

***Terminalia catappa***: Esta especie presentó una capacidad remediadora de 34,47 %, con concentración total en tejidos sobre suelo circundante de 0,53, con un índice de retención en raíz de 0,43. Esto indica que dicha especie se ha estabilizado y presenta tasas medias de retención, concentración y fitorremediación, probablemente como mecanismos de defensa tóxica a pesar de que la mayoría de los individuos colectados, están establecidos en cercanías a las colas de amalgamación y muy cerca a los quemadores de mercurio.

***Spondias mombin***: Tiene una capacidad de remediación baja de 14%, a pesar de la gran biomasa que tiene, siendo su principal mecanismo de remoción, la concentración en tejidos, debido a que presenta una tasa de concentración total en tejidos sobre suelo circundante de 1,08. Presenta un índice de retención en raíz de 0,43, por lo que podría considerarse, que es una especie que se ha estabilizado.

***Mangifera indica***: Presentó capacidad remediadora baja de 10,8, con una concentración total de mercurio en tejidos sobre suelo circundante de 0,78 y un índice de retención en raíz de 0,41. Con esto se infiere, que esta especie ingresa poca cantidad de mercurio a la planta como mecanismo de defensa.

***Schinus terebinthifolius***: Presenta una capacidad remediadora negativa de -17,8%, es decir, que la concentración de mercurio en rizósfera de esta especie, es mayor que la concentración del metal en el suelo circundante. Esto se justifica desde el hecho de que esta especie se consideraría fitoestabilizadora, las cuales tienen como mecanismo bombardear fitoquelatinas al suelo para evitar una captura masiva del metal por parte de la planta. Esto lo hacen para evitar efectos tóxicos, puesto que son menos tolerantes al metal (capacidad de concentración total de mercurio en tejidos sobre suelo circundante 0,58). Esto se evidencia en su índice de retención en raíz que es del 80%, lo que indica que gran parte del mercurio disponible para ingresar a la planta es fitoquelado en la epidermis de la raíz.

***Cyperus esculentus***: Presenta una capacidad remediadora negativa de -20,5 con capacidad de concentración total de mercurio en tejidos sobre suelo circundante de 1,26. Es una especie de poca biomasa considerada como especie fitoestabilizadora capaz de bombardear fitoquelatinas para evitar la captura del metal desde el suelo, como lo muestra su alto índice de retención en raíz de 0,75%.

***Miconia jucunda***: Es una especie con un potencial fitoremediador muy bajo que presenta una alta capacidad de acumular mercurio en sus tejidos. Lo que indica que es la especie que presenta la mayor concentración altamente acumuladora, presenta biomasa considerable y puede considerarse de rápido crecimiento.

***Solanum heterophylla***: Es una especie que presenta bajo potencial fitoremediadora, pero presenta una alta capacidad de acumular mercurio en sus

tejidos. Es una especie más o menos excluyente, que tiene la mayor parte del mercurio acumulada en la raíz más del 50%, lo cual indica que en la parte aérea de la planta se encuentra menor cantidad de mercurio. Es también una especie de biomasa considerable que puede considerarse de rápido crecimiento.

***Citrus aurantifolium***: Esta especie presenta una muy baja capacidad fitoremediadora de mercurio y una concentración relativamente alta de mercurio en tejidos, por lo que se considera acumuladora, Esta especie se caracteriza por tener bajo crecimiento y biomasa considerable. Los resultados muestran una marcada diferencia entre el comportamiento de citrus limonium y citrus aurantifolium, aún a pesar de ser especies del mismo género.

***Pteris longifolia***: Es la especie que presenta el mayor valor de concentración de mercurio total en tejido y presenta un potencial de fitorremediación bajo. Se caracteriza por tener un rápido crecimiento y de abundante biomasa, gracias a que presenta alto contenido foliar. Podría considerarse además, como una especie excluyente que se encuentra acumulando mayor cantidad de mercurio en las raíces.

***Sida rhombifolia***: Es una especie que acumula en raíz más del 50%. Es casi excluyente. Posiblemente está acumulando el mercurio en la epidermis y es probable que se encuentre bombardeando fitoquelatinas hacia la rizósfera, dado que la concentración en suelo circundante es menor que en concentración de mercurio en la rizósfera.

***Cecropia peltata*** Es una especie que presenta una baja capacidad remediadora y baja concentración de mercurio en sus tejidos. Presenta además, un índice de retención en raíz de 0.45, por lo que se infiere, que gran parte del mercurio es estabilizado en la raíz y la otra parte del mercurio que ingresa, es traslocado hacia las partes aéreas de la planta, en donde es fitovolatilizado. Esto explicaría la baja

concentración de mercurio en sus tejidos, considerando además que es una especie de rápido crecimiento y gran biomasa.

***Adiantum sp:*** Es la especie que presenta la más baja capacidad remediadora entre todas las especies analizadas por su alto contenido de mercurio en los tejidos de la planta y su bajo potencial de fitorremediación, se podría decir que es una especie que no volatiliza el mercurio sino que lo acumula en su rizoma y hojas. De igual manera, por los resultados encontrados en los índices de retención de mercurio en raíz y su índice de translocación, sugieren que es una especie que se encuentra distribuyendo el mercurio homogéneamente en sus órganos. Se establece también, que es una especie de rápido crecimiento y podría considerarse de abundante biomasa para su tamaño dado su abundante follaje.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Existe gran dispersión de mercurio en los suelos de Mina Santa Cruz. El mayor grado de contaminación del suelo se encuentra relacionado principalmente con la cercanía a los molinos de amalgamación y a las colas que se desprenden y llegan a la ciénaga La Redonda. En los suelos de las zonas más contaminadas, las actividades mineras han eliminado su cobertura vegetal y su primer horizonte, y esto ha permitido que la alta concentración de pirita, se exponga al oxígeno atmosférico y al agua, produciendo efluentes ácidos que han disminuido el pH (alrededor de 3,8), permitiendo así que el mercurio presente, tenga altas tasas de biodisponibilidad que llegan a 15,4 %, como lo indicó Vidal *et al* (2010). Las altas tasas de mercurio disponible, permiten que haya una mayor cantidad del metal para la captación por parte de las plantas, lo que conlleva a que las tasas de concentración sean altas.

Las concentraciones de HgT encontradas en los suelos de Mina Santa Cruz son sumamente altas cuando se comparan con concentraciones de HgT en la mayoría de los suelos del mundo. Igualmente, al compararse con datos de concentraciones de mercurio permisibles, en áreas de agricultura, que se encuentran entre 0.05-0.3 µg/g. Sin embargo, estos valores son comparables con niveles encontrados en diferentes áreas contaminadas de España (Fernández-Martínez, 2005; Millán, 2006; Molina, 2006; Sierra, 2009).

El análisis de la vegetación de la zona poblada y la zona de ladera, muestra dos comunidades vegetales con distinto grado de intervención antrópica, donde se han establecido y desarrollado de manera natural e introducida varias especies, a pesar de la contaminación con mercurio en esta zona. En Mina Santa Cruz, existe

un mosaico de parches en estado de sucesión temprana e intermedia, debido posiblemente, al grado de erosión presente, lo cual es típico de áreas con historial minero, como lo reportan Arias y Barrera (2007). Por otro lado, en el área de estudio, se ubicaron zonas que han experimentado procesos de sucesión e implantación de *Curatella americana* (ANEXO G), fenómeno observado en otros estudios florísticos como el realizado por Lozano (2005), que indican que probablemente las condiciones ambientales de humedad, temperatura y suelo, comienzan a ser distintas y por lo tanto se diferencian las coberturas.

De acuerdo con Crawley (1997), la vegetación en sitios como estos de fuerte presión antrópica, se puede considerar como el resultado de un proceso dinámico originado por el disturbio, las zonas en estado sucesionales secundarios, ubicadas en Mina Santa Cruz, presentan mayor cobertura vegetal, que las que presentan sucesiones primarias, lo que coincide con lo planteado por Giraldo-Cañas (2001) y Guariguata y Ostertag (2002), quienes sostienen que, debido a la amplia oferta de nichos ecológicos causada por la búsqueda de la estabilidad biológica y por la disminución en la dominancia de unas o pocas especies, la composición estructural es mayor, en zonas de sucesiones secundarias. Esto también está de acuerdo con el planteamiento de Elías y Díaz (2004), quienes afirman que un proceso de sucesión implica cambios en la composición de especies, densidad, cobertura de la vegetación, riqueza y diversidad y normalmente implican un reemplazo gradual y sucesivo de especies, incluyendo las del dosel.

Por otra parte, la no recuperación en áreas explotadas por minería, se debe a las transformaciones físicas y microclimáticas que intensifican la eliminación de la capa fértil del suelo (Connell, 1978; Bell y Ungar, 1981; Collins *et al.*, 1995). En Mina Santa Cruz, se observan procesos de deterioro constante; la degradación permanente a la que está expuesta la vegetación dificulta la germinación, por lo que puede actuar como un disturbio de frecuencia muy alta, que impide un avance

en el proceso sucesional e impide igualmente el aumento en la riqueza de especies.

Se encontraron canteras abandonadas donde el proceso de regeneración ocurre lentamente, haciendo parecer que existe una asociación de las formas de vida y el estado sucesional del área. Por otro lado, a pesar del alto grado de contaminación en la zona por el uso de mercurio, fue posible la identificación de 1261 individuos que crecen y se desarrollan pese a esta condición. Cabe destacar que en la zona 1 (zona de ladera), las especies encontradas no fueron plantadas y su establecimiento se debe a sus estrategias eficaces de reproducción, dispersión y colonización en espacios abiertos y disturbados con intervención permanente. Mientras en la zona 2 (poblada), algunos individuos correspondían a especies domesticadas u ornamentales, que se han establecido en su mayoría de modo natural. Existiendo rasgos de erosión y reducción de espacio disponible para el establecimiento de nuevos individuos en la zona de ladera y de transformación de espacios en la zona poblada, constituyéndose en fuerzas externas que ejercen presión y pueden conllevar a pérdida de diversidad.

Por otra parte, la inclusión de individuos con DAP a partir de 1,5cm fue muy útil para la estimación de la diversidad, dado que permitió, tener en cuenta elementos de estratos inferiores, los cuales representa gran importancia ecológica. Para el análisis de diversidad se excluyó la vegetación asociada, representada por plantas trepadoras, epífitas y sustrato bajo como el caso de selaginelas y licopodios (ANEXO H).

Una dominancia alta en área continental evidencia, según Odum (1977) que en el área existen problemas de contaminación u otros que afectan la estructura de la comunidad, constituyendo esto, en valioso indicador, a pesar de que la diversidad no parece ser baja, según Caviedes (1999), aunque muchas de las especies encontradas en la zona de estudio son comunes en áreas perturbadas.

De acuerdo al reporte del FMAM (Fondo para el medio ambiente mundial, 2007), cuando las especies vegetales se encuentran sometidas a condiciones de estrés ocasionado por la presencia de un contaminante, en este caso el mercurio, la diversidad es nula o muy baja. Pese a ello, no se puede medir la importancia del área basándose solo en el número de especies encontradas, pues esta debe analizarse teniendo en cuenta las relaciones ecológicas que han establecido para asegurar su supervivencia en este lugar. Muchas de las especies inventariadas en este estudio, son comunes de áreas perturbadas de acuerdo a lo reportado por Díaz y Elcoro (2009), *Cecropia peltata*, por ejemplo, es una especie común en ambas zonas de estudio, ha sido reportada como apropiada para la reforestación de taludes y terrenos baldíos (Hoyos 1990).

Las diferencias halladas entre las comunidades vegetales estudiadas se deben muy posiblemente a que la zona poblada presenta un nivel de alteración mucho mayor.

Por otro lado, se encontraron especies reportadas para bosque seco como es el caso del género *Curatella* y algunas especies de bosque húmedo como las *Ranunculaceae*. Familias como las *Melastomataceae*, *Rubiaceae* y *Lycopodiaceae*, tienen especies que pueden estar en varios ecosistemas. En el sustrato bajo se encontró gran cantidad de Selaginelas, asociadas al sustrato rocoso, lo cual se atribuye a la disponibilidad de humedad y sombra en el ecosistemas estudiado. Esto indica, de acuerdo a estas características, que corresponde a una zona de transición. La existencia de estas familias, según lo planteado por Gentry (1995), es normal, dado que los bosques secos tropicales, presentan la mitad o un tercio del total de especies de plantas que los bosques húmedos y muy húmedos tropicales. De igual forma, algunas de las especies vegetales, encontradas en esta investigación, coinciden con los reportes hechos por Romero (1965) para el departamento de Bolívar.

Las *Melastomataceae*, exhiben una amplia distribución espacial con gran número de especies (ANEXO I), ubicándose desde la parte alta (zona de ladera), hasta la zona Poblada. Este hecho podría deberse a las estrategias de dispersión ornitócora, que les permite establecerse en sitios abiertos y en zonas de regeneración temprana. Estrategias que les posibilita llegar a áreas más alejadas de las plantas parentales, de acuerdo a lo planteado por Mendoza y Ramírez, (2000); y Vargas, (2002), lo que les permitió la ubicación en los parches de bosque de vegetación secundaria (Mora, 1999). Seguidas de las *Melastomatáceas*, encontramos familias como las *Euphorbiaceae*, *Anacardiaceae*, *Rutaceae*, *Mimoseae*, *Moraceae* y *Fabaceae*, que presentaron gran distribución y las cuales han sido reportadas como familias colonizadoras de áreas disturbadas por la minería (Díaz y Elcoro, 2009). Guevara *et al* (2006), afirman que todas las especies presentes en las comunidades que han experimentado perturbaciones por la actividad minera, son importantes, dado que ellas previenen la aceleración de los procesos erosivos, contribuyendo a la protección del suelo de la escorrentía superficial y el arrastre de sedimentos.

El patrón de distribución de las especies puede ser considerado como aleatorio, el cual se debe a la presión antrópica ejercida por la actividad minera. A ello se suma la falta de actividades de recuperación de las zonas erosionadas, por lo que se afecta directamente el proceso de regeneración natural, sin embargo, la distribución espacial de las especies y las características morfológicas de las mismas, son indicadores de madurez, pese a las condiciones de estrés a las que se encuentra sometida la comunidad vegetal.

Debido a que las especies colectadas para la evaluación de mercurio estaban ubicadas en sitios de diferente concentración de HgT existió alta variabilidad en las concentraciones de HgT y al realizar las correlaciones algunos de los valores de  $R^2$ , fueron atípicos (ANEXO K), por tanto se dividió la concentración del metal en

tejidos entre la concentración de HgT en suelo circundante, para disminuir la variabilidad de los datos, y hacerlos independientes de la concentración de suelo.

Las especies que más acumulan Hg son: *Miconia jucunda*, *Pteris longifolia*, *Adiantum sp.*, y *Sida rhombifolia*, las cuales son silvestres y en su mayoría herbáceas a excepción de *Miconia jucunda*, que es un arbusto. Por otra parte, las especies que presentaron menor capacidad acumuladora fueron *Musa paradisiaca*, *Gliricidia sepium*, *Schoenoplectus californicus*, *Tabebuia rosea* y *Psidium guajava*; estas especies son arbóreas a excepción de *Schoenoplectus californicus*, que es un arbusto.

La mayor media de acumulación de Hg de las especies herbáceas puede deberse a la baja biomasa que tienen en comparación con árboles y arbustos., existiendo casos excepcionales de herbáceas como *Cyperus esculentus*, que presentó una concentración total de mercurio en tejidos menor que varias de las especies arbustivas evaluadas en este estudio.

La mayor media de capacidad acumuladora de HgT en sus tejidos de las plantas silvestres se debe probablemente a la adaptabilidad que han tenido las plantas silvestres debido al alto periodo de exposición al metal al que se han encontrado sometidas.

Por otra parte, el hecho de que las herbáceas presente mayor media del índice de retención en raíz que especies arbóreas y arbustivas, puede estar relacionado con la acción de la emisión de fitoquelatinas para estabilizar el metal en el suelo y en la epidermis de la raíz como lo indica Patra y Sharma, 2000, y así evitar efectos tóxicos de mayor consideración en las partes superiores de la planta.

Los resultados muestran que la raíz es la parte de la planta que presenta mayor concentración de HgT, seguida de las hojas y por último los tallos. Esto podría

deberse a la alta capacidad de retención de las raíces para evitar efectos tóxicos en las partes aéreas; la concentración de mercurio en hojas por los procesos de fitoextracción y absorción de mercurio por estomas; y a las características fisiológicas de los tejidos del tallo que están en función principalmente del transporte de nutrientes (incluyendo el  $\text{Hg}^{2+}$ , que se absorbe y transporta dentro de los mecanismos disponibles para  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$ ) y no para la acumulación.

El anova indica que hay diferencias estadísticamente significativas en la capacidad acumuladora en campo de las 27 especies evaluadas y el postet de tukey (ANEXO M) indica que *Miconia jucunda*, que es la especie que más acumula no tiene diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) con respecto a *Pteris longifolia*, *Adiantum sp.*, y *Sida rhombifolia*, pero sí con el resto de las especies; mientras que *Musa paradisiaca*, que es la especie que presentó menor capacidad acumuladora solo presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto a *Miconia jucunda*, *Pteris longifolia*, *Adiantum sp.*, *Sida rhombifolia*, *Crescentia cujete* y *Senna alata*, por lo que se podría sugerir, que este último grupo de especies son las que presentan mayor capacidad de concentración en tejidos.

A pesar de la alta concentración de mercurio encontrada en los diferentes tejidos vegetales, no se observan evidencias de efectos fitotóxicos en la flora presente en Mina Santa Cruz. Esto podría indicar, que las plantas se han adaptado a las condiciones del ecosistema. Estos resultados coinciden con los de (Moreno *et al.* 2006), quien encontró que especies silvestres que presentan gran concentración de mercurio en sus tejidos no presentan efectos fitotóxicos visibles. Resultados similares se han encontrado en especies que acumulan gran cantidad de arsénico (Moreno *et al.*, 2010). Siendo importante considerar que si bien diversos estudios han mostrado, que el Hg induce a daños debido al estrés oxidativo (Moreno *et al.*, 2009; Esteban *et al.*, 2008), existen algunas enzimas antioxidantes que logran disminuir su toxicidad (Rellan *et al.*, 2006; Zhou *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2007., Hartley *et al.*, 2001).

La concentración de HgT en las especies vegetales de Mina Santa Cruz, muestran resultados similares a los resultados de concentración en tejidos de especies vegetales, ubicadas en sitios tan contaminados como Mina Almaden (Sierra, 2008; Sierra, 2009). De igual forma, los resultados muestran que entre las especies que más acumulan, se encuentran especies de rápido crecimiento, pero de baja biomasa tales como *Pteris longuifolia*, *Sida rhombifolia* y *Adiantum sp.* Asimismo y luego de una extensa revisión bibliográfica, se encontró que pocos géneros de las especies encontradas en Mina Santa Cruz, han sido evaluadas en su potencial fitorremediador, entre ellos se tiene el género *Pteris*. Estudios recientes muestran que *Pteris cretica* L, es una especie que puede hiperacumular simultáneamente arsénico As y antimonio Sb en estudios realizados en condiciones hidropónicas (Renwei, et al 2010). De igual modo, especies como *pteris vittata*, se consideran especies hiperacumuladora de arsénico (Weihua et al, 2005).

La determinación de mercurio total en suelo y especies no es suficiente para una comprensión del impacto medioambiental de este en el ecosistema de Mina Santa Cruz pues la contaminación por mercurio depende de su transporte, disponibilidad y aspectos fisicoquímicos de igual manera por propiedades toxicológicas que son sumamente dependientes de la forma química en que se encuentre presente el mercurio en el entorno, sin embargo, las altas concentraciones de mercurio encontrados en suelo y las especies vegetales estudiadas muestran el alto riesgo ambiental al que se encuentra sometida el ecosistema de Mina Santa Cruz, que puede afectar significativamente la biota y la salud humana.

Por otro lado, *Gliricidia sepium* es la especie que presenta mayores tasas de remediación de suelos en campo con una tasa de 82,56 % seguida de *Cocos nucifera*, *Citrus limonum*, *Schoenoplectus californicus*, *Tabebuia rosea*, *Inga edulis*, *Inga edulis*, *Musa paradisiaca*, *Cecropia peltata*, *Miconia Maxima*, *Annona muricata*, *Crescentia cujete*, *Capsicum annum*, *Miconia lacera*, *Morinda citrifolia*, *Psidium guajava*, *Senna alata*, *Terminalia catappa*, *Spondias mombin*, *Mangifera*

*indica, que son especies con capacidad remediadora. De igual forma se encontró que Schinus terebinthifolius, Cyperus esculentus, Miconia jucunda, Solanum heterophylla, Citrus aurantifolium, Citrus aurantifolium, Pteris longifolia, Sida rhombifolia y Adiantum sp,* son especies que tienen una tasa de remediación negativa, es decir, tienen mayor concentración de HgT en la rizosfera que en el suelo circundante (plantas fitoestabilizadoras), debido a que son especies de pequeña biomasa que tienen altas concentraciones del metal en sus tejidos pero absorbe pocas cantidades en comparación a los arbustos y árboles.

La tasa de remediación de suelos, tuvo un comportamiento contrario, dado, que las especies herbáceas tienden a estabilizar el contaminante en su rizósfera o en la epidermis de la raíz para evitar efectos tóxicos en sus partes aéreas, mientras que las especies arbustivas y arbóreas tienden a acumular mayor cantidad de Hg, por su alta biomasa y porque tienden a fitovolatilizar el contaminante como mercurio elemental.

A pesar de que algunas especies herbáceas tales como *Pteris longifolia, Sida rhombifolia y Adiantum sp,* presentan mayor concentración total de mercurio, en sus tejidos tienen tendencia a presentar las capacidades de remediación más bajas, entre la mayoría de las especies evaluadas. Mientras que las especies de árboles, que en general presentaron menores cantidades de mercurio total en tejidos, presentan mayor capacidad remediadora. Esto es posible, dado que estas especies presentan mayor cantidad de biomasa al compararse con las especies herbáceas y arbustivas de este estudio.

El ANOVA y el posttest de Tukey (anexo M) indican que hay diferencias estadísticamente significativas en la capacidad remediadora en campo de las 27 especies evaluadas, dado que la comparación de medias tiene un valor-P menor que 0.05. Las especies que presentan menor capacidad remediadora son

*Adiantum sp*, *Pteris longifolia* y *Sida rhombifolia*, que son especies que se encuentran acumulando la mayor cantidad de mercurio en sus tejidos, estas especies presentan diferencias estadísticamente significativas con las especies de mayor capacidad fitoremediadora como *Gliricidia sepium*, *Cocos nucifera*, y *Citrus aurantifolium* (ANEXO M 2).

Por otro lado es completamente diferencial el índice de retención de raíz, ya que algunas de las especies evaluadas son completamente excluyentes como por ejemplo *Schoenoplectus californicus* y *Crescentia cujete*. De igual forma, la capacidad excluyente en raíz es independiente del tipo de especie evaluada ya sea esta herbácea, arbustiva o arbórea. Se puede observar que la naranja *Citrus aurantifolium* y el limón *Citrus limonum*, a pesar de ser de la misma familia e incluso del mismo género, presentan índices de retención diferentes, pese a ello, existe una tendencia de las miconias a ser excluyentes.

Las plantas excluyentes, es decir las plantas que tienen altas tasas de retención en raíz, concentran el metal precisamente alrededor de la raíz, posiblemente para evitar que el mercurio ingrese a otros órganos de las plantas, como los tallos u hojas, donde podría afectar procesos fisiológicos fundamentales. Igualmente, los arbustos tienden a tener menor índice de retención en la raíz, como se muestra en *Terminalia catappa*, *Tabebuia rosea* y *Manguiifera indica*. Sin embargo, especies herbáceas como *Pteris longuifolia* presenta alta retención en raíz

## CONCLUSIONES

- La vegetación de Mina Santa Cruz corresponde a un mosaico sucesional producto de la erosión, sin embargo, la distribución espacial de las especies y las características morfológicas de las mismas, son indicadores de madurez asimismo, los resultados del análisis florístico indican que la comunidad vegetal se encuentra sometida a procesos de perturbación tales como contaminación.
- Las especies de plantas evaluadas, muestran diferencias en la capacidad de absorber y acumular mercurio, siendo en general las herbáceas las que presentan mayor capacidad de acumular mercurio en sus tejidos entre los diferentes tipos de especies evaluadas.
- Si bien las especies presentan patrones de concentración diferentes indistintamente de su clasificación, se puede considerar que el órgano que presentó las tasas de concentración más grandes en la mayoría de las especies evaluadas fue la raíz, seguida de hojas y finalmente tallos.
- Las especies de árboles, presentan en general menor concentración de mercurio total en sus tejidos, pero presentan mayor porcentaje de fitorremediación, debido fundamentalmente a la gran biomasa que caracteriza a estas especies, sin embargo, la gran capacidad de acumular mercurio que presentan las especies herbáceas evaluadas, tienen tendencia a presentar la capacidad de fitorremediación más baja.
- El comportamiento de fitorremediación y concentración de las especies es diferente, podría considerarse que algunas se comportan como especies fitovolatilizadoras, otras como acumuladoras, mientras que otro grupo de especies por su comportamiento, podrían considerarse como estabilizadoras, existiendo casos en los cuales especies de la misma familia e incluso del

mismo género, como *Citrus aurantifolium* y *Citrus limonum* tienen comportamientos diferentes.

- Las especies vegetales evaluadas pueden crecer en suelos erosionados, ácidos, con bajos niveles de materia orgánica y con concentraciones de mercurio alrededor de  $30\mu\text{ g HgT /g}$ , sin presentar efectos tóxicos considerables, condiciones que serían letales para muchas especies vegetales, por lo que se establece que estas especies tienen alta resistencia tóxica al mercurio. En conclusión, se encontraron especies típicas del sur de Bolívar de rápido crecimiento que tienen capacidad remediadora de suelos contaminados con mercurio y que pueden establecerse en sitios con historial minero.

## 7. RECOMENDACIONES

Es necesario implementar estrategias remediadoras frente a la problemática ambiental evidenciada en el área, dado que los suelos alcanzan concentraciones cercanas a 30  $\mu$  g/g, valor que están por encima muchos reportes de orden internacional y esto afecta todo el ecosistema de mina Santa Cruz. La rehabilitación biológica, permitiría mejorar las condiciones ambientales en aras de ahorrar y contaminar menos.

Se deben diseñar estrategias y capacitaciones que favorezcan el fortalecimiento del sistema de gestión ambiental en zonas mineras, disminuyendo así los impactos ambientales de todo tipo, al garantizar un mejor cumplimiento de la legislación,

Se debe iniciar la recuperación de la cobertura vegetal nativa en las zonas que han experimentado procesos de sucesión y en los parches sin vegetación, de manera que formen interconexiones entre los fragmentos de bosque, para que el crecimiento de la vegetación, promueva la recuperación de ésta y de otros atributos que contribuyan con la sostenibilidad del ecosistema en general. Esto mediante programas de reforestación que involucren a la población, tanto mineros como habitantes del común.

Se deben realizar estudios en condiciones controladas (invernadero) sobre la capacidad fitorremediadora de las especies evaluadas, para que puedan ser empleadas para remediar suelos contaminados con mercurio, en especial en zonas con historial minero.

Se deben considerar estudios de concentración de HgT en especies frutales y tubérculos de gran demanda alimenticia como yuca y ñame, debido a que estas son cultivadas en cercanías a los focos de contaminación que son los molinos de amalgamación.

## 8. REFERENCIAS

- Ahmad J., y Goni M. 2010. Heavy metal contamination in water, soil, and vegetables of the industrial areas in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Monitoring Assessment* 166 (4):347-357
- Almeida M., Lacerda L., Bastos W., Herrmann J. 2005. Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia. Brazil. *Environmental Pollution*. 137(2): 179-86.
- Arancibia M. 2008. El uso de los sistemas de información geográfica -SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos *Polis*. 20(7): 227-238.
- Arias M., Barrera J. 2007. Caracterización Florística y Estructural de la Vegetación Vascular en Áreas con Diferente Condición de Abandono en la Cantera Soratama Localidad de Usaquén, Bogotá. *Universitas Scientarum. Revista de la Facultad de Ciencias Edición especial II*.(12): 25-45.
- Baker, A.1981. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 14(3): 643-654.
- Barceló, J., y Poschenrieder, C. 2002. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 48(1): 75-92.
- Barceló J., Poschenrieder C. 2003. Phytoremediation: principles and perspectives. Barcelona. *Contributions to Science*. 2(3): 333-344.

- Bizily S., Kim T., Kandasamy M., Meagher B. 2003. Subcellular targeting of methylmercury lyase enhances its specific activity for organic mercury detoxification in plants. *Plant Physiology*. (131): 463-47.
- Bocayuva L., Magalhães V., Malm O., Oleivera E. 2005. Performance on neurological development tests by riverine children with moderate mercury exposure in Amazonia. Brazil. *Cad Saúde Pública*. 21(4): 1160-1167.
- Brand M. 1985. Estudio Florístico en la Carretera Tapón del Darién. Tesis de grado, Universidad de Antioquia. Medellín
- Carballeira A., Fernández J. 2002. Bioconcentration of metals in the moss *Scleropodium purum* in the area surrounding a power plant. *Chemosphere*. 47 (10): 1041-8.
- Caille C., Vauleon C., Leyval J., Morel C. 2005. Metal transfer to plants grown on a dredged sediment: use of radioactive isotope <sup>203</sup>Hg and titanium. *Science Total Environmental*. 341 (1-3): 227-239.
- Cao X., Ma, L., Tu, C. 2004. Antioxidative responses to arsenic in the arsenic-hyperaccumulator Chinese brake fern. *Environmental Pollution*. 128 (3): 317-325.
- Cavallini A., Natali L., Durante M., Biancaelena M. 1999. Mercury uptake, distribution and DNA affinity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) plants. *Science of the Total Environment*. (243-244): 119-127.
- Cobbett, C. (2000). Phytochelatins and Their Roles in Heavy Metal Detoxification. *Plant Physiology*. (123): 825
- Cronquist A., Takhtajan W., Zimmermann. 1981 On the higher taxa of Embryophyta. *Taxon* 14(4): 129–134

- Chaney R., Li Y., Brown S., Homer F., Malik M., Scott J. 2000. Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction. *Plant and soil* 101(2):129-158.
- Chaoui S., Mazhouri M., Ferjani E. 1997. Cadmium and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in bean. *Plant Science*. 127 (2): 139-147.
- Chen B., Christie P., Li L. 2001. A Modified Glass Bead Compartment Cultivation System for Studies on Nutrient and Trace Metal Uptake by Arbuscular Mycorrhiza. *Chemosphere*. 42(2): 185-192.
- Cho U., Park, J. 2000. Mercury-induced oxidative stress in tomato seedlings. *Plant Science*. 156(1): 1-9.
- Corbett C., Khouri M., Costa A., Gyuricza J., Corbett J., Frizzarini, R. 2007. Health evaluation of gold miners living in a mercury-contaminated village in Serra Pelada, Pará *Brazil*. *International Archives of occupational and Environmental health*. 62 (3): 121-8.
- CRC Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2006. Levantamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo requerido para la formulación del plan de ordenación y manejo de la subcuenca Sambingo (Hato Viejo), en el Departamento del cauca.
- Develin E. 2006. Acute Toxicity, Uptake and Histopathology of Aqueous Methyl Mercury to Fathead Minnow Embryos. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 15(1): 97-110.
- Dorea, J. 2008. Studies of fish consumption as source of methylmercury should consider fish-meal-fed farmed fish and other animal foods. *Environmental Research*. 109 (1): 131-132

- Dreiem, B., Gerts C., Seegal R. 2005. The Effects of Methylmercury on Mitochondrial Function and Reactive Oxygen Species Formation in Rat Striatal Synaptosomes Are Age-Dependent. *Toxicological sciences*. 87(1): 156–162
- Ericksen J., y Gustin M. 2004. Foliar exchange of mercury as a function of soil and air mercury concentrations. *Science of the Total Environment*. 324(1-3): 271-279.
- Ericksen M., Gustin D., Schorran D., Johnson S., Coleman J. 2003. Accumulation of atmospheric mercury in forest foliage. *Atmospheric Environment* 37 (12): 1613-1622.
- Esteban E., Moreno E., Peñalosa J., Cabrero J., Millán R., Zornoza, P. 2008. Short and long-term uptake of Hg in white lupin plants: Kinetics and stress indicators. *Environmental and Experimental Botany* (62): 316 – 322.
- Fernandez M., Fernandez V., García E. 1997. Atmospheric deposition and ionic concentration in soils under pine and deciduous forests in the river Sorcatchment. *España Science of the total Environment*. 204 (2): 185-192.
- Fernandez R., Loredó J., Ordonez A., Rucandio, M. (2005). Physicochemical characterization and mercury speciation of particle-size soil fractions from an abandoned mining area in Mieres, Asturias (Spain). *Environmental Pollution*, (142): 217– 226.
- Fitzgerald W., Engstrom D., Mason R., Nater E. 1998. The case for atmospheric mercury contamination in remote areas. *Environmental Science Technology*. 32 (1): 1-7.
- Foster B. Hernández E., Kakudidi Y., Burnham R. 1995. Un método de transectos variables para la evaluación rápida de comunidades de plantas en los trópicos. Manuscrito no publicado. Chicago: Environmental and

Conservation Programs, Field Museum of Natural History; and Washington, D. C.: Conservation Biology, Conservation International.

- Fridovich I. 1986. Biological effects of the superoxide radical. *Archives of biochemistry and Biophysics*. 15; 247(1): 1-11.
- Fuentes S., Sampedro A., Ardila M. 2003.. Importancia de la jicotea (*trachemys scriptacallirostris*: chelonia, emydidae) como recurso natural en la comunidad de isla del coco, región de la mojana, departamento de Sucre, Colombia. *Revista Biología*. 17( 2): 126-134
- García E., Fernández M., Fernández V. 1998. Input–output ion fluxes in the River Sor catchment. España. *Chemosphere*. 36 (4-5): 107–1112.
- Geantry A 1995. Patterns of diversity and floristic composition in neotropical montane forests. p. 103 - 126. En: Churchill, S. P.; Balslev, H.; Forero, E.; Luteyn, J. L. (eds). *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden, New York. USA. 702 p
- Ghosh, M., Singh, S. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied ecology and environmental research*. 3(1):1-18.
- Guia Minero Ambiental, 2004. Ministerio de Minas y Energía - Ministerio Del Medio Ambiente.
- Gochfeld M. 2003. Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. *Toxicology Environmental Safety*. 56(1), 174-179.
- Gustin S., Biester, H., Kim, C. 2002. Investigation of the light-enhanced emission of mercury from naturally enriched substrates. *Atmospheric Environment* .36(20), 3241-54.

- Hartley J., Ainsworth G., Meharg A. 2001. Copper- and arsenate- induced oxidative stress in *Holcus lanatus* L. clones with differential sensitivity. *Plant, Cell and Environment* .24(7):713–722.
- Hammer Ø., Harper D., Ryan P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electrónica* 4(1): 9-20.
- Heemskerk M. 2005. Collecting data in artisanal and small-scale mining communities. *Natural Resources Forum*. 29 (1): 82-87.
- IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2005. Suelos de Colombia. Santafé de Bogotá: 633 p. ISBN 958-9067-00-x. p. 291.
- Islam E., Yang X., Xen L., Mahmood Q. 2007. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *Journal*. 8(1): 1-13.
- Long G., Winefordner J. Limit of Detection *Analytical Chemistry*. 1983, 55: 712A-724A
- Lutter R., Irwin E. 2002. Mercury in the environment. A volatile problem *Environment*. 44(2): 24-33.
- Kabata P. 2004. Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*. (22): 143-149
- Kamnev A., Van der Lelie D. 2000. Chemical and Biological Parameters as Tools to Evaluate and Improve Heavy Metal Phytoremediation. *Bioscience Reports*. 20(4): 239-258.
- Karunasagar M., Balatama S., Rao J., Arunachalam S. 2005. Removal and preconcentration of inorganic and methyl mercury from aqueous media using

a sorbent prepared from the plant *Coriandrum sativum*. *Biological Technology* 118 (1-3): 133-139.

- Kobal G., Kobal A., Arneric N, Horvat M., Zenko B., Dzeroski S. 2006. Personality traits in miners with past occupational elemental mercury exposure. *Environmental Health Perspectives*. 114(2): 290 -296.
- Lasat M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. *Journal of Environmental Quality*. 31(1): 109-120.
- Li G., Feng X., Qiu G., Bi X., Li Z., Zhang C. 2008. Environmental mercury contamination of an artisanal zinc smelting area in Weining County. China. *Environmental Pollution*. 154(1): 21-31.
- Liao J., Lin X., Cao Z., Shi Y., Wong M. 2003. Interactions between arbuscular mycorrhizae and heavy metals under sand culture experiment. *Chemosphere*. 50(6): 847-853.
- Lindqvist O., Johansson K., Aastrup M., Anderson A, Bringmark L. 1991. Mercury in the Swedish environment: recent research on causes, consequences and corrective methods. *Water Air and Soil Pollution* 55(1-2): 261-269
- Liu G., Cai Y., Kalla P., Scheidt D., Richards J., Scinto L. 2008. Mercury mass budget estimates and cycling seasonality in the Florida Everglades. *Environment Science Technoogy*. 42(6): 1954-60.
- Lozano L. 2005. Patrones ecológicos de un relicto de bosque seco tropical ribereño, en el C. U. R. N. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad del Tolima Armero - Guayabal - Colombia.
- Ma C. 1998. Mercury harm on cell membrane of rape leaf and cell endogenous protection effect. *Chinese ournal of aplicated ecology*. 9(5): 23-326.

- Malikova I., Ustinov T., Anoshin G., Badmaeva Z., Malikov Y. 2008. Mercury in soils and plants in the area of Lake Bol'shoe Yarovoe (Altai Territory) *Russian Geology and Geophysics* ,49 (1): 46-51
- Marchiol L., Assolari S., Sacco P., Zerbi, G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*)', *Environmental Pollution*. 132 (1), 21-27.
- Martínez A., Pontevedral X., García E., Nóvoa J., Shotyk, W. 1999. Mercury in a Spanish peat bog:archive of climate change and atmospheric deposition. *Science* 284 (5416 ): 939-942.
- Martínez M., Bernal P., Almela C., Vélez D., García, P., Serrano R. 2006. An engineered plant that accumulates higher levels of heavy metals than *Thlaspi caerulescens*, with yields of 100 times more biomass in mine soils. *Chemosphere*. 64(3): 478-485.
- Matteucci S., Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Editorial universitaria. Washington D.C. Monografía Científica (2): 22. 168.
- Mcgrath S., Sidoli C., Baker A., Reeves R. 1993. The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soils. *Academic Publishers*. 1-4 (11): 673-676.
- Mcgrath S., Lombi E., Gray C., Caille N., Dunham S., Zhao, F. 2006. Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyperaccumulators *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri*. *Environmental Pollution*. 141(1): 115-125.

- Meagher R., Heaton A. 2005. Strategies for the engineered phytoremediation of toxic element pollution: mercury and arsenic. *Environmental biotechnology*. 32 (11-12): 502-513.
- Mendez W. Dorantes A., Durán R. 2010. Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. (86) : 37-51
- Millán R., Gamarra, R., Schmid T., Sierra M., Quejido A., Sánchez, D., Cardona A., Fernández M., Vera R. 2006. Mercury content in vegetation and soils of the Almadén mining area (Spain). *Science of the Total Environment* 368 (1): 79–87.
- Miller J., Miller J. *Estadística y Quimiometría para Química Analítica*. Prentice Hall. London 2002, 278p
- Ministerio del Medio Ambiente. Ley 99 de 1993. República de Colombia .Bogotá Diciembre del 1993. 1-44
- Ministerio de Minas Y Energía. 2004. Guía Minero Ambiental. República de Colombia.
- Molina A., Oyarzun R., Esbrí, J., Higuera P. 2006. Mercury accumulation in soils and plants in the Almadén mining district, Spain: one of the most contaminated sites on Earth. *Environmental Geochemistry and Health*. 28(5): 487–498.
- Moreno E., Fresno E., López C., Peñalosa J. 2010. Hydroponics as a valid tool to assess arsenic availability in mine soils. *Chemosphere* 79(5): 513-517.
- Moreno E., Esteban E., Carpena M., Peñalosa J. 2009. Arsenic-and mercury –induced phytotoxicity in the Mediterranean shrubs *Pistacia lentiscus* and *Tamarix gallica* grown in hydroponic culture. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.72(6): 1782-1789

- Moreno E., Peñalosa J., Esteban E., Carpena R. 2007. Mercury accumulation and resistance to mercury stress in *Rumex induratus* and *Marrubium vulgare* grown on perlite. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 170 (4): 485–494.
- Moreno E., Gamarra R., Carpena R., Milan R., Peñalosa J., Esteban E. 2006. Mercury bioaccumulation and phytotoxicity in two wild plant species of Almadén area. *Chemosphere*. 63 (11): 1969-1973.
- Mosquera O., Correa Y., Buitrago D., Niño J. 2007. Antioxidant activity of twenty five plants from Colombian biodiversity. *Mem Instituto Oswaldo Cruz*. 102(5): 631-4.
- Mostacedo B., Fredericksen T. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Naidu R., Olivier D., McConnell S. 2003. *Heavy metal phytotoxicity in Soils*. Proceedings of the Fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination. *Environment Protection*. 5(24): 235-241.
- Navarro J., Agular A., López, J. 2007. Aspectos Bioquímicos y Genéticos de la tolerancia y concentración de Metales Pesados en Plantas. *Ecosistemas* 16(2):10-25.
- Nedelkoska T., Doran P. 2000. Hyperaccumulation of cadmium by hairy roots of *Thlaspi caerulescens*. *Biotechnology and Bioengineering*. 67(5): 607-615.
- Nóvoa J., Pontevedra X, Martínez A, García E. 2008. Mercury accumulation in upland acid forest ecosystems nearby a coal-fired power-plant in southwest Europe España. *Science of the Total Environment*. 394(2-3): 303-12.

- Ocampo J., Geo E., Restrepo M., Jarvis A., Salazar A., Creuci C. 2007. Diversity of Colombian Pasifloraceae Biogeography and an updated list for conservation. *Biota Colombiana* 8 (1): 1-45.
- Olivero J., Jhonson, B. 2002. El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Editorial universitaria. Colombia.
- Odum, E. 1977. *Ecología*. Interamericana, México D.C. Mexico 639 pp.
- Odum, E. (1986): *Fundamentos de Ecología*. Nueva Editorial México D.C. Mexico 325 pp.
- Ordoñez H . 2002. Evaluación de la diversidad florística y estructura de los bosques secundarios altoandinos del municipio de Pasto, Nariño. Trabajo de grado para obtener el título de Magíster en Bosques y Conservación Ambiental, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. p 66-77.
- Otero J., López J., Moreda J, Alonso E. 2004. As,Hg and Se flue gas sampling in a coal-fired power plant and their fate during coal combustion. *Environmental Science and Technology*. 37(22): 5262–5267.
- Pacyna E., Pacyna J., Pirrone N. 2001. European emissions of atmospheric mercury from anthropogenic sources. *Atmospheric Environment* .35(17): 2987-96.
- Pai R., Rai, J. 2010. Phytochelatins: Peptides Involved in Heavy Metal Detoxification. *Applied Biochemistry and Biotechnology*.160(3): 945-963
- Patra M., y Sharma, A. 2000. Mercury toxicity in plants. *The Botanical Review* 66(3): 379-42.

- Patra M., Bhowmik N., Bandopadhyaya B., Sharma A. 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. 52(3): 199-223.
- Pineda R. 2004. Presencia de hongos micorrízicos arbusculares y contribución de *Glomus intraradices* en la absorción y translocación de cinc y cobre en girasol. Tesis Doctoral en Ciencias. Área: Biotecnología. Universidad de Colima 135 p.
- Pirrone G., Keeler J., Nriagu O. 2006. Regional differences in worldwide emissions of mercury to the atmosphere. *Atmospheric Environment*. 17(3): 2981-2987.
- Porcella D., Chu P., Allan M. 1996. Inventory of North American mercury emissions to the atmosphere: relationship to the global mercury cycle. *Atmospheric Environment*. 21(4): 179-190.
- Prabha K., y Loretta L. 2007. Phytoremediation technology: hyperaccumulation metals in plants. *Water air and soil pollution*. 184(1): 105-126.
- Prasad N., Freitas H. 2003. Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 6(5): 275-321.
- Pulford I., Watson C. 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review. *Environment International*. 29(4): 529-540.
- Qian J., Zhang L., Chen H., Hou M., Niu Y., Xu Z., Liu, H. 2009. Distribution of Mercury Pollution and Its Source in the Soils and Vegetables in Guilin Area, China. *Environmental Contamination Toxicology* 83(6): 920-925

- Ramírez A. 1988. Lineamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental. Editorial Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL, Bogotá, D. F.
- Rea S., Lindberg T., Scherbatskoy G., Keeler, J. 2002. Mercury accumulation in foliage over time in two northern mixed-hardwood forests. *Water, Air, and Soil Pollution* 133(1-4), 49-67.
- Rellán R., Ortega C., Alvarez, A., Del Campo, F., Hernández, L. 2006. Stress Responses of *Zea mays* to Cadmium and Mercury. *Plant and Soil*. (279): 41–50.
- Reimann C., De Carita P. 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment. *Science of the Total Environment*. 337(1-3): 91–107.
- Renwei F., Chaoyang W., Shuxin T., Shirong T., Fengchang W. 2010. Simultaneous hyperaccumulation of arsenic and antimony in Cretan brake fern: Evidence of plant uptake and subcellular distributions. *Microchemical Journal*, In Press, Corrected Proof, Available online 1 June 2010
- Reyes R. 2003. La educación ambiental para la pequeña minería aurífera en la Reserva Forestal Imataca. Venezuela. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 7(28): 262-266.
- Rondeux J. 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux, Bélgica, Presses agronomiques. 521 pp.
- Rondeux J., Lecomte H. 1996. *Inventaire des ressources ligneuses de Wallonie. Guide méthodologique*. Gembloux, Bélgica, Faculté universitaire des Sciences agronomiques, Unité de Gestion et Economie forestières. 208 pp.

- Rondeux J. 2009. Review of indicators and field methods for monitoring biodiversity within national forest inventories. Core variable: Deadwood. *Environ Monit Assess.* 0167. (6369): 1573-2959.
- Rothenberg X., Du Y., Zhu J., Jay. 2007. The impact of sewage irrigation on the uptake of mercury in corn plants (*Zea mays*) from suburban Beijing. *Environment Pollution.* 149 (2): 246–251.
- Salt D. 2006. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Nature Biotechnology.* 13(5): 468-474.
- Sauquillo A., Rigol A., Rauret G. 2003. Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends and analytic chemistry.* 22 (3): 152-159.
- Sauve S., Henderson W., Allen E. 2000. Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. *Environmental Sciencei Technology.* 34(7): 1125-1131.
- Schat H., Llugany M., Vooijs R., Hartley J., Bleeker P. 2002. The role of phytochelatins in constitutive and adaptive heavy metal tolerances in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator metallophytes. *Journal of Experimental Botany.* 53(379): 2381-92.
- Shaban W., Rmalli A., Abdella A., Dahmani B., Mohamed M., Abuein L. 2008. Biosorption of mercury from aqueous solutions by powdered leaves of castor tree. *Journal of Hazardous Material.* 152 (3): 955-999.

- Sierra M., Millán R., Esteban E. 2009. Mercury uptake and distribution in *Lavandula stoechas* plants grown in soil from Almadén mining district (Spain). *Food and Chemical Toxicology* 47(11):, 2761–2767.
- Sierra M., Millán R., Esteban E. 2008. Potential use of *Solanum melongena* in agricultural areas with high mercury background concentrations. *Food and Chemical Toxicology* (46): 2143–2149.
- Smolińska B. Cedzyńska K. 2007. EDTA and urease effects on Hg accumulation by *Lepidium sativum* *Chemosphere*.69 (9):1388-1395
- Summers A., Silver, S. 1978. Microbial Transformations of Metals. *Annual Review of Microbiology*. (32): 637-672.
- Susarla S., Medina V., McCutcheon S. 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*. 18(5): 647-658.
- Suszeynsky, M., Shann J. 1995. Phytotoxicity and accumulation of mercury in tobacco subjected to different exposure routes. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 14(1): 61-67.
- Thangavel P., Subhram C. 2004. Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B*, 70(1): 109-130
- Thumann J., Grill E., Winnacker E-, Zenk, M. 1991. Reactivation of metal-requiring apoenzymes by phytochelatinmetal complexes. *Formerly european journal of biochemistry*. (284): 66–69.

- Tolrà R., Poschenrieder C., Barceló J. 1996. Zinc hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens*. II Influence of organic acids. *Journal Plant Nutrition*. 19(12): 1541-1550.
- Tsuchiya A, Hinnens T., Burbacher T., Faustman, E., Mariën, K. 2008. Mercury exposure from fish consumption within the Japanese and Korean communities. *Toxicology and Environmental Health*. 71(15):1019-1031.
- UPME (Unidad de Planeación Minera Energética). 2001. Estadísticas minero energéticas. Bogotá. Edición No. 13.
- Vázquez S., Goldsbrough P., Carpena, R. 2009. Comparative analysis of the contribution of phytochelatins to cadmium and arsenic tolerance in soybean and white lupin. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47(1): 63-67.
- Vidal j., Marrugo J., Jaramillo, B., Perez, L. 2010. Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). *Revista Científica de Ingeniería y Desarrollo* N° 27
- Wang L., He X., Shi S., Wei X., Feng, B. 2006. Release flux of mercury from different environmental surfaces in Chongqing, China. *Chemosphere*. 64(11): 1845-1854.
- Wang Y. 2004. Phytoremediation of mercury by terrestrial plants. Department of Botany Stockholm University, Sweden. 7-14.
- Watanabe M., Suzuki T. 2002. Involvement of reactive oxygen stress in cadmium-induced cellular damage in *Euglena gracilis*. *Toxicology & Pharmacology*. 131(4): 491-500 .

- Wei S., Zhou Q. 2004. Discussion on Basic Principles and Strengthening Measures for Phytoremediation of Soils Contaminated by Heavy Metals. *Chinese Journal Ecology*. 23 (1):65-72.

Weihua Z., Yong C., Kelsey D., Lena, Q. 2004. Arsenic complexes in the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* (Chinese brake fern). *Journal of Chromatography A*, 1043 (2): pp. 249-254

Willey N., Fawcett K. 2005. Species selection for phytoremediation of  $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$  using angiosperm phylogeny and inter-taxa differences in uptake. *International Journal. Phytoremediation*. 7(4): 295-306

- Yamamoto Y., Rikiishi S., Chang, Y., Ono K., Kasai M., Matsumoto H. 1994. Quantitative estimation of aluminium toxicity in cultured tobacco cells.: Correlation between Aluminium Uptake and Growth Inhibition. *Plant and Cell Physiology*. 35(4): 575-583.
- Zhangwei W., Xiaoshan Z., Jingsong X., Ci Z., Pingzhong Y. 2009. Mercury fluxes and pools in three subtropical forested catchments, southwest China. *Environmental Pollution*. 157(3): 801-808.
- Zheng Y., Liu, Y., Hu, H, He, J, 2008. Mercury in soils of three agricultural experimental stations with long-term fertilization in China. *Chemosphere*. 72(9): 1274-8.
- Zhou S., Huang ., Guo S., Mehta P., Zhang Z., Yang M. 2007. Metabolic adaptations to mercury-induced oxidative stress in roots of *Medicago sativa*. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 101(4): 1-9.
- Zhou Z., Wang S., Yang Z. 2008. Biological detection and analysis of mercury toxicity to alfalfa plants. *Chemosphere*. 70(8): 1500-9.

# **9. ANEXOS**

**ANEXO A. Fotos de trabajo de campo: medición de DAP y medida de transectos**



**ANEXO B. Zona de explotación**



**ANEXO C: Zona Poblada**



**ANEXO D. Corrientes de amalgamación**



### **ANEXO E. Corrientes mixtas**



### **ANEXO F. Erosión en la zona montañosa**



**ANEXO G.** Sucesión e implantación de *Curatella americana*



**ANEXO H.** Sustrato bajo: lycopodios y helechos.



**ANEXO I. Melastomataceae presentes en Mina Santa Cruz.**



**ANEXO J. Fotografías de las especies evaluadas**

**Especies herbáceas**



***Pteris longuifolia***



***Adiantum sp***



***Sida rhombifolia***



***Cyperus esculentus***

**Especies arbustivas**



***Schoenoplectus californicus***



***Miconia jucunda***



***Solanum heterophyllum***



***Crescentia cujete***



***Senna alata***



***Morinda citrifolia***



***Miconia lacera***



***Miconia máxima***



***Citrus limonum***



***Capcicum annum***



***Musa paradisiaca***



***Spondias mombin***



***Citrus aurantifolia***



***Schinus terebinthifolius***



***Annona muricata***



***Cocos nucifera***



***Terminalia cattapa***



***Inga edulis***



***Mangifera indica***



***Tabebuia rosea***



***Psidium gajava***



***Gliricidia sepium***



***Cecropia peltata***

## ANEXO K Datos de Correlación de las especies

Especie	Altura (Cm)	(HgT) tejido µg/g	(HgT) suelo µg/g	(HgT) Rizosfera µg/g	R <sup>2</sup> (HgT) tejido Vs Altura	R <sup>2</sup> (HgT) Tejido Vs (HgT) rizosfera)	R <sup>2</sup> (HgT) tejido Vs (HgT) suelo)
<i>Pteris longifolia</i> 1	70	30,33	11,74	12,17			
<i>Pteris longifolia</i> 2	60	63,79	12,13	44,16			
<i>Pteris longifolia</i> 3	80	54,08	19,81	24,48			
<i>Pteris longifolia</i> 4	30	69,22	24,01	56,89			
<i>Pteris longifolia</i> 5	40	2,60	16,49	0,90	0,00300	0,87100	0,12400
<i>Adiantum sp.1</i>	20	23,40	5,60	21,10			
<i>Adiantum sp. 2</i>	30	25,20	18,47	14,76			
<i>Adiantum sp.3</i>	80	55,17	11,74	63,87			
<i>Adiantum sp.4</i>	40	44,01	20,45	19,47			
<i>Adiantum sp. 5</i>	40	9,17	19,26	27,35	0,50100	0,70000	0,01100
<i>Sida rhombifolia</i> 1	20	39,19	13,80	32,97			
<i>Sida rhombifolia</i> 2	30	54,44	14,71	40,68			
<i>Sida rhombifolia</i> 3	25	16,17	20,84	6,07			
<i>Sida rhombifolia</i> 4	50	18,35	20,45	9,40			
<i>Sida rhombifolia</i> 5	30	35,65	24,21	59,32	0,13900	0,53300	0,33900
<i>Cyperus sculentus</i> 1	20	15,98	9,12	21,17			
<i>Cyperus sculentus</i> 2	25	21,50	13,91	10,55			
<i>Cyperus sculentus</i> 3	10	40,73	24,21	25,95			
<i>Cyperus sculentus</i> 4	12	16,54	18,90	13,52			
<i>Cyperus sculentus</i> 5	12	6,59	14,71	17,10	0,03300	0,29900	0,49300
<i>Schoenoplectus californicus</i> 1	80	6,66	20,45	5,51			
<i>Schoenoplectus californicus</i> 2	80	3,10	20,45	5,51			
<i>Schoenoplectus californicus</i> 3	80	5,91	20,45	5,51			
<i>Schoenoplectus californicus</i> 4	80	6,21	20,45	5,51			
<i>Schoenoplectus californicus</i> 5	30	6,52	20,45	5,51	0,10100	0,00000	-0,00100
<i>Miconia jucunda</i> 1	64	23,41	5,60	3,33			
<i>Miconia jucunda</i> 2	64	19,75	5,60	6,73			
<i>Miconia jucunda</i> 3	67	41,49	9,95	35,30			
<i>Miconia jucunda</i> 4	68	18,69	12,53	11,38			
<i>Miconia jucunda</i> 5	25	16,78	20,37	12,42	0,18100	0,74300	0,07600
<i>Solanum heterophylla</i> 1	35	14,26	20,45	13,63			
<i>Solanum heterophylla</i> 2	100	23,69	12,53	61,01			
<i>Solanum heterophylla</i> 3	30	30,44	20,84	16,27			
<i>Solanum heterophylla</i> 4	20	24,86	11,93	7,45			

<i>Solanum heterophylla</i> 5	15	9,59	25,00	7,89	0,07000	0,07600	0,31000
<i>Crescentia cujete</i> 1	70	8,59	20,64	15,14			
<i>Crescentia cujete</i> 2	70	3,84	24,90	2,64			
<i>Crescentia cujete</i> 3	100	20,15	23,61	6,86			
<i>Crescentia cujete</i> 4	60	19,20	16,49	7,37			
<i>Crescentia cujete</i> 5	400	32,38	6,79	1,41	0,64100	0,16300	0,69500
<i>Senna alata</i> 1	170	11,63	11,74	7,78			
<i>Senna alata</i> 2	70	15,03	7,58	13,93			
<i>Senna alata</i> 3	60	6,57	18,27	2,73			
<i>Senna alata</i> 4	40	3,18	12,73	6,33			
<i>Senna alata</i> 5	20	59,93	18,27	1,86	0,16500	0,16100	0,18800
<i>Morinda citrifolia</i> 1	50	35,51	20,45	8,55			
<i>Morinda citrifolia</i> 2	230	4,74	12,53	8,40			
<i>Morinda citrifolia</i> 3	25	6,67	18,27	12,73			
<i>Morinda citrifolia</i> 4	30	9,43	19,26	9,24			
<i>Morinda citrifolia</i> 5	50	16,39	23,81	7,99	0,11500	0,11200	0,27000
<i>Miconia lacera</i> 1	70	13,30	23,61	4,34			
<i>Miconia lacera</i> 2	70	19,35	12,53	14,01			
<i>Miconia lacera</i> 3	50	21,13	18,27	3,35			
<i>Miconia lacera</i> 4	40	15,81	7,78	4,69			
<i>Miconia lacera</i> 5	30	1,39	20,64	0,27	0,34100	0,35500	0,16900
<i>Miconia Maxima</i> 1	30	11,54	20,39	7,59			
<i>Miconia Maxima</i> 2	40	15,90	12,53	9,97			
<i>Miconia Maxima</i> 3	150	8,94	11,74	1,67			
<i>Miconia Maxima</i> 4	20	10,04	11,54	4,18	0,13800	0,91000	0,04900
<i>Miconia Maxima</i> 5	60	7,04	18,27	1,05			
<i>Capsicum annuum</i> 1	50	10,33	11,54	3,97			
<i>Capsicum annuum</i> 2	160	7,63	20,05	5,13			
<i>Capsicum annuum</i> 3	40	4,37	21,24	3,41			
<i>Capsicum annuum</i> 4	100	14,54	20,84	10,08	0,32500	0,02900	0,04500
<i>Capsicum annuum</i> 5	40	15,11	24,80	0,83			
<i>Citrus limonium</i> 1	60	7,64	24,41	5,61			
<i>Citrus limonium</i> 2	30	5,88	20,64	4,78			
<i>Citrus limonium</i> 3	300	4,38	20,84	7,44			
<i>Citrus limonium</i> 4	420	8,48	19,85	4,33			
<i>Citrus limonium</i> 5	200	35,65	23,02	6,33	0,00000	0,03700	0,15300
<i>Musa paradisiaca</i> 1	280	2,81	24,21	5,45			
<i>Musa paradisiaca</i> 2	150	3,08	23,81	6,23			
<i>Musa paradisiaca</i> 3	300	3,26	17,48	10,21			

<i>Musa paradisiaca 4</i>	600	4,02	20,45	4,16			
<i>Musa paradisiaca 5</i>	100	10,33	24,01	6,51	0,17900	0,25200	0,09800
<i>Spondias mombin 1</i>	500	0,08	23,81	9,35			
<i>Spondias mombin 2</i>	60	1,92	25,00	2,05			
<i>Spondias mombin 3</i>	15	0,21	23,61	5,83			
<i>Spondias mombin 4</i>	400	0,30	14,71	3,82			
<i>Spondias mombin 5</i>	100	2,91	14,31	46,89	0,35700	0,19000	0,00200
<i>Citrus aurantifolium 1</i>	150	10,27	9,95	6,80			
<i>Citrus aurantifolium 2</i>	25	21,47	8,17	20,37			
<i>Citrus aurantifolium 3</i>	60	8,54	13,72	7,08			
<i>Citrus aurantifolium 4</i>	160	11,75	14,65	17,43			
<i>Citrus aurantifolium 5</i>	20	28,58	21,24	35,05	0,50500	0,38300	0,22300
<i>Schinus terebinthifolius 1</i>	600	7,75	19,85	4,31			
<i>Schinus terebinthifolius 2</i>	50	4,70	24,60	9,67			
<i>Schinus terebinthifolius 3</i>	250	15,23	20,45	91,25			
<i>Schinus terebinthifolius 4</i>	500	30,33	24,80	12,17			
<i>Schinus terebinthifolius 5</i>	200	8,44	23,42	7,66	0,21300	0,02400	0,08100
<i>Annona muricata 1</i>	400	5,34	16,49	3,35			
<i>Annona muricata 2</i>	600	10,95	14,11	4,72			
<i>Annona muricata 3</i>	250	22,30	20,64	6,51			
<i>Annona muricata 4</i>	300	13,46	23,81	6,67			
<i>Annona muricata 5</i>	100	12,78	23,02	14,30	0,15600	0,06400	0,20000
<i>Cocos nucifera 1</i>	600	31,43	24,35	5,78			
<i>Cocos nucifera 2</i>	300	5,02	20,45	4,15			
<i>Cocos nucifera 3</i>	500	3,32	18,27	3,93			
<i>Cocos nucifera 4</i>	250	9,42	19,85	4,80			
<i>Cocos nucifera 5</i>	300	13,60	22,55	0,21	0,33600	0,07700	0,82900
<i>Terminalia catappa 1</i>	900	3,15	24,80	2,58			
<i>Terminalia catappa 2</i>	170	9,17	23,95	44,62			
<i>Terminalia catappa 3</i>	1500	9,72	23,63	2,52			
<i>Terminalia catappa 4</i>	40	14,75	22,43	26,13			
<i>Terminalia catappa 5</i>	100	25,81	24,21	0,51	0,29500	0,03200	0,05500
<i>Inga edulis 1</i>	250	8,12	20,05	4,30			
<i>Inga edulis 2</i>	70	12,49	19,65	2,82			
<i>Inga edulis 3</i>	36	7,62	19,26	5,74			
<i>Inga edulis 4</i>	1100	8,44	18,27	4,62			
<i>Inga edulis 5</i>	170	21,43	18,47	9,56	0,07300	0,54200	0,15800

<i>Manguifera indica</i> 1	40	7,43	17,87	19,93			
<i>Manguifera indica</i> 2	100	12,84	18,07	18,60			
<i>Manguifera indica</i> 3	90	11,76	7,58	3,73			
<i>Manguifera indica</i> 4	180	7,52	15,50	10,51			
<i>Manguifera indica</i> 5	70	13,19	18,27	20,89	0,06000	0,01000	0,00500
<i>Tabebuia rosea</i> 1	25	6,29	23,02	2,13			
<i>Tabebuia rosea</i> 2	50	6,10	23,81	1,97			
<i>Tabebuia rosea</i> 3	400	2,41	22,43	6,31			
<i>Tabebuia rosea</i> 4	180	4,35	24,01	6,60			
<i>Tabebuia rosea</i> 5	150	22,04	23,02	15,88	0,05700	0,69500	0,01000
<i>Psidium guajava</i> 1	160	7,15	16,49	7,30			
<i>Psidium guajava</i> 2	550	9,32	19,06	3,92			
<i>Psidium guajava</i> 3	90	5,47	24,31	3,01			
<i>Psidium guajava</i> 4	300	8,83	13,91	5,40			
<i>Psidium guajava</i> 5	150	6,56	23,81	43,90	0,81300	0,08800	0,52400
<i>Gliricidia sepium</i> 1	180	4,169	22,43	4,55			
<i>Gliricidia sepium</i> 2	20	4,910	20,84	2,76			
<i>Gliricidia sepium</i> 3	250	8,359	22,82	2,07			
<i>Gliricidia sepium</i> 4	1500	4,870	18,27	4,50			
<i>Gliricidia sepium</i> 5	400	1,967	23,22	4,64	0,00400	0,67000	0,00300
<i>Cecropia peltata</i> 1	300	1,90	15,50	4,8098			
<i>Cecropia peltata</i> 2	400	2,03	14,71	10,6976			
<i>Cecropia peltata</i> 3	200	1,33	9,95	2,0709			
<i>Cecropia peltata</i> 4	300	0,60	9,12	1,6245			
<i>Cecropia peltata</i> 5	180	0,57	8,17	1,4875	0,03200	0,66000	0,00500

## ANEXO L Resumen de análisis estadístico

M1 Tabla ANOVA de Concentración de Hg en Tejidos de las 27 especies evaluadas

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	71.3657	26	2.74483	3.38	0.0000
Intra grupos	87.6147	108	0.811247		
Total (Corr.)	158.98	134			

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>± Límites</i>
Adiantum sp - Annona muricata	*	1.914	1.12914
Adiantum sp - Capsicum annum	*	2.016	1.12914
Adiantum sp - Cecropia peltata	*	1.288	1.12914
Adiantum sp - Citrus aurantifolium	*	1.288	1.12914
Adiantum sp - Citrus limonium	*	2.018	1.12914
Adiantum sp - Cocos nucifera	*	2.016	1.12914
Adiantum sp - Crescentia cujete		1.104	1.12914
Adiantum sp - Cyperus sculentus	*	1.314	1.12914
Adiantum sp - Gliricidia sepium	*	2.344	1.12914
Adiantum sp - Inga edulis	*	1.962	1.12914
Adiantum sp - Manguifera indica	*	1.796	1.12914
Adiantum sp - Miconia jucunda		-0.264	1.12914
Adiantum sp - Miconia lacera	*	1.502	1.12914
Adiantum sp - Miconia Maxima	*	1.802	1.12914
Adiantum sp - Morinda citrifolia	*	1.842	1.12914
Adiantum sp - Musa paradisiaca	*	2.36	1.12914
Adiantum sp - Psidium guajava	*	2.162	1.12914
Adiantum sp - Pteris longifolia		-0.148	1.12914
Adiantum sp - Schinus terebinthifolius	*	1.994	1.12914
Adiantum sp - Schoenoplectus californicus	*	2.296	1.12914
Adiantum sp - Senna alata	*	1.202	1.12914
Adiantum sp - Sida rhombifolia		0.636	1.12914
Adiantum sp - Solanum heterophylla	*	1.272	1.12914
Adiantum sp - Spondias mombin	*	1.482	1.12914
Adiantum sp - Tabeubeia rosea	*	2.218	1.12914
Adiantum sp - Terminalia catappa	*	2.044	1.12914
Annona muricata - Capsicum annum		0.102	1.12914
Annona muricata - Cecropia peltata		-0.626	1.12914
Annona muricata - Citrus aurantifolium		-0.626	1.12914
Annona muricata - Citrus limonium		0.104	1.12914
Annona muricata - Cocos nucifera		0.102	1.12914
Annona muricata - Crescentia cujete		-0.81	1.12914
Annona muricata - Cyperus sculentus		-0.6	1.12914
Annona muricata - Gliricidia sepium		0.43	1.12914
Annona muricata - Inga edulis		0.048	1.12914
Annona muricata - Manguifera indica		-0.118	1.12914
Annona muricata - Miconia jucunda	*	-2.178	1.12914
Annona muricata - Miconia lacera		-0.412	1.12914
Annona muricata - Miconia Maxima		-0.112	1.12914
Annona muricata - Morinda citrifolia		-0.072	1.12914
Annona muricata - Musa paradisiaca		0.446	1.12914
Annona muricata - Psidium guajava		0.248	1.12914
Annona muricata - Pteris longifolia	*	-2.062	1.12914

Annona muricata - Schinus terebinthifolius	0.08	1.12914
Annona muricata - Schoenoplectus californicus	0.382	1.12914
Annona muricata - Senna alata	-0.712	1.12914
Annona muricata - Sida rhombifolia	* -1.278	1.12914
Annona muricata - Solanum heterophylla	-0.642	1.12914
Annona muricata - Spondias mombin	-0.432	1.12914
Annona muricata - Tabeubeia rosea	0.304	1.12914
Annona muricata - Terminalia catappa	0.13	1.12914
Capsicum annuum - Cecropia peltata	-0.728	1.12914
Capsicum annuum - Citrus aurantifolium	-0.728	1.12914
Capsicum annuum - Citrus limonium	0.002	1.12914
Capsicum annuum - Cocos nucifera	0.0	1.12914
Capsicum annuum - Crescentia cujete	-0.912	1.12914
Capsicum annuum - Cyperus sculentus	-0.702	1.12914
Capsicum annuum - Gliricidia sepium	0.328	1.12914
Capsicum annuum - Inga edulis	-0.054	1.12914
Capsicum annuum - Manguifera indica	-0.22	1.12914
Capsicum annuum - Miconia jucunda	* -2.28	1.12914
Capsicum annuum - Miconia lacera	-0.514	1.12914
Capsicum annuum - Miconia Maxima	-0.214	1.12914
Capsicum annuum - Morinda citrifolia	-0.174	1.12914
Capsicum annuum - Musa paradisiaca	0.344	1.12914
Capsicum annuum - Psidium guajava	0.146	1.12914
Capsicum annuum - Pteris longifolia	* -2.164	1.12914
Capsicum annuum - Schinus terebinthifolius	-0.022	1.12914
Capsicum annuum - Schoenoplectus californicus	0.28	1.12914
Capsicum annuum - Senna alata	-0.814	1.12914
Capsicum annuum - Sida rhombifolia	* -1.38	1.12914
Capsicum annuum - Solanum heterophylla	-0.744	1.12914
Capsicum annuum - Spondias mombin	-0.534	1.12914
Capsicum annuum - Tabeubeia rosea	0.202	1.12914
Capsicum annuum - Terminalia catappa	0.028	1.12914
Cecropia peltata - Citrus aurantifolium	0.0	1.12914
Cecropia peltata - Citrus limonium	0.73	1.12914
Cecropia peltata - Cocos nucifera	0.728	1.12914
Cecropia peltata - Crescentia cujete	-0.184	1.12914
Cecropia peltata - Cyperus sculentus	0.026	1.12914
Cecropia peltata - Gliricidia sepium	1.056	1.12914
Cecropia peltata - Inga edulis	0.674	1.12914
Cecropia peltata - Manguifera indica	0.508	1.12914
Cecropia peltata - Miconia jucunda	* -1.552	1.12914
Cecropia peltata - Miconia lacera	0.214	1.12914
Cecropia peltata - Miconia Maxima	0.514	1.12914
Cecropia peltata - Morinda citrifolia	0.554	1.12914
Cecropia peltata - Musa paradisiaca	1.072	1.12914
Cecropia peltata - Psidium guajava	0.874	1.12914
Cecropia peltata - Pteris longifolia	* -1.436	1.12914
Cecropia peltata - Schinus terebinthifolius	0.706	1.12914
Cecropia peltata - Schoenoplectus californicus	1.008	1.12914
Cecropia peltata - Senna alata	-0.086	1.12914
Cecropia peltata - Sida rhombifolia	-0.652	1.12914
Cecropia peltata - Solanum heterophylla	-0.016	1.12914
Cecropia peltata - Spondias mombin	0.194	1.12914
Cecropia peltata - Tabeubeia rosea	0.93	1.12914
Cecropia peltata - Terminalia catappa	0.756	1.12914
Citrus aurantifolium - Citrus limonium	0.73	1.12914
Citrus aurantifolium - Cocos nucifera	0.728	1.12914
Citrus aurantifolium - Crescentia cujete	-0.184	1.12914
Citrus aurantifolium - Cyperus sculentus	0.026	1.12914

Citrus aurantifolium - Gliricidia sepium	1.056	1.12914
Citrus aurantifolium - Inga edulis	0.674	1.12914
Citrus aurantifolium - Manguifera indica	0.508	1.12914
Citrus aurantifolium - Miconia jucunda	* -1.552	1.12914
Citrus aurantifolium - Miconia lacera	0.214	1.12914
Citrus aurantifolium - Miconia Maxima	0.514	1.12914
Citrus aurantifolium - Morinda citrifolia	0.554	1.12914
Citrus aurantifolium - Musa paradisiaca	1.072	1.12914
Citrus aurantifolium - Psidium guajava	0.874	1.12914
Citrus aurantifolium - Pteris longifolia	* -1.436	1.12914
Citrus aurantifolium - Schinus terebinthifolius	0.706	1.12914
Citrus aurantifolium - Schoenoplectus californicus	1.008	1.12914
Citrus aurantifolium - Senna alata	-0.086	1.12914
Citrus aurantifolium - Sida rhombifolia	-0.652	1.12914
Citrus aurantifolium - Solanum heterophylla	-0.016	1.12914
Citrus aurantifolium - Spondias mombin	0.194	1.12914
Citrus aurantifolium - Tabebuia rosea	0.93	1.12914
Citrus aurantifolium - Terminalia catappa	0.756	1.12914
Citrus limonium - Cocos nucifera	-0.002	1.12914
Citrus limonium - Crescentia cujete	-0.914	1.12914
Citrus limonium - Cyperus sculentus	-0.704	1.12914
Citrus limonium - Gliricidia sepium	0.326	1.12914
Citrus limonium - Inga edulis	-0.056	1.12914
Citrus limonium - Manguifera indica	-0.222	1.12914
Citrus limonium - Miconia jucunda	* -2.282	1.12914
Citrus limonium - Miconia lacera	-0.516	1.12914
Citrus limonium - Miconia Maxima	-0.216	1.12914
Citrus limonium - Morinda citrifolia	-0.176	1.12914
Citrus limonium - Musa paradisiaca	0.342	1.12914
Citrus limonium - Psidium guajava	0.144	1.12914
Citrus limonium - Pteris longifolia	* -2.166	1.12914
Citrus limonium - Schinus terebinthifolius	-0.024	1.12914
Citrus limonium - Schoenoplectus californicus	0.278	1.12914
Citrus limonium - Senna alata	-0.816	1.12914
Citrus limonium - Sida rhombifolia	* -1.382	1.12914
Citrus limonium - Solanum heterophylla	-0.746	1.12914
Citrus limonium - Spondias mombin	-0.536	1.12914
Citrus limonium - Tabebuia rosea	0.2	1.12914
Citrus limonium - Terminalia catappa	0.026	1.12914
Cocos nucifera - Crescentia cujete	-0.912	1.12914
Cocos nucifera - Cyperus sculentus	-0.702	1.12914
Cocos nucifera - Gliricidia sepium	0.328	1.12914
Cocos nucifera - Inga edulis	-0.054	1.12914
Cocos nucifera - Manguifera indica	-0.22	1.12914
Cocos nucifera - Miconia jucunda	* -2.28	1.12914
Cocos nucifera - Miconia lacera	-0.514	1.12914
Cocos nucifera - Miconia Maxima	-0.214	1.12914
Cocos nucifera - Morinda citrifolia	-0.174	1.12914
Cocos nucifera - Musa paradisiaca	0.344	1.12914
Cocos nucifera - Psidium guajava	0.146	1.12914
Cocos nucifera - Pteris longifolia	* -2.164	1.12914
Cocos nucifera - Schinus terebinthifolius	-0.022	1.12914
Cocos nucifera - Schoenoplectus californicus	0.28	1.12914
Cocos nucifera - Senna alata	-0.814	1.12914
Cocos nucifera - Sida rhombifolia	* -1.38	1.12914
Cocos nucifera - Solanum heterophylla	-0.744	1.12914
Cocos nucifera - Spondias mombin	-0.534	1.12914
Cocos nucifera - Tabebuia rosea	0.202	1.12914
Cocos nucifera - Terminalia catappa	0.028	1.12914

Crescentia cujete - Cyperus sculentus		0.21	1.12914
Crescentia cujete - Gliricidia sepium	*	1.24	1.12914
Crescentia cujete - Inga edulis		0.858	1.12914
Crescentia cujete - Manguifera indica		0.692	1.12914
Crescentia cujete - Miconia jucunda	*	-1.368	1.12914
Crescentia cujete - Miconia lacera		0.398	1.12914
Crescentia cujete - Miconia Maxima		0.698	1.12914
Crescentia cujete - Morinda citrifolia		0.738	1.12914
Crescentia cujete - Musa paradisiaca	*	1.256	1.12914
Crescentia cujete - Psidium guajava		1.058	1.12914
Crescentia cujete - Pteris longifolia	*	-1.252	1.12914
Crescentia cujete - Schinus terebinthifolius		0.89	1.12914
Crescentia cujete - Schoenoplectus californicus	*	1.192	1.12914
Crescentia cujete - Senna alata		0.098	1.12914
Crescentia cujete - Sida rhombifolia		-0.468	1.12914
Crescentia cujete - Solanum heterophylla		0.168	1.12914
Crescentia cujete - Spondias mombin		0.378	1.12914
Crescentia cujete - Tabeubeia rosea		1.114	1.12914
Crescentia cujete - Terminalia catappa		0.94	1.12914
Cyperus sculentus - Gliricidia sepium		1.03	1.12914
Cyperus sculentus - Inga edulis		0.648	1.12914
Cyperus sculentus - Manguifera indica		0.482	1.12914
Cyperus sculentus - Miconia jucunda	*	-1.578	1.12914
Cyperus sculentus - Miconia lacera		0.188	1.12914
Cyperus sculentus - Miconia Maxima		0.488	1.12914
Cyperus sculentus - Morinda citrifolia		0.528	1.12914
Cyperus sculentus - Musa paradisiaca		1.046	1.12914
Cyperus sculentus - Psidium guajava		0.848	1.12914
Cyperus sculentus - Pteris longifolia	*	-1.462	1.12914
Cyperus sculentus - Schinus terebinthifolius		0.68	1.12914
Cyperus sculentus - Schoenoplectus californicus		0.982	1.12914
Cyperus sculentus - Senna alata		-0.112	1.12914
Cyperus sculentus - Sida rhombifolia		-0.678	1.12914
Cyperus sculentus - Solanum heterophylla		-0.042	1.12914
Cyperus sculentus - Spondias mombin		0.168	1.12914
Cyperus sculentus - Tabeubeia rosea		0.904	1.12914
Cyperus sculentus - Terminalia catappa		0.73	1.12914
Gliricidia sepium - Inga edulis		-0.382	1.12914
Gliricidia sepium - Manguifera indica		-0.548	1.12914
Gliricidia sepium - Miconia jucunda	*	-2.608	1.12914
Gliricidia sepium - Miconia lacera		-0.842	1.12914
Gliricidia sepium - Miconia Maxima		-0.542	1.12914
Gliricidia sepium - Morinda citrifolia		-0.502	1.12914
Gliricidia sepium - Musa paradisiaca		0.016	1.12914
Gliricidia sepium - Psidium guajava		-0.182	1.12914
Gliricidia sepium - Pteris longifolia	*	-2.492	1.12914
Gliricidia sepium - Schinus terebinthifolius		-0.35	1.12914
Gliricidia sepium - Schoenoplectus californicus		-0.048	1.12914
Gliricidia sepium - Senna alata	*	-1.142	1.12914
Gliricidia sepium - Sida rhombifolia	*	-1.708	1.12914
Gliricidia sepium - Solanum heterophylla		-1.072	1.12914
Gliricidia sepium - Spondias mombin		-0.862	1.12914
Gliricidia sepium - Tabeubeia rosea		-0.126	1.12914
Gliricidia sepium - Terminalia catappa		-0.3	1.12914
Inga edulis - Manguifera indica		-0.166	1.12914
Inga edulis - Miconia jucunda	*	-2.226	1.12914
Inga edulis - Miconia lacera		-0.46	1.12914
Inga edulis - Miconia Maxima		-0.16	1.12914
Inga edulis - Morinda citrifolia		-0.12	1.12914

Inga edulis - Musa paradisiaca		0.398	1.12914
Inga edulis - Psidium guajava		0.2	1.12914
Inga edulis - Pteris longifolia	*	-2.11	1.12914
Inga edulis - Schinus terebinthifolius		0.032	1.12914
Inga edulis - Schoenoplectus californicus		0.334	1.12914
Inga edulis - Senna alata		-0.76	1.12914
Inga edulis - Sida rhombifolia	*	-1.326	1.12914
Inga edulis - Solanum heterophylla		-0.69	1.12914
Inga edulis - Spondias mombin		-0.48	1.12914
Inga edulis - Tabeubeia rosea		0.256	1.12914
Inga edulis - Terminalia catappa		0.082	1.12914
Manguifera indica - Miconia jucunda	*	-2.06	1.12914
Manguifera indica - Miconia lacera		-0.294	1.12914
Manguifera indica - Miconia Maxima		0.006	1.12914
Manguifera indica - Morinda citrifolia		0.046	1.12914
Manguifera indica - Musa paradisiaca		0.564	1.12914
Manguifera indica - Psidium guajava		0.366	1.12914
Manguifera indica - Pteris longifolia	*	-1.944	1.12914
Manguifera indica - Schinus terebinthifolius		0.198	1.12914
Manguifera indica - Schoenoplectus californicus		0.5	1.12914
Manguifera indica - Senna alata		-0.594	1.12914
Manguifera indica - Sida rhombifolia	*	-1.16	1.12914
Manguifera indica - Solanum heterophylla		-0.524	1.12914
Manguifera indica - Spondias mombin		-0.314	1.12914
Manguifera indica - Tabeubeia rosea		0.422	1.12914
Manguifera indica - Terminalia catappa		0.248	1.12914
Miconia jucunda - Miconia lacera	*	1.766	1.12914
Miconia jucunda - Miconia Maxima	*	2.066	1.12914
Miconia jucunda - Morinda citrifolia	*	2.106	1.12914
Miconia jucunda - Musa paradisiaca	*	2.624	1.12914
Miconia jucunda - Psidium guajava	*	2.426	1.12914
Miconia jucunda - Pteris longifolia		0.116	1.12914
Miconia jucunda - Schinus terebinthifolius	*	2.258	1.12914
Miconia jucunda - Schoenoplectus californicus	*	2.56	1.12914
Miconia jucunda - Senna alata	*	1.466	1.12914
Miconia jucunda - Sida rhombifolia		0.9	1.12914
Miconia jucunda - Solanum heterophylla	*	1.536	1.12914
Miconia jucunda - Spondias mombin	*	1.746	1.12914
Miconia jucunda - Tabeubeia rosea	*	2.482	1.12914
Miconia jucunda - Terminalia catappa	*	2.308	1.12914
Miconia lacera - Miconia Maxima		0.3	1.12914
Miconia lacera - Morinda citrifolia		0.34	1.12914
Miconia lacera - Musa paradisiaca		0.858	1.12914
Miconia lacera - Psidium guajava		0.66	1.12914
Miconia lacera - Pteris longifolia	*	-1.65	1.12914
Miconia lacera - Schinus terebinthifolius		0.492	1.12914
Miconia lacera - Schoenoplectus californicus		0.794	1.12914
Miconia lacera - Senna alata		-0.3	1.12914
Miconia lacera - Sida rhombifolia		-0.866	1.12914
Miconia lacera - Solanum heterophylla		-0.23	1.12914
Miconia lacera - Spondias mombin		-0.02	1.12914
Miconia lacera - Tabeubeia rosea		0.716	1.12914
Miconia lacera - Terminalia catappa		0.542	1.12914
Miconia Maxima - Morinda citrifolia		0.04	1.12914
Miconia Maxima - Musa paradisiaca		0.558	1.12914
Miconia Maxima - Psidium guajava		0.36	1.12914
Miconia Maxima - Pteris longifolia	*	-1.95	1.12914
Miconia Maxima - Schinus terebinthifolius		0.192	1.12914
Miconia Maxima - Schoenoplectus californicus		0.494	1.12914

Miconia Maxima - Senna alata		-0.6	1.12914
Miconia Maxima - Sida rhombifolia	*	-1.166	1.12914
Miconia Maxima - Solanum heterophylla		-0.53	1.12914
Miconia Maxima - Spondias mombin		-0.32	1.12914
Miconia Maxima - Tabeubeia rosea		0.416	1.12914
Miconia Maxima - Terminalia catappa		0.242	1.12914
Morinda citrifolia - Musa paradisiaca		0.518	1.12914
Morinda citrifolia - Psidium guajava		0.32	1.12914
Morinda citrifolia - Pteris longifolia	*	-1.99	1.12914
Morinda citrifolia - Schinus terebinthifolius		0.152	1.12914
Morinda citrifolia - Schoenoplectus californicus		0.454	1.12914
Morinda citrifolia - Senna alata		-0.64	1.12914
Morinda citrifolia - Sida rhombifolia	*	-1.206	1.12914
Morinda citrifolia - Solanum heterophylla		-0.57	1.12914
Morinda citrifolia - Spondias mombin		-0.36	1.12914
Morinda citrifolia - Tabeubeia rosea		0.376	1.12914
Morinda citrifolia - Terminalia catappa		0.202	1.12914
Musa paradisiaca - Psidium guajava		-0.198	1.12914
Musa paradisiaca - Pteris longifolia	*	-2.508	1.12914
Musa paradisiaca - Schinus terebinthifolius		-0.366	1.12914
Musa paradisiaca - Schoenoplectus californicus		-0.064	1.12914
Musa paradisiaca - Senna alata	*	-1.158	1.12914
Musa paradisiaca - Sida rhombifolia	*	-1.724	1.12914
Musa paradisiaca - Solanum heterophylla		-1.088	1.12914
Musa paradisiaca - Spondias mombin		-0.878	1.12914
Musa paradisiaca - Tabeubeia rosea		-0.142	1.12914
Musa paradisiaca - Terminalia catappa		-0.316	1.12914
Psidium guajava - Pteris longifolia	*	-2.31	1.12914
Psidium guajava - Schinus terebinthifolius		-0.168	1.12914
Psidium guajava - Schoenoplectus californicus		0.134	1.12914
Psidium guajava - Senna alata		-0.96	1.12914
Psidium guajava - Sida rhombifolia	*	-1.526	1.12914
Psidium guajava - Solanum heterophylla		-0.89	1.12914
Psidium guajava - Spondias mombin		-0.68	1.12914
Psidium guajava - Tabeubeia rosea		0.056	1.12914
Psidium guajava - Terminalia catappa		-0.118	1.12914
Pteris longifolia - Schinus terebinthifolius	*	2.142	1.12914
Pteris longifolia - Schoenoplectus californicus	*	2.444	1.12914
Pteris longifolia - Senna alata	*	1.35	1.12914
Pteris longifolia - Sida rhombifolia		0.784	1.12914
Pteris longifolia - Solanum heterophylla	*	1.42	1.12914
Pteris longifolia - Spondias mombin	*	1.63	1.12914
Pteris longifolia - Tabeubeia rosea	*	2.366	1.12914
Pteris longifolia - Terminalia catappa	*	2.192	1.12914
Schinus terebinthifolius - Schoenoplectus californicus		0.302	1.12914
Schinus terebinthifolius - Senna alata		-0.792	1.12914
Schinus terebinthifolius - Sida rhombifolia	*	-1.358	1.12914
Schinus terebinthifolius - Solanum heterophylla		-0.722	1.12914
Schinus terebinthifolius - Spondias mombin		-0.512	1.12914
Schinus terebinthifolius - Tabeubeia rosea		0.224	1.12914
Schinus terebinthifolius - Terminalia catappa		0.05	1.12914
Schoenoplectus californicus - Senna alata		-1.094	1.12914
Schoenoplectus californicus - Sida rhombifolia	*	-1.66	1.12914
Schoenoplectus californicus - Solanum heterophylla		-1.024	1.12914
Schoenoplectus californicus - Spondias mombin		-0.814	1.12914
Schoenoplectus californicus - Tabeubeia rosea		-0.078	1.12914
Schoenoplectus californicus - Terminalia catappa		-0.252	1.12914
Senna alata - Sida rhombifolia		-0.566	1.12914
Senna alata - Solanum heterophylla		0.07	1.12914

Senna alata - Spondias mombin	0.28	1.12914
Senna alata - Tabeubeia rosea	1.016	1.12914
Senna alata - Terminalia catappa	0.842	1.12914
Sida rhombifolia - Solanum heterophylla	0.636	1.12914
Sida rhombifolia - Spondias mombin	0.846	1.12914
Sida rhombifolia - Tabeubeia rosea	* 1.582	1.12914
Sida rhombifolia - Terminalia catappa	* 1.408	1.12914
Solanum heterophylla - Spondias mombin	0.21	1.12914
Solanum heterophylla - Tabeubeia rosea	0.946	1.12914
Solanum heterophylla - Terminalia catappa	0.772	1.12914
Spondias mombin - Tabeubeia rosea	0.736	1.12914
Spondias mombin - Terminalia catappa	0.562	1.12914
Tabeubeia rosea - Terminalia catappa	-0.174	1.12914

\* indica una diferencia significativa.

## M2 Tabla ANOVA de Fitoremediación de Hg de las 27 especies evaluadas

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	487243.	26	18740.1	2.37	0.0011
Intra grupos	854824.	108	7915.04		
Total (Corr.)	1.34207E6	134			

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>± Límites</i>
Adiantum sp - Annona muricata	*	-212.54	111.532
Adiantum sp - Capsicum annuum	*	-222.082	111.532
Adiantum sp - Cecropia peltata		-79.758	111.532
Adiantum sp - Citrus aurantifolium	*	-116.992	111.532
Adiantum sp - Citrus limonium	*	-221.406	111.532
Adiantum sp - Cocos nucifera	*	-229.51	111.532
Adiantum sp - Crescentia cujete	*	-211.934	111.532
Adiantum sp - Cyperus sculentus	*	-127.076	111.532
Adiantum sp - Gliricidia sepium	*	-230.202	111.532
Adiantum sp - Inga edulis	*	-219.114	111.532
Adiantum sp - Manguifera indica	*	-158.482	111.532
Adiantum sp - Miconia jucunda		-110.418	111.532
Adiantum sp - Miconia lacera	*	-205.61	111.532
Adiantum sp - Miconia Maxima	*	-213.04	111.532
Adiantum sp - Morinda citrifolia	*	-195.622	111.532
Adiantum sp - Musa paradisiaca	*	-216.738	111.532
Adiantum sp - Psidium guajava	*	-187.556	111.532
Adiantum sp - Pteris longifolia		-80.906	111.532
Adiantum sp - Schinus terebinthifolius	*	-129.828	111.532
Adiantum sp - Schoenoplectus californicus	*	-220.694	111.532
Adiantum sp - Senna alata	*	-182.652	111.532
Adiantum sp - Sida rhombifolia		-80.484	111.532
Adiantum sp - Solanum heterophylla		-102.498	111.532
Adiantum sp - Spondias mombin	*	-162.472	111.532
Adiantum sp - Tabeubeia rosea	*	-219.214	111.532
Adiantum sp - Terminalia catappa	*	-182.44	111.532
Annona muricata - Capsicum annuum		-9.542	111.532
Annona muricata - Cecropia peltata	*	132.782	111.532
Annona muricata - Citrus aurantifolium		95.548	111.532
Annona muricata - Citrus limonium		-8.866	111.532
Annona muricata - Cocos nucifera		-16.97	111.532
Annona muricata - Crescentia cujete		0.606	111.532

Annona muricata - Cyperus sculentus	85.464	111.532
Annona muricata - Gliricidia sepium	-17.662	111.532
Annona muricata - Inga edulis	-6.574	111.532
Annona muricata - Manguifera indica	54.058	111.532
Annona muricata - Miconia jucunda	102.122	111.532
Annona muricata - Miconia lacera	6.93	111.532
Annona muricata - Miconia Maxima	-0.5	111.532
Annona muricata - Morinda citrifolia	16.918	111.532
Annona muricata - Musa paradisiaca	-4.198	111.532
Annona muricata - Psidium guajava	24.984	111.532
Annona muricata - Pteris longifolia	* 131.634	111.532
Annona muricata - Schinus terebinthifolius	82.712	111.532
Annona muricata - Schoenoplectus californicus	-8.154	111.532
Annona muricata - Senna alata	29.888	111.532
Annona muricata - Sida rhombifolia	* 132.056	111.532
Annona muricata - Solanum heterophylla	110.042	111.532
Annona muricata - Spondias mombin	50.068	111.532
Annona muricata - Tabeubeia rosea	-6.674	111.532
Annona muricata - Terminalia catappa	30.1	111.532
Capsicum annuum - Cecropia peltata	* 142.324	111.532
Capsicum annuum - Citrus aurantifolium	105.09	111.532
Capsicum annuum - Citrus limonium	0.676	111.532
Capsicum annuum - Cocos nucifera	-7.428	111.532
Capsicum annuum - Crescentia cujete	10.148	111.532
Capsicum annuum - Cyperus sculentus	95.006	111.532
Capsicum annuum - Gliricidia sepium	-8.12	111.532
Capsicum annuum - Inga edulis	2.968	111.532
Capsicum annuum - Manguifera indica	63.6	111.532
Capsicum annuum - Miconia jucunda	* 111.664	111.532
Capsicum annuum - Miconia lacera	16.472	111.532
Capsicum annuum - Miconia Maxima	9.042	111.532
Capsicum annuum - Morinda citrifolia	26.46	111.532
Capsicum annuum - Musa paradisiaca	5.344	111.532
Capsicum annuum - Psidium guajava	34.526	111.532
Capsicum annuum - Pteris longifolia	* 141.176	111.532
Capsicum annuum - Schinus terebinthifolius	92.254	111.532
Capsicum annuum - Schoenoplectus californicus	1.388	111.532
Capsicum annuum - Senna alata	39.43	111.532
Capsicum annuum - Sida rhombifolia	* 141.598	111.532
Capsicum annuum - Solanum heterophylla	* 119.584	111.532
Capsicum annuum - Spondias mombin	59.61	111.532
Capsicum annuum - Tabeubeia rosea	2.868	111.532
Capsicum annuum - Terminalia catappa	39.642	111.532
Cecropia peltata - Citrus aurantifolium	-37.234	111.532
Cecropia peltata - Citrus limonium	* -141.648	111.532
Cecropia peltata - Cocos nucifera	* -149.752	111.532
Cecropia peltata - Crescentia cujete	* -132.176	111.532
Cecropia peltata - Cyperus sculentus	-47.318	111.532
Cecropia peltata - Gliricidia sepium	* -150.444	111.532
Cecropia peltata - Inga edulis	* -139.356	111.532
Cecropia peltata - Manguifera indica	-78.724	111.532
Cecropia peltata - Miconia jucunda	-30.66	111.532
Cecropia peltata - Miconia lacera	* -125.852	111.532
Cecropia peltata - Miconia Maxima	* -133.282	111.532
Cecropia peltata - Morinda citrifolia	* -115.864	111.532
Cecropia peltata - Musa paradisiaca	* -136.98	111.532
Cecropia peltata - Psidium guajava	-107.798	111.532
Cecropia peltata - Pteris longifolia	-1.148	111.532
Cecropia peltata - Schinus terebinthifolius	-50.07	111.532

Cecropia peltata - Schoenoplectus californicus	*	-140.936	111.532
Cecropia peltata - Senna alata		-102.894	111.532
Cecropia peltata - Sida rhombifolia		-0.726	111.532
Cecropia peltata - Solanum heterophylla		-22.74	111.532
Cecropia peltata - Spondias mombin		-82.714	111.532
Cecropia peltata - Tabeubeia rosea	*	-139.456	111.532
Cecropia peltata - Terminalia catappa		-102.682	111.532
Citrus aurantifolium - Citrus limonium		-104.414	111.532
Citrus aurantifolium - Cocos nucifera	*	-112.518	111.532
Citrus aurantifolium - Crescentia cujete		-94.942	111.532
Citrus aurantifolium - Cyperus sculentus		-10.084	111.532
Citrus aurantifolium - Gliricidia sepium	*	-113.21	111.532
Citrus aurantifolium - Inga edulis		-102.122	111.532
Citrus aurantifolium - Manguifera indica		-41.49	111.532
Citrus aurantifolium - Miconia jucunda		6.574	111.532
Citrus aurantifolium - Miconia lacera		-88.618	111.532
Citrus aurantifolium - Miconia Maxima		-96.048	111.532
Citrus aurantifolium - Morinda citrifolia		-78.63	111.532
Citrus aurantifolium - Musa paradisiaca		-99.746	111.532
Citrus aurantifolium - Psidium guajava		-70.564	111.532
Citrus aurantifolium - Pteris longifolia		36.086	111.532
Citrus aurantifolium - Schinus terebinthifolius		-12.836	111.532
Citrus aurantifolium - Schoenoplectus californicus		-103.702	111.532
Citrus aurantifolium - Senna alata		-65.66	111.532
Citrus aurantifolium - Sida rhombifolia		36.508	111.532
Citrus aurantifolium - Solanum heterophylla		14.494	111.532
Citrus aurantifolium - Spondias mombin		-45.48	111.532
Citrus aurantifolium - Tabeubeia rosea		-102.222	111.532
Citrus aurantifolium - Terminalia catappa		-65.448	111.532
Citrus limonium - Cocos nucifera		-8.104	111.532
Citrus limonium - Crescentia cujete		9.472	111.532
Citrus limonium - Cyperus sculentus		94.33	111.532
Citrus limonium - Gliricidia sepium		-8.796	111.532
Citrus limonium - Inga edulis		2.292	111.532
Citrus limonium - Manguifera indica		62.924	111.532
Citrus limonium - Miconia jucunda		110.988	111.532
Citrus limonium - Miconia lacera		15.796	111.532
Citrus limonium - Miconia Maxima		8.366	111.532
Citrus limonium - Morinda citrifolia		25.784	111.532
Citrus limonium - Musa paradisiaca		4.668	111.532
Citrus limonium - Psidium guajava		33.85	111.532
Citrus limonium - Pteris longifolia	*	140.5	111.532
Citrus limonium - Schinus terebinthifolius		91.578	111.532
Citrus limonium - Schoenoplectus californicus		0.712	111.532
Citrus limonium - Senna alata		38.754	111.532
Citrus limonium - Sida rhombifolia	*	140.922	111.532
Citrus limonium - Solanum heterophylla	*	118.908	111.532
Citrus limonium - Spondias mombin		58.934	111.532
Citrus limonium - Tabeubeia rosea		2.192	111.532
Citrus limonium - Terminalia catappa		38.966	111.532
Cocos nucifera - Crescentia cujete		17.576	111.532
Cocos nucifera - Cyperus sculentus		102.434	111.532
Cocos nucifera - Gliricidia sepium		-0.692	111.532
Cocos nucifera - Inga edulis		10.396	111.532
Cocos nucifera - Manguifera indica		71.028	111.532
Cocos nucifera - Miconia jucunda	*	119.092	111.532
Cocos nucifera - Miconia lacera		23.9	111.532
Cocos nucifera - Miconia Maxima		16.47	111.532
Cocos nucifera - Morinda citrifolia		33.888	111.532

Cocos nucifera - Musa paradisiaca		12.772	111.532
Cocos nucifera - Psidium guajava		41.954	111.532
Cocos nucifera - Pteris longifolia	*	148.604	111.532
Cocos nucifera - Schinus terebinthifolius		99.682	111.532
Cocos nucifera - Schoenoplectus californicus		8.816	111.532
Cocos nucifera - Senna alata		46.858	111.532
Cocos nucifera - Sida rhombifolia	*	149.026	111.532
Cocos nucifera - Solanum heterophylla	*	127.012	111.532
Cocos nucifera - Spondias mombin		67.038	111.532
Cocos nucifera - Tabebuia rosea		10.296	111.532
Cocos nucifera - Terminalia catappa		47.07	111.532
Crescentia cujete - Cyperus sculentus		84.858	111.532
Crescentia cujete - Gliricidia sepium		-18.268	111.532
Crescentia cujete - Inga edulis		-7.18	111.532
Crescentia cujete - Manguifera indica		53.452	111.532
Crescentia cujete - Miconia jucunda		101.516	111.532
Crescentia cujete - Miconia lacera		6.324	111.532
Crescentia cujete - Miconia Maxima		-1.106	111.532
Crescentia cujete - Morinda citrifolia		16.312	111.532
Crescentia cujete - Musa paradisiaca		-4.804	111.532
Crescentia cujete - Psidium guajava		24.378	111.532
Crescentia cujete - Pteris longifolia	*	131.028	111.532
Crescentia cujete - Schinus terebinthifolius		82.106	111.532
Crescentia cujete - Schoenoplectus californicus		-8.76	111.532
Crescentia cujete - Senna alata		29.282	111.532
Crescentia cujete - Sida rhombifolia	*	131.45	111.532
Crescentia cujete - Solanum heterophylla		109.436	111.532
Crescentia cujete - Spondias mombin		49.462	111.532
Crescentia cujete - Tabebuia rosea		-7.28	111.532
Crescentia cujete - Terminalia catappa		29.494	111.532
Cyperus sculentus - Gliricidia sepium		-103.126	111.532
Cyperus sculentus - Inga edulis		-92.038	111.532
Cyperus sculentus - Manguifera indica		-31.406	111.532
Cyperus sculentus - Miconia jucunda		16.658	111.532
Cyperus sculentus - Miconia lacera		-78.534	111.532
Cyperus sculentus - Miconia Maxima		-85.964	111.532
Cyperus sculentus - Morinda citrifolia		-68.546	111.532
Cyperus sculentus - Musa paradisiaca		-89.662	111.532
Cyperus sculentus - Psidium guajava		-60.48	111.532
Cyperus sculentus - Pteris longifolia		46.17	111.532
Cyperus sculentus - Schinus terebinthifolius		-2.752	111.532
Cyperus sculentus - Schoenoplectus californicus		-93.618	111.532
Cyperus sculentus - Senna alata		-55.576	111.532
Cyperus sculentus - Sida rhombifolia		46.592	111.532
Cyperus sculentus - Solanum heterophylla		24.578	111.532
Cyperus sculentus - Spondias mombin		-35.396	111.532
Cyperus sculentus - Tabebuia rosea		-92.138	111.532
Cyperus sculentus - Terminalia catappa		-55.364	111.532
Gliricidia sepium - Inga edulis		11.088	111.532
Gliricidia sepium - Manguifera indica		71.72	111.532
Gliricidia sepium - Miconia jucunda	*	119.784	111.532
Gliricidia sepium - Miconia lacera		24.592	111.532
Gliricidia sepium - Miconia Maxima		17.162	111.532
Gliricidia sepium - Morinda citrifolia		34.58	111.532
Gliricidia sepium - Musa paradisiaca		13.464	111.532
Gliricidia sepium - Psidium guajava		42.646	111.532
Gliricidia sepium - Pteris longifolia	*	149.296	111.532
Gliricidia sepium - Schinus terebinthifolius		100.374	111.532
Gliricidia sepium - Schoenoplectus californicus		9.508	111.532

Gliricidia sepium - Senna alata		47.55	111.532
Gliricidia sepium - Sida rhombifolia	*	149.718	111.532
Gliricidia sepium - Solanum heterophylla	*	127.704	111.532
Gliricidia sepium - Spondias mombin		67.73	111.532
Gliricidia sepium - Tabebuia rosea		10.988	111.532
Gliricidia sepium - Terminalia catappa		47.762	111.532
Inga edulis - Manguifera indica		60.632	111.532
Inga edulis - Miconia jucunda		108.696	111.532
Inga edulis - Miconia lacera		13.504	111.532
Inga edulis - Miconia Maxima		6.074	111.532
Inga edulis - Morinda citrifolia		23.492	111.532
Inga edulis - Musa paradisiaca		2.376	111.532
Inga edulis - Psidium guajava		31.558	111.532
Inga edulis - Pteris longifolia	*	138.208	111.532
Inga edulis - Schinus terebinthifolius		89.286	111.532
Inga edulis - Schoenoplectus californicus		-1.58	111.532
Inga edulis - Senna alata		36.462	111.532
Inga edulis - Sida rhombifolia	*	138.63	111.532
Inga edulis - Solanum heterophylla	*	116.616	111.532
Inga edulis - Spondias mombin		56.642	111.532
Inga edulis - Tabebuia rosea		-0.1	111.532
Inga edulis - Terminalia catappa		36.674	111.532
Manguifera indica - Miconia jucunda		48.064	111.532
Manguifera indica - Miconia lacera		-47.128	111.532
Manguifera indica - Miconia Maxima		-54.558	111.532
Manguifera indica - Morinda citrifolia		-37.14	111.532
Manguifera indica - Musa paradisiaca		-58.256	111.532
Manguifera indica - Psidium guajava		-29.074	111.532
Manguifera indica - Pteris longifolia		77.576	111.532
Manguifera indica - Schinus terebinthifolius		28.654	111.532
Manguifera indica - Schoenoplectus californicus		-62.212	111.532
Manguifera indica - Senna alata		-24.17	111.532
Manguifera indica - Sida rhombifolia		77.998	111.532
Manguifera indica - Solanum heterophylla		55.984	111.532
Manguifera indica - Spondias mombin		-3.99	111.532
Manguifera indica - Tabebuia rosea		-60.732	111.532
Manguifera indica - Terminalia catappa		-23.958	111.532
Miconia jucunda - Miconia lacera		-95.192	111.532
Miconia jucunda - Miconia Maxima		-102.622	111.532
Miconia jucunda - Morinda citrifolia		-85.204	111.532
Miconia jucunda - Musa paradisiaca		-106.32	111.532
Miconia jucunda - Psidium guajava		-77.138	111.532
Miconia jucunda - Pteris longifolia		29.512	111.532
Miconia jucunda - Schinus terebinthifolius		-19.41	111.532
Miconia jucunda - Schoenoplectus californicus		-110.276	111.532
Miconia jucunda - Senna alata		-72.234	111.532
Miconia jucunda - Sida rhombifolia		29.934	111.532
Miconia jucunda - Solanum heterophylla		7.92	111.532
Miconia jucunda - Spondias mombin		-52.054	111.532
Miconia jucunda - Tabebuia rosea		-108.796	111.532
Miconia jucunda - Terminalia catappa		-72.022	111.532
Miconia lacera - Miconia Maxima		-7.43	111.532
Miconia lacera - Morinda citrifolia		9.988	111.532
Miconia lacera - Musa paradisiaca		-11.128	111.532
Miconia lacera - Psidium guajava		18.054	111.532
Miconia lacera - Pteris longifolia	*	124.704	111.532
Miconia lacera - Schinus terebinthifolius		75.782	111.532
Miconia lacera - Schoenoplectus californicus		-15.084	111.532
Miconia lacera - Senna alata		22.958	111.532

Miconia lacera - Sida rhombifolia	*	125.126	111.532
Miconia lacera - Solanum heterophylla		103.112	111.532
Miconia lacera - Spondias mombin		43.138	111.532
Miconia lacera - Tabeubeia rosea		-13.604	111.532
Miconia lacera - Terminalia catappa		23.17	111.532
Miconia Maxima - Morinda citrifolia		17.418	111.532
Miconia Maxima - Musa paradisiaca		-3.698	111.532
Miconia Maxima - Psidium guajava		25.484	111.532
Miconia Maxima - Pteris longifolia	*	132.134	111.532
Miconia Maxima - Schinus terebinthifolius		83.212	111.532
Miconia Maxima - Schoenoplectus californicus		-7.654	111.532
Miconia Maxima - Senna alata		30.388	111.532
Miconia Maxima - Sida rhombifolia	*	132.556	111.532
Miconia Maxima - Solanum heterophylla		110.542	111.532
Miconia Maxima - Spondias mombin		50.568	111.532
Miconia Maxima - Tabeubeia rosea		-6.174	111.532
Miconia Maxima - Terminalia catappa		30.6	111.532
Morinda citrifolia - Musa paradisiaca		-21.116	111.532
Morinda citrifolia - Psidium guajava		8.066	111.532
Morinda citrifolia - Pteris longifolia	*	114.716	111.532
Morinda citrifolia - Schinus terebinthifolius		65.794	111.532
Morinda citrifolia - Schoenoplectus californicus		-25.072	111.532
Morinda citrifolia - Senna alata		12.97	111.532
Morinda citrifolia - Sida rhombifolia	*	115.138	111.532
Morinda citrifolia - Solanum heterophylla		93.124	111.532
Morinda citrifolia - Spondias mombin		33.15	111.532
Morinda citrifolia - Tabeubeia rosea		-23.592	111.532
Morinda citrifolia - Terminalia catappa		13.182	111.532
Musa paradisiaca - Psidium guajava		29.182	111.532
Musa paradisiaca - Pteris longifolia	*	135.832	111.532
Musa paradisiaca - Schinus terebinthifolius		86.91	111.532
Musa paradisiaca - Schoenoplectus californicus		-3.956	111.532
Musa paradisiaca - Senna alata		34.086	111.532
Musa paradisiaca - Sida rhombifolia	*	136.254	111.532
Musa paradisiaca - Solanum heterophylla	*	114.24	111.532
Musa paradisiaca - Spondias mombin		54.266	111.532
Musa paradisiaca - Tabeubeia rosea		-2.476	111.532
Musa paradisiaca - Terminalia catappa		34.298	111.532
Psidium guajava - Pteris longifolia		106.65	111.532
Psidium guajava - Schinus terebinthifolius		57.728	111.532
Psidium guajava - Schoenoplectus californicus		-33.138	111.532
Psidium guajava - Senna alata		4.904	111.532
Psidium guajava - Sida rhombifolia		107.072	111.532
Psidium guajava - Solanum heterophylla		85.058	111.532
Psidium guajava - Spondias mombin		25.084	111.532
Psidium guajava - Tabeubeia rosea		-31.658	111.532
Psidium guajava - Terminalia catappa		5.116	111.532
Pteris longifolia - Schinus terebinthifolius		-48.922	111.532
Pteris longifolia - Schoenoplectus californicus	*	-139.788	111.532
Pteris longifolia - Senna alata		-101.746	111.532
Pteris longifolia - Sida rhombifolia		0.422	111.532
Pteris longifolia - Solanum heterophylla		-21.592	111.532
Pteris longifolia - Spondias mombin		-81.566	111.532
Pteris longifolia - Tabeubeia rosea	*	-138.308	111.532
Pteris longifolia - Terminalia catappa		-101.534	111.532
Schinus terebinthifolius - Schoenoplectus californicus		-90.866	111.532
Schinus terebinthifolius - Senna alata		-52.824	111.532
Schinus terebinthifolius - Sida rhombifolia		49.344	111.532
Schinus terebinthifolius - Solanum heterophylla		27.33	111.532

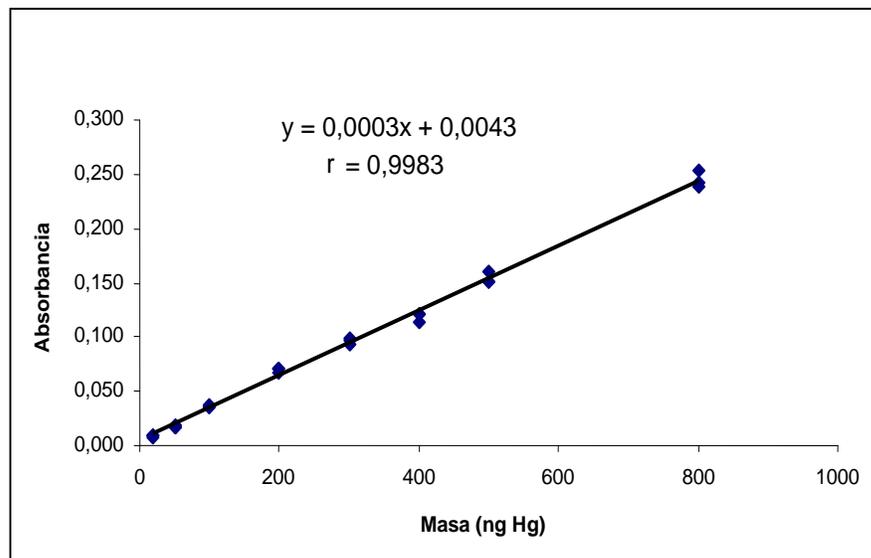
Schinus terebinthifolius - Spondias mombin	-32.644	111.532
Schinus terebinthifolius - Tabeubeia rosea	-89.386	111.532
Schinus terebinthifolius - Terminalia catappa	-52.612	111.532
Schoenoplectus californicus - Senna alata	38.042	111.532
Schoenoplectus californicus - Sida rhombifolia	* 140.21	111.532
Schoenoplectus californicus - Solanum heterophylla	* 118.196	111.532
Schoenoplectus californicus - Spondias mombin	58.222	111.532
Schoenoplectus californicus - Tabeubeia rosea	1.48	111.532
Schoenoplectus californicus - Terminalia catappa	38.254	111.532
Senna alata - Sida rhombifolia	102.168	111.532
Senna alata - Solanum heterophylla	80.154	111.532
Senna alata - Spondias mombin	20.18	111.532
Senna alata - Tabeubeia rosea	-36.562	111.532
Senna alata - Terminalia catappa	0.212	111.532
Sida rhombifolia - Solanum heterophylla	-22.014	111.532
Sida rhombifolia - Spondias mombin	-81.988	111.532
Sida rhombifolia - Tabeubeia rosea	* -138.73	111.532
Sida rhombifolia - Terminalia catappa	-101.956	111.532
Solanum heterophylla - Spondias mombin	-59.974	111.532
Solanum heterophylla - Tabeubeia rosea	* -116.716	111.532
Solanum heterophylla - Terminalia catappa	-79.942	111.532
Spondias mombin - Tabeubeia rosea	-56.742	111.532
Spondias mombin - Terminalia catappa	-19.968	111.532
Tabeubeia rosea - Terminalia catappa	36.774	111.532

\* indica una diferencia significativa

## ANEXO M. Determinación de parámetros analíticos en el control de calidad del método.

### Linealidad

La Figura muestra la curva de calibración instrumental obtenida en la determinación por triplicado de 7 soluciones patrones de mercurio no digeridos, para la determinación del contaminante en matrices ambientales, mostrando el intervalo lineal y el coeficiente de correlación obtenido.



Curva de calibración para las determinaciones de HgT en matrices ambientales.

La curva de calibración fue verificada periódicamente con los patrones, para establecer posibles desviaciones de la misma durante los procesos de medición.

### Exactitud

La siguiente tabla muestra los resultados de las determinaciones de HgT para los materiales certificados de referencia, lo cual evidencia la exactitud de los métodos utilizados.

**Tabla .** Evaluación de la exactitud con materiales certificados de referencia.

<b>Material Certificado</b>	<b>DORM - 2</b>	<b>CRM-008</b>	<b>IAEA- 407</b>	<b>IAEA - 405</b>
Matriz	M. Biológico	Sedimento	M. Biológico	Sedimento
Valor Certificado (µg/g )	4.64 ± 0.26	0.72 ± 0.03	0.22 ± 0.006	0.810 ± 0.004
Valor Encontrado (µg/g) (n= 6)	4.46 ± 0.25	0.74 ± 0.02	0.21 ± 0.010	0.788 ± 0.034
CV (%)	5.6	2.7	4.8	4.3
% Recuperación	96	103	95	97

En nuestro laboratorio hemos establecido porcentajes de recuperación de 100±15% y coeficientes de varianza hasta del 15% en matrices biológicas.

### **Precisión**

La Tabla también muestra los coeficientes de variación de las determinaciones de Hg en material certificado, lo que indica la precisión de los métodos utilizados.

El método utilizado fue preciso y exacto.

### **Límite de detección**

El valor obtenido del LD a partir de los 10 blancos de reactivos fue de 0.14 ng mL<sup>-1</sup>. La Tabla 12 muestra los LD del método (LDM) para las diferentes matrices.

**Tabla 12.** Límites de detección del método para las diferentes matrices.

<b>Matriz</b>	<b>Aforo (mL)</b>	<b>Peso de muestra</b>	<b>LDM</b>
Sedimentos	50	0.5 g	14 ng/g
M. Biológico	50	0.5 g	14 ng/g

La Tabla anterior muestra los LD (LDI: instrumental, LDM; del método) para las diferentes etapas en el proceso de extracción secuencial para un peso de muestra de 2 g.

Todas las determinaciones de HgT en las diferentes matrices evaluadas estuvieron por encima del límite de detección para cada método