



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE BIOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE**

**ANÁLISIS DE Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb Y Zn EN EL ANTIGUO  
BOTADERO DE “EL VALLE”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Bióloga

**AUTORAS:**

MARÍA PAOLA GRANIZO RIQUETTI  
ANDREA RENATA MÁRQUEZ ALVARADO

**DIRECTOR:**

BLGO. EDWIN ZÁRATE HUGO

CUENCA - ECUADOR

2007

## DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres Ma. Isabel y Bolívar; a mis hermanas Andrea y Ma. de Lourdes y a mi ñaño Hernán.

Ma. Paola

Este trabajo está dedicado a mis padres Hilda y Luis, mis mejores amigos; a mi hermano Paúl y a mis sobrinos Daniela y Santiago.

Renata

**A todas las personas que de una u otra manera han sido y son afectadas  
por la implantación de esta obra.**

Ma. Paola y Renata

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo incondicional de mi familia y de Renata, que a lo largo de todo este proceso han permanecido a mi lado, siempre prestos para ayudarme.

Ma. Paola.

Quiero agradecer a mi familia por su apoyo y comprensión a lo largo de este camino y de manera especial a Paola, por dar junto a mí este paso tan importante.

Renata

Agradecemos también a:

Nuestro director de tesis, Edwin, porque creyó en nosotras y nos alentó a seguir adelante.

La Empresa Municipal de Aseo de Cuenca en las personas de: César Arévalo, Fernando Muñoz, Neuman Cuenca y José Zambrano.

La Facultad de Ciencia y Tecnología en las personas de: Julio Ordóñez, Jaime Domínguez, Pablo Lloret, Danilo Minga, Piercósimo Tripaldi, Rafaella Ansaloni, Ximena Orellana, Diego Vidal, Cristian Morocho y Marisol Mosquera.

Nuestros amigos: Omar Delgado, Fernanda López, Saúl Duchitanga, Pedro Astudillo y Benjamín Ludeña.

A Paúl Márquez.

A toda la comunidad vecina del botadero.

Paola y Renata

## **RESUMEN**

La disposición de residuos urbanos representa en la actualidad una de las problemáticas de mayor interés desde el punto de vista ambiental. Los terrenos del antiguo botadero de Cuenca se han destinado para parque y son utilizados para cultivo y pastoreo. En este estudio se determinaron las concentraciones de metales pesados en ciertos elementos del ecosistema para conocer su posible incidencia en la red trófica y sus riesgos potenciales. Cd y Cr sobrepasan los límites permisibles en suelo, Hg y Cd en agua y lixiviados. También se encontró Cu y Zn en vegetales pero dentro de los límites permitidos.

## **ABSTRACT**

The urban waste disposal represents one of the major problems from the environmental point of view. The land of the old dump of Cuenca has been used for crops and grassing. In the present work heavy metal concentration on different environmental compounds was analyzed to know their possible incidence on food chain and their potential risk. Cd and Cr exceed the acceptable limits in soil, Hg and Cd on water and leachates. Cu and Zn were found on vegetables; in this case the concentrations did not exceeded the normal limits.

## INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria _____	ii
Agradecimientos _____	iii
Resumen _____	iv
Abstract _____	v
Índice de Contenidos _____	vi
Índice de Ilustraciones y Cuadros _____	viii
Introducción _____	1

### **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES**

1.1 Historia _____	6
1.1.1 Primera Fase _____	7
1.1.2 Segunda Fase _____	7
1.1.3 Tercera Fase _____	7

### **CAPÍTULO 2: ECOTOXICOLOGÍA**

2.1 Generalidades _____	10
2.2 Descripción de la ecotoxicología de cada metal _____	13

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

3.1 Descripción del Área de Estudio _____	17
3.1.1 Ubicación _____	17
3.1.2 Alrededores _____	17
3.1.3 Descripción de las zonas de muestreo _____	18
3.1.3.1 Zona 1 _____	18
3.1.3.2 Zona 2 _____	19
3.1.3.3 Zona 3 _____	19
3.1.3.4 Zonas Invasadas _____	20
3.1.4 Hidrología _____	21
3.1.4.1 Aguas Superficiales _____	21
3.1.4.2 Aguas Subterráneas _____	22
3.1.5 Meteorología _____	22
3.1.5.1 Condiciones Climáticas _____	22
3.2 Métodos _____	22
3.2.1 Agua _____	22
3.2.2 Suelo _____	23
3.2.3 Vegetales _____	25
3.2.4 Leche _____	26
3.2.5 Factor de Concentración _____	27
3.2.6 Análisis Social _____	27

### **CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Agua y Lixiviados _____	29
4.2 Suelo _____	32
4.3 Vegetales _____	34

4.4 Leche	37
4.5 Factor de concentración	37
4.6 Rutas medioambientales y predicción teórica del riesgo potencial	38
4.7 Análisis Social	40
4.7.1 Visión de la EMAC (Departamento Administrativo, Departamento de Trabajo Social y Departamento Técnico)	40
4.7.2 Visión de los habitantes (vecinos del botadero y miembros de las cooperativas de recicladores)	41

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	42
5.2 Recomendaciones	43

## BIBLIOGRAFIA

<b>ANEXOS</b>	50
<b>Anexo I</b>	50
Tabla 1: Curvas de calibración utilizadas en el primer muestreo	50
Tabla 2: Curvas de calibración utilizadas en el segundo muestreo	51
Tabla 3: Límites de detección utilizados para cada metal	52
<b>Anexo II</b>	53
Figura 1: Mapa Ubicación del Botadero del Valle con respecto a la ciudad de Cuenca	53
Figura 2: Área Estudio del Botadero	53
<b>Anexo III</b>	54
Tabla 1: Datos de los muestreos en estación seca (muestreo 1)	54
Tabla 2: Datos de los muestreos en estación lluviosa (muestreo 2)	55
<b>Anexo IV</b>	56
Formato de entrevista para los diferentes grupos	56
<b>Anexo V</b>	57
Tabla 1: Promedio de los muestreos realizados en las estaciones lluviosa y seca	57
Tabla 2: Datos de los muestreos en estación seca (muestreo 1)	58
Tabla 3: Datos de los muestreos en estación lluviosa (muestreo 2)	59
<b>Anexo VI</b>	60
Análisis de Suelo del Botadero	60
<b>Anexo VII</b>	61
Tabla 1: Metalófitas hiperacumuladoras descritas en la literatura para América Latina	61
Tabla 2: Especies metalófitas tolerantes empleadas en el Ecuador	62
<b>Anexo VIII</b>	63
Tabla 1: Lineamientos para un Plan Ambiental para el Antiguo Botadero de Basura de "El Valle"	63

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS

<b>Tabla 1.</b> Ecotoxicología del Cadmio _____	13
<b>Tabla 2.</b> Ecotoxicología del Cobre _____	13
<b>Tabla 3.</b> Ecotoxicología del Cromo _____	14
<b>Tabla 4.</b> Ecotoxicología del Mercurio _____	14
<b>Tabla 5.</b> Ecotoxicología del Níquel _____	15
<b>Tabla 6.</b> Ecotoxicología del Plomo _____	15
<b>Tabla 7.</b> Ecotoxicología del Zinc _____	15
<b>Tabla 8.</b> Promedio de concentración de metales en los dos muestras de agua _____	29
<b>Tabla 9.</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce _____	30
<b>Tabla 10.</b> Límites máximos permisibles para Aguas Residuales según la Norma Oficial Mexicana _____	30
<b>Tabla 11.</b> Comparación de las concentraciones de metales en lixiviados entre los datos del año 2001 y los del estudio actual _____	31
<b>Tabla 12.</b> Valores medios de contenidos de lixiviados de diversos rellenos en América Latina y el Caribe _____	31
<b>Tabla 13.</b> Resultados del análisis de metales pesados en el suelo _____	33
<b>Tabla 14.</b> Criterios de Calidad del Suelo según el Ministerio del Ambiente _____	33
<b>Tabla 15.</b> Resultados de metales pesados encontrados en los diferentes vegetales analizados _____	35
<b>Tabla 16.</b> Factor de Concentración de Cu y Zn que pasa del suelo a los vegetales _____	37
<b>Figura 1.</b> Viviendas en los bordes del botadero _____	17
<b>Figura 2.</b> Zonas de muestreo _____	18
<b>Figura 3.</b> Zona 1 del botadero destinada a recreación _____	18
<b>Figura 4.</b> Zona 2 del botadero que recibió la mayor cantidad de basura _____	19
<b>Figura 5.</b> Operación en las composteras _____	19
<b>Figura 6.</b> Plantación de eucaliptos donde recirculan los lixiviados _____	20
<b>Figura 7.</b> Tanque de lixiviados _____	20
<b>Figura 8.</b> Cultivos y viviendas en la zona invadida _____	21
<b>Figura 9.</b> Submuestra de suelo _____	24



María Paola Granizo Riquetti  
Andrea Renata Márquez Alvarado  
Trabajo de Graduación  
Blgo. Edwin Zárate Hugo  
Junio de 2007

## **ANÁLISIS DE Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb Y Zn EN EL ANTIGUO BOTADERO DE “EL VALLE”**

### **INTRODUCCIÓN**

A lo largo de la historia, el primer problema de los residuos sólidos ha sido su eliminación, pues su presencia es más evidente que otro tipo de desechos y su proximidad resulta molesta. La sociedad solucionó este problema quitándolo de la vista, arrojándolo a las afueras de las ciudades, cauces de los ríos o en el mar, u ocultándolo mediante enterramiento. El problema se hace más grande debido al crecimiento acelerado de la población en los últimos años y el proceso de industrialización, que han aumentado de manera significativa la generación de residuos (Cantanhede, A., 2000; Cantanhede, A., *sf*).

El problema del manejo de residuos sólidos domiciliarios está aumentando considerablemente, debido principalmente, al crecimiento poblacional y a los incrementos de los niveles de consumo. El nivel de generación se ha duplicado en las dos últimas décadas, también ha variado su composición, disminuyendo la cantidad de materia orgánica y aumentando los componentes como vidrios y plásticos. Esto ha determinado que cada vez se requiera de nuevos y mayores espacios para ser destinados a rellenos sanitarios, lo que lleva asociado un creciente número de conflictos sociales al momento de decidir la ubicación de nuevos vertederos (CONAMA, 1997) por tener consecuencias medioambientales inmediatas a su entorno (Vadillo, *et al.*; 1988).

La debilidad en materia de servicios y sobre todo la falta de infraestructura para la correcta disposición de los residuos, se ha traducido en un deterioro generalizado del entorno ambiental tanto en localidades urbanas como en los asentamientos rurales; generando importantes efectos sobre la salud pública y

comprometiendo el bienestar de la comunidad (Cepis.ops-oms.org, 2002; Nicola, 1998).

El impacto de la generación y manejo de los residuos sólidos amenaza la sustentabilidad ambiental (Acurio, et. al. 1997). La amplitud y heterogeneidad de la problemática de residuos en las sociedades avanzadas aconseja una cuidadosa selección de las líneas estratégicas de una acción prioritaria. La cuestión requiere un enfoque integral, que considere e intente compatibilizar la protección del medio ambiente como planteamiento prioritario con los aspectos relacionados al desarrollo social, tecnológico y económico (Unizar.es; 2003; CONAMA, 1997).

El manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) en América Latina y el Caribe es complejo y ha evolucionado paralelamente a la urbanización, al crecimiento económico y a la industrialización. El problema de los RSM ha sido identificado desde hace varias décadas, especialmente en las áreas metropolitanas, y las soluciones parciales que hasta ahora se han logrado no abarcan a todos los países de la Región ni a la mayoría de las ciudades intermedias y menores, convirtiéndose en un tema político permanente que en la mayoría de casos genera conflictos sociales. El adecuado manejo de los servicios de recolección, transporte, tratamiento y disposición de los residuos sólidos sigue siendo un objetivo prioritario que debe ser complementado con programas de reducción de residuos generados y de reutilización y reciclaje de residuos desechados (Acurio, et al. 1997).

En el Ecuador, la disposición final de desechos constituye, junto con la disponibilidad de agua, el mayor problema medioambiental y social (Lloret com.per. 2005). Debido a la ausencia de políticas de manejo y tratamiento de desechos, se han destinado algunos lugares inapropiados para el depósito de todo tipo de basura.

Los botaderos en el Ecuador se localizan en las proximidades de zonas pobladas y su manejo es técnicamente deficiente, por lo que existe la posibilidad de que afecten a un número mayor de habitantes. Algunos

estudios consideran que están expuestas todas las personas que viven en un radio de 1,5 km alrededor de un basurero tóxico (Lybarger, 1993). En muchas poblaciones esta distancia se calcula solamente desde un enfoque estético, es decir, aquella necesaria para ocultar de la vista los residuos y que es insuficiente según las normas técnicas. Además, debería considerarse varios puntos como la circulación de los pobladores alrededor y a través de los botaderos, la frecuencia con la que van a depositar los residuos, el miembro de la familia encargado de esta labor, que suelen ser las mujeres y los niños, e incluso las condiciones atmosféricas como vientos y lluvias (Cepis.ops-oms.org, 2002).

En la ciudad de Cuenca, hace aproximadamente 30 años, se ubicó un botadero en la parroquia "El Valle". En el momento de su implantación no contó con un plan de manejo previo, provocando así impactos ambientales (sobre agua, aire y paisaje); por consiguiente, constituye un riesgo y un peligro permanentes, pues no se han realizado análisis continuos en cuanto a los distintos tipos de polución (bacteriológica y química).

Los principales agentes contaminantes en un botadero o relleno sanitario son el biogás y los líquidos lixiviados (Espinace, *et al. sf*). En consecuencia a la ausencia de tratamiento o separación de los residuos, fuentes potenciales de contaminación de metales pesados podrían estar presentes debido al depósito de material biopeligroso en el lugar.

Por estos motivos, creímos imperiosa la realización de un estudio que ayude a tomar medidas adecuadas para el manejo de los recursos disponibles en el botadero. Vásquez y Durazno (1995) realizaron análisis de metales pesados exclusivamente en lixiviados, pero consideramos importante complementar esos estudios incluyendo más elementos del ecosistema, puesto que actualmente el lugar es utilizado para esparcimiento (Ecoparque), cultivos y pastoreo.

Los metales pesados estudiados fueron cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), porque son los elementos más comunes en rellenos sanitarios debido a la fuente de desechos. Por ser Cuenca

una ciudad poco industrial (al menos en la década de 1980 – 1990), difícilmente podrían hallarse altas concentraciones de ciertos elementos. Una excepción podría ser el depósito de pilas y baterías.

El objetivo general de este estudio fue analizar los metales pesados presentes en la zona y su posible incidencia en los diferentes elementos medioambientales, de manera que sirva como herramienta para tomar decisiones de manejo y de uso del lugar. Para la consecución de este objetivo macro, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la concentración de metales pesados en los diferentes elementos del ecosistema.
- Comparar los valores encontrados con límites permisibles.
- Conocer el uso actual del suelo, agua, leche, kikuyo y vegetales.
- Realizar un análisis químico y físico del suelo (caracterización).
- Identificar las rutas medioambientales de exposición a nivel teórico.
- Determinar el factor de concentración de cada metal en la red trófica.
- Predecir teóricamente el riesgo potencial a la salud de la red trófica.
- Proponer la adopción de medidas preventivas o alternativas al uso de los elementos medioambientales.
- Conocer las diferentes posiciones sociales con respecto al funcionamiento del botadero.
- Sentar las bases para futuros planes de mitigación y/o monitoreo en la zona (a largo plazo) y para otros similares.

Este estudio se compone de cinco capítulos. En el Capítulo I se realiza un análisis cronológico del funcionamiento y la operación del botadero en sus distintas fases, hasta la actualidad.

En el segundo capítulo, se describe la ecotoxicología de los metales pesados escogidos y la normativa ambiental respectiva. Algunos de estos compuestos tienden a bioconcentrarse, bioacumularse y biomagnificarse (sólo mercurio). Parte de la normativa descrita pertenece a otros países, sin embargo, es útil por ser inexistente en el Ecuador (excepto para suelos y agua).

En el Capítulo III se detalla la metodología utilizada tanto para el análisis suelo, agua, leche, kikuyo y vegetales, como para la realización de entrevistas.

El cuarto capítulo contiene los resultados obtenidos con su respectiva discusión. Según las comparaciones realizadas con las normativas ambientales; los datos obtenidos están dentro de los límites máximos permisibles, salvo algunas excepciones.

En el Capítulo V se recogen las conclusiones del trabajo investigativo y posibles medidas o recomendaciones que se pueden adoptar para mantener o mejorar el estado del botadero.

## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

El manejo de los desechos sólidos es un problema que deben resolver en primera instancia las autoridades de salud y municipales, pero en general es un problema de todos (Nicola, 1998). Lamentablemente, en los países pobres muchas veces se recurre a métodos y dispositivos desarrollados en otros países, no siempre bien ensayados, para otras circunstancias y bajo otras ópticas. No es raro encontrar ejemplos de grandes inversiones en sistemas que no cubren las expectativas, no funcionan adecuadamente, son de mantenimiento muy costoso, o que proporcionan datos no validados y que se almacenan con escaso provecho de la información que contienen (Unizar.es, 2003; Cce.org.mx, *sf*).

Si bien los desechos sólidos no se consideran como causa directa de enfermedades por no estar bien determinados a su influencia, se les atribuye una incidencia alta en la transmisión de patologías. Los efectos del manejo inadecuado de desechos sólidos son: la contaminación ambiental visual pues altera la estética del paisaje, menor desarrollo relativo al disminuir el potencial turístico, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, contaminación y deterioro de los suelos por abandono de los desechos a cielo abierto, contaminación del aire relacionada con la quema de desechos y emanación de gases (Nicola, 1998).

En el presente capítulo, se detalla la historia de operación del botadero de basura de El Valle, los impactos causados y las medidas que se han tomado para aminorarlos.

#### 1.1 Historia

La Ilustre Municipalidad de Cuenca, en su afán de garantizar el bienestar de la comunidad, ubicó en la parroquia "El Valle" un botadero desde el año 1980 cuyo tiempo de vida cesó en junio de 2001. Se depositaron desechos sólidos

sin tener en cuenta el manejo ambiental de la zona (Vásquez y Durazno, 1995; Álvarez, 2003).

Se distinguen tres fases claramente diferenciadas en cuanto a su funcionamiento:

### **1.1.1 Primera Fase**

Fue antitécnica pues los recursos para su operación estaban en mal estado, el personal fue ineficiente, no se utilizó un método para relleno sanitario, tampoco se manejaron canales de drenaje para aguas lluvia, ni ductos para gas ni lixiviados (Vásquez y Durazno, 1995).

### **1.1.2 Segunda Fase**

Comprende el período entre 1986 y febrero de 1992. En esta fase el Departamento de Saneamiento Ambiental aplicó un método de "relleno controlado"; es decir, se cumplía con la tarea básica de compactar y cubrir diariamente los desechos con una capa de tierra (Vásquez y Durazno, 1995).

Este método se aproximaba al de un relleno sanitario pero le faltaban una serie de equipamientos como los ductos para evacuar gases, drenes para la captación, conducción y tratamiento de lixiviados, cunetas para la evacuación de las aguas lluvias evitando que tomen contacto con la masa de desechos (Vásquez y Durazno, 1995).

### **1.1.3 Tercera Fase**

Fue antitécnica porque se presentaron los mismos inconvenientes de la primera fase; aunque se comienza la construcción de un tanque para captación y tratamiento de lixiviados y posteriormente se implementó un sistema para desfogue de gases (Vásquez y Durazno, 1995).

Al pie del botadero, junto al lugar donde nace la Quebrada Santa Catalina se encuentra ubicado el tanque de lixiviados, que impide la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo su objetivo no se ha cumplido en su totalidad pues en la estación lluviosa suele desbordarse (Álvarez, 2003).

En la actualidad los lixiviados se receptan en tres reservorios que bombean y se distribuyen mediante aspersores a una plantación de eucaliptos; de esta forma el líquido recircula y se evita que fluya aguas abajo y contamine cuerpos de agua. El gas metano que se origina por la descomposición de los desechos sólidos, se evacua a la atmósfera mediante ductos o chimeneas de gases (Vásquez y Durazno, 1995).

Hasta 1992 se agotó el material de cobertura en el sitio, por lo que se adquirió un nuevo predio de 9.5 ha (EMAC, 2004). En total, se depositaron 900.000 ton de basura (Álvarez, 2003).

Los terrenos que pertenecen al antiguo relleno sanitario de "El Valle" están siendo utilizados por gente de sectores aledaños en actividades como cultivos o aprovechamiento del kikuyo para alimentación de animales. Además, se han implantado camas de compostaje que utilizan el material proveniente de los mercados de la ciudad cuyo producto es comercializado por la Empresa; y en general, el destino final del sitio es un Ecoparque, que cuenta con instalaciones recreativas (canchas). Esto origina una serie de preocupaciones pues los vertidos de contaminantes no han sido tratados por completo (Arévalo com.per. 2005) lo que podría ocasionar riesgos para la salud humana e implicaciones biológicas.

Por estas razones, la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC) está empeñada en conocer el estado actual del sitio en lo referente a contaminación por metales pesados, y en caso de existir, evaluar el riesgo potencial al que estarían expuestos los habitantes del sector y los visitantes del Ecoparque.

Si bien es cierto que la construcción del tanque de lixiviados y de las chimeneas para desfogue de gas alivió en parte el problema de contaminación del agua, sigue existiendo riesgo, pues la gente consume el agua de la quebrada en tiempo de sequía o debido a fallas en el sistema abastecimiento.

## CAPITULO II

### ECOTOXICOLOGÍA

Todo botadero está asociado a ciertas sustancias dentro de las cuales se incluyen los metales pesados y cuando están disponibles en el ambiente de ordinario no cambian de lugar con rapidez ni experimentan destoxificación rápida a través de actividades metabólicas. De resultas de todo esto, se acumulan (Duffus, 1983) y pueden ser potenciales contaminantes devastadores porque polucionan el aire, el agua y la tierra utilizados por las plantas y los demás eslabones de las redes tróficas (FAO, 2004).

#### 2.1 Generalidades

Entre los principales contaminantes ambientales metálicos están: arsénico, berilio, cadmio, zinc, cobalto, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, antimonio, estaño, selenio, talio y titanio (Moreno, 2003). Según Acurio *et al.* (1997), en el Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe, los contaminantes prioritarios que pudieran estar asociados a sitios peligrosos son: Cd, Cr, Hg, Ni y Pb; así mismo, según la frecuencia de aparición en Estados Unidos, igualmente prioritarios son Cd, Cr y Pb.

Los metales contenidos en los residuos depositados en los rellenos, debido al carácter ácido de los líquidos lixiviados, son disueltos y transportados (Greenpeace Argentina, 2004). La oxidación ácida de los metales pesados los transforma en óxidos fácilmente lixiviables en forma de sales tóxicas, contaminando las aguas y el suelo. La captación adecuada de este lixiviado evita que se contaminen diversos cursos de agua y napas (Varnero, 2001).

Los nutrimentos y otros compuestos se presentan en un estado dinámico en el suelo, se añaden o remueven de manera continua mediante diversas vías, determinando así su fertilidad. Además, los elementos pueden retenerse con más o menos firmeza por enlaces químicos y físicos (Bidwell, 1979).

La disponibilidad para la solución del suelo, y por tanto para las plantas, de elementos en el complejo de intercambio depende de su energía de ligamiento, una medida de la firmeza con la cual los aniones están retenidos. Son considerados macronutrientes del suelo Ca, Mg, K, N, P y S y micronutrientes: Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo y Cl (Bidwell, 1979). Los metales pesados pueden resultar tóxicos a partir de una determinada concentración; su acumulación puede ocurrir en tallos, hojas y fruto. El Cd, Ni, Cu, y Zn, son los metales más problemáticos debido a sus efectos negativos sobre el metabolismo y la fisiología de la planta (Acosta *et al.* 2003).

Cuando un contaminante entra en el suelo puede ser neutralizado, degradado o adsorbido por procesos de adsorción específica o cambio iónico complejado o precipitado (González, *et al.* 2003). La salida del sistema puede ser por volatilización, extracción por las cosechas, drenaje o procesos de erosión (Esakku, *et al.* 2003). Como resultado final se produce la retención o movilización de sustancias, de manera que el suelo actúa como sumidero o fuente, influyendo sobre la capacidad de las soluciones acuosas que alcanzan las aguas superficiales y la capa freática, y afectando, en mayor o menor medida a los organismos animales y vegetales (Ahumada & Schalscha, 1995, Helmke, 1999 Bonomelli *et al.* 2003; González, *et al.* 2003).

Los metales pesados tienden a inmovilizarse en los suelos haciéndose poco disponibles para las plantas. Su persistencia en el terreno es mucho mayor que en otros compartimentos de la biosfera y su completa remoción es prácticamente imposible (Cabrera y Valseca, 2004). La solubilidad de los metales en suelo y aguas es controlada predominantemente por el pH (Ghosh and Singh, 2005).

La sensibilidad de las especies a los metales pesados varía considerablemente. Las plantas vasculares son ligeramente más tolerantes (Rosa *et al.* 1999) y sus diferentes respuestas a los metales pesados pueden ser atribuidas a factores genéticos y fisiológicos; así como a las rutas toxicológicas y de destino ambiental de los tóxicos (Calow, 1993 en Iannacone y Alvarino, 2005).

Sus efectos en las plantas incluyen: necrosis en las puntas de las hojas e inhibición del crecimiento de las raíces. Muchas especies son incapaces de tolerar estos metales (FAO, 2004).

Entre los metales pesados existentes, algunos son micronutrientes esenciales para las plantas como Cu y el Zn, pero otros como Cd, Pb, Cr, Ni y Hg no lo son, y pueden a partir de una determinada concentración, resultar tóxicos. La acumulación de metales pesados puede ocurrir en tallos, hojas y fruto. El Cd, Ni, Cu, y Zn, son los metales más problemáticos debido a sus efectos negativos sobre el metabolismo y la fisiología de la planta (Acosta *et al.* 2003). El Cd perturba la circulación del agua y de los nutrientes en las plantas (Nguyen *et al.* 2001).

La sensibilidad de las especies a los metales pesados varía considerablemente. Las plantas vasculares son ligeramente más tolerantes (Rosa *et al.* 1999) y sus diferentes respuestas a los metales pesados pueden ser atribuidas a factores genéticos y fisiológicos; así como a las rutas toxicológicas y de destino ambiental de los tóxicos (Callow, 1993 en Iannacone y Alvarino, 2005).

Estudios en plantas han demostrado que en altas concentraciones, el Zn puede ser considerado fitotóxico, afectando directamente la productividad de cultivos y la fertilidad del suelo. Ventajosamente, los valores encontrados en el área de estudio son relativamente bajos en comparación con el valor de toxicidad.

Es preciso realizar análisis de metales pesados considerando el riesgo en la salud humana y el riesgo ecológico. En este capítulo, serán descritos los metales objeto de este estudio (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn), sus aplicaciones, sus fuentes medioambientales, su biodisponibilidad y su toxicología.

Las fuentes medioambientales se refieren a los lugares donde se encuentran los elementos y de donde pueden ser emanados al ambiente. La vía de exposición indica el mecanismo por medio del cual el tóxico entra en el organismo (ingestión, respiración, piel). La movilidad es la capacidad de transporte para trasladarse al resto de niveles tróficos. La ecotoxicología

explica el efecto de los contaminantes en los ecosistemas y la biosfera en general.

Los metales descritos fueron escogidos por su importancia toxicológica y su incidencia en el medio ambiente, no sólo porque son prioritarios, sino porque algunos de ellos tienden a bioconcentrarse o bioacumularse y podrían estar afectando a la red trófica.

## 2.1 Descripción de la ecotoxicología de cada metal

**Tabla 1.** Ecotoxicología del Cadmio

METAL	GENERALIDADES Y APLICACIONES	FUENTES MEDIOAMBIENTALES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN	MOVILIDAD	ECOTOXICOLOGÍA
<b>Cd</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baterías.</li> <li>- Catalizador</li> <li>- Recubrimientos electrolíticos.</li> <li>- Pigmentos.</li> <li>- Galvanizados y recubrimientos.</li> <li>- Industria metalúrgica no férrea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Humo de tabaco.</li> <li>- Consumo de vegetales de terrenos contaminados.</li> <li>- Ingestión e inhalación (absorción es más eficaz).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más elevada que la mayoría de metales pesados.</li> <li>- Relativa solubilidad de sus sales e hidróxidos.</li> <li>- Solubilidad aumenta en medios ácidos.</li> <li>- Adsorción a suelos y sedimentos se incrementa al aumentar pH.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absorción vegetal eficaz.</li> <li>- Efectos tóxicos agudos y crónicos.</li> <li>- Clasificado como agente cancerígeno de Grupo I por la IARC (1993).</li> </ul>

Fuente: *Toxicología Ambiental (Moreno, 2003)*

**Tabla 2.** Ecotoxicología del Cobre

METAL	GENERALIDADES Y APLICACIONES	MOVILIDAD	ECOTOXICOLOGÍA
<b>Cu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutriente esencial.</li> <li>- Amplia distribución y uso.</li> <li>- Material de construcción (techumbres y tuberías).</li> <li>- Baterías, aleaciones, equipos químicos y farmacéuticos.</li> <li>- Pigmento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forma enlaces con compuestos sólidos de los suelos y sedimentos.</li> <li>- Menos sensible al pH (suelo).</li> <li>- Forma enlaces fuertes con la materia orgánica.</li> <li>- Prácticamente inmóvil.</li> <li>- Apenas se incorpora a lixiviados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poca tendencia a la bioconcentración en organismos acuáticos.</li> <li>- No se biomagnifica.</li> <li>- Efectos tóxicos</li> <li>- No existen evidencias de efectos cancerígenos.</li> </ul>

Fuente: *Toxicología Ambiental (Moreno, 2003)*

**Tabla 3.** Ecotoxicología del Cromo

METAL	GENERALIDADES Y APLICACIONES	FUENTES MEDIOAMBIENTALES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN	MOVILIDAD	ECOTOXICOLOGÍA
<b>Cr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abundante.</li> <li>- Obtención de acero inoxidable.</li> <li>- Cubrimientos electrolíticos.</li> <li>- Fabricación de cerámica refractaria.</li> <li>- Tenería y elaboración de pigmentos y tintes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relacionadas con sus aplicaciones industriales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La mayor parte de Cr es insoluble en suelos o aguas superficiales.</li> <li>- Puede formar precipitados o puede ser adsorbido a la fracción sólida de suelos y sedimentos.</li> <li>- Movilidad limitada y depende del contenido de arcillas, presencia de óxido de hierro y materia orgánica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clasificado como agente cancerígeno del Grupo I por la IARC cuando la exposición se produce por vía inhalación.</li> </ul>

Fuente: *Toxicología Ambiental (Moreno, 2003)*

**Tabla 4.** Ecotoxicología del Mercurio

METAL	GENERALIDADES Y APLICACIONES	FUENTES MEDIOAMBIENTALES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN	MOVILIDAD	ECOTOXICOLOGÍA
<b>Hg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso limitado.</li> <li>- Aplicaciones históricas en metalurgia y como fungicida.</li> <li>- Fabricación de pilas, lámparas fluorescentes y material para empastes dentales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesos naturales de volatilización.</li> <li>- Vertidos de industria metalúrgica y cloro-alkalina.</li> <li>- Residuos domésticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede vaporizarse de nuevo a la atmósfera</li> <li>- Adsorción a suelos y sedimentos.</li> <li>- Capaz de lixiviarse hacia aguas subterráneas</li> <li>- Movilidad limitada por materia orgánica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tendencia a la bioconcentración y biomagnificación.</li> <li>- Apenas se produce traslocación de Hg a la parte aérea de la planta.</li> <li>- El Hg elemental y los compuestos de Hg inorgánico no son cancerígenos.</li> <li>- Los compuestos de metilmercurio se clasifican en el grupo 2B por la IARC (posiblemente cancerígeno para los humanos).</li> </ul>

Fuente: *Toxicología Ambiental (Moreno, 2003)*

Tabla 5. Ecotoxicología del Níquel

METAL	GENERALIDADES Y APLICACIONES	FUENTES MEDIOAMBIENTALES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN	MOVILIDAD	ECOTOXICOLOGÍA
Ni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abundante.</li> <li>- Fabricación de acero inoxidable.</li> <li>- Recubrimiento electrofítico y catalizador.</li> <li>- Pilas de Ni-Cd.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cenizas de combustión del carbón.</li> <li>- Residuos de fundición.</li> <li>- Fangos de depuradora.</li> <li>- Residuos urbanos.</li> <li>- Extracción de minerales.</li> <li>- Niquelado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se adsorbe a suelos y sedimentos.</li> <li>- Adsorción irreversible en suelos básicos.</li> <li>- Adsorción influida por pH.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja tendencia a bioconcentración en organismos acuáticos.</li> <li>- No se biomagnifica.</li> <li>- Clasificados por la IARC en el Grupo I de agentes cancerígenos.</li> </ul>

Fuente: Toxicología Ambiental (Moreno, 2003)

Tabla 6. Ecotoxicología del Plomo

METAL	GENERALIDADES Y APLICACIONES	FUENTES MEDIOAMBIENTALES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN	MOVILIDAD	ECOTOXICOLOGÍA
Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abundante.</li> <li>- Uso histórico.</li> <li>- Baterías.</li> <li>- Monitores y pantallas de televisión.</li> <li>- Anticorrosivo.</li> <li>- Soldaduras.</li> <li>- Municiones, cables y vidrios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservas.</li> <li>- Ingestión de agua procedente de fuentes naturales o del material de tuberías o soldaduras.</li> <li>- Inhalación de humo y partículas generadas en combustibles industriales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retenido en capa superficial suelo.</li> <li>- No se lixivia fácilmente.</li> <li>- Forma precipitados y compuestos solubles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidad limitada.</li> <li>- Se bioconcentra.</li> <li>- No se biomagnifica.</li> <li>- Efectos crónicos y agudos.</li> <li>- Clasificado por la IARC en el grupo 2B (posiblemente cancerígenos para los humanos).</li> </ul>

Fuente: Toxicología Ambiental (Moreno, 2003)

Tabla 7. Ecotoxicología del Zinc

METAL	GENERALIDADES Y APLICACIONES	FUENTES MEDIOAMBIENTALES Y VÍAS DE EXPOSICIÓN	MOVILIDAD	ECOTOXICOLOGÍA
Zn	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abundante.</li> <li>- Nutriente esencial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asociado al tamaño de las partículas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiende a adsorberse en suelos y aguas.</li> <li>- Forma complejos con materia orgánica disuelta, como los ácidos húmicos.</li> <li>- Movilidad depende del pH.</li> <li>- Se incorpora al lixiviado.</li> <li>- Puede contaminar aguas subterráneas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se bioconcentra.</li> <li>- No se bioacumula.</li> <li>- Fitotóxico.</li> <li>- Posibles efectos tóxicos.</li> <li>- Grupo D (no clasificable respecto a su actividad cancerígena) por la USEPA.</li> </ul>

Fuente: Toxicología Ambiental (Moreno, 2003)

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA

En este capítulo se describirán el área de estudio, las técnicas empleadas para determinar las concentraciones de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn en agua, leche, suelo y vegetales, y la metodología utilizada para la realización de las entrevistas.

El botadero de El Valle está compuesto por tres zonas principales, diferenciadas por la cantidad de material de cobertura, desechos depositados y descarga de lixiviados. En general, toda la superficie del botadero comprende cultivos de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) destinados para pastoreo y comercio. Las zonas invadidas son ocupadas para cultivos de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L), habas (*Vicia faba* L) y maíz (*Zea mays* L). Se realizaron dos muestreos, uno en cada estación climática (lluviosa y seca). Cada muestreo contó con dos repeticiones.

Para el análisis de los metales se utilizó la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica (equipo Perkin Elmer 3110). El límite de detección del equipo depende del metal a medir (Anexo I, Tabla 3). Todas las muestras tienen su respectivo testigo para comparar. Para cada metal se preparó soluciones patrón con las que se procedió a elaborar las curvas de calibración respectivas (Anexo I, Tablas 1 y 2) que permitieron detectar la concentración de los mismos.

Los análisis fisicoquímicos y la determinación de metales fueron realizados en el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad del Azuay.

Las entrevistas se realizaron según la metodología participativa "Diálogo Semi-estructurado".

### 3.1 Descripción del Área de Estudio

#### 3.1.1 Ubicación

El botadero está ubicado en el sector de "Cochabamba" perteneciente a la parroquia de El Valle. El sitio se encuentra a 10,3 km del centro de la ciudad de Cuenca (Anexo II); tiene una extensión de 18 ha.

#### 3.1.2 Alrededores

El botadero se encuentra ubicado a 1,7 km de distancia desde el centro de la parroquia de El Valle. Su centro parroquial constituye un poblado de consideración por cuanto en él habitan alrededor de 3500 personas y cuenta con varios equipamientos comunitarios de magnitud (GEOMÁTICA, 2004).

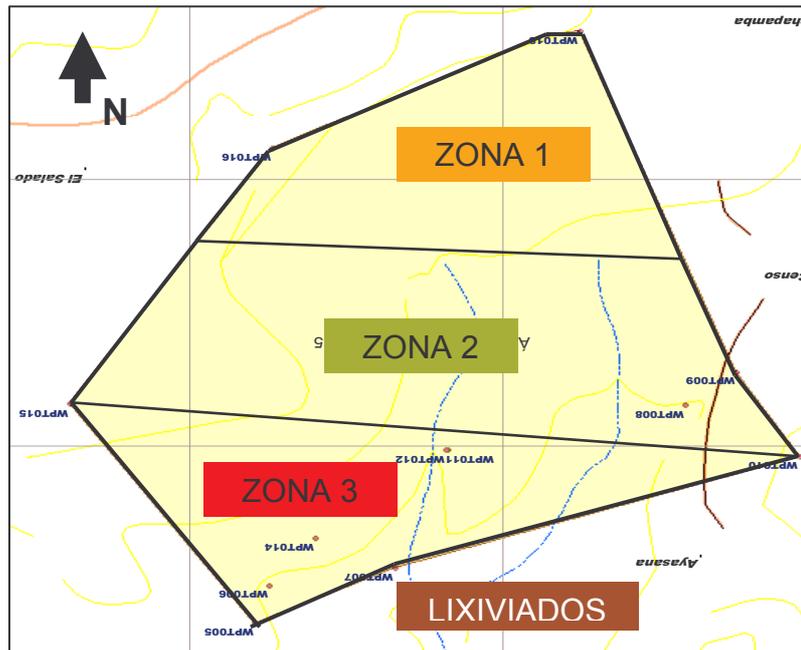
Hasta 1995 no se encontraban viviendas dentro de las 20 ha del botadero (Álvarez, 2003), pero en la actualidad estos terrenos se encuentran invadidos y son utilizados para agricultura y ganadería. Existen varias viviendas en los bordes del terreno (Fig. 1). La urbanización Laguna del Sol limita con los terrenos del ecoparque.



**Figura 1.** Viviendas en los bordes del botadero.

En las inmediaciones del botadero existen dos lagunas utilizadas para consumo doméstico y abrevadero de animales.

### 3.1.3 Descripción de las zonas de muestreo



**Fig. 2** Zonas de muestreo del botadero de "El Valle".

#### 3.1.3.1 Zona 1

Está ubicada en la parte alta del botadero a 2700 m s.n.m. Contiene la mayor cantidad de material de cobertura (Arévalo, com.per. 2006) y es la más antigua. Actualmente está destinada para recreación (Fig. 2).



**Figura 3.** Zona 1 del botadero destinada a recreación.

### 3.1.3.2 Zona 2

Está ubicada en la parte media del botadero, 2682 m s.n.m. Contiene gran cantidad de desechos y poco material de cobertura (Fig. 3). En esta zona también se ubican las composteras (Fig. 4).



**Figura 4.** Zona 2 del botadero que recibió la mayor cantidad de basura.



**Figura 5.** Operación en las composteras.

### 3.1.3.3 Zona 3

Está ubicada en la parte baja del botadero a 2640 m s.n.m. Comprende la plantación de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill) (Fig. 5) y es el lugar donde se recirculan los lixiviados provenientes del tanque (Fig. 6) que se encuentra en esta misma zona. Contiene gran cantidad de desechos y poco material de cobertura. Incluye también las quebradas que confluyen en el tanque y la quebrada Santa Catalina.



**Figura 6.** Plantación de eucaliptos donde recirculan los lixiviados.



**Figura 7.** Tanque de lixiviados.

#### **3.1.3.4 Zonas Invasadas**

Existe una parte del botadero que ha sido invadido para construcción de viviendas y establecimiento de cultivos (Fig. 7).



**Figura 8.** Cultivos y viviendas en la zona invadida.

### **3.1.4 Hidrología**

El Valle es una parroquia con déficit de agua para consumo humano y carece de sistemas de riego importantes. La actividad agropecuaria que se realiza en este sector es un foco de contaminación por la descarga de materia orgánica a las aguas, y el impacto de la tala de la vegetación nativa está influenciando para que los caudales disminuyan, en especial en épocas secas (UDA y Municipalidad de Cuenca, 2006).

#### **3.1.4.1 Aguas Superficiales**

En el lugar donde se ubica el botadero nace la quebrada seca Santa Catalina, que es afluente de la quebrada El Salado; desemboca en el Río Tomebamba. También existen dos lagunas en la zona: Sacuchima, ubicada a 100 m del botadero y Cochabamba, ubicada a 200 m del botadero. Las lagunas han servido para consumo humano hasta la realización de los proyectos de agua de Nero y Agua Bombeada. Actualmente, las dos lagunas se utilizan como abrevadero para el ganado y en casos emergentes para consumo humano. Se puede encontrar en ellas totora (*Scirpus totora*) y peces (Álvarez, 2003).

En la zona de estudio se ha localizado un pozo de recolección de aguas lluvias que sirve tanto para el consumo humano como para el consumo de los animales.

### **3.1.3.2 Aguas Subterráneas**

En la zona existe la Bomba Santa Catalina, que es una vertiente situada a una distancia de alrededor de 100 m del tanque de los lixiviados, los habitantes del sector captan el agua mediante un pozo.

### **3.1.5 Meteorología**

#### **3.1.5.1 Condiciones Climáticas**

La zona del botadero corresponde a la Cuenca Media del río Paute, comprendida entre 2200 m s.n.m a 2600 m s.n.m., con un clima templado semihúmedo y lluvias que fluctúan de 500 mm/año a 1000 mm/año. La media anual de temperatura es de 15 °C, la temperatura mínima absoluta es de 1,5 °C y la temperatura máxima absoluta de 26.4 °C. La humedad relativa (media mensual) es de 70% (Vásquez y Durazno, 1995).

## **3.2 Métodos**

### **3.2.1 Agua**

#### **Fase de campo:**

Se tomaron 10 muestras en total, cinco por cada época (seca y lluviosa) de muestreo. Las estaciones escogidas fueron:

1. Quebrada Santa Catalina.
2. Tanque de lixiviados.
3. Dos quebradas que confluyen en el tanque de lixiviados.

4. Laguna ubicada al frente de la parte superior del botadero (muestra testigo).

**Fase de laboratorio:**

1. Poner 100 ml de muestra de agua con 10 ml de ácido nítrico a calentar durante dos horas a 40 °C.
2. Añadir 10 ml de ácido nítrico.
3. Calentar hasta que el volumen se reduzca a menos de 50 ml.
4. Aforar a 50 ml o al volumen necesario.
5. Realizar la lectura de los metales con el espectrofotómetro, cambiando las lámparas según el metal a analizar.

Para el análisis de mercurio, a la muestra de agua se le añade unas gotas de Permanganato de Potasio ( $\text{KMn}_2\text{O}_7$ ) para evitar la proliferación de microorganismos.

Se realizaron dos repeticiones por cada muestra para el análisis de metales a excepción del Hg, con el que se realizó una sola repetición.

### **3.2.2 Suelo**

**Fase de campo:**

Para el análisis fisicoquímico se dividió al área de estudio en 20 cuadrantes de 100 m<sup>2</sup>. Al azar, se tomaron 10 cuadrantes para extraer varias submuestras de 40 g cada una (Fig. 8). Se conformó al fin una sola muestra.



**Figura 9.** Submuestra de suelo.

Para el análisis de metales se subdividió al botadero en tres zonas. De cada zona se extrajeron diez submuestras que fueron mezcladas para conformar una sola (por cada zona). La muestra de suelo testigo fue obtenida de un terreno ubicado al frente del botadero (a 100 m de distancia). Para este análisis sólo se realizó un muestreo. También se analizó el compost comercializado.

#### **Fase de laboratorio:**

Para metales pesados:

1. Pesar 30 g de suelo y tamizarlo.
2. Añadir 50 ml de ácido nítrico.
3. Calentar a 37 °C hasta que se eliminen todos los compuestos orgánicos.
4. Añadir 50 ml de ácido nítrico.
5. Filtrar y aforar al volumen necesario.
6. Realizar las lecturas en el espectrofotómetro.

Se realizaron dos repeticiones por cada muestra para el análisis de metales a excepción del Hg, con el que se realizó un solo análisis.

### 3.2.3 Vegetales

#### Fase de campo:

Se recolectaron muestras al azar en cada una de las tres zonas. Los vegetales analizados fueron:

- *Pennisetum clandestinum* Hoechst. - kikuyo (separado por zonas).
- *Smallanthus* sp. (Asteraceae de quebrada).
- *Pelargonium zonale* - geranio (una muestra conformada por varias submuestras de todas las zonas).
- *Amaranthus* sp. (ataco), *Vicia faba* L (habas), *Zea mays* L (choclo) y *Phaseolus vulgaris* L (fréjol) (de cultivos).
- *Eucalyptus globulus* Labill (eucalipto) (de la zona de recirculación de lixiviados).

Cada muestra tiene su respectivo testigo tomado en áreas aledañas. Las muestras de suelo, vegetales y agua fueron tomadas de lugares alejados al área de estudio; sin embargo, pertenecientes a la misma parroquia; la leche proviene de la parroquia Tarquí. El lugar de muestreo del agua testigo está ubicado al frente del área de estudio, además este recurso es utilizado como abrevadero.

#### Fase de laboratorio:

1. Secar las muestras en una estufa a 20 °C.
2. Moler las muestras secas.
3. Pesar las muestras molidas y ponerlas en la mufla a 400 °C hasta que se calcinen.
4. Añadir ácido nítrico y poner las muestras nuevamente en la mufla.
5. Pesar las muestras nuevamente.
6. Extraer con ácido nítrico, filtrar y aforar al volumen necesario.
7. Realizar las lecturas en el espectrofotómetro.

Se realizaron dos repeticiones por cada muestra para el análisis de metales a excepción del Hg, con el que se realizó una sola repetición. Los pesos de cada muestra se presentan en el Anexo III.

### **3.2.4 Leche**

#### **Fase de campo:**

Se recolectaron tres submuestras para conformar una muestra al final. La leche fue obtenida de vacas que consumen kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) y beben agua del sector. La muestra testigo fue obtenida de comercio proveniente de terrenos ubicados a 5 km del sector.

#### **Fase de laboratorio:**

1. Colocar 20 ml de leche en una cápsula.
2. Concentrar el volumen de la leche mediante un ligero hervor en una estufa.
3. Poner las muestras en la mufla a 400 °C hasta que se calcine.
4. Extraer con ácido nítrico, filtrar y aforar al volumen necesario.
5. Realizar las lecturas en el espectrofotómetro.

Se realizaron dos repeticiones por cada muestra para el análisis de metales a excepción del Hg, con el que se realizó una sola repetición. Los pesos de cada muestra se presentan en el Anexo III.

Los valores encontrados fueron comparados tanto con la legislación ecuatoriana estipulada en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), así como con normativa extranjera.

### 3.2.5 Factor de Concentración

El Factor de Concentración determina la relación entre la concentración de un contaminante en un organismo y su concentración en el biotopo (medio en el que vive). Para calcular el factor de concentración se utiliza la siguiente fórmula:

$$Fc = \frac{\text{organismo (ppm)}}{\text{biotopo (ppm)}}$$

Por ejemplo, si la concentración de Cu en kikuyo es de 6,98 ppm y la concentración en el suelo es de 10,79; se tiene:

$$Fc = \frac{6,98(\text{ppm})}{10,79(\text{ppm})} = 0.65$$

### 3.2.6 Análisis Social

#### Entrevistas:

Para conocer los diversos puntos de vista sobre la implementación y operación del botadero, se utilizó la metodología participativa "Diálogo Semi-Estructurado" (Geilfus, 1997). El objetivo de este método es recolectar información general o específica mediante diálogos con individuos (informantes clave), grupos familiares (familias representativas) o grupos enfocados.

Los grupos enfocados a los que se dirigió la entrevista fueron:

- a. Personal administrativo de la EMAC representado por el Gerente.
- b. Departamento de Trabajo Social de la EMAC (dos personas).
- c. Departamento Técnico de la EMAC (dos personas).
- d. Vecinos del botadero de El Valle (15 personas).

Se estableció una guía de entrevista para cada grupo (Anexo IV).

**Procesamiento de datos:**

1. Se extrajeron los puntos de vista y las apreciaciones más relevantes de cada uno de los grupos.
2. Se propusieron recomendaciones para la institución a cargo del mantenimiento del botadero (EMAC).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores encontrados de cada metal en las dos estaciones climáticas fueron muy similares, por lo que se realizó un promedio de los datos. En el Anexo V se pueden observar los valores obtenidos en los dos muestreos por elemento; también se promediaron los datos de las dos repeticiones, a excepción del Hg que tuvo una sola repetición.

#### 4.1 Agua y Lixiviados

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos en la determinación de metales en el agua. El Cd se encontró en todos los cuerpos de agua muestreados, indicando contaminación y peligro pues sobrepasa los límites máximo permisibles de calidad de agua para consumo y uso doméstico (0,001 mg/L), preservación de fauna y flora (0,01) y, uso pecuario (0,01 mg/L) (MAE, 1999); además, tanto organismos terrestres y acuáticos lo bioacumulan (Duffus, 1983; Moreno, 2003); no así Hg y Zn (quebrada Sta. Catalina y testigo respectivamente). Esto sugiere presencia de depósitos de Cd en toda la zona e implica descargas de lixiviados. Los valores de Cd y Hg superan tanto a los límites máximos permisibles de preservación de flora y fauna (0,0002 mg/L y 0,001 mg/L) y descarga a cuerpos de agua dulce del MAE (1999 – Tabla 9); los valores encontrados en la quebrada 1, superan a los límites de aguas residuales según la Norma Oficial Mexicana (Tabla 10).

**Tabla 8.** Promedio de concentración de metales en los dos muestreos de agua.

MUESTRA	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Zn (ppm)
Quebrada Santa Catalina	0,12	0,07	ND
Tanque de lixiviados	0,42	ND*	ND
Quebrada 1	0,95	ND	ND
Quebrada 2	0,28	ND	ND
Testigo	0,28	ND	0,06

\*No detectado.

**Tabla 9.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

ELEMENTO	Unidad	Límite
<b>Cd</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,02</b>
<b>Hg</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,005</b>
<b>Zn</b>	<b>mg/L</b>	<b>5,0</b>

Fuente: TULAS (MAE, 1999)

**Tabla 10.** Límites máximos permisibles para Aguas Residuales según la Norma Oficial Mexicana.

METAL	ESPECIFICACIÓN NOM-001-ECOL-1996
Cd	0.05-0.4 mg/L
Cu	4-6 mg/L
Cr total	0.5-1.5 mg/L
Hg	0.005-0.02 mg/L
Ni	2-4 mg/L
Pb	0.2-10 mg/L
Zn	10-20 mg/L

Fuente: AUTODIDÁCTICA EN MATERIA DE NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS CON LA INSPECCIÓN Y VERIFICACIÓN (Tomasini, 1997).

El catión Cd es el que presenta mayor índice de peligrosidad, tanto por su naturaleza tóxica como por su movilidad (González, 2003). Está considerado como cancerígeno para los humanos (EPA, 1997; IARC, 2006). Efectos causados por consumo de agua contaminada con Cd (afecciones respiratorias y gastrointestinales) se presentan en los pobladores del lugar.

Como se puede observar en la tabla 11, las concentraciones de los metales analizados en lixiviados han disminuido con el transcurso del tiempo (Ehrig, 1992 y CONAMA, 1997) entre el año 2001 y el presente. Hecho debido al efecto de recirculación de los lixiviados (Espinace, *et al.* sf.). Sin embargo, el Cd es una excepción (Tabla 8), aunque se encuentra dentro de los límites máximos para lixiviados establecidos por United States Code of Federal Regulations (1.0 mg/L) (Henry y Runnalls, 1999 en Henry y Heinke, 1999) por ser fácilmente lixiviable (Moreno, 2003). En cuanto al resto de valores, posiblemente el tiempo de su lixiviación es mayor o podrían ser retenidos en los materiales de desecho y cobertura, teniendo en cuenta la influencia del pH en su movilidad.

**Tabla 11.** Comparación de las concentraciones de metales en lixiviados entre los datos del año 2001 y los del estudio actual.

<b>METAL</b>	<b>PROMEDIO AÑO 2001 (mg/l)</b>	<b>ESTUDIO ACTUAL AÑO 2006 (mg/l)</b>
<b>Cd</b>	1,06	0,425
<b>Cr</b>	78,85	-
<b>Cu</b>	47,35	-
<b>Ni</b>	85,63	-
<b>Pb</b>	-	-
<b>Zn</b>	200,74	-

*Fuente: Proceso de Remediación "El Valle" (Muñoz, 2001) y estudio actual (2006).*

La tendencia de concentraciones en el botadero de El Valle es similar a la de diversos rellenos de América Latina y el Caribe, aunque el contenido de Cd en nuestra ciudad sea más alto (Tabla 12).

**Tabla 12.** Valores medios de contenidos de lixiviados de diversos rellenos en América Latina y el Caribe.

<b>METAL</b>	<b>CONCENTRACIÓN (mg/l)</b>
Cd	0,0052
Cr	0,275
Cu	0,065
Hg	0,16
Ni	0,166
Pb	0,087

*Fuente: Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe (Acurio et al., 1997).*

El contenido de los elementos en lixiviados depende de ciertas características del suelo, como pH, contenido de materia orgánica y arcillas, que determinan su movilidad y disponibilidad. Probablemente Cr, Cu y Zn son retenidos en el suelo y no se lixivian fácilmente.

Un estudio realizado por Sardi (2005) utilizando el índice BMWP, demuestra que la contaminación de los cuerpos de agua es alta, al predominar el orden Diptera. Las descargas de lixiviados sobrepasan la capacidad de autodepuración de las quebradas, incidiendo en la calidad del agua de manera severa.

## 4.2 Suelo

A continuación se describirá la dinámica de los metales en función de las características físico-químicas del suelo estudiado (Anexo VI). Los resultados obtenidos en el análisis de suelo se presentan en la tabla 13.

La textura del suelo es gruesa tipo arenosa, la baja presencia de materia orgánica (1,3%) y el pH es prácticamente neutro (6,95), son algunas de las condiciones que influyen en la movilidad y disponibilidad de los elementos (Bidwell, 1979; Daubenmire, 2001; Moreno, 2003). La reacción del suelo en este caso es muy determinante, a pH bajo Al, Mn, Cu y Zn pueden llegar a ser tóxicos (Daubenmire, 2001)

Según Próperi *et al.* (s.f.) los elementos más frecuentes de contaminación de suelos provocada por la mala disposición de pilas en desuso, serían los metales como Hg, Zn, Ni, Cd, Pb, y Mn. Sin embargo, en este estudio se encontraron Cd, Cr, Cu y Zn; al comparar estos valores con los criterios de calidad de suelo del MAE (1999) (Tabla 14), se tiene que:

Según González *et al.* (2003), Cr y Cu son los cationes más retenidos y el Cd el catión más móvil. Los valores de Cd exceden los límites en todas las zonas, lo que puede deberse a su movilidad elevada y al ser soluble (González, 2003).

Se halló Cr en las zonas 2 y 3, cuyos valores exceden a los límites permisibles. Sin embargo, la mayor parte de Cr se encuentra en forma insoluble, formando precipitados o adsorbido a la fracción sólida de suelos y sedimentos. Además su movilidad es muy limitada y depende del contenido de arcillas, óxido de hierro y de materia orgánica (en menor grado), valor bastante bajo en el presente estudio (10%); de manera que puede adsorberse irreversiblemente a la matriz de suelos (Moreno, 2003). En la zona 1 no se encontró porque el material de cobertura es mayor y los lixiviados no recirculan por ahí.

Tanto Cu como Zn fueron encontrados en el suelo dentro de los límites permisibles. Su presencia puede deberse a su amplia distribución y a su disposición como micronutrientes (Bidwell, 1979; Coleman and Crossery, 1996).

Cabe destacar la diferencia entre las concentraciones del suelo testigo con la del botadero, lo que implica contaminación.

**Tabla 13.** Resultados del análisis de metales pesados en el suelo.

MUESTRA	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Zn (ppm)
Suelo Zona 1	4,67	5,99	ND*	14,76
Suelo Zona 2	9,60	27,65	30,71	21,14
Suelo Zona 3	6,04	10,79	43,61	15,69
Suelo Testigo	1,02	0,70	1,48	3,65

\*No detectado

**Tabla 14.** Criterios de Calidad del Suelo según el Ministerio del Ambiente.

SUSTANCIA	UNIDADES	CONCENTRACIÓN EN PESO SECO
pH	-	6-8
Cd	mg/kg	0,5
Cu	mg/kg	30
Cr	mg/kg	20
Hg	mg/kg	0,1
Ni	mg/kg	20
Pb	mg/kg	25
Zn	mg/kg	60

Fuente: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo (Ministerio del Medio Ambiente, 1999).

### 4.3 Vegetales

Las plantas vasculares han sido recomendadas por la EPA y la FDA debido a su buena sensibilidad, en comparación con otras especies de plantas terrestres (Wang, 1991).

Los resultados del análisis de metales en vegetales se pueden observar en la tabla 15. Los únicos elementos encontrados fueron Cu y Zn. Se encontró Cu en todas las especies, excepto *Amaranthus* sp., mientras que el Zn no fue tan común (sólo cuatro especies). Moreno (2003) expone que las concentraciones de Zn en las plantas no superan a las del suelo, pero nuestros valores son mayores, lo que podría deberse a que los nutrientes se encuentran disponibles para las plantas en la solución del suelo.

Sin embargo, estos datos son sumamente inferiores al valor de toxicidad estimada para plantas de cultivo (>400 mg/kg) (Kabata-Pendias y Pendias, 1984 en Illera *et al.* 2001). Cu y Zn se retienen en el suelo por formar enlaces con la materia orgánica (Moreno, 2003), pero la concentración de Cu en los vegetales es mayor que la de Zn; es probable que las especies analizadas absorban mejor Cu que Zn; o la disponibilidad del Cu es mayor en el terreno. El Cu está normalmente presente en el complejo de intercambio de los suelos donde está retenido firmemente pero disponible para las plantas, de manera que su deficiencia es rara (Bidwell, 1979).

Un estudio realizado por Barraza (2000) en la cuenca del río Lempa (El Salvador), indica que el Cu es el elemento de mayor riesgo ecológico, debido a su alta biodisponibilidad, reflejado por los elevados niveles de la fracción biolábil de los sedimentos. También se confirma la utilidad de las raíces de *Eichornia crassipes* para reflejar presencia de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb en este ecosistema fluvial.

**Tabla 15.** Resultados de metales pesados encontrados en los diferentes vegetales analizados.

<b>MUESTRA</b>	<b>Cu (ppm)</b>	<b>Zn (ppm)</b>
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 1)	<b>6,98</b>	ND*
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 2)	<b>6,10</b>	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 3)	<b>7,49</b>	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Testigo)	ND	ND
<i>Smallanthus</i> sp. (Testigo)	<b>11,90</b>	ND
<i>Smallanthus</i> sp. (Quebrada)	<b>16,11</b>	ND
<i>Amaranthus</i> sp. (Cultivos)	ND	ND
<i>Amaranthus</i> sp. (Testigo)	ND	ND
<i>Eucalyptus globulus</i> (Zona 3)	<b>3,94</b>	ND
<i>Eucalyptus globulus</i> (Testigo)	<b>11,16</b>	<b>34,63</b>
<i>Vicia faba</i> (Cultivos)	ND	ND
<i>Vicia faba</i> (Testigo)	ND	ND
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Cultivos)	<b>7,48</b>	<b>31,48</b>
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Testigo)	<b>4,83</b>	ND
<i>Pelargonium zonale</i> (Todas zonas)	<b>8,51</b>	<b>83,45</b>
<i>Pelargonium zonale</i> (Testigo)	<b>5,34</b>	<b>20,72</b>
<i>Zea mays</i> (Cultivos)	ND	<b>17,54</b>
<i>Zea mays</i> (Testigo)	<b>1,80</b>	<b>48,66</b>

\* No detectado

El Cu puede ser bioconcentrado por plantas y animales con posibles efectos tóxicos (ATSDR, 1997; Cordero, *et al.* 2005).

Otra razón por la que no se pudo encontrar metales pesados en las plantas, es porque los análisis se realizaron con las partes aéreas de las especies seleccionadas. Sería necesario repetir el análisis utilizando las raíces de las especies, debido a que los iones disueltos en la fase suelo-agua están libremente disponibles para las raíces; los que están vinculados a partículas de un suelo sólo están disponibles conforme entran en solución (Bidwell, 1979) para comprobar si los metales se concentran ahí, no existen o simplemente no han pasado del suelo al siguiente nivel de la red trófica. Se recomienda estos estudios sobretodo para Cd y Hg.

Hasta el momento, se ha descubierto que algunas moléculas facilitan el transporte de metales pesados al interior de la planta a través de las raíces. Las sustancias orgánicas quelantes, que son capaces de formar iones complejos con el metal, facilitan en gran medida la absorción. Estas sustancias pueden ser producidas por la propia planta y liberadas al suelo a través de las raíces, o

pueden ser añadidas directamente por el hombre al suelo que se desee descontaminar (Wangenstein, 2002).

Varios son los estudios realizados con vegetales para evaluar su capacidad de bioacumulación, bioconcentración y depuración.

Illera *et al.* (2001), que el tomillo (*Thymus zygis*) es capaz de absorber metales pesados (Cu, Pb y Zn). Peñaloza *et al.* (2004) evaluaron la respuesta de dos especies de lupino (*Lupinus albus* cv. Victoria y *L. angustifolius* cv. Gungurru) al Al fitotóxico. El girasol (*Heliantus annuus*) es capaz de absorber en grandes cantidades el uranio depositado en el suelo. Los álamos (género *Populus*) absorben selectivamente Ni, Cd y Zn. También el berro común de pared (*Arabidopsis thaliana*) es capaz de hiperacumular Cu y Zn. Otras plantas comunes que se han ensayado con éxito como posibles especies fitorremediadoras son la alfalfa (*Medicago sativa* L.), la mostaza (*Sinapis nigra* L.), el tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), la calabaza (*Cucurbita pepo* L.), el esparto (*Stipa tenacissima* L.), el sauce (*Salix alba* L.) y el bambú (*Phyllostachys aurea*) (Wangenstein, 2002).

Otros géneros menos conocidos tienen también excelentes propiedades como hiperacumuladores. Tal es el caso de *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae), que ha demostrado ser el mejor hiperacumulador conocido para el Cd y Zn, llegando a extraer en una sola generación hasta el 50% de todo el Cd existente en el suelo. Otras especies del género *Thlaspi* han demostrado su capacidad para acumular también Pb y Cu (Wangenstein, 2002). Dentro de la familia Brassicaceae se han identificado 11 géneros con 187 especies como hiperacumuladoras de metales (Baker and Brooks, 1995 en Ghosh and Singh, 2005).

Una especie de amaranto (*Amaranthus retroflexus*) ha mostrado ser 40 veces más efectiva que sus competidoras en absorber el amenazador Cs-137 radiactivo, que es capaz de biomagnificarse. *Amaranthus* también resulta muy prometedora como hiperacumulador de Pb, metal muy difícil de absorber por los vegetales. El helecho *Pteris vittata*, ha demostrado recientemente ser

capaz de absorber el peligroso As, siendo capaz de concentrarlo hasta 200 veces respecto al suelo de donde lo toma (Wangensteen, 2002).

#### 4.4 Leche

Los resultados de metales pesados en la leche no fueron detectados.

#### 4.5 Factor de concentración

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos con los datos de Cu y Zn. El factor de concentración únicamente calcula cuánto contaminante absorbe un organismo; en este caso sólo se presentan los valores mas no posibles riesgos ya que los valores no sobrepasan (ni se acercan) a los límites de toxicidad.

**Tabla 16.** Factor de Concentración de Cu y Zn que pasa del suelo a los vegetales.

MUESTRA	FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE Cu	FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE Zn
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 1)	1,17	-
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 2)	0,22	-
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 3)	0,48	-
<i>Smallanthus</i> sp. (Testigo)	16,90	-
<i>Smallanthus</i> sp. (Quebrada)	1,49	-
<i>Eucalyptus globulus</i> (Zona 3)	0,36	-
<i>Eucalyptus globulus</i> (Testigo)	15,85	9,49
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Cultivos)	0,27	1,49
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Testigo)	6,86	-
<i>Pelargonium zonale</i> (Todas zonas)	12,09	22,86
<i>Pelargonium zonale</i> (Testigo)	7,59	5,68
<i>Zea mays</i> (Cultivos)	2,55	13,33
<i>Zea mays</i> (Testigo)	-	0,83

#### **4.6 Rutas medioambientales y predicción teórica del riesgo potencial**

Para el análisis de riesgo nos apoyamos en las pautas desarrolladas por la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos – USEPA, utilizada por Moreno (2003) y el Reporte de Evaluación de Riesgos de Línea Base de Kolluru (1998).

La vía de exposición de la población es el agua de abastecimiento y los vegetales que la gente consume. El hecho de que la población ingiera estos elementos implica una exposición crónica de más de 25 años a contaminantes, lo cual supone efectos devastadores a la red trófica, y a los seres humanos (OIT, 2001; Peña, *et al.* 2001).

Los valores encontrados en los diferentes elementos están dentro y fuera de los límites máximos permisibles y en otros ni siquiera fueron detectados. Ahora, esto podría cambiar una vez que las condiciones ambientales fuesen alteradas (cambio de pH y de la composición de materia orgánica en el suelo, adición de ciertos compuestos como óxidos de hierro, etc.); tal evento ocasionaría disponibilidad de ciertos elementos y por ende efectos en el lugar con sus debidas consecuencias a los seres vivos.

#### **Cadmio**

La exposición crónica a bajas concentraciones de Cd causa distintos efectos tóxicos, entre los que destacan la degeneración de los túbulos renales, la hipertensión y las alteraciones óseas (IARC, 1993; ATSDR, 1999a).

El Cd tiende a adsorberse a suelos y sedimentos, sin embargo, el aumento de pH podría hacerlo disponible a los seres vivos; esto podría constituir un riesgo especialmente para las plantas pues son eficaces en su absorción. No obstante, este riesgo se ve reducido al no ser las especies analizadas fitodepuradoras.

Al encontrar Cd en medios líquidos (agua y lixiviados), se asume que el metal se está lavando y escurriendo, contaminando así el recurso hídrico y poniendo en riesgo la salud de los pobladores.

### **Cobre**

La concentración de Cu en el suelo no presenta riesgo y se puede observar que las plantas lo están absorbiendo, este hecho se ve favorecido por el bajo porcentaje de materia orgánica en el suelo (10%). Una consideración importante es que el Cu es menos sensible a los cambios del pH con lo cual disminuye la probabilidad de ocasionar efectos diferentes a los encontrados al cambiar las condiciones del sitio.

### **Cromo**

Debido a su capacidad de adsorción a la fracción sólida del suelo, su movilidad está limitada, lo que explica su ausencia tanto en líquidos como en vegetales. Alteraciones posibles como la composición de materia orgánica y adición de compuestos (arcillas) favorecerían su disponibilidad.

### **Mercurio**

Al igual que el Cd, su movilidad se ve restringida por el contenido de materia orgánica, lo que justifica el no haberlo detectado en vegetales, aunque en agua sí se encontró. Los distintos compuestos del Hg tienen efectos cancerígenos (ATSDR, 1999b).

### **Níquel y Plomo**

Ninguno de estos metales fue hallado, lo que podría explicarse por su capacidad de adsorberse a suelos y sedimentos (Ni) y a su disponibilidad limitada (Pb). También es posible que no hayan sido depositados en el terreno.

## **Zinc**

El caso del Zn es interesante por haberse encontrado en todos los elementos analizados a excepción de lixiviados. Por ser el contenido de materia orgánica bajo, entonces, puede absorberse fácilmente a vegetales, a más de ser considerado nutriente esencial. En cuanto a su presencia en el agua, puede deberse a la abundante cantidad de llantas y latas ubicadas cerca de las quebradas.

### **4.7 Análisis Social**

A continuación se exponen los puntos clave que cada entrevistado ha pronunciado con respecto al botadero. Se debe destacar las opiniones contrastantes entre la parte administrativa e institucional y las opiniones de la comunidad afectada.

#### **4.7.1 Visión de la EMAC (Departamento Administrativo, Departamento de Trabajo Social y Departamento Técnico)**

La implantación del botadero ha mejorado la calidad de vida de la gente pues se mejoró la vía y se dotó a los habitantes de agua potable. La empresa ha dado preferencias laborales o concesiones a la gente del sector, mas nunca ofreció compensación alguna (como aseveran los habitantes). La institución no puede subsidiar el aprovechamiento en el terreno (por lo que lo arriendan). Se apoyaron los proyectos de microempresas con la ayuda de otras organizaciones, con el fin de asegurar fuentes de empleo para los pobladores. Según la institución, la gente se beneficia por la presencia del Ecoparque.

#### **4.7.2 Visión de los habitantes (vecinos del botadero y miembros de las cooperativas de recicladores)**

Al término de vida del botadero, el número de contratados locales disminuyó, por lo cual los pobladores se sienten afectados. La gente no está de acuerdo con el aprovechamiento del kikuyo del área, pues tienen que pagarlo, y este precio aumenta al ser los socios quienes lo revenden.

Tienen una mala calidad de vida, la cual se acentúa por la falta de agua y de sistemas básicos de infraestructura. Las principales actividades de la gente son la agricultura y la ganadería, pero no ganan mucho con la agricultura porque lo que necesitan para producir es más caro que sus ingresos. Si no venden sus productos, los destinan para consumo personal, pero no es suficiente. Siempre han tenido molestias por moscas y otras plagas, pestilencia y presencia de gases; las enfermedades que con más frecuencia sufren son: tuberculosis, gripe, inflamaciones de garganta y manchas en la piel.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Los metales pesados están asociados a vertederos y rellenos sanitarios. En el caso de Cuenca, las concentraciones encontradas son relativamente bajas con respecto a otros lugares, debido al tipo de desecho depositado en el lugar.

Cd es el elemento más común en toda la zona del botadero. Hay mayor disponibilidad de Cu que Zn.

Los valores de Cd y Hg encontrados en el agua ponen en peligro la salud de la red trófica. El agua de la quebrada Santa Catalina está contaminándose por las descargas de lixiviados que desbordan del tanque.

La disponibilidad del Cu es mayor que la del Zn. *Pennisetum clandestinum* y *Smallanthus* sp. absorben eficazmente Cu, no así Zn. *Eucalyptus globulus*, *Pelargonium zonale* y *Phaseolus vulgaris* absorben Cu y Zn. *Zea mays* absorbe Zn. *Amaranthus* sp. y *Vicia faba* no sirven para estudios de fitodepuración con los elementos analizados en este estudio. Es posible que *Eucalyptus globulus* esté acumulando Zn, pues se encontró mayor cantidad de este metal en la planta que en el suelo.

El potencial riesgo a la salud por Cr en los trabajadores que laboran en la zona 2 (composteras) es mínimo, pues las vías de administración son inhalación e ingestión.

La población que aprovecha los vegetales podría acumular de forma crónica pequeñas dosis que resultarían en posibles daños a la salud.

La recirculación de lixiviados aparentemente ha disminuido o ha provocado la adsorción de los metales a las partículas del suelo, lo cual limita el transporte de estos contaminantes a los compartimentos medioambientales presentes.

Las condiciones del botadero son estables, pero en caso de presentarse ciertos eventos como la alteración de las condiciones físicoquímicas y en especial el cambio en la reacción del suelo, este escenario podría variar.

El Ecoparque no está implementado aún y los planes de diseño no contemplan una zonificación ni un análisis de riesgos. El tanque de lixiviados y ciertos desechos como llantas, plásticos, jeringas, herrumbres, etc. que están a la vista constituyen un peligro para la salud e integridad de pobladores y visitantes.

Se nota claramente un antagonismo entre las opiniones vertidas por los diferentes actores. Es evidente la falta de coordinación y comunicación entre las partes.

## **5.2 Recomendaciones**

Procurar mantener las condiciones actuales del lugar para evitar cambios en el escenario medioambiental.

Destinar un presupuesto anual al monitoreo del sitio, con la finalidad de establecer una normativa interna para la institución y determinar así el comportamiento de los elementos en el ecosistema.

Realizar un control en el tanque de lixiviados para evitar desbordamientos y descargas a los cuerpos de agua adyacentes.

Es imperativo un estudio de fitodepuración mediante bioensayos en la zona, probando con especies locales para posibles proyectos de biorremediación en el lugar. También se recomienda realizar análisis de metales con las raíces

de las plantas y un monitoreo para comprobar si las especies del botadero bioacumulan metales.

Para ayudar a la descomposición de compuestos tóxicos y contaminantes en los lixiviados (como metales pesados), se recomienda el uso de ciertas especies acuáticas: *Eichhornia crassipes* (lirio acuático), *Spirodela*, *Lemna*, *Wolffiella*, *Wolffia*, *Azolla* (lemnáceas) y *Salvinia molesta* (salvinia); sembrándolas en el agua y controlando el crecimiento para evitar la obstrucción del tanque.

Para la absorción de metales en el suelo se recomiendan ciertas especies de metalófitas hiperacumuladoras descritas para Brasil, Cuba y Venezuela (Anexo VII, Tabla 1). Algunas de ellas podrían adaptarse a las condiciones del país, por lo que se sugiere realizar los debidos estudios. En el Ecuador existen estudios únicamente de especies tolerantes de Zn y Pb (VII, Tabla 2), las cuales podrían ser utilizadas como fitodepuradoras.

Zonificar el Ecoparque. En general, toda la superficie debería ser recubierta nuevamente. Cercar el área que rodea al tanque de lixiviados, para restringir el acceso a la zona y prevenir posibles accidentes.

Propiciar un diálogo más intenso, con búsqueda de vínculos con la comunidad, para reestablecer las relaciones y conseguir la cooperación y participación local.

Se sugiere tomar en cuenta los Lineamientos para un Plan Ambiental del Anexo VIII.

## BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Yudith, PAOLINI, Jorge, FLORES, Saúl *et al.* *Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza.* *Multic.* [online]. jun. 2003, vol.3, no.1 [citado 21 Enero 2007], p.51-60. Disponible en la World Wide Web: [http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1317-22552003006000007&lng=es&nrm=iso](http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1317-22552003006000007&lng=es&nrm=iso). ISSN 1317-2255.

ACURIO, G.; A. ROSSIN; P.F. TEIXEIRA; F. ZEPEDA. 1997. *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.* Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud. Primera Edición: Julio de 1997 – No ENV97-107 del Banco Interamericano de Desarrollo. Segunda Edición: Septiembre de 1998 – Serie Ambiental No. 18. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Disponible en la World Wide Web: <http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/cantidad.pdf>

ÁLVAREZ, J.C. 2003. "El Relleno Sanitario del Sector de Cochabamba de la Parroquia El Valle". Tesis previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Especialización en Historia y Geografía. Universidad de Cuenca. Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación.

ATSDR (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE RESEARCH).h 1997. Toxicological profile for nickel. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <http://www.atsdr.cdc.gov>

BARRAZA, J. 2000. Determinación de la metodología óptima para la biomonitorización de metales pesados en sedimentos y biota del Río Lempa. PROARCA/CAPAS. El Salvador. 13 pp.

\_ 1999a. Toxicological profile for cadmium.

\_ 1999b. Toxicological profile for mercury.

BIDWELL, R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. Trad. G. Gerónimo y Rojas, M. Primera edición. Cap. V. Suelo, Agua y Aire: La nutrición de las plantas. A.G.T. Editorial, S.A. México. Pág. 265-292.

BONOMELLI, Claudia, BONILLA, Carlos y VALENZUELA, Adriana. *Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile.* *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2003, vol. 38, no. 10 [citado 2007-03-06], pp. 1179-1186. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2003001000007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2003001000007&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0100-204X. doi: 10.1590/S0100-204X2003001000007

CABRERA, F y VALSECA, R. 2004. Residuos orgánicos en la regeneración de suelos contaminados con metales pesados. <http://www.andalucia investiga.com>

CANTANHEDE, A. 2000. *Manejo de Residuos Sólidos Domésticos.* Multimedia Ambiente Ecológico. Edición 72. Investigaciones. <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/072-07-2000/072-cepis.html>

CANTANHEDE, A. sf. *MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS*.  
<http://www.cepis.ops-oms.org/enwww/infcepis/maneresi.html>

Cce.org.mx. sf. Manejo de residuos industriales: Factores Políticos y Racionalidad Técnica. <http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/articulos/residuos.html>

Cepis.ops-oms.org. 2002. *ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Gobierno de la República del Ecuador, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. División de Salud y Ambiente. ECUADOR.  
[www.camindustriales.org.ec/paginas/promocion/doc/analisisresiduos.PDF](http://www.camindustriales.org.ec/paginas/promocion/doc/analisisresiduos.PDF)

COLEMAN, D and D.A., CROSSLEY. 1996. *Fundamentals of Soil Ecology*. ACADEMIC PRESS, INC. First edition. Chapter 1. Introduction: The Fitness of the Soil Environment. United States of America. Pag. 1-14.

CONAMA (COMISIÓN DE MEDIO AMBIENTE). 1997. *GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS: PROPUESTA DE POLITICA*. VERSION APROBADA POR EL COMITE DE MINISTROS DE DESARROLLO PRODUCTIVO.  
[http://conama.cl/rm/568/articles-1416\\_pnrs.doc](http://conama.cl/rm/568/articles-1416_pnrs.doc)

\_ 1997. *TARIFACIÓN DIFERENCIADA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN BASE A LA CANTIDAD GENERADA*. Documento de trabajo N° 6. Serie de Economía Ambiental. Chile.  
[http://conama.cl/rm/568/articles-1416\\_pnrs.doc](http://conama.cl/rm/568/articles-1416_pnrs.doc)

CORDERO, J; GUEVARA, M; MORALES, E y LODEIROS, C. 2005. Efectos de metales pesados en el crecimiento de la microalga tropical *Tetraselmis chuii* (Prasinophyceae).  
<http://rbt.ots.ac.cr/read/revistas/F53-3-4%20%5B2005%5D.pdf/02-CORDERO-Efe.indd.pdf>

DAUBENMIRE, R.F. 2001. *ECOLOGÍA VEGETAL*. Tratado de Autoecología de Plantas. Primera edición. EDITORIAL LIMUSA. GRUPO NORIEGA EDITORES. Cap. 2. El factor suelo. México. Pág. 13-97.

GEOMÁTICA. 2004. IERSE, UDA. Recurso en línea.  
<http://www.uazuay.edu.ec>

DUFFUS, J. 1983. *Toxicología Ambiental*. Ediciones Omega, S.A. Trad. Joan Ayala. Primera edición en español. Barcelona, España. Pág. 82-94.

EMAC. 2004. *Antiguo Relleno Sanitario de El Valle*.  
<http://www.emac.gov.ec/ServiciosPag.asp?IdMensa=12224>.

EHRIG, H. J. 1992. *CANTIDAD Y CONTENIDOS DE LIXIVIADOS DE RELLENOS DE DESECHOS DOMESTICOS*. TRADUCIDO POR ACADEMIA TICA DE ESPAÑOL. REVISADO POR EL COMITE CALIDAD DE MATERIAL DIDACTICO, CAPRE/ANDESAPA. SAN JOSE, COSTA RICA. PN 88.2965.6-03.100. PROYECTO CEPIS/GTZ. FORTALECIMIENTO TECNICO DE CEPIS. Preparado por la: Coordinación Sectorial Regional para Latinoamérica en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la GTZ.  
<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/cantidad.pdf>

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1997. *Technical studies*.  
<http://www.epa.gov>

ESAKKU, S; PALANIVELU, K y JOSEPH, K. 2003. Assessment of heavy metals in a municipal solid waste dumpsite. Centre for Environmental Studies, Anna University. Workshop on Sustainable Landfill Management. Chennai, India.

<http://www.swlf.ait.ac.th/data/Anna%20University%20National%20Workshop%20on%20Sustainable%20Landfill%20Manage/Chennai%20Workshop%20pdf/Assessment%20of%20Heavy%20Metals%20in%20a%20Municipal%20Solid%20Waste%20Dump.pdf>

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). 2000. Infections and intoxication of farm livestock associated with feed and forage.

<http://fao.org/es/ESN/animapdf/annex4.pdf>

\_ 2004. Soil heavy metals.

[http://www.fao.org/gtos/tems/variable\\_Show\\_jsp?VARIABLE\\_ID=43](http://www.fao.org/gtos/tems/variable_Show_jsp?VARIABLE_ID=43)

GEILFUS, F. 1997. 80 HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO PARTICIPATIVO: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. Prochamate-IIICA, San Salvador, El Salvador. 208 p.

GINOCCHIO, ROSANNA y BAKER, ALAN J.M. Metalófitas en América Latina: un recurso biológico y genético único poco conocido y estudiado en la región. *Rev. chil. hist. nat.* [online]. mar. 2004, vol.77, no.1 [citado 06 Marzo 2007], p.185-194.

Disponibile en la World Wide Web: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-078X2004000100014&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2004000100014&lng=es&nrm=iso). ISSN 0716-078X.

GHOSH, M. and S., SINGH. 2005. A REVIEW ON PHYTOREMEDIATION OF HEAVY METALS AND UTILIZATION OF ITS BY-PRODUCTS. Biomass and Waste Management Laboratory, School of Energy and Environmental Studies, Faculty of Engineering Sciences, Devi Ahilya University, Indore, India.

Greenpeace Argentina. 2004. RESUMEN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y SOBRE LA SALUD DE LOS RELLENOS SANITARIOS. Campaña Contra las Sustancias Tóxicas.

<http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/3941.pdf>.

HENRY, J.; C. RUNNALLS. "Capítulo 15: Residuos Peligrosos". En: HENRY, J.; W. HEINKE. 1999. *Ingeniería Ambiental*. Segunda Edición. PRENTICE HALL. Impreso en México. México. ISBN 970-17-0266-2.

IARC (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER). 1993. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Cadmium and cadmium compounds. Lyon, Francia.

<http://www.iarc.fr>

\_ 2006. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans.

IANNACONE O., José y ALVARINO F., Lorena. Efecto Ecotoxicológico de tres Metales Pesados Sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares. *Agric. Téc.* [online]. jun. 2005, vol.65, no.2 [citado 06 Marzo 2007], p.198-203.

Disponibile en la World Wide Web: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072005000200009&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072005000200009&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0365-2807.

ILLERA, V; WALTER, I y CALA, V. 2001. NIVELES DE METALES PESADOS EN *Thymus zizis* CON RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, año/vol. 17, número 004.

<http://redalyc.uaemex.mx/>

KOLLURU, R. "Parte II. Capítulo 4: EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD: PRINCIPIOS Y PRÁCTICAS". En: Kolluru, R. 1998. Manual de Evaluación y Administración de Riesgos. ORTIZ, M. (trad.) MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A. de C.V. 1ra. Edición en Español. México D.F. México. ISBN 0-07-035987-3. 660 p.

MORENO, M. 2003. *TOXICOLOGÍA AMBIENTAL*. Evaluación de riesgo para la salud humana. Editorial McGraw-Hill. Madrid. 361 pp.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. 1999. *Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados*. Libro VI, Anexo 2. <http://ambiente.gov.ec>

Muñoz, F. 2001. RELLENO "EL VALLE". Proceso de Remediación. EMAC.

NICOLA, G. 1998. *METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS EN CIUDADES PEQUEÑAS*. Asociación de municipalidades ecuatorianas. Área de Saneamiento Ambiental. 142 pp.

NGUYEN, P.V., J.J. KIELBASO, J.R. WILLIAMS, and J.C. BURICK. 2001. Uptake of heavy metals by woody plants growing at an environmentally contaminated site. Department of Forestry, Michigan State University. Annual Meetings of the American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. October 21 - 25 in Charlotte, North Carolina.

OIT (ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE TRABAJO. 2001. Metales: propiedades químicas y toxicidad. ENCICLOPEDIA DE LA SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Cap. 63. Director del capítulo Gunnar Nordberg. Tercera edición.

<http://www.mtas.es/Publica/enciclo/general/contenido/sumario.pdf>

PEÑA, C; CANTER, D y AYALA-FIERRO, F. 2001. *TOXICOLOGÍA AMBIENTAL*. Evaluación de riesgos y restauración ambiental. Southwest Hazardous Waste Program. A Superfund Basic Research and Training Program. At the College of Pharmacy. University of Arizona.

<http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/toxamb.pdf>

Resol.com.br. sf. *Clausura, Posclausura y Acción correctiva*. Capítulo 17. <http://www.resol.com.br/Guia/Guia-cap17.htm>

SARDI, C. 2005. Evaluación de la calidad del agua del antiguo botadero de "El Valle" utilizando macroinvertebrados bentónicos. Universidad del Azuay, Escuela de Biología del Medio Ambiente. Cuenca.

TOMASINI, A.C. 1997. *AUTODIDÁCTICA EN MATERIA DE NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS CON LA INSPECCIÓN Y VERIFICACIÓN: UNIDAD DIDÁCTICA PARA LA APLICACIÓN DE LA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES*. VILLEGAS, D. (ed). ARREORTÚA, M. B., M. A. ÁLVAREZ, M.A. TOLEDO, C. LEVI. (rev.). © Comisión Nacional del Agua y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ISBN 968-5536-11-2. Disponible en:

<http://www.ceamamorelos.gob.mx/secciones/ambiente/prevencionYcontrol-de-lacontaminacion/normayotros/NOM-001-SEMARNAT-1996.pdf>

UDA-MUNICIPALIDAD DE CUENCA. 2006. Diagnóstico Ambiental Parcial de las 21 Parroquias Rurales del Cantón Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Unizar.es. sf. *Plan Nacional 2000 – 2003*. AREA DE MEDIO AMBIENTE. Volumen II. 345-356pp. [http://wzar.unizar.es/invest/vinv/pnid/a\\_medioam.pdf](http://wzar.unizar.es/invest/vinv/pnid/a_medioam.pdf)

VÁSQUEZ, F.; G. DURAZNO. 1995. *Diagnóstico y Caracterización de los Lixiviados del Botadero de Basuras de El Valle en la Ciudad de Cuenca*. Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil. UNIVERSIDAD DE CUENCA. FACULTAD DE INGENIERÍA. ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL. Cuenca – Ecuador.

VARNERO, M.T. 2001. *¿CUÁNTO CONTAMINAN EL SUELO AGRÍCOLA LOS VERTEDEROS DE BASURA?* ACADÉMICA DEL DPTO. DE INGENIERÍA Y SUELOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS DE LA U. DE CHILE. <http://www.inta.cl/revista/NutriXXI-7.pdf>.

VADILLO, I; CARRASCO, F; ANDREO, B; GARCÍA DE TORRES, A & BOSCH, C. 1988. Chemical composition of landfill leachate in a karst area with a Mediterranean climate (Marbella, Southern Spain), *Environmental Geology*, en prensa. *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*. Valencia 1998. AIH-GE. 320pp. Disponible en: <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdflib3/vadillo.pdf>

ZHUNIO, E y P. GUERRERO. 2003. "Proyecto de Compostificación en el Antiguo Relleno Sanitario ubicado en El Valle, Sector Cochabamba". Tesis previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Especialización en Química, Biología, Ciencias Naturales y Educación del Medio Ambiente. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias de la Educación.

Wangesteen, O. 2002. Biotecnología. Metales pesados y absorción vegetal. <http://www.cienciadigital.es/hemeroteca/biotecnologia.pdf>

## ANEXOS

## ANEXO I

Tabla 1. Curvas de calibración utilizadas en el primer muestreo.

METAL	CONCENTRACIÓN	LECTURA EQUIPO			GRÁFICO
CADMIO	0,5 ppm	0,072	0,070	0,071	
	1 ppm	0,135	0,137	0,136	
	2,5 ppm	0,306	0,307	0,307	
	5 ppm	0,510	0,509	0,509	
	10 ppm	0,713	0,713	0,713	
COBRE	0,5 ppm	0,002	0,001	0,001	
	1 ppm	0,004	0,005	0,006	
	2,5 ppm	0,014	0,013	0,012	
	5 ppm	0,024	0,023	0,023	
	10 ppm	0,037	0,037	0,038	
NIQUEL	0,5 ppm	0,004	0,004	0,004	
	1 ppm	0,008	0,007	0,007	
	2,5 ppm	0,017	0,017	0,018	
	5 ppm	0,035	0,034	0,036	
	10 ppm	0,064	0,064	0,065	
PLOMO	0,5 ppm	0,000	0,000	0,000	
	1 ppm	0,001	0,001	0,001	
	2,5 ppm	0,006	0,006	0,006	
	5 ppm	0,015	0,016	0,016	
	10 ppm	0,027	0,028	0,028	
CROMO	0,5 ppm	0,001	0,001	0,001	
	1 ppm	0,003	0,002	0,002	
	2,5 ppm	0,005	0,005	0,005	
	5 ppm	0,009	0,010	0,009	
	10 ppm	0,018	0,017	0,017	
ZINC	0,5 ppm	0,070	0,069	0,071	
	1 ppm	0,144	0,147	0,015	
	2,5 ppm	0,292	0,293	0,294	
	5 ppm	0,635	0,641	0,644	
	10 ppm	0,898	0,892	0,895	
MERCURIO	0,05	0,007	0,025	0,012	
	0,1	0,075	0,093	0,074	
	0,5	0,736	0,838	0,811	
	1	1,435	1,597	1,516	

**Tabla 2.** Curvas de calibración utilizadas en el segundo muestreo.

METAL	CONCENTRACIÓN	LECTURA EQUIPO			GRÁFICO
CADMIO	0,5 ppm	0,037	0,037	0,036	
	1 ppm	0,071	0,072	0,072	
	2,5 ppm	0,170	0,171	0,171	
	5 ppm	0,317	0,315	0,316	
	10 ppm	0,539	0,538	0,538	
COBRE	0,5 ppm	0,002	0,003	0,003	
	1 ppm	0,007	0,007	0,007	
	2,5 ppm	0,016	0,018	0,017	
	5 ppm	0,031	0,034	0,031	
	10 ppm	0,058	0,057	0,058	
NIQUEL	0,5 ppm	0,005	0,005	0,005	
	1 ppm	0,009	0,008	0,008	
	2,5 ppm	0,018	0,018	0,019	
	5 ppm	0,036	0,036	0,036	
	10 ppm	0,066	0,066	0,066	
PLOMO	0,5 ppm	0,000	0,000	0,000	
	1 ppm	0,001	0,001	0,001	
	2,5 ppm	0,007	0,007	0,007	
	5 ppm	0,016	0,017	0,017	
	10 ppm	0,027	0,028	0,028	
CROMO	0,5 ppm	0,001	0,001	0,001	
	1 ppm	0,002	0,002	0,002	
	2,5 ppm	0,005	0,005	0,005	
	5 ppm	0,012	0,011	0,012	
	10 ppm	0,021	0,021	0,021	
ZINC	0,5 ppm	0,075	0,074	0,074	
	1 ppm	0,154	0,153	0,154	
	2,5 ppm	0,340	0,339	0,341	
	5 ppm	0,638	0,636	0,638	
	10 ppm	1,074	1,074	1,074	

**Tabla 3.** Límites de detección utilizados para cada metal.

METAL	MUESTREO I	MUESTREO II
Cd	0,04	0,06
Cu	0,8	0,45
Cr	0	0,6
Hg	0,54	-
Ni	0,3	0,26
Pb	0,8	0,43
Zn	0,4	0,3

ANEXO II

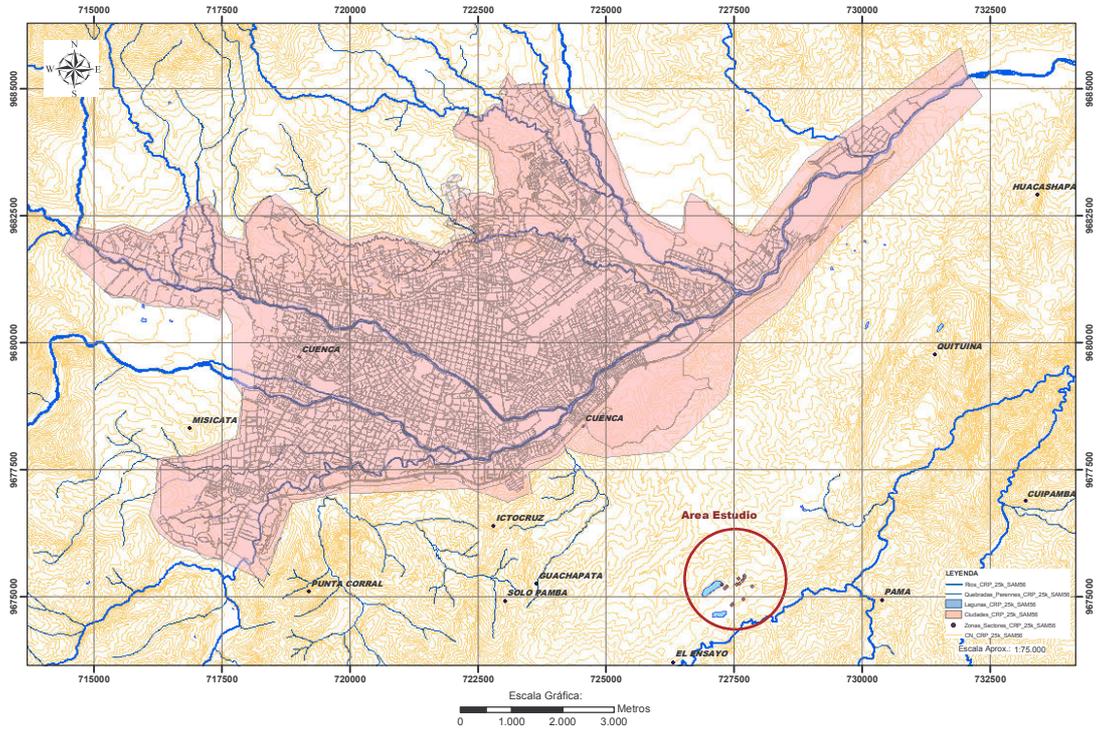


Figura 1. Mapa Ubicación del Botadero del Valle con respecto a la ciudad de Cuenca

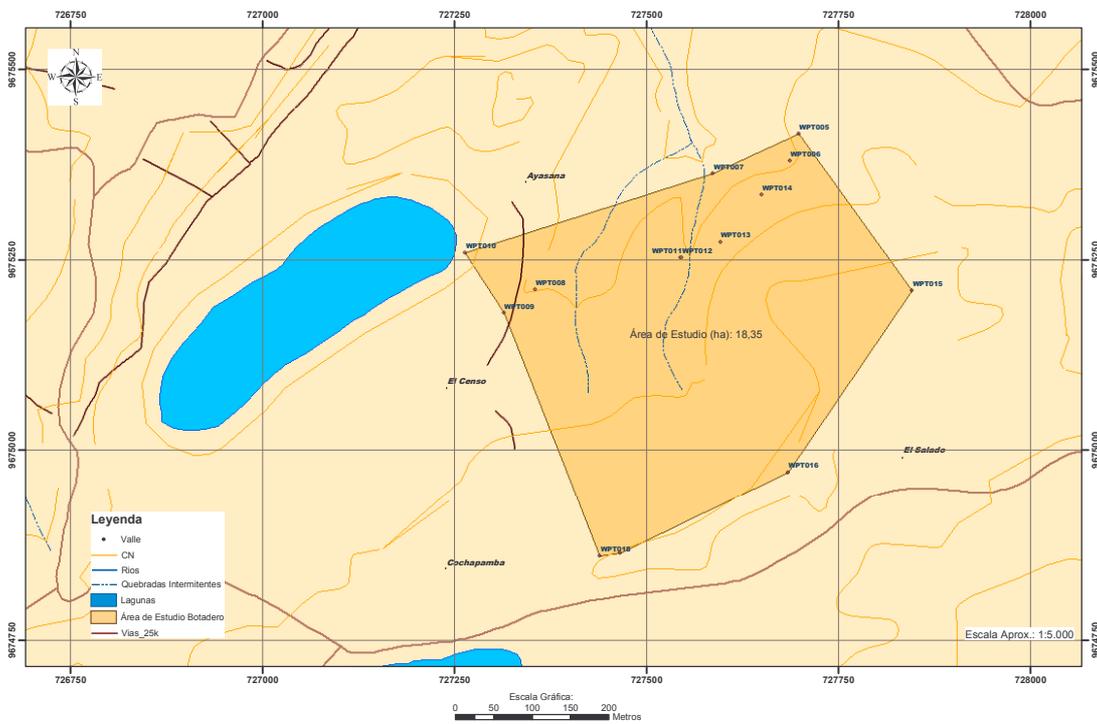


Figura 2. Área Estudio del Botadero

## ANEXO III

**Tabla 1.** Pesos de las muestras de vegetales y su volumen de aforo (muestreo 1)

VOLUMEN AFORO	MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO SECO
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 1	4,5172	0,4986
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 1	5,4820	0,3879
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 2	6,8541	0,2478
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 2	12,8741	0,9654
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 3	4,5124	0,1267
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 3	9,358	0,5211
200	<i>Smallanthus</i> sp. (testigo)	5,6984	1,5417
200	<i>Smallanthus</i> sp. (quebrada)	4,8754	0,7412
200	<i>Amaranthus</i> sp. (testigo)	2,9514	0,7563
200	<i>Amaranthus</i> sp. (cultivo)	0,6321	0,7489
250	<i>Eucalyptus globulus</i> (testigo)	27,5879	1,947
250	<i>Eucalyptus globulus</i> (zona 3)	15,5441	0,9654
250	<i>Vicia faba</i> (testigo)	4,2231	0,2546
200	<i>Vicia faba</i> (cultivo)	5,6659	0,3687
250	<i>Phaseolus vulgaris</i> (cultivo)	18,6674	0,8773
250	<i>Phaseolus vulgaris</i> (testigo)	8,3254	0,1117
100	<i>Pelargonium zonale</i> (todas zonas)	2,4239	0,1119
100	<i>Zea mays</i> (cultivo)	19,8821	1,7736
100	<i>Zea mays</i> (cultivo)	18,6665	0,8331
100	<i>Zea mays</i> (testigo)	10,9884	1,9936
100	<i>Zea mays</i> (testigo)	6,9513	0,4211

**Tabla 2.** Pesos de las muestras de vegetales y leche y su volumen de aforo (muestreo 2)

VOLUMEN AFORO	MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO SECO
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 1	3,4875	0,3587
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 1	6,6101	0,6832
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 2	9,0313	0,6786
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 2	10,8713	0,8015
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 3	3,6797	0,4201
100	<i>Pennisetum clandestinum</i> 3	7,2715	0,8224
200	<i>Smallanthus</i> sp. (testigo)	6,3507	1,4575
200	<i>Smallanthus</i> sp. (quebrada)	6,5466	0,6211
200	<i>Amaranthus</i> sp. (testigo)	2,2391	0,2321
200	<i>Amaranthus</i> sp. (cultivo)	0,8042	0,1033
250	<i>Eucalyptus globulus</i> (testigo)	25,7616	1,6098
250	<i>Eucalyptus globulus</i> (zona 3)	13,3334	0,8795
250	<i>Vicia faba</i> (testigo)	3,5331	0,1369
200	<i>Vicia faba</i> (cultivo)	3,1636	0,1219
250	<i>Phaseolus vulgaris</i> (cultivo)	16,9634	0,5681
250	<i>Phaseolus vulgaris</i> (testigo)	6,6248	0,2580
100	<i>Pelargonium zonale</i> (todas zonas)	4,0973	0,2209
100	<i>Zea mays</i> (cultivo)	15,3577	0,2031
100	<i>Zea mays</i> (cultivo)	22,0761	0,3290
100	<i>Zea mays</i> (testigo)	6,1330	0,1149
100	<i>Zea mays</i> (testigo)	7,7489	0,1082
100	Leche (El Valle)		0,8596
100	Leche (El Valle)		0,3527
100	Leche (testigo)		0,3894
100	Leche (testigo)		0,3828

## ANEXO IV

### FORMATO DE ENTREVISTA PARA LOS DIFERENTES GRUPOS

#### a. Personal administrativo de la EMAC representado por el Gerente

- Historia operativa del botadero.
- Relación de la institución con los pobladores.
- Ofrecimientos, obligaciones y compromisos.
- Posibilidades de compensación a la gente.
- El futuro del Ecoparque.

#### b. Departamento de Trabajo Social de la EMAC

- Relación de la institución con los pobladores.
- Ofrecimientos, obligaciones y compromisos.
- Posibilidades de compensación a la gente.
- El futuro del Ecoparque.

#### c. Departamento Técnico de la EMAC

- Historia operativa del botadero.
- Relación de la institución con los pobladores.
- Ofrecimientos, obligaciones y compromisos.
- Posibilidades de compensación a la gente.
- Posibilidades de riesgo y prevención.

#### d. Vecinos del botadero de El Valle

- Historia del botadero.
- Impactos causados por la presencia del botadero (positivos y negativos).
- Ofrecimientos, obligaciones y compromisos.
- Visión del Ecoparque.
- Análisis socioeconómico.

## ANEXO V

Tabla 1. Promedio de los muestreos realizados en las estaciones lluviosa y seca.

ELEMENTO	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Quebrada Santa Catalina	0,12	ND*	ND	0,07	ND	ND	ND
Tanque de lixiviados	0,42	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quebrada 1	0,95	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quebrada 2	0,28	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Agua Testigo	0,28	ND	ND	ND	ND	ND	0,06
Suelo Zona 1	4,67	5,99	ND	ND	ND	ND	14,76
Suelo Zona 2	9,60	27,65	30,71	ND	ND	ND	21,14
Suelo Zona 3	6,04	10,79	43,61	ND	ND	ND	15,69
Suelo Testigo	1,02	0,70	1,48	ND	ND	ND	3,65
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 1)	ND	6,98	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 2)	ND	6,10	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 3)	ND	7,49	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Testigo)	ND						
<i>Smallanthus</i> sp. (Testigo)	ND	11,90	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Smallanthus</i> sp. (Quebrada)	ND	16,11	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Amaranthus</i> sp. (Cultivos)	ND						
<i>Amaranthus</i> sp. (Testigo)	ND						
<i>Eucalyptus globulus</i> (Zona 3)	ND	3,94	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Eucalyptus globulus</i> (Testigo)	ND	11,16	ND	ND	ND	ND	34,63
<i>Vicia faba</i> (Cultivos)	ND						
<i>Vicia faba</i> (Testigo)	ND						
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Cultivos)	ND	7,48	ND	ND	ND	ND	31,48
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Testigo)	ND	4,83	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pelargonium zonale</i> (Todas zonas)	ND	8,51	ND	ND	ND	ND	83,45
<i>Pelargonium zonale</i> (Testigo)	ND	5,34	ND	ND	ND	ND	20,72
<i>Zea mays</i> (Cultivos)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,54
<i>Zea mays</i> (Testigo)	ND	1,80	ND	ND	ND	ND	48,66
Leche (El Valle)	ND						
Leche (Testigo)	ND						

- No detectado

Tabla 2. Datos de los muestreos en estación seca (muestreo 1).

ELEMENTO	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Quebrada Santa Catalina	0,11	ND*	ND	0,05	ND	ND	ND
Tanque de lixiviados	0,39	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quebrada 1	1,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quebrada 2	0,26	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Agua Testigo	0,29	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Suelo Zona 1	NR**	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Suelo Zona 2	NR						
Suelo Zona 3	NR						
Suelo Testigo	NR						
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 1)	ND	6,90	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 2)	ND	6,0	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 3)	ND	7,8	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Testigo)	ND						
<i>Smallanthus sp.</i> (Testigo)	ND	11,0	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Smallanthus sp.</i> (Quebrada)	ND	16,23	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Amaranthus sp.</i> (Cultivos)	ND						
<i>Amaranthus sp.</i> (Testigo)	ND						
<i>Eucalyptus globulus</i> (Zona 3)	ND	4,52	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Eucalyptus globulus</i> (Testigo)	ND	10,30	ND	ND	ND	ND	36,54
<i>Vicia faba</i> (Cultivos)	ND						
<i>Vicia faba</i> (Testigo)	ND						
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Cultivos)	ND	6,91	ND	ND	ND	ND	32,29
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Testigo)	ND	5,68	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pelargonium zonale</i> (Todas zonas)	ND	7,86	ND	ND	ND	ND	80,42
<i>Pelargonium zonale</i> (Testigo)	ND	4,75	ND	ND	ND	ND	19,56
<i>Zea mays</i> (Cultivos)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,0
<i>Zea mays</i> (Testigo)	ND	2,25	ND	ND	ND	ND	47,74
Leche (El Valle)	ND						
Leche (Testigo)	ND						

\* (ND) No detectado.

\*\* (NR) No se realizó.

Tabla 3. Datos de los muestreos en estación lluviosa (muestreo 2).

ELEMENTO	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
<b>Quebrada Santa Catalina</b>	<b>0,13</b>	ND*	ND	<b>0,09</b>	ND	ND	ND
<b>Tanque de lixiviados</b>	<b>0,45</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Quebrada 1</b>	<b>0,86</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Quebrada 2</b>	<b>0,30</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Agua Testigo</b>	<b>0,27</b>	ND	ND	ND	ND	ND	<b>0,08</b>
<b>Suelo Zona 1</b>	<b>4,67</b>	<b>5,99</b>	ND	ND	ND	ND	<b>14,76</b>
<b>Suelo Zona 2</b>	<b>9,60</b>	<b>27,65</b>	<b>30,71</b>	ND	ND	ND	<b>21,14</b>
<b>Suelo Zona 3</b>	<b>6,04</b>	<b>10,79</b>	<b>43,61</b>	ND	ND	ND	<b>15,69</b>
<b>Suelo Testigo</b>	<b>1,02</b>	<b>0,70</b>	<b>1,48</b>	ND	ND	ND	<b>3,65</b>
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 1)	ND	<b>7,06</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 2)	ND	<b>6,21</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Zona 3)	ND	<b>7,18</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pennisetum clandestinum</i> (Testigo)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Smallanthus sp.</i> (Testigo)	ND	<b>12,8</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Smallanthus sp.</i> (Quebrada)	ND	<b>16,0</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Amaranthus sp.</i> (Cultivos)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Amaranthus sp.</i> (Testigo)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Eucalyptus globulus</i> (Zona 3)	ND	<b>3,35</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Eucalyptus globulus</i> (Testigo)	ND	<b>12,0</b>	ND	ND	ND	ND	<b>32,7</b>
<i>Vicia faba</i> (Cultivos)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Vicia faba</i> (Testigo)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Cultivos)	ND	<b>8,06</b>	ND	ND	ND	ND	<b>30,7</b>
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Testigo)	ND	<b>3,99</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pelargonium zonale</i> (Todas zonas)	ND	<b>9,16</b>	ND	ND	ND	ND	<b>86,5</b>
<i>Pelargonium zonale</i> (Testigo)	ND	<b>5,93</b>	ND	ND	ND	ND	<b>21,88</b>
<i>Zea mays</i> (Cultivos)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<b>18,1</b>
<i>Zea mays</i> (Testigo)	ND	<b>1,34</b>	ND	ND	ND	ND	<b>49,6</b>
<b>Leche (El Valle)</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Leche (Testigo)</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

\* No detectado

## ANEXO VI



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**LABORATORIO ANALISIS AMBIENTALES**  
 Av. 24 de Mayo 777 y F. Moscoso tel .07-2881333 ext 274

Cuenca 30/01/2007

Of. No 003

Dra. Raffaella Ansaloni

Por medio de la presente envío a Usted el resultado de las determinaciones realizadas en la muestra entregada por Usted.

**Muestra 1**

<b>Suelo</b>	
<b>Determinación</b>	<b>Valor</b>
Materia Orgánica (%)	<b>10</b>
Fósforo (ppm)	<b>157</b>
Nitrógeno (ppm)	<b>1861</b>
pH	<b>6.95</b>
Conductividad (uS)	<b>373</b>
CIC (mEq/100gr)	<b>82</b>
Calcio (ppm)	<b>11623</b>
Magnesio (ppm)	<b>2534</b>
Sodio (ppm)	<b>415</b>
Potasio (ppm)	<b>581</b>
Textura	<b>Arenoso</b>
Arena (%)	<b>98</b>
Limo (%)	<b>0.013</b>
Arcilla (%)	<b>1.3</b>

**Muestra 2**

<b>Humus</b>	
<b>Determinación</b>	<b>Valor</b>
Materia Orgánica (%)	<b>38</b>
Nitrógeno (ppm)	<b>10594</b>
Fósforo (ppm)	<b>730</b>
Potasio (%)	<b>6.3</b>
Cadmio (ppm)	<b>0</b>
Cromo (ppm)	<b>149</b>
Cobre (ppm)	<b>36</b>
Plomo (ppm)	<b>22</b>
Níquel (ppm)	<b>11</b>
Zinc (ppm)	<b>138</b>

*Piercosimo Tripaldi*

Dr. Piercosimo Tripaldi

AZUAY

LAUDA



*[Handwritten signature]*

## ANEXO VII

**Tabla 1.** Metalófitas hiperacumuladoras descritas en la literatura para América Latina.

PAÍS	METAL	ESPECIES
<b>Brasil</b>	Ni	<i>Adiantum</i> sp.
		<i>Cnidalcalus</i> sp.
		<i>Esterhazyia</i> sp.
		<i>Heliotropium</i> sp.
		<i>Laphostachys villosa</i> sp.
		<i>Mitracarpus</i> sp.
		<i>Ruellia geminiflora</i> sp.
		<i>Vellozia</i> sp.
<b>Cuba</b>	Ni	<i>Bomania</i> (3 spp.)
		<i>Buxux</i> (17 spp.)
		<i>Chionantus damingensis</i>
		<i>Euphorbia</i> (3 spp.)
		<i>Garcinia</i> (4 spp.)
		<i>Gochnaria erassifolia</i>
		<i>Gymnanthes recurva</i>
		<i>Koanophyllon grandiceps</i>
		<i>Koanophyllon prinoides</i>
		<i>Mosiera</i> (4 spp.)
		<i>Pentacalia</i> (10 spp.)
		<i>Phidiasia lindavil</i>
		<i>Phyllomelia coronata</i>
		<i>Psidium</i> (2 spp.)
		<i>Rondeletia</i> (2 spp.)
		<i>Sapium etythrosperum</i>
		<i>Savia</i> (3 spp.)
		<i>Tetralix</i> (5 spp.)
		Cu
<b>Venezuela</b>	Ni	<i>Croton</i> sp.
		<i>Lecythis ollaria</i>
		<i>Walstheria americana</i>
		<i>Oyedeia</i> sp.

Fuente: Metalófitas en América Latina: un recurso biológico y genético único poco conocido y estudiado en la región (Ginocchio y Baker, 2004).

**Tabla 2.** Especies metalófitas tolerantes empleadas en el Ecuador.

METAL	ESPECIES
Zn	<i>Baccharis amdatensis</i>
	<i>Rumex crispus</i>
	<i>Pennisetum claudiestnum</i>
Pb	<i>Chenopodium ambrosioides</i>
	<i>Pennisetum clandestinum</i>

Fuente: *Metalófitas en América Latina: un recurso biológico y genético único poco conocido y estudiado en la región* (Ginocchio y Baker, 2004).

## ANEXO VIII

Tabla 1. Plan Ambiental para el Antiguo Botadero de Basura de "El Valle".

OBJETIVO ESPECÍFICO	LÍNEA DE ACCIÓN	INDICADOR
<b>Resolver el problema del agua</b>	1. Realizar análisis físicos, químicos y biológicos	Calidad del agua
	2. Promover análisis de fitodepuración para metales pesados	Concentración de metales, base de datos de especies eficientes
	3. Realizar talleres de información y peligros de contaminación	Gente informada
	4. Apoyar la disponibilidad de agua potable para el sector	Número de usuarios
	5. Cercar zona del tanque de lixiviados	Número de accidentes
	6. Controlar descargas de lixiviados a cuerpos de agua	Calidad del agua
<b>Mejorar la calidad del suelo</b>	1. Realizar ensayos de fitodepuración	Concentración de metales, base de datos de especies eficientes
	2. Añadir material de cobertura	Número de hectáreas recubiertas, disminución de riesgos y adaptación de plantas
<b>Mejorar el aprovechamiento de kikuyo</b>	1. Realizar charlas y talleres sobre efectos de los lixiviados en la zona de recirculación	Gente informada
	2. Prohibir el aprovechamiento en el área de recirculación	Número de afecciones registradas Gente protegida
<b>Mejorar el aprovechamiento en los cultivos</b>	1. Añadir material de cobertura	Producción
	2. Talleres para mejorar la producción	Número de personas asesoradas
<b>Involucrar a la gente en las actividades del Ecoparque</b>	1. Promover diálogo para cooperación y participación	Acuerdos y compromisos Número de participantes
<b>Mejorar la implantación del Ecoparque</b>	1. Delimitar zonas	Número de zonas: áreas restringidas, de recreación, composteras, etc.