



**CENTRO UNIVERSITARIO DE GUANTÁNAMO**

**SEDE UNIVERSITARIA MUNICIPAL GUANTÁNAMO**

**SUBSEDE HONDURAS “CARLOS MANUEL DE CESPEDES”**

# **Trabajo de Diploma.**

**(Tesis para optar por el título de Ingeniero Agropecuario)**

**TÍTULO:** ESTUDIO DE LOS SUELOS Y LAS PLANTAS EN UN SITIO DE POSIBLE CONTAMINACIÓN CON METALES PESADOS EN LA COMUNIDAD DE HONDURAS EN EL MUNICIPIO GUANTÁNAMO.

**AUTOR:** ESTERAMIRTA RILL CASTILLO

*2009*

## ***DEDICATORIA***

A mi madre, que en gloria esté,

A mis hijos,

A mi esposo,

Al mayor defensor de la raza humana, Fidel.

## **RESUMEN**

El presente trabajo se realizó en un huerto de autoconsumo La Habichuela en la Granja Agropecuaria de Honduras, en el periodo de enero del 2008 a noviembre del 2009, con el objetivo de demostrar que los suelos utilizados para el confinamiento de desechos sólidos por desmantelamiento de la agroindustria azucarera en la comunidad de referencia presentan concentraciones tóxicas de elementos químicos. El área seleccionada como sitio experimental está ubicada al este del antiguo Central Azucarero. El área tiene una extensión aproximada de 2 ha y una pendiente entre 0.5 -1 % donde con gran frecuencia las aguas de escorrentía producto de las lluvias son conducidas. El Consejo Popular de Honduras abarca una extensión de 17,7 Km., con una población de 9 071 habitantes. Para ello se realizaron dos muestreos botánicos en los meses de Noviembre de 2008 y Enero de 2009, en el sitio ubicado en la comunidad de Honduras. Haciendo uso de técnicas de Espectrometría de Absorción Atómica se detectó el contenido de algunos elementos metálicos en hojas de seis especies de plantas y el suelo del área de estudio. Los resultados mostraron que el suelo del sitio muestreado se encuentra visiblemente afectado por el depósito de materiales sólidos de la desmantelación industrial. Los metales pesados encontrados en las diferentes estructuras de las plantas son Cromo, Cadmio, Níquel, Plomo, Cobre, Molibdeno y Manganeso en concentraciones superiores al normal.

## INDICE

Nº	Contenido	Pág
<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISION BIBLIOGRAFICA</b>	<b>5</b>
2.1	Antecedentes	5
2.2	Contaminación por metales pesados	8
2.2.1	Origen de los metales pesados	8
2.2.2	Efectos de la contaminación	14
2.3	La deposición de materiales de desecho de la industria azucarera y residuos sólidos como fuente contaminante del suelo con metales pesados.	14
2.3.1	Descripción del Proceso de deposición de los residuales sólidos.	16
2.4.	Métodos biológicos para la remediación de suelos contaminados por metales pesados	16
2.4.1	Bioremediación	17
2.4.1.1	Técnicas de Bioremediación	18
2.4.2	Fitorremediación	18
2.4.2.1	Plantas Hiperacumuladoras	18
2.4.2.2.	Bioindicadores	22
2.4.2.3.	Biodisponibilidad	23
2.4.2.4	Técnicas de la Fitorremediación	24
2.4.2.5	Aplicabilidad de la Fitorremediación	25
2.4.2.5.	Ventajas	25
<b>III</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1	Caracterización de la Fuente Contaminante (Complejo Agroindustrial Honduras).	27
3.2	Caracterización del área en estudio.	28
3.3	Análisis de suelo.	28
3.4	Relación botánica de las especies existentes en el sitio en estudio	30
3.5	Análisis químico de las plantas. METODOLOGÍA	30
<b>IV.</b>	<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN</b>	<b>31</b>
4.1.	Caracterización de la Fuente Contaminante (Complejo Agroindustrial Honduras)	31
4.2.	Análisis de Suelos en el sitio de estudio	32
4.3.	Relación botánica de las especies existentes en el sitio en estudio.	35
4.4.-	Análisis químico de las plantas encontradas en el sitio de estudio.	38
4.5.-	Aporte social	41
4.6	Contribución a la defensa de la patria.	41
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>42</b>
<b>VI</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>43</b>
<b>VII</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	
<b>VIII</b>	<b>ANEXOS</b>	

## I. INTRODUCCIÓN

El problema ambiental es sin duda alguna, uno de los más importantes en la región por su envergadura. La existencia de impactos ambientales están dañando nuestro medio-ambiente, y estos daños han provocado la destrucción de la capa de ozono, la contaminación del aire, el agua y el suelo, la contaminación por la basura radioactiva ha contribuido al agotamiento de algunos recursos naturales, así como a la extinción de especies en el mundo (Delgado, 1999).

Este problema se agudiza en las zonas rurales y afecta la economía, el bienestar y la cultura de los agricultores, sus familias, y en fin, a la población rural. Ha transcurrido algún tiempo desde que la naturaleza comenzara a dar muestras evidentes de deterioro y que el hombre se hiciera consciente de la necesidad de su rehabilitación; por lo que la humanidad tiene la obligación de pagar a la naturaleza una deuda de gratitud histórica y la necesidad de tomar conciencia de los errores cometidos, así como buscar la manera eficaz de preservarla y restaurar los daños causados (Delgado, 1999; Castrillo, 2004).

A finales de los años 70, se llegó a un consenso a escala mundial acerca de la necesidad de conectar la problemática ambiental con la problemática de desarrollo; fue entonces que comenzó a hablarse de *Desarrollo Sostenible*, concepto que adquirió una gran resonancia a partir de la Cumbre sobre Medio Ambiente Humano y Desarrollo de Estocolmo de 1972. En el Informe, Brutland define el desarrollo sostenible como: “Desarrollo que satisface las necesidades de la presente generación sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Cruz et al., 2005). Este concepto de una forma u otra se toma ampliamente en cuenta para proyectar acciones de desarrollo económico, industrial, urbano, agrario, rural, o cultural.

De ahí que la gestión del *desarrollo sostenible* contemple entre sus pilares la Educación Ambiental, pues para lograrlo se necesita que las personas, gobiernos, instituciones, ONGs, y la sociedad civil en general, tengan conciencia, convicción,

conocimientos y cultura, así como voluntad para emprender acciones que efectivamente lo fomenten (Regine, 2005).

De lo anterior se desprende la obligación que tenemos como entes racionales de modificar la conducta humana hacia la naturaleza y las relaciones que de ella se genere; así como tener una visión del futuro, que permita lograr armónicamente el cuidado y protección del medio ambiente; la interrelación, que puede lograrse si modificamos los hábitos, valores, y formas de conducirnos hacia el medio; es decir, conformar una nueva ética ambiental.

El desarrollo de determinadas actividades industriales puede constituir un riesgo moderado de contaminación ambiental. Dicho riesgo no es solo debido a las emisiones atmosféricas sino también a mala gestión de sus residuos o a un deficiente almacenamiento de las materias primas y productos, que pueden ocasionar fugas de componentes que se acumulan en el suelo. Como consecuencia, puede aparecer un "suelo contaminado" (Mazzeo, 2002).

La deposición de sustancias de desechos sólidos sobre suelos sin previa protección de los mismos, provoca que con la ayuda de las lluvias y el riego indiscriminado, este suelo quede contaminado con trazas de metales pesados, que luego las lluvias se encargarán de infiltrar en las profundidades del mismo suelo y posteriormente hacia el manto y las cuencas de los acuíferos y la aplicación de residuos sólidos contaminados y el uso de antiguos terrenos industriales contaminados por los vertidos de aceite y desechos industriales según Henk de Zeeuw (2000), constituyen una de las principales causas de la contaminación del suelo con metales pesados (plomo, cadmio, cromo, zinc, cobre, níquel, mercurio, manganeso, selenio y arsénico, entre otros), por lo que en la actualidad la mayoría de las actividades industriales son consideradas como "actividades potencialmente contaminantes de los suelos".

Esta acumulación de contaminantes, según Becerril et al. (2002) ha superado los mecanismos naturales de reciclaje y autodepuración de los sistemas receptores; por lo que las industrias y la política de los países desarrollados se han orientado para disminuir los niveles de emisión de sustancias, sin embargo, en los suelos los contaminantes permanecen más estáticos recibiendo de forma directa o indirecta

los aportes de la contaminación de las aguas y el aire, de esta forma se hace inminente la necesidad de eliminar o minimizar estas sustancias.

Todos estos problemas pueden resolverse si se emprende un buen programa de Educación Ambiental, que adquiere especial importancia en los entornos agrarios y rurales, primero porque se hace necesario solucionar los complejos problemas que amenazan la estabilidad de los ecosistemas y agroecosistemas; segundo porque los agricultores necesitan mejorar su producción y su vida; y tercero, porque estos suelen estar en desventajas en cuanto a los avances de los conocimientos, y en muchas ocasiones han perdido el acervo de saber ancestral que les permitía manejar mejor los ecosistemas.

A nivel mundial las experiencias de educación ambiental son diversas, ya no sólo a nivel internacional o nacional, sino también regional y Cuba por su parte, está insertada en un Plan de Acción Ambiental que incluye diversos países (Deliz, 2005).

Sin embargo, existen en el país zonas donde por razones diversas no se cumple con la seguridad ambiental que se necesita, el caso del municipio Guantánamo, que representa el 24,6 % del área total de la Provincia Guantánamo, siendo el primer lugar en extensión territorial entre todos los municipios de la provincia. Dentro de su estructura económica, el sector industrial ocupa el 6%, el agropecuario el 27 %, la construcción el 1 % y el transporte el 1 %; que aunque constituyen renglones importantes en el plano económico también se consideran fuentes de contaminación ambiental y de posible repercusión en la seguridad alimentaría del municipio (Pérez *et al.*, 2002).

Teniendo en cuenta la situación que se presenta en el municipio se aprobó por el CITMA territorial y el MES un Proyecto de Investigación que aborda la problemática ambiental con el fin de establecer metodologías de recuperación de áreas agrícolas contaminadas por metales pesados e hidrocarburos. El presente trabajo responde a la primera fase de este proyecto en Guantánamo, que es el diagnóstico y selección del sitio de estudio.

**PROBLEMA CIENTÍFICO:**

Posibles afectaciones en el agroecosistema local por el uso continuado del recurso suelo como confín o depósito de materiales de desechos de la agroindustria azucarera en la comunidad de Honduras.

**. OBJETO.**

Agroecosistema deteriorado por desechos agroindustriales azucareros en la comunidad de Honduras.

**HIPÓTESIS:**

Mediante el muestreo de los suelos y la vegetación podemos determinar la presencia o no de metales pesados, en áreas que fueron utilizadas como confín de desechos sólidos urbanos o de la desmantelación de la industria azucarera, lo cual afecta los rendimientos agrícolas.

**OBJETIVO GENERAL:**

Demostrar que los suelos utilizados para el confinamiento de desechos sólidos por desmantelamiento de la agroindustria azucarera en la comunidad de Honduras presentan concentraciones tóxicas de elementos químicos.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Evaluar, mediante análisis químicos del suelo y de la vegetación característica, el tipo y la concentración de los elementos químicos presentes el área de estudio que puedan afectar el agroecosistema.
2. Identificar la vegetación del agroecosistema considerada como tolerante a los metales pesados, elementos a tener en cuenta en los estudios de fitorremediación

## II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### 2. I. Antecedentes

En los lugares muy contaminados, las especies biológicas endémicas, han disminuido o desaparecido, y la entrada de los contaminantes en la cadena trófica ha aumentado su dispersión a sistemas biológicos muy variados, incluidos el hombre. Estas muestras evidentes de deterioro medioambiental, el efecto sobre la salud humana y la creciente presión social han ido creando conciencia en el hombre de la necesidad de su rehabilitación y motivando la búsqueda de soluciones para la eliminación de los contaminantes del suelo convirtiéndose en un objetivo prioritario en la mayor parte de los países industrializados. Por lo cual la humanidad tiene la obligación de pagar a la naturaleza una deuda de gratitud histórica y la necesidad de tomar conciencia de los errores cometidos, así como buscar la manera eficaz de preservarla y restaurar los daños causados (Becerrill *et al.*, 2002).

La humanidad, siendo la única especie capaz de ejercer su dominio sobre el medio, y a su vez la que posee el potencial de conocer y entender los fenómenos de la naturaleza; y la única que puede idear soluciones a los problemas que ella misma genera; es, paradójicamente, protagonista de un desequilibrio ambiental mundial sin precedentes, generado por la producción incontrolable de sustancias tóxicas y residuos artificiales de alta permanencia. La cruda realidad ambiental que nos rodea no es más que el resultado de una sociedad consumista donde la balanza favorece a las industrias, al comercio y a la moda, más que a la salud (<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/>, 2003).

La situación ante la cual surge como una alternativa ecológica, económica y “ambientalmente aceptable” la fitorremediación, la cual es una tecnología moderna que utiliza plantas para destoxificar ambientes contaminados con sustancias orgánicas o inorgánicas presentes en el suelo o agua y a la vez recuperar la cubierta vegetal de los suelos contaminados. En esta acción, especies con

características particulares son cultivadas en el área afectada para acelerar su restauración (Massol, 2001 y Becerril *et al.*, 2002).

Estas plantas tienen la habilidad de soportar mayores concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos como los metales pesados, tomándolos rápidamente y convirtiéndolos en metabolitos menos tóxicos. En adición, los microorganismos estimulan la degradación de compuestos químicos orgánicos en la rizosfera por exudados radicales y enzimas, produciendo el carbono orgánico en el suelo y el enriquecimiento de la comunidad microbiana de la rizosfera (Schnoor *et al.*, 1999).

A medida que se ha desarrollado la tecnología, el número de contaminantes ha ido en aumento, tal es el caso de los metales pesados que actualmente ocupan un lugar importante como fuente de contaminación de suelos, agua y aire a nivel mundial, constituyendo un serio peligro para la humanidad ya que pueden llegar a los organismos vivos a través de la piel, las mucosas, el sistema respiratorio o la ingesta de alimentos y/o agua contaminados pudiendo producir daños agudos e incluso la muerte. Afectando directamente la calidad de vida de la población (Garbisu, *et. al*, 1997).

La fitorremediación constituye un método eficaz y sencillo para descontaminar las cada vez más abundantes áreas de cultivo, contaminadas en todo el mundo. La identificación de plantas que germinan en ambientes muy contaminados presenta, frente a otros sistemas complejos de limpieza, un gran interés en la recuperación de suelos y/o aguas (Cámara, 2002).

En los momentos actuales, la necesidad de proteger el medio ambiente es un problema de primer orden que cada día adquiere un carácter global más acentuado. Los temas debatidos acerca del deterioro medioambiental son múltiples, ya que las disponibilidades de recursos naturales a los que el hombre puede acceder tienen la limitante de agotarse en un periodo de tiempo determinado. Tanto el agotamiento como la contaminación de estos recursos, afectan el equilibrio de la naturaleza, lo que a su vez, puede interferir en la salud y el bienestar del hombre, los animales y las plantas (Manes, 2004).

En un contexto en el que la contaminación medioambiental industrial es una fuente de conflicto y considerando el gran impacto que a lo largo de décadas hemos propiciado a nuestros ecosistemas, debido a una gama de factores socioeconómicos, que han mermado el capital natural del planeta, se evidencia la necesidad de promover la responsabilidad social comprometida con la preservación, restauración y cuidado del medio ambiente como una estrategia central para promover la salud de los habitantes de las áreas afectadas (Sánchez, *et al*, 2003 y Arana, 2004).

Ante esta situación la agroecología pasa a jugar un papel determinante en la protección y recuperación del medio ambiente ya que está estrechamente vinculada a la calidad de los alimentos producidos, a beneficios como la no contaminación del agua, la conservación de los suelos, el incremento de la biodiversidad; la recuperación de ambientes degradados, la no contaminación del aire y de los alimentos, la estabilidad del núcleo familiar en el campo, la diversificación de la producción, la eliminación de las intoxicaciones en el campo provocadas por las aplicaciones de venenos y la eliminación de residuos peligrosos en los alimentos (Restrepo, 1997).

En este sentido la agroecología se perfila como una disciplina única que delinea los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas desde un punto de vista integral, incorporando dimensiones culturales, socioeconómicas, biofísicas y técnicas (Altieri, 1994).

Altieri (1996) dándose cuenta de un aspecto más claro de los ecosistemas; su genética, edafología o agronomía, para abarcar un entendimiento de los niveles ecológicos y sociales de coevolución, estructura y función de la agricultura. Permitiendo capitalizar el conocimiento y habilidades de los agricultores a identificar el capital ilimitado que resulta de ensamblar la biodiversidad para crear sinergismos benéficos que provean a los agroecosistemas la capacidad de permanecer y aún retornar a un estado innato de estabilidad natural. Definiendo los principios ecológicos necesarios para desarrollar sistemas de producción sostenibles dentro de marcos socioeconómicos y culturales específicos. Estando entre algunos de los objetivos de la agroecología:

- Seguridad y autosuficiencia alimentaría.
- Un alto nivel de participación de la comunidad en decidir la dirección de su propio desarrollo agrícola.
- Conservación y regeneración de los recursos naturales

La meta trazada para un Agroecosistema sostenible puede lograrse mediante la optimización de su productividad, de tal forma que se aseguren los más altos rendimientos sin que se cause degradación ambiental; por lo que si se garantizan procesos de productividad ecológicamente sanos se asegura tener una producción sostenible (UACH, 2003).

Cuba al igual que el resto del mundo no se encuentra ajena a la situación mundial de la contaminación y degradación del medio ambiente por lo que ha puesto especial atención en lo referente a los problemas ambientales a fin de preservar y recuperar sus recursos naturales. (UACH, 2003).

## **2.2. Contaminación por metales pesados.**

### **2.2.1 Origen de los metales pesados.**

Los metales pesados están presentes en suelos y acuíferos como componentes naturales o resultados de la actividad humana (antropización), por lo tanto su procedencia puede ser variada, asociándose las fuentes de contaminación a componentes naturales o como resultado de la actividad humana. Ciertos metales son esenciales para la vida porque son cofactores esenciales para las metaloproteínas y enzimas pero las altas concentraciones de los metales pueden bloquear los grupos funcionales esenciales, siendo tóxicos para los organismos (Garbisu *et al*, 2002a).

La procedencia de metales pesados en los suelos puede ser de origen natural y de origen antropogénico.

**De origen natural:** Provenientes de erupciones volcánicas y de los metales pesados contenidos en el material original, que al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas, así por ejemplo, el níquel puede aparecer en concentraciones tóxicas en suelos derivados de rocas ultra básicas.

**De origen Antropogénico:** O sea las actividades generadas por el hombre proveniente del desarrollo industrial que han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos. A su vez (Lenntech, 2004 y Nerín, 2004), citan a las siguientes actividades como generadoras de contaminación de origen Antropogénico:

- Productos químicos agrícolas y lodos residuales. Como el uso abusivo de fertilizantes y pesticidas inorgánicos, así como el uso de aguas residuales y abonos orgánicos
- Actividades de minería y fundición. El proceso de minería implica: la extracción de las minas, el procesado preliminar, la evacuación de los residuos y transporte de los productos semi-procesados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales. El polvo originado puede ser depositado en los suelos a muchos kilómetros de distancia. En áreas mineras, las capas superiores de suelos minerales presentan concentraciones elevadas de cobre, níquel, arsénico, selenio, hierro y cadmio.
- Generación de electricidad y otras actividades industriales. La combustión de carbón es una de las principales fuentes de deposición de metales en suelos. Las centrales térmicas de combustión de petróleo pueden ser fuentes de plomo, níquel y vanadio. Las mayores fuentes industriales de metales incluyen fábricas de hierro y acero que emiten metales asociados con las minas de hierro, como el níquel. Las fábricas de baterías, pueden emitir cantidades considerables de plomo. Los metales asociados con áreas altamente industrializadas, incluyen arsénico, cadmio, cromo, hierro, níquel, plomo, zinc y mercurio.
- Residuos domésticos. Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta de metales. Constituyendo uno de los problemas más serios de las sociedades modernas el deshacerse de este volumen de basuras. Las dos alternativas son enterrar o incinerar. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar algunos de los metales volátiles.

- El transporte, como lo demuestran los suelos contaminados en los alrededores de carreteras.

**Tabla 1: Algunos metales pesados según su uso industrial (Vullo, 2004).**

<b>Metal</b>	<b>Uso</b>
<b>Cd</b> (Cadmio)	Galvanización, pigmentos, baterías, aleaciones de bajo punto de ebullición.
<b>Cr</b> (Cromo)	Metalurgia, materiales refractarios, galvanización, curtidos, pinturas, conservación de madera, industria química.
<b>Cu</b> (Cobre)	Industrias eléctrica y automovilística, construcción, fontanería, latón, plaguicidas, conservación de madera.
<b>Mn</b> (Manganeso)	Metalurgia, baterías, industria química, cerámica.
<b>Mo</b> (Molibdeno)	Metalurgia, pigmentos, catalizador, fabricación de vidrio, aditivo en óleos y lubricantes
<b>Ni</b> (Níquel)	Metalurgia, baterías, equipos solares, galvanización, catalizador en la producción de aceite combustible.
<b>Pb</b> (Plomo)	Baterías, gasolina, pigmentos, munición, soldadura, pintura, industria automovilística.
<b>Zn</b> (Zinc)	Aleaciones, bronce y latón, galvanización, baterías, pintura, productos agrícolas, cosméticos y medicinales.

Por lo tanto el desarrollo de determinadas actividades industriales puede constituir un riesgo moderado de contaminación ambiental. Dicho riesgo no es solo debido a las emisiones atmosféricas sino también a mala gestión de sus residuos o a un deficiente almacenamiento de las materias primas y productos, que pueden ocasionar fugas de componentes que se acumulan en el suelo (Vullo, 2004).

Como consecuencia, puede aparecer un "**suelo contaminado**", entendiéndose como tal, aquel suelo que por la acumulación en este de compuestos tóxicos persistentes, productos químicos, sales, materiales radioactivos o agentes patógenos ha variado sus características originales y cuya nueva naturaleza puede ocasionar riesgos inaceptables para la salud humana o de los ecosistemas (Encarta, 2006).

Numerosos estudios han abordado esta cuestión, existiendo unanimidad respecto al carácter tóxico de los metales pesados para los seres vivos. Afectan a las cadenas alimenticias, provocando un efecto de bioacumulación entre los organismos de la cadena trófica. Ello es debido a la alta persistencia de los metales pesados en el entorno, al no tener, la mayoría de éstos, una función biológica definida y no ser química ni biológicamente degradables puede permanecer en el ambiente durante cientos de años (<http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/27009.php>) (Octubre 2006). Bastante conocido es el caso en el que se incorporan a la cadena alimenticia a través de los organismos filtrantes presentes en los sedimentos marinos, habiéndose observado en ciertas especies un factor de bioconcentración (cociente entre la concentración del metal contaminante en el organismo vivo y en el agua circundante) de 291.5 mg/Kg para Fe y Pb, 200 mg/kg para Cr o 2260 mg/Kg para Cd (Chicón, 2002).

Podemos señalar que la toxicidad de los elementos traza, en un suelo va a depender de varios factores, como son:

- ◆ La especiación o formas de presentarse los elementos en el suelo; y de su biodisponibilidad o facilidad para pasar a la solución y de ella a la cadena trófica. Estos últimos factores están ligados a la naturaleza del elemento y a las características y componentes del suelo. El factor concentración está condicionado fundamentalmente a aportes exógenos de elementos, cuyas fuentes de emisión pueden ser muy diversas (González *et al.*, 2000; Barceló y Poschenrieder, 2001).
- ◆ La concentración, que en valores elevados resultan tóxicos, incluso los elementos que se consideran esenciales para muchos procesos bioquímicos (Ca, Mg, Co, Cu, Zn, etc.);

A continuación le exponemos el criterio de algunos autores: Lazcano *et al.*, (1999); Labunska, *et al.* (2000); SESMA, (2003) y Lenntech, (2004), sobre las características de algunos metales pesados y su efecto sobre el medioambiente y la salud humana se detallan a continuación:

**Hierro:** El hierro es el segundo metal más abundante y el cuarto de todos los elementos. Los minerales de hierro más comunes son: la hematina o mineral de hierro rojo ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); la limonita o mineral de hierro marrón ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); la magnetita o mineral de hierro magnético ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); la siderita o mineral de hierro ( $\text{FeCO}_3$ ); la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), el mineral azufrado más común; y la pirrotita o pirita magnética ( $\text{FeS}$ ). Supone riesgos a la salud si se inhala, ya que es un irritante local para los pulmones y el tracto gastrointestinal. Y la exposición prolongada a una mezcla de polvo de hierro y otros metales puede afectar a la función pulmonar. Los experimentos indican que el polvo de óxido de hierro podría actuar como una sustancia “co-cancerígena”, favoreciendo el desarrollo del cáncer cuando se combina simultáneamente con la exposición a sustancias cancerígenas.

**Manganeso:** El manganeso es un metal de transición indispensable en la producción de acero. Además, es un componente de las soldaduras y de sus humos. Está presente en pinturas, en insecticidas, como antidetonante de gasolinas y también se utiliza como nutriente de animales. Su principal vía de ingreso es la respiratoria y su vida media es de 39 días. Se elimina principalmente por las heces. Altas exposiciones a manganeso alteran la velocidad de respuesta visual, el movimiento fino de mano y antebrazo y suscita la aparición de temblor fino. A partir de determinados niveles tiene efectos tóxicos en el aparato respiratorio por depósito e interferencia con la inmunidad local y en el Sistema Nervioso Central, por alteración del metabolismo de catecolaminas y melatonina.

**Níquel:** Este elemento se encuentra en elevadas concentraciones en material procedente de rocas serpentinitas. Las cantidades pequeñas de níquel son necesitadas por el cuerpo humano para producir las células rojas de la sangre, sin embargo, en cantidades excesivas, pueden llegar a ser sumamente tóxicos. La sobreexposición a largo plazo puede causar daños en el corazón y el hígado, irritación de piel. El níquel puede acumularse en la vida acuática, pero su presencia no se magnifica a lo largo de las cadenas alimenticias.

**Plomo:** El plomo es uno de los contaminantes que se encuentra más ampliamente distribuido en la naturaleza. Su elevada resistencia a la corrosión le ha hecho encontrar numerosas aplicaciones, entre las que destacan la fabricación de acumuladores eléctricos (baterías) y de soldaduras. Los derivados tanto orgánicos como inorgánicos del plomo también encuentran aplicación en muchos sectores como la industria del vidrio y de la cerámica, la fabricación de pinturas y de aditivos para las gasolinas entre otros. En suelos y sedimentos, el destino del plomo se ve afectado por procesos que a menudo llevan a la formación de complejos metálicos orgánicos relativamente estables, existiendo evidencias considerables de que el Pb de los sedimentos se encuentra disponible para las especies que se alimentan en ellos. En cuanto a la salud humana, los efectos del Pb son los mismos así se lo inhale o se lo ingiera. El plomo es uno de los metales tóxicos más ubicuos. No cumple ninguna función nutritiva, bioquímica ni fisiológica. En dosis extremadamente bajas, el Pb puede provocar lesiones irreversibles en el sistema nervioso central y reducir la inteligencia.

**Cadmio:** El cadmio es un elemento poco abundante en la naturaleza que se obtiene como subproducto de la minería y de la extracción de zinc y de plomo. Es uno de los contaminantes metálicos de los alimentos más peligrosos debido no solo a su elevada toxicidad y capacidad de acumulación en la cadena alimentaría sino también a su amplia distribución derivada de sus numerosas aplicaciones industriales. La producción comercial de cadmio y su utilización en distintas actividades como la galvanoplastia, la estabilización del PVC, la fabricación de pigmentos para esmaltes, la fabricación de pilas de Ni-Cd o la obtención de diferentes aleaciones, pueden contaminar aire, suelos y aguas. El cadmio está también presente en pequeñas cantidades en los fertilizantes fosfatados, desde donde puede cederse al suelo y de éste a los vegetales. La ingesta de alimentos constituye la fuente más importante de exposición a cadmio de la población general.

**Zinc:** En el suelo, el zinc permanece fuertemente adsorbido, el zinc es un elemento esencial, presente en los tejidos de animales y plantas incluso a concentraciones ambientales normales. Sin embargo, si las plantas y animales se exponen a altas concentraciones biodisponibles de zinc, una bioacumulación significativa puede resultar, con posibles efectos tóxicos. Una excesiva exposición, tanto en humanos como en animales, puede provocar agotamiento gastrointestinal y diarrea, daño pancreático y anemia. Los estudios en plantas han mostrado que aunque sea un elemento esencial para las plantas superiores, en altas concentraciones el zinc puede ser considerado como fototóxico, afectando directamente la producción de cultivos y la fertilidad del suelo.

### **2.2.2. Efectos de la contaminación**

Según la página web: <http://unex.es/edafo/Gesl2.htm>. (Consultada: Mayo 2006) dada la facilidad de transmisión de contaminantes del suelo a otros medios como el agua o la atmósfera, serán estos factores los que generan efectos nocivos, aun siendo el suelo el responsable indirecto del daño.

Continúa explicando que la presencia de contaminantes en un suelo supone la existencia de potenciales efectos nocivos para el hombre, la fauna en general y la vegetación. Estos efectos tóxicos dependerán de las características toxicológicas de cada contaminante y de la concentración del mismo.

La fuente aclara que una vez que el elemento ha llegado al suelo puede seguir diversas vías en el mismo. Las principales son aquellas que afectan a su difusión a diversos medios por ser las que afectan a la salud humana. El ingreso en las cadenas tróficas puede hacerse mediante la absorción por las plantas o el lavado hacia las aguas freáticas en las que tiene mucho que ver su solubilidad.

Otra forma de abandonar el suelo es la volatilización, medio por el cual vuelve al aire, del que en muchos casos procede, y puede tener influencia en la respiración, otra forma de ingreso en el metabolismo animal (<http://unex.es/edafo/Gesl2.htm>. Consultada: Mayo 2006).

De forma general, la presencia de contaminantes en el suelo se refleja de forma directa sobre la vegetación induciendo su degradación, la reducción del número de especies presentes en ese suelo, abandono de la actividad agropecuaria, desaparición de la fauna, pérdida del valor agrícola y económico del suelo y más frecuentemente la acumulación de contaminantes en las plantas, sin generar daños notables en estas (Anónimo 4, 2001; Tarrach, 2001; Vullo, 2003).

### **2.3 La deposición de materiales de desecho de la industria azucarera y residuos sólidos como fuente contaminante del suelo con elementos químicos. (Tarrach, 2001; Vullo, 2003).**

Principales problemas ambientales del municipio.

#### 1. Contaminación de las aguas.

Afecta la agricultura, la pesca, la recreación y los ecosistemas en general.

#### 2. Degradación de los suelos.

Esta situación afecta grandes extensiones de superficie agrícola, base principal de la actividad económica del municipio.

#### 3. Deforestación.

Esta afecta los suelos, cuencas hidrográficas y la calidad de los ecosistemas.

#### 4. Deterioro del saneamiento y las condiciones ambientales en asentamientos humanos.

#### 5. Pérdida de la diversidad biológica.

Se tiene como consecuencia, afectaciones en los recursos naturales tanto bióticos como abióticos.

### **Caracterización del clima.**

**Tabla 2: Comportamiento climático del municipio durante el muestreo del área** (Departamento de Pronóstico Delegación CITMA).

<b>Meses</b>	<b>Humedad relativa (%)</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
Noviembre	79	24,9	198
Diciembre	78	24,8	118,4
Enero	70	24,6	9,5
Febrero	72	24,7	8,0

El clima del municipio se comporta en los meses noviembre 2008 a febrero 2009 (fechas en que se realizaron los dos muestreos, de la siguiente forma: la humedad relativa en el primer muestreo fue superior al segundo en 9 %, la temperatura varió sólo en 0.3 grados Celsius diferencia poco significativa a diferencia de las precipitaciones en las que en el momento en que realizo el primer muestreo no estaba lloviendo pero en el segundo si, existiendo gran diferencia entre ellos. (Departamento de pronóstico delegación CITMA)

El área de estudio esta ubica en la comunidad de Honduras, con una extensión aproximada de 6 ha.

#### **2.3.1. Descripción del Proceso de deposición de los residuales sólidos.**

A través de encuestas y entrevistas realizadas se pudo conocer que este proceso se inicia con la remodelación de la industria azucarera y la desmantelación de los centrales. Cuando se demuele la fábrica los residuos sólidos de escombros, metales y restos de la combustión en las calderas, se esparcieron y depositaron en un área para luego ser recogidos para su traslado hacia otros fines.

Afirman los lugareños que durante su estancia en esa área, la inclemencia del tiempo, las aguas y el sol, hace que restos metálicos se infiltren en el suelo para ser arrastrados luego por el agua lluvia y de escorrentía. En este proceso de lixiviación hay sales, óxidos e hidróxidos de estos metales son infiltrados libremente en el suelo. (Betancourt L. H., enero 2009)

Este sitio, luego de retirados los desechos sólidos resultantes de la desmantelación de la agroindustria, se utiliza para la plantación de vegetales y hortalizas con rendimientos productivos bajos, escasa población y muy poco desarrollo. Se observa el predominio de otras plantas no afines al cultivo y malezas. Justamente en estas tierras se ubica el área de estudio del presente trabajo.

#### **2.4. Métodos biológicos para la remediación de suelos contaminados por elementos químicos.**

El término restauración ecológica implica la restauración o rehabilitación de ecosistemas o hábitat que han sido alterados específicamente por el hombre, esta restauración ecológica se vale de diferentes métodos tales como: restauración, rehabilitación, reacondicionamiento, recuperación ecológica y biorremediación (UACH, 2003).

La utilización de métodos biológicos para remediar un ambiente contaminado ofrece una alta especificidad en la remoción del metal de interés con flexibilidad operacional tanto en sistemas *in situ* como *ex situ* (Vullo, 2003).

La remediación “in situ” de ambientes contaminados por elementos químicos, pretende encontrar una solución definitiva que proteja la salud humana y del ecosistema, constituyendo por lo tanto sus objetivos fundamentales: (Martín y Ruby, 2004).

- Reducir los niveles del metal.
- Reducir la Biodisponibilidad de metales a seres humanos y demás receptores ecológicos.
- Reestablecer la vegetación.

Algunos de los procesos biológicos más importantes para la degradación de contaminantes en el ambiente son: absorción, volatilización (no destruyen los contaminantes, solo concentran o transfieren estos a otros medios), transformaciones químicas abióticas (que solo enmascaran los contaminantes) y biotransformación, que es considerada la más efectiva por la gran capacidad de

los organismos vivos para biotransformar o bioacumular muchos contaminantes (Garbisu *et al.*, 2002b).

Nuevas técnicas de tratamiento han aparecido, teniendo su génesis en la capacidad de diferentes organismos (plantas y microorganismos) para degradar, extraer o inmovilizar los contaminantes orgánicos o inorgánicos del suelo o el agua. Estas técnicas han sido denominadas **Biorremediación** y como un caso particular al emplear diferentes plantas indicadoras o diagnóstico, **Fitorremediación** (Becerril *et al.*, 2002).

#### **2.4.1. Biorremediación**

La biorremediación es un proceso que utiliza las habilidades catalíticas de los organismos vivos para transformar contaminantes en productos inocuos, o en su defecto, menos tóxicos, que pueden entonces integrarse a los sitios bioquímicos naturales, tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos, presentando un enorme potencial en la mitigación de la contaminación ambiental (Garbisu *et al.*, 2002b).

Es una tecnología que tiene como objetivo acelerar la biodegradación natural de los compuestos orgánicos mediante la optimización de las condiciones limitantes del proceso (Montràs y Vincent, 2002).

Lo que hace sobresaliente a esta técnica frente a los métodos convencionales de “limpieza” ambiental, es que se basa en medidas y aplicaciones que permiten potenciar la actividad metabólica de ciertos microorganismos nativos capaces de transformar contaminantes orgánicos en compuestos químicamente más sencillos, que la naturaleza puede aprovechar (Vásquez, 2002).

Constituye una técnica muy segura, ya que depende de microbios que existen normalmente en los suelos. Esos microbios son útiles y no representan un peligro para los seres humanos en el sitio o la comunidad. Además, no se emplean sustancias químicas peligrosas. Los nutrientes que se añaden para que las bacterias crezcan son fertilizantes de uso corriente en el césped o el jardín (ITGE, 1995).

En conclusión el uso de técnicas biológicas puede reducir fuertemente los costos de remediación de sitios contaminados (Lodewyckx *et al.*, 2002). La biorremediación constituye una alternativa biológica, económica y socialmente aceptable por su bajo costo y eficiencia, en el tratamiento de suelos y acuíferos contaminados por elementos químicos e hidrocarburos (Vásquez, 2002).

#### **2.4.1.1. Técnicas de Biorremediación**

Según Donat (1994) los procesos mediante los cuales funciona la biorremediación se pueden dividir en 3 grupos:

- 1) Degradación enzimática
- 2) Remediación microbiana
- 3) Fitorremediación

#### **2.4.2. Fitorremediación**

La utilización de plantas para la descontaminación de los suelos se denomina en forma genérica fitorremediación, siendo una técnica que utiliza las plantas acumuladoras e hiperacumuladoras para extraer e inmovilizar los contaminantes del suelo y las aguas (Becerril *et al*, 2002).

Esta técnica *in situ*, sin levantamiento de la zona poluída, permite tratar: suelos contaminados, lodos, sedimentos, además de las aguas y también las zonas hortícola, a través de, supresión, degradación o estabilización del contaminante (Kaemmerer, 2003).

La fitorremediación es una tecnología que deriva de métodos botánicos y biogeoquímicos y usa a diversas especies (plantas y microorganismos) para degradar, extraer, inmovilizar y recuperar los suelos contaminados y cualquier otro tipo de material que contenga contaminantes (Evanko y Dzombak, 1997 citado por Flocco, 2004).

La idea de utilizar plantas con alta capacidad de acumular metales, para removerlos selectivamente del suelo cuando se encuentran en exceso, fue propuesta en el año 1983 por Chaney *et al*, pero a partir de 1990 tuvo aceptación (Higueras, 2004).

La fitorremediación como técnica de tratamiento de sitios contaminados es económica y representa otras ventajas como la conservación del suelo superficial, previene al migración y lixiviación de los compuestos tóxicos por el movimiento del agua en el suelo, puesto que la secreción o síntesis de exudados por la rizosfera motivan el crecimiento de diversos microorganismos como hongos y bacterias que desdoblan contaminantes (Sánchez *et al*, 2003 y Castrillo, 2004),

#### **2.4.2.1. Plantas Hiperacumuladoras**

El caso más representativo y útil para las técnicas de fitorremediación, lo constituyen las plantas denominadas **hiperacumuladoras**, capaces de tolerar, tomar y acumular en sus tejidos aéreos, elementos esenciales para los cultivos (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo, Ni) y elementos no esenciales o con funciones biológicas aun por determinar (Cd, Cr, Pb, Ag, Se, Hg) alcanzando elevadísimas concentraciones que resultan tóxicas para la mayoría de las plantas (Garbizu y Alkorta, 2001).

Las plantas que hiperacumulan metales han llamado la atención desde hace tiempo como **indicadoras** geobotánicas de depósitos de minerales. Actualmente se viene estudiando la posibilidad de extraer metales del suelo y concentrarlos en las partes aéreas de las plantas, lo que proporciona una aplicación práctica de la fitorremediación. Estas plantas representan un modelo para estudiar los mecanismos de acumulación de metales como también su tolerancia y destoxificación (Garbizu *et al.*, 2002b).

Se habla de plantas acumuladoras e hiperacumuladoras cuando determinadas especies toleran 10-100 veces más los valores normales de un determinado elemento, o sea (0,1 y 1 ppm respectivamente) en tejidos vegetales en base a materia seca. En condiciones experimentales, se alude a valores de absorción 10 veces superiores a los alcanzados por las mismas plantas utilizadas como testigo (Berzaín, 1999).

La hipertolerancia es esencial para que el fenotipo hiperacumulación aparezca en plantas hiperacumuladoras naturales, lográndose por destoxificación interna y

probablemente incluya la compartimentación y acomplejación (McGrath y Zhao, 2003).

Según Berazaín (1999), entre los mecanismos que definen la capacidad de acumular elementos químicos se encuentran aquellos que están ligados a cierto nivel taxonómico como es el intraespecífico; por ejemplo, las subespecies o variedades de una especie que crezcan sobre rocas serpentinitas se comportan similarmente, es decir todos estos niveles intraespecíficos tienen un comportamiento igual, o son acumuladores o no lo son.

Se definen como posibles mecanismos fisiológicos que fundamentan la hiperacumulación los siguientes (Boominathan y Doran, 2003):

- ❖ Como las vacuolas vegetales son los mayores depósitos de ácidos orgánicos, las asociaciones de éstos con los metales sugiere la existencia de la detoxificación metálica por secuestro vacuolar.
- ❖ Enlazamiento con la pared celular.
- ❖ Localización en el apoplasto.

Los mayores inconvenientes que presentan las plantas nativas hiperacumuladoras de metales son sus relativamente bajas biomásas, lentas tasas de crecimiento y el desconocimiento que hay de plantas hiperacumuladoras de determinados contaminantes metálicos como el arsénico y el plomo (Vásquez, 2001).

Las plantas hiperacumuladoras de metales son un grupo pequeño de especies (aproximadamente unas 400, identificadas hasta el momento) capaces de absorber a través de las raíces y transportar a sus partes aéreas concentraciones muy elevadas de metales. Hasta la fecha se han estudiado, de forma detallada, sólo un número muy reducido de estas (Anónimo, 2002)

Diversos estudios que datan de la década del 70 muestran una relación de familias de plantas con grandes posibilidades para ser empleadas en estas técnicas debido a sus capacidades para acumular metales en sus tejidos (Garbisu y Alkorta, 2001).

Berazaín (1999), reporta a la región del Caribe como el área que más plantas acumuladoras e hiperacumuladoras posee: 157 especies, destacándose Cuba con 153 especies (96 %): 31 acumuladoras y 131 **hiperacumuladoras** con un endemismo del 99 %. Siendo las grandes familias como *Asteraceae*, *Euphorbiaceae* y *Rubiaceae* las que contribuyen con el mayor porcentaje (68%). Para otras regiones del planeta se expresa que las familias *Brassicaceae*, *Lamiaceae*, *Scrophulariaceae* pueden ser también empleadas para estos fines.

Existen cultivos que pueden cumplir un excelente rol de fitorremediadores, puesto que llegan a remover materiales peligrosos desde suelos contaminados, como son el caso del geranio (*Pelargonium sp.*), tomate (*Lycopersicum sp.*), maíz (*Zea mays*), girasol (*Helianthus annuus*), entre otros (Kaemmerer, 2003).

Otros géneros, por el contrario, menos conocidos, poseen excelentes propiedades como hiperacumuladores. Es el caso de una pequeña planta de la extensa familia de las coles (*Brasicáceas*; géneros *Alyssum* y *Thlaspi*) llamada *Thlaspi caerulescens*, que ha demostrado ser el mejor hiperacumulador conocido para el cadmio, zinc, níquel y plomo, llegando a extraer en una sola generación hasta el 50 % de todo el cadmio existente en el suelo. Otras especies del género *Thlaspi* han demostrado su capacidad para acumular también plomo y cobre (Wangensteen, 2002; Castrillo, 2004).

De estas investigaciones, principalmente realizadas con *Thlaspi caerulescens*, se tiene un conocimiento, aunque todavía fragmentario, acerca de los mecanismos de absorción basado en la elevada expresión en raíces y partes aéreas de transportadores de alta afinidad para el Zn (Barceló y Poschenrieder, 2001).

La más común y tradicional de las formas de fitorremediación es la revegetación de terrenos afectados por actividades mineras. En este caso, la presencia de plantas sobre la escombrera atenúa los efectos de dispersión de los materiales removidos por el viento o el agua, y favorecen la generación de un suelo que actúa como una barrera, evitando parcialmente la emisión de los contaminantes que contiene. Para estas técnicas pueden emplearse plantas que crezcan sobre depósitos de basura o de desechos industriales, capaces de desarrollarse sobre suelos muy degradados, iniciando la colonización de éstos (USEPA – ORD, 2000)

**Tabla 3: Relación de algunas plantas consideradas acumuladoras de elementos químicos** (Berazaín, 1999; Kaemmerer, 2003; Castrillo, 2004).

Nombre Científico	Nombre Común	Metal que acumula
<i>Heliantus annus</i>	Girasol	Uranio
<i>Populus sp</i>	Alamos	Níquel, Cadmio y Zinc
<i>Arabidopsis thaliana</i>		Cobre y Zinc
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Thlaspi	Cadmio y Zinc
<i>Thlaspi sp</i>	Thlaspi	Plomo y Cobre.
<i>Amaranthus retroflexus</i>		Cesio-137, radiactivo, Pb.
<i>Pteris vittata</i>	Helecho	Arsénico
<i>Mirabilis jalapa</i>	Maravilla	Plomo
<i>Thypha dominguensis</i>	Tifa o Macio	Manganeso, Cobre, Selenio
<i>Commelina comunis</i>	Canutillo	Plomo
<i>Solanum laciniatum</i>	-	Estroncio
<i>Ipomoea sp</i>	-	Cobre

#### 2.4.2.2. Bioindicadores

Los bioindicadores, aplicando el concepto para las técnicas de fitorremediación son plantas vivas o microorganismos específicos, capaces de sobrevivir en áreas contaminadas sin sufrir daño alguno y que presentan elevadas concentraciones de un metal determinado. Estos actúan como indicadores medioambientales de diversos contaminantes como pueden ser los elementos químicos, la presencia de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) (Eurobionet, 2001).

El uso de plantas en el campo de la bioindicación es particularmente útil ya que se basa en técnicas simples y relativamente económicas. Las plantas se pueden dividir en dos grupos:

**Bioindicadores:** presentan efectos visibles tras ser expuestas a la contaminación como por ejemplo: Tabaco Bel W3 (*Nicotiana tabacum*) para detectar niveles elevados de ozono; Tradescantia (*Commelina Communis*; clon # 4430) para detectar sustancias mutagénicas ambientales.

**Bioacumuladores:** no presentan efectos visibles tras su exposición, sino que acumulan el contaminante, como ejemplo de estas especies tenemos: Ray grass

(*Lolium multiflorum italicum*) como acumulador de azufre y elementos químicos (Cd, Cr, Pb, Ni, Sb, Zn, Pt); la Col rizada (*Brassica oleracea acephala*) que acumula compuestos orgánicos en la cera de sus hojas tales como hidrocarburos policíclicos aromáticos; *Thlaspi* (*Thlaspi caerulescens*) que acumula Zn y Cd; el álamo blanco (*Populus alba*) que acumula Cd y Zn (Tarrach, 2001)

#### **2.4.2.3. Biodisponibilidad**

Esta capacidad de absorción de las plantas con respecto a elementos químicos es variable, lo que abre la posibilidad de adaptar la elección de cultivos según el grado y tipo de contaminación. Por lo general, las cantidades mayores de elementos químicos se acumulan en las hojas, mientras que los contenidos más bajos se encuentran en las semillas. La absorción de elementos químicos en las plantas (especialmente cadmio y plomo) varía según la biodisponibilidad del suelo y otros factores según (Iretskaya y Chien, 1999 citado por De Zeeuw y Lock, 2000 ).

El concepto de biodisponibilidad se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones fisicoquímicas del ambiente, que determinan la especiación y por lo tanto la concentración de metal libre y lábil (Magnarelli, 2002).

Esta biodisponibilidad de elementos químicos en el suelo depende tanto de la concentración del elemento como de su movilidad respecto de la actividad de la planta. Esto es a su vez función del pH, la capacidad de cambio de bases, y la presencia de agentes acomplejantes. Las raíces, además de captar las sales disueltas pueden absorber material unido a la superficie de partículas plásticas, en parte debido al efecto de microambientes ácidos generados por las raíces y en parte por fenómenos de cambio de bases (Cusato *et al.*, 2002).

#### **2.4.2.4. Técnicas de la Fitorremediación**

Las técnicas clásicas para la descontaminación de elementos químicos son muy limitadas y prácticamente inexistentes para su eliminación selectiva (Becerril *et al.*, 2002).

La Fitorremediación comprende diferentes modalidades, aplicables bajo distintas circunstancias. Se pueden distinguir seis vías de acción:

- I. Fitoextracción (fitoacumulación). de contaminantes inorgánicos (Plantas acumuladoras e hiperacumuladoras)
- II. Fitoestabilización (fitorestauración).
- III. Rizofiltración.
- IV. Fitovolatilización.
- V. Fitodegradación (fitotransformación).
- VI. Fitoestimulación (rizodegradación).

#### **2.4.2.4.1. Fitoextracción**

De forma alternativa, las técnicas de **fitoextracción** utilizan la capacidad extractora de las plantas para la recuperación de elementos químicos y elementos radiactivos del suelo y aguas contaminadas. La fitoextracción de elementos químicos es una de las tecnologías más prometedoras por su relativa efectividad y la gran dimensión ambiental y social de la contaminación.

La fitoacumulación también llamada fitoextracción consiste en la acumulación de los contaminantes del suelo por la planta para luego ser traslocados y concentrados en las raíces, tallos u hojas. La fitoextracción tiene como ventajas su bajo costo, la posibilidad de tratamiento de grandes superficies, débil perturbación del medio, disminución de la erosión y el lavado, la aplicación a numerosos tóxicos, y su poca selectividad (descontaminación de 1, 2 o 3 elementos al mismo tiempo); Como desventaja presenta la circunstancia de que es aplicable en sitios donde la contaminación es en un nivel débil (Kaemmerer, 2003).

Las plantas hiperacumuladoras tienen la habilidad de tomar y tolerar altos niveles de metal en sus tallos (Jaffré et al., 1974 y Brooks *et al.*, 1976), por lo que ellas constituyen las herramientas potenciales para la fitoextracción (McGrath *et al.*, 1993 ; Baker *et al.*, 1994; McGrath, 1998 y Schwartz and Morel, 1998 citado por Perronet *et al.* (2003).

Según Garbisu *et al.*, (2002b), las características de una planta empleada en la fitoextracción pueden resumirse en:

- ❖ Tolerancia a niveles elevados de elementos químicos
- ❖ Acumulación razonablemente elevada de niveles de elementos químicos
- ❖ Rápido rango de crecimiento
- ❖ Alta producción de biomasa en campo
- ❖ Sistema radical profuso

#### **2.4.2.5. Aplicabilidad de la Fitorremediación**

Según plantea el ITRC (1997), durante la fase de caracterización de sitio a descontaminar los niveles de concentración del contaminante serán establecidos. Altos niveles de contaminación podrían eliminar la fitorremediación como opción de tratamiento ya que la fitorremediación es aplicable en sitios con baja o moderada concentración de elementos químicos a relativamente bajas profundidades de contaminación, y el suelo represente un medio favorable para el crecimiento de las plantas. En muchos casos la fitorremediación puede ser usada como una técnica para remediar bajas concentraciones. Si la concentración de metal en el suelo excede cierto límite, el crecimiento de las plantas puede no ocurrir mientras no se le adicione algún tipo de enmienda. Se debe tener en consideración que las plantas no son capaces de tratar todos los contaminantes. La composición de componentes orgánicos y grado de adsorción son factores importantes en la fitorremediación. Por lo que es importante comprender el rango de contaminantes y sus concentraciones para evaluar en que medida pueden ser tratados usando la fitorremediación.

A continuación, EPA (2000), señala algunas ventajas para la aplicación de una tecnología de fitorremediación:

##### **2.4.2.5.1 Ventajas:**

- ✓ La fitorremediación puede ser aplicada en grandes superficies con un costo relativamente bajo con respecto a otras tecnologías de remediación.

- ✓ Se puede limpiar y reducir dramáticamente los niveles de contaminación junto con la preservación de la superficie del suelo.
- ✓ La utilización de las tecnologías de fitorremediación resultan útiles para el reciclado de los metales extraídos.
- ✓ Es una tecnología que se puede aplicar para un amplio rango de metales, radionucleótidos y orgánicos.
- ✓ La necesidad de excavar el suelo puede ser minimizada o eliminada.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS.

El municipio "Guantánamo " es el más grande de la provincia, además de ser el más importante en la producción de vegetales y hortalizas. El Consejo Popular Honduras es un batey donde existió un Complejo Agroindustrial con el mismo nombre, con una población de 9 071 habitantes aproximadamente.

El presente trabajo se realizó en el huerto de autoconsumo "La Habichuela" de la antigua Granja Agropecuaria de Honduras en el periodo de enero del 2008 hasta noviembre del 2009. El área seleccionada como sitio experimental está ubicada al este del antiguo Central Azucarero. El área tiene una extensión aproximada de 2 ha y una pendiente entre 0.5 -1 % donde con gran frecuencia las aguas de escorrentía producto de las lluvias son conducidas. El Consejo Popular de Honduras abarca una extensión de 17,7 Km.



Mapa 1.- Ubicación geográfica del área de estudio.

#### 3.1. Caracterización de la Fuente Contaminante (Complejo Agroindustrial Honduras).

Se realizó a través de visitas al batey, efectuando talleres con la participación de directivos, especialistas y trabajadores, donde se obtuvo información sobre como fue desmantelado el central, los materiales con que se construyó la industria

y los desechos que se produjeron al desmantelarla y se observaron las afectaciones provocadas al área seleccionada para el estudio.

### **3.2. Caracterización del área en estudio.**

Se seleccionaron dos áreas: una en el huerto descrito con anterioridad y una parcela de referencia con las mismas características edafoclimáticas del área en estudio y libre de la influencia de los desechos de la fábrica de azúcar de caña, ubicada en terrenos pertenecientes a la Granja Agropecuaria Honduras, a 500 metros de donde estaba situada la fábrica de azúcar. La composición botánica de la misma es principalmente de cultivos varios y hortalizas, en buenas condiciones de desarrollo. Pueden aparecer alguna que otra de las especies que estudiamos, pero en cantidades despreciables para el área.

El trabajo de recolección de muestras en el área afectada por la acumulación de residuos del central se llevó a cabo durante dos etapas, una enclavada en los meses de lluvia (Junio) y otra los meses de seca (noviembre), para que la representación de las especies se pudiese comparar y determinar en qué momento se encontraban un mayor número de las mismas.

La caracterización del área en estudio se realizó teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Características topográficas del terreno.
- Mapas Cartográficos a escala 1:25000 y digitales según Hernández et al., (2002 y 2004) y CEDAR (2004).
- Observación visual y recorrido del área.
- Medición del espesor del sedimento sobre el área y elaboración de un esquema.
- Observación de la vegetación existente en la zona de vertimientos.

### **3.3. Análisis de suelo**

En el Catastro de los suelos del Consejo Popular Honduras según GEOCUBA (2008) aparece la relación entre las áreas cultivadas y las que no están aptas para el cultivo estando en cantidad semejante. (Ver anexo 1).

Con vista a incorporar mayor cantidad de área para el desarrollo de cultivos varios va dirigido el objetivo de nuestra investigación.

### **3.3.1.- Toma de muestras de suelo:**

Se tomaron muestras de suelo del área seleccionada que recibe los desechos de la fábrica de azúcar y una segunda área donde se ubicó un perfil patrón en la Granja Agropecuaria Honduras (otro huerto donde no fueron depositados los desechos de la desmantelación), ubicada en un área no afectada por estos residuales, es un terreno cultivado donde los rendimientos son mejores, con una vegetación espontánea, sin posibilidades de inundación y no recibe tratamiento alguno.

Para la determinación de las condiciones edáficas se utilizó una Barrena de hasta 1 m de profundidad. En este caso, para los análisis, se tomaron cinco puntos de muestreo por el método de Zig- zag a cinco profundidades: 0 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm, 60 – 80 cm, y 80 – 100 cm. (Robert y Henry, 2000).

Las diferentes muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente durante siete días y se tamizaron empleando un tamiz de 0.5, 1 y 2 mm, según el análisis a realizar. Con las muestras tamizadas se realizaron análisis físicos y químicos según Paneque et al. (2001).

Descripción morfológica del perfil: se determinaron los siguientes parámetros

- Bases Intercambiables (Ca, Mg)
- **Ca y Mg**: por el método de EDTA (aunque el Mg no lo consideramos como un metal pesado), pero se encontró en el sitio de estudio.
- Contenido de **elementos químicos** para el suelo del área que recibe los desechos de la fábrica de azúcar, mediante extracciones de DTPA-TEA, en soluciones mineralizantes por el método de espectrometría de absorción atómica en plasma (ICP-AES. Liberty RL, Varian) y en soluciones de agua

por Espectrometría Electrotérmica de Absorción Atómica (ETAAS, Zeeman 220, Varian).

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de la Laterita de la Mina de Níquel en Moa (CEINNIQ).

### **3.4.- Relación botánica de las especies existentes en el sitio en estudio**

#### **3.4.1.-Toma de muestras de las plantas.**

Para la toma de muestras de plantas se procedió a realizar una recolección minuciosa de las especies botánicas existentes en cada área con el fin de realizar su identificación. Las mismas fueron tomadas al azar. Se realizaron dos muestreos:

Primer muestreo (Periodo seco-frío): Noviembre del 2008.

Segundo muestreo (Periodo seco-frío): Enero del 2009.

El método utilizado es el método Aleatorio de Reconocimiento y Selección de especies según Labrada (1979).

La Identificación tuvo lugar en el Departamento de Ciencias Básicas de la Facultad Agroforestal de Montaña del Centro Universitario de Guantánamo. Los manuales utilizados para la identificación fueron: Flora de Cuba de los Hermanos León (1946) y Alain (1964); Weeds of the lesser Antilles mauvaises herbes des petites Antilles de Fournet. J y Hawmerton (1991); Diccionario Botánico de Nombres Vulgares de Roig, T. (1992) y le Guide des plantes Tropicales de Bartels A. (1994).

### **3.5. Análisis químico de las plantas. METODOLOGÍA.**

Para el análisis químico de las plantas se tomaron las cuatro especies con mayor presencia en el área de estudio.

Las muestras fueron previamente preparadas por medio de tratamiento ácido y analizadas por métodos tradicionales (gravimétricos) y aplicando técnicas de ensayo como la Espectrometría de Absorción Atómica (EAA).

Los análisis de los ensayos se realizaron por personal especializado siguiendo los procedimientos establecidos para:

- Control de calidad de las muestras de ensayo.
- Agua para el uso en el laboratorio.
- Procedimientos técnicos para los análisis por métodos gravimétricos (A y G e HC), para muestras de aguas potables y residuales.
- Procedimientos técnicos para la determinación de elementos trazas por la técnica instrumental espectrometría de Absorción Atómica (Cu, Fe, Ni, Zn, Pb, Cr, Mn, Mg, MO, Cd,) en aguas, Suelos y Plantas.

#### **Análisis estadístico.**

Para el análisis estadístico de las entrevistas se aplicó el Método porcentual y evaluación cualitativa con SPSS. Se aplicó pruebas no paramétricas de Chi cuadrado para  $p > 5\%$  a partir del paquete estadístico SPSS plus 5.1.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Caracterización de la Fuente Contaminante (Complejo Agroindustrial Honduras).**

Cuando la dirección del Ministerio de la Industria Azucarera decide que una cantidad de las Industrias Azucareras debían cesar su actividad, el Complejo Agroindustrial Honduras fue uno de los seleccionados. Por lo que en el proceso de desmantelamiento, se depositaron los restos de materiales y componentes de ellos en áreas aledañas, una de estas, después de dos años se dedica a la producción de alimentos y es la escogida por la autora para realizar su experimento. El resultado de las entrevistas arrojó que dentro de las afectaciones provocadas al área encontramos: (Ver anexo 2)

#### **A los cultivos:**

- Amarillamiento de hojas
- Caída prematura de frutos
- No se puede cultivar
- Daños en las cosechas
- Otros daños

#### **Los animales**

- Muertes
- Diarreas
- Convulsiones
- Otras

#### **Los patios o parcelas**

- Encharcamiento
- Deterioro del Entorno
- Acumulación de sedimento
- Otros

### **4.2.- Análisis de Suelos en el sitio de estudio**

La tabla 4 nos ofrece la profundidad a la que fueron tomadas las muestras de suelo y el grado de contaminación encontrado para cada uno de los elementos a las diferentes profundidades. En los muestreos realizados, el Cadmio se observa en mayor concentración entre los 80-100 cm, de profundidad en el primer muestreo y en menor concentración en la misma profundidad para el segundo muestreo. Por su parte en el Plomo la mayor proporción la encontramos en el primer muestreo a una profundidad de 60-80 cm y en el segundo muestreo entre los 0-20 cm, la menor concentración la encontramos en el segundo muestreo entre 80-100cm. Sin embargo la presencia del Zinc es notable en todas las muestras, no existe diferencia entre ellas. Al referirnos al Cobre, este se encuentra presente en todas las muestras, encontrando la menor concentración a la profundidad de 80-100 cm. Cuando evaluamos el Cromo apreciamos su presencia en todas las muestras, no existiendo diferencia, encontrando la menor concentración a la profundidad de 80-100 cm en el primer punto de evaluación. En cuanto al Níquel lo encontramos presente en todas las muestras sin existir diferencia, la menor concentración se observó entre los 0-20 cm de profundidad del primer muestreo.

Haciendo un resumen de los resultados se observa que para las profundidades muestreadas las mayores concentraciones de elementos químicos corresponden al Níquel, seguidos del cadmio y el cromo; el zinc, el plomo y el cobre se encuentran a concentraciones más bajas.

Esto está dado porque el níquel se encuentra en elevadas concentraciones en el material procedente de la desmantelación del central azucarero; formando parte de diferentes aleaciones. Por su parte el cadmio tiene la capacidad de acumulación en la cadena alimentaria. Está también presente en pequeñas cantidades en los fertilizantes fosfatados, desde donde puede cederse al suelo y de éste a los vegetales. También posee una amplia distribución derivada de sus numerosas aplicaciones industriales.

Sin embargo, el plomo es uno de los contaminantes que se encuentra más ampliamente distribuido en la naturaleza. Su elevada resistencia a la corrosión le ha hecho encontrar numerosas aplicaciones en el central, entre las que destacan la fabricación de acumuladores eléctricos (baterías) y de soldaduras. En el suelo,

el zinc permanece fuertemente adsorbido. El zinc es un elemento esencial, presente en los tejidos de animales y plantas incluso a concentraciones ambientales normales.

Según <http://revista.consumer.es/web/es/> todos estos elementos químicos evaluados presentan una alta persistencia en el entorno, al no tener, la mayoría de éstos, una función biológica definida y no ser química ni biológicamente degradables, pudiendo permanecer en el ambiente durante cientos de años.

Estudios realizados por Betancourt L. H., (2008) afirman que en dicha comunidad los lugareños durante la estancia de los residuos en esa área, la inclemencia del tiempo, las aguas y el sol, hacen que restos metálicos se infiltren en el suelo para ser arrastrados luego por el agua lluvia y la escorrentía. En este proceso de lixiviación hay sales, óxidos e hidróxidos de estos metales que son infiltrados libremente en el suelo, llegando hasta el manto freático.

**Tabla 4: Análisis de Suelos en el sitio de estudio** (Laboratorio de la Laterita de la Mina de Níquel en Moa (CEINNIQ), 2008).

Muestreos	Profundidad de muestreo	Concentración (mg. g <sup>-1</sup> )					
		Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni
Muestreo 1	0-20 cm	1,7767	0,0543	0,2667	0,3333	1,5277	2,8482143
	20-40 cm	1,9967	0,0577	0,2667	0,3428	1,4543	3,1160714
	40-60 cm	0,9967	0,0600	0,2667	0,3190	1,4800	3,0267857
	60-80 cm	1,3767	0,0643	0,2444	0,3048	1,4767	2,8571429
	80-100cm	2,2767	0,0577	0,1956	0,2428	1,1200	2,2857143
Muestreo 2	0-20 cm	0,7433	0,0643	0,2667	0,3809	1,5077	3,0446429
	20-40 cm	1,0933	0,0543	0,2667	0,3714	0,1600	3,000000
	40-60 cm	1,1433	0,0543	0,26667	0,3857	1,5433	3,2678571
	60-80 cm	0,9433	0,0500	0,2667	0,3714	1,4400	3,1696429

Según Curato *et al.* (2002) esta biodisponibilidad de elementos químicos en el suelo depende tanto de la concentración del elemento como de su movilidad respecto de la actividad de la planta. Esto es a su vez función del pH, la capacidad de cambio de bases y la presencia de agentes acomplejantes. Las raíces, además de captar las sales disueltas pueden absorber material unido a la superficie de partículas plásticas, en parte debido al efecto de microambientes ácidos generados por las raíces y en parte por fenómenos de cambio de bases.

#### 4.3. Relación botánica de las especies existentes en el sitio en estudio.

##### Primer muestreo (Periodo seco-frío): Noviembre 2008.

Durante el primer muestreo se colectaron 17 especies agrupadas en 12 familias botánicas:

*Amaranthaceae* (1), *Convolvulaceae* (1), *Commelinácea* (1), *Cyperaceae* (1), *Euphorbiaceae* (1), *Fabaceae* (1), *Malvaceae* (3), *Mimosaceae* (1) *Poaceae* (3) *Sterculiaceae* (2), *Tyfaceae* (1) *Verbenaceae* (1). Como se puede apreciar en la tabla 6.

**Tabla 6: Especies vegetales identificadas durante el primer muestreo (Noviembre de 2008).**

N°	Especie	Familia
1	<i>Achyranthes aspera</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>
2	<i>Ipomoea tiliacea</i> (Willd.) Choisy.	<i>Convolvulaceae</i>
3	<i>Commelina erecta</i> L.	<i>Commelinaceae</i>
4	<i>Cyperus iria</i> L.	<i>Cyperaceae</i>
5	<i>Chamaesyce hyrta</i> (L.) Mill sp.	<i>Euphorbiaceae</i>
6	<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urb.	<i>Fabaceae</i>
7	<i>Malacra alceifolia</i> Jacq.	<i>Malvaceae</i>
8	<i>Sida acuta</i> Burm. f.	
9	<i>Anoda acerifolia</i> ( Gris) D.C	
10	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Will	<i>Mimosaceae</i>
11	<i>Sorghum halepense</i> Pers.	<i>Poaceae</i>
12	<i>Bothriocloa pertusa</i> (L.) A. Camus	

13	<i>Paspalum notatum</i> Flugge.	
14	<i>Melochia nodiflora</i> SW.	Sterculiaceae
15	<i>Melochia pyramidata</i> L.	
16	<i>Typha dominguensis</i> (Pers) Kunth.	Thyphaceae
17	<i>Phylla nodiflora</i> (L.) Greene	Verbenaceae

### Segundo muestreo (Periodo seco-frío): Enero del 2009.

En el mes de enero se realizó una segunda evaluación en la cual se evidenció que además de las especies encontradas en la primera evaluación (Tabla 6) se encontraron 5 nuevas especies ubicadas en 4 familias (Tabla 7), para un total de 22 especies. En el segundo muestreo se encontró una especie de la familia Caesalpinaceae, la cual no se observó en el primer muestreo.

**Tabla 7 Especies identificadas en el segundo muestreo (Enero de 2009).**

N°	Especie	Familia
1	<i>Achyranthes aspera</i> L.	Amaranthaceae
2	<i>Ipomoea tiliacea</i> (Willd.) Choisy.	Convolvulaceae
3	<i>Commelina erecta</i> L.	Commelinaceae
4	<i>Cyperus iria</i> L.	Cyperaceae
5	<i>Chamaesyce hyrta</i> (L.) Mill sp.	Euphorbiaceae
6	<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urb.	Fabaceae
7	<i>Malacra alceifolia</i> Jacq.	Malvaceae
8	<i>Sida acuta</i> Burm. f.	
9	<i>Anoda acerifolia</i> ( Gris) D.C	
10	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Will	Mimosaceae
11	<i>Sorghum halepense</i> Pers.	Poaceae
12	<i>Bothriocloa pertusa</i> (L.) A. Camus	
13	<i>Paspalum notatum</i> Flugge.	
14	<i>Melochia nodiflora</i> SW.	Sterculiaceae
15	<i>Melochia pyramidata</i> L.	
16	<i>Typha dominguensis</i> (Pers) Kunth.	Thyphaceae
17	<i>Phylla nodiflora</i> (L.) Greene	Verbenaceae
18	<i>Vigna xexilata</i> (L. )A.Rich.	Fabaceae
19	<i>Terannus labiales</i> L.	
20	<i>Merrenia umbelata</i> (L.) Hall .f	Convolvulaceae
21	<i>Cassia uniflora</i> Mil.	Caesalpinaceae

22	<i>Caperonia palvstris</i> (L.) ST. H.i	<i>Euphorbiaceae</i>
----	---	----------------------

Berazaín (1999) reporta a la región del Caribe como el área que más plantas acumuladoras e hiperacumuladoras posee: 157 especies, destacándose Cuba con 153 especies (96 %): 31 acumuladoras y 131 hiperacumuladoras con un endemismo del 99 %. Siendo las grandes familias como *Asteraceae*, *Euphorbiaceae* y *Rubiaceae* las que contribuyen con el mayor porcentaje (68%). Para otras regiones del planeta se expresa que las familias *Brassicaceae*, *Lamiaceae*, *Scrophulariaceae* pueden ser también empleadas para estos fines. Estudios realizados por McGrath, S. P (2003) para la determinación especies capaces de adaptarse a suelos con concentraciones moderadas de metales pesados encontró que dentro de las familias más adaptadas se encuentran las *Poaceae*, *Fabaceae*, *Thyphaceae*, *Amaranthaceae* y *Cyperaceae* y dentro de ellas especies consumidas por el hombre como el maíz (*Zea mays*) y las *Vignas sp.*

#### 4.4.- Análisis químico de las plantas encontradas en el sitio de estudio.

Las especies empleadas para el análisis químico la conforman: *Malacra alceifolia*, (26.6%), *Phyla nodiflora* (33.3%), *Cyperus* (26.6 %) y *Typha dominguensis* (13.3% ).

Al evaluar la presencia de Cadmio en las plantas podemos plantear que se encuentra en mayor concentración en los ejemplares de *Phyla nodiflora* (hojas y raíz), *Cyperus* (raíz y tallos) con valores de 0,0002 mg.g<sup>-1</sup> para ambas especies y la menor concentración en la *Malacra alceifolia* (tallos) con 0,00009 mg.g<sup>-1</sup>. Al analizar el Plomo, se detectó mayor concentración en el *Cyperus* (raíz) 0,0007 mg.g<sup>-1</sup>; y la menor concentración en la *Malacra alceifolia* donde no se detectó. Si nos referimos al Zinc, la planta que mayor concentración mostró fue *Malacra alceifolia* (hojas) 0,0076 mg.g<sup>-1</sup>, mostrando el menor valor en el *Cyperus* (hojas) con 0,0017 mg.g<sup>-1</sup>. Evaluando el comportamiento del Manganeso encontramos la mayor concentración en los representantes del *Cyperus* (raíz) con 0,049 mg.g<sup>-1</sup> y el menor en la *Malacra alceifolia* (tallos) y el *Phyla nodiflora* (tallos) con 0,002 mg.g<sup>-1</sup>. Por su parte el Cromo se observa en mayor concentración en el *Cyperus* (raíz)

con 0,0030 mg.g<sup>-1</sup> y menor en la *Malacra alceifolia* (tallos), *Phyla nodiflora* (tallos), *Cyperus* (hojas) y *Typha dominguensis*, que no se detectó. Por lo anteriormente expuesto se demuestra que las plantas existentes en el sitio de estudio poseen en sus tejidos concentraciones sustanciales de metales pesados.

Haciendo un análisis de estas especies encontramos que el *Cyperus*, la *Phyla nodiflora* y la *Malacra alceifolia* se encuentran entre las plantas que acumulan en sus diferentes órganos estos elementos químicos considerados como metales pesados, por lo cual pueden ser utilizadas como plantas indicadoras y para próximos estudios de fitorremediación.

Este comportamiento se debe además a la capacidad de estas plantas de extraer los contaminantes del suelo para luego ser traslocados y concentrados en sus raíces, tallos u hojas. Esto se debe a que estas especies constituyen plantas hiperacumuladoras y tienen la habilidad de tomar y tolerar altos niveles de metal. Además poseen una elevada tolerancia a niveles elevados de elementos químicos, a su capacidad de acumulación razonable de dichos elementos, a su rápido rango de crecimiento y a su alta producción de biomasa en campo.

Estudios realizados por Jaffré *et al.* (1974), Brooks *et al.*, (1976), McGrath *et al.*, (1993); Baker *et al.*, (1994); McGrath, (1998) y Schwartz and Morel (1998) afirman que las plantas hiperacumuladoras tienen la habilidad de tomar y tolerar altos niveles de metal en sus tallos por lo que ellas constituyen las herramientas potenciales para la fitoextracción.

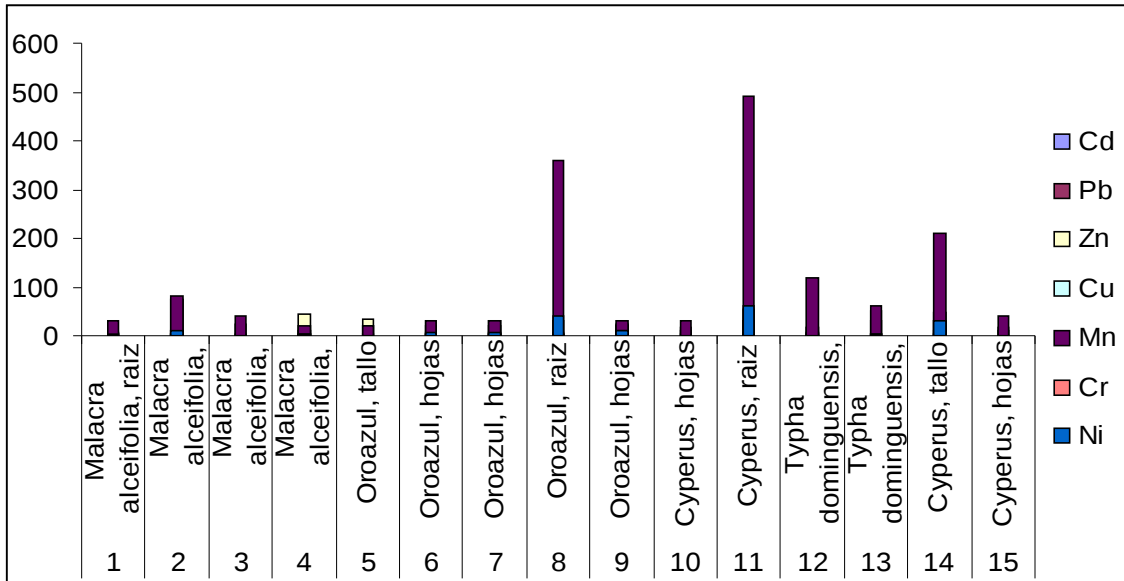
**Tabla 8: Análisis químico de las plantas encontradas en el sitio de estudio. (mg.g<sup>-1</sup>)**(Laboratorio de la Laterita de la Mina de Níquel en Moa (CEINNIQ), 2008).(Todavía las cifras son tentativas para el nivel de toxicidad en los humanos):

Especies	Órganos	Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Mo	Cr	Ni
<i>Malacra alceifolia</i>	raíz	0,0001	0,0004	0,0003	0,0007	0,003	>.0001	0,0010	0,0004
	hojas	0,0002	0,003	0,0076	0,001	0,008	>.0001	0,0040	0,0010

<i>Cyperus,</i>	tallos	0,0009	0,0000	0,0024	0,0003	0,004	>.0001	0,0000	0,0000
	tallos	0,0001	0,0013	0,0044	0,0009	0,002	>.0001	0,0020	0,0002
	hojas	0,0001	0,0002	0,0017	0,001	0,003	>.0001	0,0000	0,0000
	raíz	0,0002	0,0007	0,0054	0,003	0,049	>.0001	0,0030	0,0060
	tallo	0,0002	0,0002	0,0049	0,003	0,021	>.0001	0,0010	0,0030
	hojas	0,0001	0,0001	0,0017	0,001	0,004	>.0001	0,0000	0,0001
	tallo	0,0001	0,0002	0,0035	0,002	0,002	>.0001	0,0000	0,0000
<i>Phyla nodiflora</i>	hojas	0,0002	0,0004	0,0029	0,002	0,003	>.0001	0,0002	0,0008
	hojas	0,0002	0,0000	0,0029	0,002	0,003	>.0001	0,0003	0,0006
	raíz	0,0002	0,0002	0,0006	0,003	0,036	>.0001	0,0002	0,0040
<i>Typha dominguen sis</i>	hojas	0,0002	0,0005	0,0025	0,002	0,003	>.0001	0,0010	0,0010
	hojas	0,0001	0,0002	0,0016	0,0006	0,012	>.0001	0,0000	0,0001
	tallo	0,0002	0,0002	0,0052	0,003	0,006	>.0001	0,0003	0,0005

Estudios realizados por Wangensteen (2002) y Castrillo (2004) en una pequeña planta de la extensa familia de las coles (*Brassicáceas*; géneros *Alyssum* y *Thlaspi*) llamada *Thlaspi caerulescens* demostraron que es la mejor hiperacumuladora conocida para el cadmio, zinc, níquel y plomo, llegando a extraer en una sola generación hasta el 50 % de todo el cadmio existente en el suelo. Otras especies del género *Thlaspi* han demostrado su capacidad para acumular también plomo y cobre.

Según Kaemmerer (2003) existen cultivos que pueden cumplir un excelente rol de fitorremediadores, puesto que llegan a remover materiales peligrosos desde suelos contaminados, como son el caso del geranio (*Pelargonium sp.*), tomate (*Lycopersicum sp.*), maíz (*Zea mays*), girasol (*Helianthus annuus*).



*Figura 2 Representación de las especies y el contenido de metales en cada especie.*

#### 4.5.- Impacto social

El Consejo Popular de Honduras dentro de sus principales objetivos se encuentra la producción de viandas y hortalizas, en aras de suplir las necesidades alimentarias de los pobladores. A esto se une la necesidad de suplir importaciones tomando en consideración la crisis económica por la que atraviesa el mundo de hoy.

Para ello, la Granja Agropecuaria Honduras, como ente productivo fundamental de la zona viene encaminando un trabajo para la recuperación de las áreas antes explotadas por la producción cañera y aquellas aptas para la producción agrícola.

A pesar de esto un gran número de terreno hoy, está contaminado por metales pesados producto de la desmantelación de la industria azucarera.

Este estudio ofrece elementos necesarios para la recuperación de dichos suelos tales como: metales presentes y las plantas que son hiperacumuladoras de esos metales y por ende la incorporación de las mismas a la producción agropecuaria del consejo popular.

#### **4.6.- Aporte de la investigación a la defensa de la patria**

Partiendo del principio de que nuestro país es netamente agrícola, el cual tiene encaminada una serie de recursos en aras de resolver el problema de la alimentación humana, sobre todo aquellos cultivos capaces de ser consumidos frescos por el aporte de vitaminas y minerales necesarios para el organismo humano, dentro de ellos las viandas y vegetales muy consumidos en Cuba, resulta necesario recuperar y poder a producir todas aquellas áreas con posibilidades de ser explotadas en condiciones de guerra así como su conservación.

Esta investigación constituye un estudio preliminar encaminado a la recuperación de las áreas del Consejo Popular Honduras, con determinados niveles de contaminación de metales pesados producto de la desmantelación de la industria azucarera, principal renglón hasta el año 2004. Este estudio forma parte de un proyecto nacional denominado Fitorremediación.

Por estas razones se hace necesario tener planificada la introducción de estos resultados en situaciones de guerra no solo por su aporte sino por la posibilidad de explotación de dichos suelos en condiciones anormales.

## V. CONCLUSIONES.

1. En las muestras de suelo correspondientes al área de producción los valores del contenido de los metales encontrados y analizados, no todos sobrepasan los umbrales de contaminación.
2. Los suelos que reciben la influencia directa y no controlada del agua que arrastra los metales lixiviados, han sufrido contaminación de Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Niquel (Ni), Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en las profundidades estudiadas, por recibir las deposiciones de las formas solubles de estos elementos.
3. Las plantas consideradas como tolerantes a los metales pesados en el área de estudio se agrupan en 12 familias botánicas: *Amaranthaceae*, *Convolvulaceae*, *Commelinácea*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae*, *Malvaceae*, *Mimosaceae*, *Poaceae*, *Sterculiaceae*, *Typhaceae* y *Verbenaceae*, elementos a tener en cuenta en los estudios de fitorremediación. .

## **VI. RECOMENDACIONES.**

- Completar el estudio del contenido de otros metales como fuente de contaminación de la industria azucarera.
- Establecer un adecuado programa de educación ambiental donde se aborden aspectos relacionados con la contaminación por metales pesados y la forma de recuperar áreas dañadas, tanto para la Empresa como para la población del municipio.

## VII.- BIBLIOGRAFÍA

1. Altieri, M.A. 1994. Agroecology, the scientific basis of alternative agriculture. Westview Press, Boulder.
2. Altieri, M.A., 1996, Bases Agroecológicas para una agricultura sustentable. Universidad de California, Barkeley. Módulo 2 Diplomado: 84-97 CLADES. CEAS-ISCAH.
3. Barceló Juan y Poschenrieder Charlotte. 2001. La fitorremediación, un reto para la investigación básica y aplicada. Laboratorio de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de Barcelona. Documento pdf.
4. Berazaín, R. (1999). Estudios de plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel en las serpentinas del Caribe. Rev. Jardín Botánico Nacional. Vol. xx:17-30.
5. Boominathan, R.; Doran, P. (2003). Organic acid complexation, heavy metal distribution and the effect of ATPase inhibition in hairy roots of hyperaccumulator plant species. Journal of Biotechnology, Ed. ELSEVIER 101, 131-146. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>.
6. Cámara., C. Fitorremediación (En línea) Febrero del 2003. Disponible en : [http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec\\_ccamara1.htm](http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec_ccamara1.htm)  
(Consulta: Enero 2006)
7. Cámara., C. Fitorremediación (En línea) Febrero del 2002. Disponible en: [http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec\\_ccamara1.htm](http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec_ccamara1.htm)
8. CEDAR, 2004. Boletín científico por un desarrollo local sostenible. Nro. 1 Noviembre.
9. Chicón., L. Especiación de Metales Pesados en Lodos de aguas Residuales de Origen Urbano y Aplicación de Lodos Digeridos como Mejoradores de Suelos (En Línea) Mayo del 2002. Disponible en: [http://ads.tripod.lycos.es/ad/google/frame.php?\\_url](http://ads.tripod.lycos.es/ad/google/frame.php?_url) (Consulta: Octubre 2006)
10. Contaminación del suelo. (En línea) Abril 2003. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15.htm> (Consulta: Junio 2006).

11. Contaminación del suelo. Contaminantes específicos Metales Pesados. (En Línea) Septiembre del 2003. Disponible en: <http://unex.es/edafo/Gesl2.htm>. (Consulta: Mayo 2006).
12. Cusato M., Tortosa R. D., Bartoloni N., Valiente L y M. Puelles, (En línea) Agosto 2001. Fitorremediación Empleo de *Discaria Americana*. Disponible en: <http://www.dsostenible.com.ar/index.html>
13. Ecología y Medio Ambiente (En línea) Septiembre 2003. Disponible en: [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion4/capitulo10/04\\_10\\_04.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion4/capitulo10/04_10_04.htm)
14. Eurobionet. Plantas para detectar la contaminación (En línea) 2001. Disponible en: <http://www.gva.es/ceam> (Consulta: Octubre 2005).
15. EPA. 2000. Introduction to phytoremediation. Innovative hazardous waste remediation. Documento PDF.
16. Evanko, C. R. and D. A. Dzombak (1997). Remediation of metals-contaminated soils and groundwater, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center.
17. Garbisu, C.; I. Alkorta (2001). Phytoextraction a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bio. Tech. 77: 229-236.
18. Garbisu., et al, 2002. Phytoremediation: A Technology Using Green Plants to Remove Contaminants from Polluted Areas. Reviews on Environmental Health. Volume 17, N°. 3, 2002. pag 75-90.
19. González., et al. 2000. Edafología. Volumen 7-3. Septiembre. pág 47-54. Nivel de Contaminación en suelos por elementos traza. Impacto sobre las comunidades Microbianas.
20. Kaemmerer, M. (2003). Valoración biológica de desechos orgánicos y evaluación de su potencial para utilizarlos en la remediación de suelos contaminados, Proyecto de Investigación.
21. Mazzeo., C. Tratamiento de suelos contaminados por medio de fitorremediación. (En línea) Planet's Voice ARTICLE. 10-Oct-2002.

Disponible en: [http://www.planets-voice.org/\\_interface/news.shtml](http://www.planets-voice.org/_interface/news.shtml)  
(Consulta: Mayo 2005)

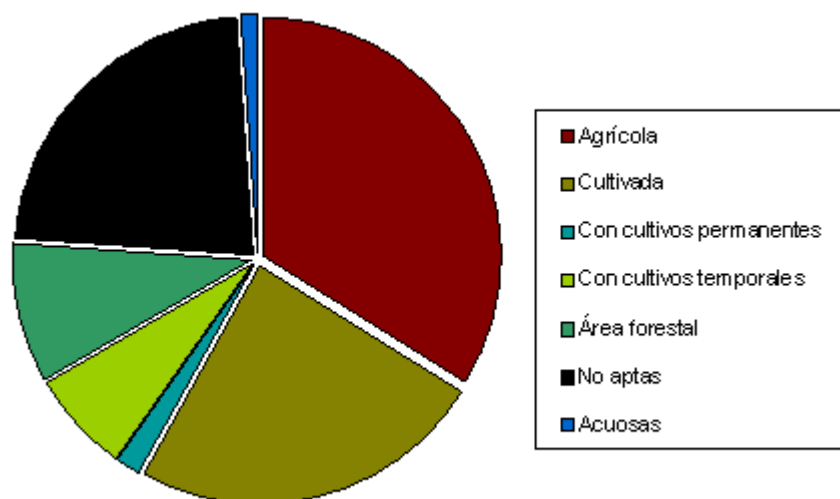
22. McGrath, S. P. and F.-J. Zhao (2003). "Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils." Current Opinion in Biotechnology 14: 277–282.
23. Metales pesados toda una Amenaza (En línea) Revista Consumer Eroski N° 42. 1 de Marzo del 2001. Disponible en: <http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/27009.php>  
(Consulta: Octubre 2006).
24. Montras., A y Vincent T,. Biodegradacion y Biorremediacion (En línea) . Ecotropia. Barcelona 4 Mayo 2002. Disponible en :<http://www.ecotropia.com/n1010402.htm> (Consulta: Septiembre 2005).
25. Phytoremediation: Using Plants to Clean Up Soils (En línea): Abril 2002. Disponible en: <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/jun00/soil0600.htm>  
(Consulta: Mayo 2005).
26. Restrepo, J., 1997. La Agricultura Orgánica. Un Camino hacia la sostenibilidad. (Más de Cien argumentos para sostenerla. Latinoamérica).
27. Schnnor, J. 2001. Phytoremediation. Technology. Evaluation Report. TE-98-01. In: GWRTAC(ground Water Remediation, Technologies Analysis Center ). Home page: <http://www.gwrtac.org>.
28. Tarrach., S. 2001. Grupo de Expertos del Consejo Superior de Investigaciones Cientificas y otros Organismos Colaboradores sobre la Emergencia Ecologica en el Rio Guadimar, (En línea)13 Informe. Madrid 26 de enero del 2001. Disponible en: <Http://www.csic.es/hispano/coto/infor13/infor13.htm> (Consulta: Abril 2005).
29. UACh (2003). Manejo de suelos para una agricultura sostenible. Antología.
30. USEPA – ORD (2000). In situ treatment of soil and groundwater contaminated with Chromium. Technical resource guide. EPA/625/R-00/005, Octubre 2000.
31. Garbisu, C.; I. Amezaga; I. Alkorta. Ecosistemas Biorremediación y ecología. (En línea) Marzo 2002b. Disponible en:

<http://www.aeet.org/ecosistemas/023/opinion.1.htm> (Consulta: Octubre 2005 )

32. Higuera, P. Biogeoquímica (En línea) 10 febrero 2004. Disponible en: [http://www.uclm.es/users/higuera/MGA/Tema04/Prospeccion\\_geoquimica\\_2.htm](http://www.uclm.es/users/higuera/MGA/Tema04/Prospeccion_geoquimica_2.htm)
33. ITRC, 1997. Emerging technologies for the remediation of metals in soils. Phytoremediation. Prepared by Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group Metals in Soils Work Team Emerging Technologies Project.
34. Vásquez E., (En línea) Gaceta No. 49 - Universidad Veracruzana Enero 2002. Nueva época. N 49 Publicación mensual. Xalapa, Veracruz Mexico. Disponible en: <http://www.uv.mx/gaceta/49/ventana/como.htm> (Consulta: Septiembre 2006).
35. Vásquez Ma. Uso de especies vegetales para controlar ambientes contaminados. (En línea) 5 de Diciembre del 2001. Disponible en: <http://www.ecotropia.com/d1011201.htm> (Consulta: Octubre 2006).
36. Vullo, D. Microorganismos y Metales Pesados: Una Interacción en Beneficio del Medio Ambiente. (En línea) Mayo 2004 Disponible en: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.html> (Consulta: Abril 2007).
37. Vullo, D., Ceretti, H., Hughes, E., Ramírez, S., Zalts, A. (2003). Indigenous Heavy Metal Multiresistant Microbiota of Las Catonas Stream. Environmental Monitoring and Assessment (enviado para su publicación).

## ANEXOS

### Anexo 1:



**Figura 1:** Catastro de los suelos en el Consejo Popular Honduras. (GEOCUBA 2008)

## ANEXO 2

### Resultados de las encuestas.

#### 1. Caracterización general de los encuestados

<b>Grupos encuestados</b>	<b>Total</b>	<b>Encuestado</b>	<b>%</b>	<b>Promedio en años</b>	
				<b>Vive</b>	<b>Trabaja</b>
		<b>S</b>			
Población	1214	29	2,3	-	-
Cjo. Dirección	21	17	81,0	-	12,5
Trabajadores	415	30	7,2	21,8	10

Comentario: La mayoría de los trabajadores llevan más de 15 años trabajando, unos 5 años y otros de 1 a 5 años. En el caso del Consejo de dirección la mayoría lleva más de 15 años, el que menos lleva dos años y el resto entre 6 y 10 años.

#### **Composición por edad de los encuestados.**

<b>Edad</b>	<b>Grupos encuestados</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
De 16 a 30	Población	7	24,0
	Cjo. Dirección	1	5,9
	Trabajadores	4	13,3
De 31 a 50	Población	13	45,0
	Cjo. Dirección	16	94,1
	Trabajadores	22	73,3
Mayor de 50	Población	9	31,0
	Cjo. Dirección	0	0
	Trabajadores	4	13,3

#### **Composición por sexo de los encuestados.**

<b>Sexo</b>	<b>Grupos encuestados</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
Femenino	Población	16	55,0
	Cjo. Dirección	7	41,2
	Trabajadores	14	46,7
Masculino	Población	13	45,0
	Cjo. Dirección	10	58,8

Trabajadores 16 53,3

**Composición por nivel de escolaridad de los encuestados.**

Nivel de escolaridad	Grupos encuestados	Cantida d	%
Primaria	Población	1	3,4
	Cjo. Dirección	0	0
	Trabajadores	2	6,7
Media	Población	8	27,6
	Cjo. Dirección	5	29,4
	Trabajadores	18	60,0
Superior	Población	20	69,0
	Cjo. Dirección	12	70,6
	Trabajadores	10	33,3

**2. Respuestas.**

**Pregunta 1.**

¿Conoce Ud en qué lugar son depositados los desechos de la Industria Azucarera en el la comunidad de Honduras?

Respuest a	Encuestados	Cantida d	%
<b>Si</b>	Población	24	82,76
	Trabajadores	27	90,0
	Dirección	15	88,2
<b>No</b>	Población	2	6,9
	Trabajadores	2	6,7
	Dirección	1	5,9
<b>No sé</b>	Población	3	10,34
	Trabajadores	1	3,3
	Dirección	1	5,9

**Pregunta 1a.**

Especifique el lugar donde son arrojados estos desechos.

Respuesta	Encuestados	Cantidad	%
Al frente	Población	16	55,17
	Trabajadores	5	16,7
	Dirección	4	23,5
En canales	Población	17	58,62
	Trabajadores	13	43,3
	Dirección	8	47,1
Detrás	Población	4	13,79
	Trabajadores	9	30,0

	Dirección	3	17,6
Otros	Población	8	27,6
	Trabajadores	7	23,3
	Dirección	6	35,3

### Pregunta 2.

¿Se siente afectado de alguna manera por estos desechos?

Respuesta	Encuestados	Cantidad	%
Si	Población	25	86,2
	Trabajadores	10	3,3
	Dirección	9	53,0
No	Población	4	13,8
	Trabajadores	20	66,7
	Dirección	7	41,2
No sé	Población	0	0
	Trabajadores	0	0
	Dirección	1	5,8

### Pregunta 3.

¿Considera Ud que estos desechos han causado alguna afectación?

Opciones	Respuesta	Encuestados	Cantidad	%
Los cultivos	Amarillamiento de hojas	Población	12	41,4
		Trabajadores	3	10,0
		Dirección	---	---
	Daños en las cosechas	Población	13	44,8
		Trabajadores	3	10,0
		Dirección	2	11,8
	Caída prematura de frutos	Población	3	10,3
		Trabajadores	2	6,7
		Dirección	---	---
	No se puede cultivar	Población	12	41,4
		Trabajadores	7	23,3
		Dirección	1	5,8
Otros daños	Población	5	17,2	
	Trabajadores	2	6,7	
	Dirección	3	17,6	
Los animales	Muertes	Población	3	10,3
		Trabajadores	---	---
		Dirección	---	---
	Diarreas	Población	1	3,4
		Trabajadores	---	---

		Dirección	---	---
	Convulsiones	Población	0	0
		Trabajadores	---	---
		Dirección	---	---
	Otras	Población	3	10,3
		Trabajadores	---	---
Dirección		3	17,6	
Los patios o parcelas	Encharcamiento	Población	19	24,1
		Trabajadores	20	66,7
		Dirección	8	47,0
	Acumulación de sedimento	Población	7	65,5
		Trabajadores	18	60,0
		Dirección	12	70,5
	Deterioro del Entorno	Población	19	65,54
		Trabajadores	14	46,7
		Dirección	7	41,1
	Otros	Población	3	10,34
		Trabajadores	7	23,3