

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**EVALUACIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE CIENO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS USADAS DE HUMACAO**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental

Por

Edwin F. Bayrón Liboy

8 de mayo de 2008

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación, a mis padres el Sr. Edwin C. Bayrón Rivera y la Sra. Nelly E. Liboy Bracero por su estimulación y apoyo.

Pero también quiero dedicar esta Investigación a mi querida esposa Lourdes López Santana por su apoyo incondicional.

Muchas Gracias y que Dios los Bendiga.

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de esta investigación de tesis fueron muchas las personas que colaboraron colocando su granito de arena para poder completar este escrito. A través de este pensamiento agradezco a todos los profesores de la Escuela de Asuntos Ambientales, en especial al Doctor Juan Carlos Musa y la Doctora Beatriz Zayas por su ayuda y apoyo incondicional. También quiero agradecer la ayuda prestada del Sr. Gerson L. Nazario quien forma parte de mi comité de tesis y ha brindado su apoyo incondicional para completar este trabajo de investigación.

Agradezco grandemente la colaboración presentada por el personal administrativo y operacional de la planta de tratamiento de aguas usadas regional de Humacao, especialmente al Ingeniero Israel Almodóvar Gerente de Operaciones. También agradezco al Sr. William Serrano, Técnico de Muestreo, por su ayuda y recomendaciones. Gracias a todas las personas que directamente o indirectamente han participado en la redacción de este documento.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE APENDICES	ix
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	x-xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
Trasfondo del problema.....	1-4
Problema de estudio.....	4-6
Justificación de estudio.....	6-7
Pregunta de investigación.....	7
Meta y objetivos.....	7
CAPÍTULO II: REVISIÓN LITERARIA	8
Trasfondo histórico.....	8
Trasfondo histórico Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Humacao.....	8-10
Trasfondo histórico de los Bio-sólidos o lodos.....	10-12
Historia legal sobre el manejo de lodos.....	12-14
Capacidad asimilativa del terreno y la vegetación.....	14
Marco legal.....	14-21
Síntesis de estudios anteriores al problema.....	21-23
Toxicología Ambiental.....	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	24
Introducción.....	24
Área de Estudio.....	24
Método experimental.....	25
Primera Fase: 1.....	25
Diseño del Muestreo.....	26
Procedimiento para la toma de muestras	27
Cadena de custodia.....	28
Preservación de la muestra.....	28
Segunda Fase:	29
Procedimiento.....	29-30

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
Descripción sistema de relleno sanitario planta de Tratamiento de aguas usadas de Humacao.....	31-33
Sistema de relleno sanitario.....	33
Requisitos para la disposición final de lodos.....	34-35
Requisitos de muestreo.....	35
Discusión y Resultados.....	35-41
Resultados Objetivo 2.....	41
Resultados Objetivos 3.....	41
Observaciones.....	41
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
Introducción.....	43
Análisis y discusión de los resultados.....	43-45
Recomendaciones.....	45-46
Limitaciones.....	46-47
LITERATURA CITADA	48-49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Concentración Máxima de Metales</i> Metales: Concentración Tasa Acumulativas.....	50
Tabla 2	<i>Parámetros de estudio y análisis</i> ...	51
Tabla 3	Metales: Concentración Tasa Acumulativas de Concentración	52
Tabla 4	<i>“Regulatory Limits for Toxic Metals”</i>	53
Tabla 5	<i>Constituyentes para Rastreo de Detección</i>	54
Tabla 6	<i>Sólidos depositados en los lechos de secada durante el año 2007</i>	57
Tabla 7	<i>Resultados de laboratorio (Lechos de Secado año 2006)</i>	58
Tabla 8	<i>Resultados de laboratorio (Lechos de Secado 8 de mayo de 2007)</i>	59
Tabla 9	<i>Resultados de laboratorio (Lechos de Secado 31 de julio de 2007)</i>	60
Tabla 10	<i>Resultados de laboratorio (Lechos de Secado # 12)</i>	61
Tabla 11	<i>Resultados de laboratorio (Sistema de Relleno Sanitario Punto A)</i>	62
Tabla 12	<i>Resultados de laboratorio (Sistema de Relleno Sanitario Punto B)</i>	63

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de Relleno Sanitario. Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Humacao.....	65
Figura 2	Área de Investigación Sistema de Lechos de Secado y Relleno Sanitario. Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Humacao.....	66
Figura 3	Diagrama Sistema de Celdas y Membrana Impermeable. Sistema de Relleno Sanitario.....	67
Figura 4	Flujograma de Proceso.....	68
Figura 5	Diagrama Sistema de Lechos de Secado.....	69
Figura 6	Foto Aérea Sistema de Lechos de Secado.....	70
Figura 7	Foto Aérea Sistema de Relleno Sanitario.....	71
Figura 8	Grafica Total de Desperdicios Bio- Sólidos Generados durante el año 2007.....	72
Figura 9	Resultados de laboratorio muestreo realizado a los lodos año 2006.....	73
Figura 10	Resultados de laboratorio muestreo realizado a los lodos año 2007.....	74
Figura 11	Diagrama sistema de lechos de secado. Muestreo Lecho # 12.....	75
Figura 12	Diagrama punto de muestreo A y B Sistema de Relleno Sanitario.....	76
Figura 14	Sistema de Relleno Sanitario Punto de Muestreo A.....	77
Figura 15	Sistema de Relleno Sanitario Punto de Muestreo B.....	78

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1	Resultados de laboratorio muestreo lecho de secado # 12....	79-80
Apéndice 2	Resultados de laboratorio muestreo punto de muestreo A.....	81-82
Apéndice 3	Resultados de laboratorio muestreo punto de muestreo B.....	83-84

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Bio- sólidos: Cienos generados a partir de materia orgánica.

Cieno o lodos: Cualquier desperdicio sólido, semisólido o líquido generado durante el proceso de tratamiento de aguas usadas, en plantas de tratamiento de agua potable, o en unidades de control de emisiones atmosféricas. Esta definición no incluye efluentes tratados de plantas de tratamiento de aguas usadas.

Contaminación: Degradación de la calidad natural del ambiente como resultado directo o indirecto de las actividades humanas.

Contaminación por Desperdicios Sólidos: presencia en el terreno o cuerpo de agua de cualquier materia que pueda, entre otras cosas:

- afectar de forma negativa la salud y bienestar humano;
- alterar negativamente la vida animal o vegetal;
- ser desagradable o que interfiera con el disfrute de la vida o propiedad;
- puedan infringir las leyes o reglamentos aplicables.

Desperdicios Sólidos: Cualquier basura, desecho, residuo, cieno u otro material descartado o destinado para su reciclaje, reutilización y recuperación, incluyendo materiales sólidos, semisólidos, líquidos o recipientes que contienen material gaseoso generado por la industria, comercio, minería, operaciones agrícolas o actividades domésticas. Esta definición incluye:

- materias que han sido desechadas, abandonadas, o dispuestas
- material descartado o materias a las que les haya expirado su utilidad o que ya no sirven a menos que sean procesadas o recuperadas.

La definición no incluye materiales sólidos o disueltos en el alcantarillado sanitario o en el reflujo de la irrigación de terrenos. Tampoco incluye descargas industriales de las fuentes precisadas sujetas a un permiso requerido por la Ley Federal de Agua Limpia del 1973, fuentes nucleares especiales o productos derivados, según definidos por la Ley Federal de Energía Atómica de 1954.

Desperdicios Sólidos No Peligrosos: Cualquier desperdicio sólido que no esté conforme con la definición de desperdicios sólidos peligrosos de este Reglamento.

Disposición: Desechar desperdicios sólidos mediante descarga, destrucción, depósito, inyección, dispersión o filtrado que se realice dentro del terreno o sobre éste, a un cuerpo de agua o al aire. También se considerará disposición como el procesamiento de desperdicios sólidos para convertirlo en materia prima para otro proceso o convertirlo en un producto reutilizable. La exportación es considerada como disposición.

Junta de Calidad Ambiental: Agencia Gubernamental de del Gobierno de Puerto Rico creada por la Ley Número 9 del 18 de junio de 1970, según enmendada (12 L.P.R.A. §1121 et seq.), conocida como la Ley sobre Política Pública Ambiental.

Sistema de Relleno Sanitario: instalación o parte de ella, en la que se disponen desperdicios sólidos no peligrosos. Dicha disposición se realiza mediante el esparcimiento en capas. Cada una es compactada al volumen práctico más pequeño y separada por la aplicación diaria de material de relleno o material alterno aprobado, para reducir al mínimo los riesgos para la salud, la seguridad pública y el ambiente, y minimizar lo que sea desagradable a los seres humanos.

Agencia de Protección Ambiental “U.S. Environmental Protection Agency” (EPA por sus siglas en inglés): Agencia Federal encargada de la protección ambiental en los Estados Unidos y sus territorios. Esta agencia fue creada bajo el Plan de Reorganización Número # del 1970 (40 Code of Federal Regulations (CFR) Parte 1).

RESUMEN

A través de esta investigación determinamos que niveles de metales pesados presentes en los desperdicios bio-sólidos o lodos generados en la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao son un podrían representa un riesgo a la salud humana y el medio ambiente. Debido a la acumulación de estos contaminantes en los lodos depositados en el sistema de relleno sanitario. Para determinar la presencia de metales pesados Arsénico, Mercurio y Selenio, se llevo acabo un muestreo en el sistema de lechos de secado y el sistema de relleno sanitario. Este estudio tiene como objetivo evaluar la presencia de tres metales Arsénico, Mercurio y Selenio y determinar si los mismos están presentes en concentraciones que excedan las establecidas por la regulación. Para determinar el mismo se evaluaran los datos reportados por la planta de tratamiento de Humacao a la EPA para los años 2006 y 2007. También se tomaran muestras en el sistema de lechos de secado y el sistema de relleno sanitario para ser comparados con los resultados presentados por la AAA a la EPA. Los resultados del estudio indicaron que las concentraciones de metales analizados en los desperdicios bio- sólidos o lodos no exceden los limites permisibles, esto al comparar los resultados obtenidos con los limites de detección estipulados bajo el 40 CFR parte 503. Sin embargo los resultados del análisis detectan la presencia de estos contaminantes aunque bajo en los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao. Esto indica que la aplicación o disposición final de los desperdicios bio- sólido o lodos depositados en este sistema representa una carga acumulativa de contaminantes. Por lo que podemos concluir que la aplicación o disposición de estos desperdicios bio- sólido o lodos podrían representar un riesgo a la vida útil del sistema de relleno sanitario. Entendemos que las concentraciones de contaminantes acumuladas en este sistema de relleno sanitario representan un riesgo a la salud humana y el medio ambiente a largo plazo. Además esperamos que esté estudio pueda servir como base de referencia para otras investigaciones relacionadas con el tema, las cuales consideramos necesarias y de gran importancia para Puerto Rico

ABSTRACT

Through this investigation we determined that present heavy metal levels in the see-solid wastes or sludge generated in the plant of water treatment used of Humacao are could represents a risk the human health and the environment. Due to the accumulation of these polluting agents in sludge deposited in the system sanitary filling. In order to determine the heavy metal presence Arsenic, Mercury and Selenium, I take I finish to a sampling in the system of drying beds and the system of sanitary filling. This study must as objective evaluate the presence of three metals Arsenic, Mercury and Selenium and determine if the same are present in concentrations that exceed the established ones by the regulation. In order to determine the same the data reported by the plant of treatment of Humacao to the EPA for years 2006 and 2007 would be evaluated. Also samples in the system from drying beds and the system of sanitary filling would be taken to be compared with the results presented/displayed by the AAA to the EPA. The results of the study indicated that the metal concentrations analyzed in the wastes saw solids or sludge you limit do not exceed them permissible, this when comparing the results obtained you limit with them of detection stipulated under the 40 CFR divides 503. Nevertheless the results of the analysis detect the presence of these polluting agents although low in the wastes it saw solids or sludge deposited in the system of sanitary filling of the plant of water treatment used of Humacao. This indicates that the application or final disposition of the wastes saw solid or sludge deposited in this system represents a shaped charge of polluting agents. Reason why we can conclude that the application or disposition of these wastes saw solid or sludge could represent a risk the life utility of the system of sanitary filling. We understand that the concentrations of accumulated polluting agents in this system of sanitary filling in the long term represent a risk the human health and the environment. In addition we hoped that it is study can serve as base as reference for other investigations related to the subject, which we considered necessary and of great importance for Puerto Rico

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

El sistema de tratamiento de aguas usadas del municipio de Humacao, se encuentra ubicada en el parque industrial San Gerónimo del municipio de Humacao, el mismo es operado por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico. Esta planta opera dentro de sus facilidades un sistema de relleno sanitario, el cual es utilizado para el manejo y disposición final de los desperdicios bio-sólidos o lodos generados durante su operación. La administración de la AAA, utiliza los estándares y parámetros establecidos en el 40 CFR parte 503, para la operación de dicho sistema de relleno sanitario. Investigadores de la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA, por sus siglas en Inglés) clasifican al sector industrial y gubernamental como el principal responsable de la contaminación ambiental (Science Advisory Board, 2000). Estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en Inglés) colocan a Puerto Rico entre los primeros diez lugares en el mundo con problemas administrativos en cuanto al manejo, almacenamiento y disposición del cieno o lodo generado durante el proceso de tratamiento de aguas residuales (Science Advisory Board 2000). La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico es la agencia proponente encargada de fiscalizar, manejar y operar los sistemas de tratamiento de aguas usadas del país. La fiscalización, manejo y operación de los sistemas de tratamiento de aguas usadas son utilizados por la (AAA) como medida de control para trabajar con el problema de aguas usadas en Puerto Rico.

La contaminación del medio ambiente ha afectado un sinnúmero de países a nivel mundial, debido al desarrollo desmedido de epidemias, enfermedades y desastres naturales ocasionados por el mal manejo y disposición inadecuada de desperdicios peligrosos y no peligrosos. Debido a los problemas ocasionados por la contaminación el congreso de los Estados Unidos de América para el 1965, decide legislar y promulgar la creación de nuevas leyes y reglamentos dedicados a la preservación del medio ambiente. Este año el congreso da paso a una nueva ley, creada para regular la disposición de desperdicios sólidos. Esta ley se conoce como la Disposición de Desperdicios Sólidos promulgada por el congreso en el 1965. La implementación de esta ley de disposición de desperdicios sólidos, históricamente a dado paso al desarrollo de nuevas enmiendas y aprobación de ley para la preservación del medio ambiente. Para el año 1976 dicho congreso realizó una enmienda la ley de Disposición de Desperdicios Sólidos, la cual dan paso a la creación y aprobación de la ley de Recuperación y Conservación de Recursos (RCRA por sus siglas en inglés). La aprobación de esta nueva ley de "RCRA" se debió a que las administraciones municipales y estatales se encontraban atadas a una ley de disposición de desperdicios sólidos que no reglamenta la presencia de contaminantes en los desperdicios. La ley de "RCRA" establece normas y parámetros para la presencia de contaminantes, químicos y sustancias tóxicas en los desperdicios sólidos peligrosos y no peligrosos depositados en el océano, cuerpos de agua, atmósfera y terreno (Science Advisory Board, 1996). La disposición de los desperdicios bio- sólido o lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, depositados en el terreno, océano y cuerpos de agua se encuentran reglamentados por "RCRA". El depositar desperdicios bio-sólidos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales al terreno ha sido eje de controversias para investigadores de la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas inglés).

Debido a que la disposición de estos en terreno representa un riesgo potencial a la salud humana y el medio ambiente. Observando el riesgo que representa la disposición de bio-sólidos o lodos depositados en el terreno, cuerpos de agua y el océano. Investigadores de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en Inglés) y científicos a nivel mundial realizan investigaciones y procedimientos para controlar, manejar y disponer de los desperdicios bio-sólido o lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales en el terreno (Segade, Rio, Susana, 2003). Durante el periodo comprendido del 1993, el congreso de los Estados Unidos de América decide evaluar los resultados presentados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en Inglés), para determinar el riesgo que presenta el manejo y disposición de los desperdicios bio-sólidos o lodos generados por el tratamiento de aguas usadas. Dicha evaluación presenta como resultado la creación de un nuevo reglamento para medir la presencia de contaminantes peligrosos en los bio-sólidos o lodos depositados en el terreno. Este reglamento es promulgado y aprobado por el congreso de los Estados Unidos de América, el 19 de febrero de 1993. Dicho reglamento se encuentra en la Parte 503 del Código de Reglamentos Federales o mejor conocido como (40 CFR, por sus siglas en inglés). El 40 CFR Parte 503 “Estándares para el Uso o Desechos del Lodo Presentes en Aguas Usadas” es utilizado como medida correctiva a la contaminación causada por la disposición inadecuada y desmedida de los desperdicios bio-sólidos o lodos depositados al medio ambiente. El 40 CFR Parte 503, identifica, evalúa y reglamenta la presencia de contaminantes químicos y tóxicos en los lodos generados por el procedimiento de tratamiento de aguas usadas o residuales. En Puerto Rico el manejo y disposición los desperdicios bio-sólidos o lodos generados por el tratamiento de aguas usadas es regulada a nivel federal por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en Inglés) en el 40 CFR Parte 503 y a nivel estatal es regulada, bajo la Regla 642 del Reglamento para el

Manejo de los Desperdicios Sólidos No Peligrosos de la Junta de Calidad Ambiental (JCA), según enmendada. Por medio de este estudio determinaré y recomendaré si la disposición de desperdicios bio-sólidos o lodos generados durante el proceso de tratamiento de aguas usadas de la planta regional del municipio de Humacao.

Problema de estudio

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico utiliza los parámetros establecidos en el 40 CFR Parte 503, para la operación de un sistema de relleno sanitario o vertedero “Monolandfill” ubicado en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas usadas del municipio de Humacao. Conjunto a los parámetros establecidos en el 40 CFR Parte 503, la Junta de Calidad Ambiental emite a la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados el permiso de operación de un sistema de relleno sanitario privado, según estipulado en la Regla 642 del Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos de Puerto Rico. Dicha planta se encuentra ubicado en el parque industrial San Gerónimo localizado en la Carretera # 3, KM.76.7 del municipio de Humacao. La administración de AAA ha designado 10 cuerdas de terreno para la implantación de un sistema de relleno sanitario, el cual es utilizado para la disposición final de los desperdicios bio-sólidos o lodos generados durante el proceso de tratamiento de aguas usadas. Este sistema de relleno sanitario se encuentra dividido por dos celdas, las cuales poseen una extensión de terreno de 5 cuerdas cada una de las celdas antes mencionadas. Las celdas se encuentran cubiertas por un “Flexible Membrane liners” el cual evita el contacto directo de los desperdicios bio-sólidos depositados en la celda. Aproximadamente este sistema de relleno sanitario recibe mensualmente 37.45 Toneladas de desperdicios bio-sólidos o lodos. La

administración de la (AAA) estima que la vida útil de este sistema de relleno sanitario es de unos 20 años.

Los estándares y parámetros establecidos en el 40 CFR parte 503 (Estándares para el Uso o Desecho del Lodo de Aguas Usadas) presentan un listado de contaminantes presentes en los lodos y a su vez establece los parámetros o límites de retención. Una de las limitaciones presentadas por este reglamento es la falta de estándares y parámetros de retención para medir la bio-acumulación causada por los desperdicios bio-sólidos o lodos depositados en el terreno. La presencia de los contaminantes listados bajo el 40 CFR parte 503, en los desperdicios bio-sólido o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento de Humacao, representan un riesgo de contaminación al terreno y nivel freático de la zona.

Las concentraciones de estos contaminantes presentes en el lodo podrían dar paso a la acumulación de metales pesados catalogados como altamente tóxicos y compuestos orgánicos los cuales afectan la productividad del terreno utilizados como relleno sanitario. Estudios realizados por la Universidad de Cornell, reflejan que la implantación del 40 CFR parte 503 regula la aplicación de contaminantes procedentes de los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales; pero no presentan alternativas en cuanto al posible uso del terreno utilizados como sistema de relleno sanitario y a la contaminación del nivel freático o cuerpo de agua subterránea.

La Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA) en el 40 CFR parte 503 (Estándares para el Uso o Desecho del Lodo de Aguas Usadas) presenta los requisitos, parámetros y estándares de disposición e incineración de lodos generados por el tratamiento de aguas usadas. La sub parte B del 40 CFR parte 503, nos presenta los requisitos aplicados a la disposición de desperdicios bio-sólidos o lodos en el terreno, tan solo presenta la restricción en concentración de contaminante antes de ser

depositado en el terreno pero no establece parámetros de acumulación para los contaminantes listado bajo este estándar.

Justificación de estudio

Por medio de este estudio determinaré y recomendaré si los métodos o estándares establecidos por la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas en Inglés) en el 40 CFR parte 503 (Estándar para el Uso o Desecho del Lodo de Aguas Usadas) establecen medidas de control, para evitar la contaminación del terreno y el nivel freático del sistemas de relleno sanitario o Monolandfil” dedicados a la disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos generados durante el proceso de tratamiento de aguas usadas de la la planta regional de Humacao. Actualmente Puerto Rico esta presentado problemas en cuanto a la contaminación de terreno y de sus abastos de agua subterránea debido a diferentes factores de contaminación causados por el mal uso y manejo de desperdicios sólidos peligrosos y no peligrosos. Por ejemplo la composición de materia orgánica y el agua de lluvia juegan un papel importante en la determinación de factores contaminantes presentes en los lodos, la descomposición química y física represente un papel importante para determinar la contaminación del terreno o suelo. Para marzo del 2001, estudios realizados por la Universidad Cornell para el Departamento de Agricultura Federal de muestran la presencia de contaminantes regulados bajo el 40 CFR parte 503 en las cercanías de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de New York. La presencia de estos contaminantes regulados bajo el 40 CFR parte 503, causaron daños a la salud de los empleados, suelo y cuerpos de agua cercados a dicha planta.

La Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas en Inglés) en el 40 CFR parte 503 (Estándares para el Uso o Desecho del Lodo de Aguas Usadas) no presentan medidas de control para la acumulación y descomposición de contaminantes presentes en los bio-sólidos o lodos depositados en el terreno. Utilizaré los resultados de laboratorio presentados por la AAA, en su informe anual al 40 CFR parte 503, para establecer un trasfondo histórico sobre la presencia de contaminantes listados bajo este reglamento.

Preguntas de Investigación

1. Cumplen los lodos de la planta de tratamiento de Humacao con los niveles de metales (Arsénico, Mercurio y Selenio) establecidos en la regulación del 40 CFR parte 503.
2. Cuales son las condiciones físicas alrededor del sistema de relleno sanitario y lodos que pudieran favorecer la acumulación de estos metales pesados presentes en lodos.
3. Representan estos niveles un riesgo a la salud humana o al medio ambiente.

Meta

Determinar si los niveles de metales pesados presentes en los desperdicios bio-sólidos o lodos generados en la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao son un riesgo a la salud humana y el medio ambiente

Objetivos

1. Analizar los elementos químicos presentes en los lodos, basado en datos obtenidos en el reporte anual del 40 CFR 503 para los años 2006 y 2007.
2. Evaluar las condiciones físicas que pueden afectar los lodos y el transporte de contaminantes.
3. Determinar si hay migración de estos contaminantes al sistema de agua subterránea.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

Puerto Rico, al igual que otros países en el mundo, ha confrontado problemas en el manejo y la disposición de los desperdicios sólidos peligrosos y no peligrosos. Este problema aumenta día a día, con el aumento en la población, el crecimiento o desarrollo económico, desarrollo y construcción de vivienda e industrias. El cambio experimental en la dinámica de desarrollo de nuestros países, han contribuidos, de una manera a otras, a complicar el problema de manejo y disposición final de los residuos sólidos generados por la humanidad. Para la década del siglo XX, Puerto Rico comenzó a tomar medidas sobre el uso, manejo y disposición de los desperdicios sólidos generados en la isla. Por tanto, los esfuerzos de manejar adecuadamente los desperdicios sólidos generados en Puerto Rico, en estos momentos, representa un problema que urge atención por parte del gobierno y las agencias fiscalizadoras como los son la Junta de Calidad Ambiental (JCA), La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), la Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS), el Departamento de Salud de Puerto Rico, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales(DRAN) y a nivel federal la Agencia Federal para la Protección del Ambiente (EPA por sus siglas en Inglés). La unión de estas agencias fiscalizadoras y reguladoras, representa el esfuerzo, motivación y compromiso por la preservación del medio ambiente.

Trasfondo histórico de la Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Humacao

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico, como parte de los requisitos de ley establecidos en el Acta de Agua Limpia “Clean Water Act”, establece un plan de mejoras al sistema de tratamiento de aguas usadas de Puerto Rico. Para el

año 1987, la (AAA) presenta el proyecto de construcción de una planta de tratamiento de aguas usadas o residuales para la región Este de Puerto Rico, seleccionando el complejo Industrial San Gerónimo ubicado en la carretera # 3, Km 76.7 del municipio de Humacao, para su construcción. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Humacao, presentó un periodo de construcción de siete (7) años. Dicha planta de tratamiento de aguas usadas inauguró sus operaciones para mayo 5 de 1994, proporcionando servicio al sector industrial, residencial y comercial de la región Este de Puerto Rico. La construcción de este sistema de tratamiento de aguas usadas simbolizó un gran consuelo a la AAA, ya que uno de los principales atractivos propuestos por esta planta es la operación de su propio sistema de relleno sanitario.

La administración de la AAA ha designado 10 cuerdas de terreno para la implantación de su sistema de relleno sanitario. Aproximadamente la planta regional de Humacao, mensualmente produce 37.45 Toneladas de desperdicios bio-sólidos o lodo. La administración de la (AAA) estima que la vida útil del sistema de relleno sanitario operado en la instalación de la planta de tratamiento de Humacao es de unos 20 años. La operación de este sistema de relleno sanitario es regulada bajo el Código de Reglamentos Federales (CFR) específicamente por el 40 CFR parte 503 (Estándares para el Uso o Desecho del Lodo de Aguas Usadas). A nivel estatal se encuentra regulado bajo la jurisprudencia de la Junta de Calidad Ambiental, la cuál ha otorgado un permiso de operación para la operación del sistema de relleno sanitario, permiso número "RSP-93-0001". Este permiso de operación se encuentra regulado a su vez, bajo; *la Regla 204 de monitoria y mantenimiento de registros e informes, la Regla 207 Plan de Operación y la Regla 402 Disposiciones Especiales*, para los operadores de facilidades de desperdicios sólidos no peligroso.

La Regla 902 Requisitos y Permisos para construir nuevas facilidades para desperdicios sólidos. La Regla 903, solicitud de permiso para la operación de una facilidad que maneja y dispone desperdicios sólidos (Solicitud de Permiso DS-2, 1993), permiso administrado por la Junta de Calidad Ambiental. Por otro lado, la administración de la AAA anualmente debe someter un reporte de cumplimiento a la EPA, donde presentan los análisis realizados a los lodos generados durante el proceso de tratamiento de aguas usadas, esto según establecido en el 40 CFR parte 503 “ANNUAL COMPLIANCE REPORT TO EPA ON SEWAGE SLUDGE MANAGEMENT ACCORDANCE WITH 40 CFR PART 503, SLUDGE ONLY SURFACE DISPOSAL” (Anual Compliance Report, 2002).

Trasfondo histórico de los Bio- Sólidos o lodos

La aplicación y disposición de los desperdicios bio-sólidos o lodos de aguas residuales en el terreno, ha sido eje de controversia para la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas en inglés). La EPA no ha determinado si la disposición de estos desperdicios en el terreno representa un riesgo a la salud humana o el medio ambiente. Podemos definir que los desperdicios bio-sólidos o lodos son catalogados; como cualquier sólido, semi-sólido o desperdicio líquido generado durante el proceso de tratamiento de aguas usadas.

Estudios realizados por los investigadores (Tandi NK, Nayamangara J, Brangrira C, 2004) determinan que la distribución de desperdicios bio- sólidos o lodos en el terreno, poseen la característica de originar un efecto potencial a largo plazo a la salud humana y el medio ambiente. Durante el año 2000, dichos investigadores dirigen una investigación en la granja de “Harare” para determinar la presencia de Zn y Cu en los lodos depositados en esta granja. Bajo esta investigación cosecharon vegetales para determinar el grado de toxicidad de los vegetales cosechados en esta granja.

Los investigadores calcularon, el alto grado de toxicidad para los siguientes metales presentes en los lodos Zn y Cu. Los resultados exhibidos por los investigadores reflejan que la presencia de Zn en los lodos es de un 77% por encima de los estándares determinados por la EPA. Dicho estudio concluye que la exposición a tales agentes contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólidos o lodos simbolizan un riesgo a la salud de las comunidades vecinas y consumidores de alimento de la zona donde son depositados.

Durante el 1992, investigadores de la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas en inglés) manifestaron investigaciones y procedimientos para controlar, manejar y disponer de los desperdicios bio-sólidos o lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales al océano. Los resultados exhibidos por los investigadores de la (EPA), prohíben la disposición de estos desperdicios bio-sólidos o lodos al océano debido a la presencia de contaminantes peligroso en lodos, los cuales manifiestan un riesgo, para el ecosistema marino. Dado a los posibles daños al ecosistema marino, dicha investigación ofrecen alternativas para la disposición final de los desperdicios bio-sólidos o lodos en el terreno (USEPA, 2002).

El congreso de los Estados Unidos en la Sección 201, PL92-500 fomenta el uso y re-utilización de los desperdicios bio-sólidos o lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas usadas, en el sistema Agrícola, Selvicultura y Acuicultura. Por lo general los métodos tradicionales de disposición de lodos de aguas residuales como relleno sanitario o descargas al océano no son considerados ambientalmente aceptados. Debido a que las áreas designadas como relleno sanitario actualmente son inadecuadas para acomodar las cantidades masivas de lodos producidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales (Gall, 1997).

Estudios realizados por el Dr. Jim Smith, experto en patógenos de la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas en Inglés), concluyen que el 40 CFR parte 503 nunca fue sujetado a un gravamen de riesgo riguroso para determinar la presencia de patógenos o bacteria en los desperdicios bio-sólidos o lodos generados a través del proceso de tratamiento de aguas usadas. La residencia de estos, representa un riesgo a la salud humana y el medio ambiente (USEPA, 1995).

Información presentada por el Instituto Naval, para la investigación dental y bio-médica de "Great Lakes", evalúan el efecto de la transferencia de agentes contaminantes al suelo, plantas y seres humanos. Los datos presentados por el instituto naval seleccionan al mercurio utilizado en los trabajos dentales como el principal agente contaminante presente en el suelo. La preocupación expresada por los investigadores correspondió a la eficiencia en el tratamiento de aguas usadas. Datos presentados por el instituto revelan que la eficiencia, de las plantas de tratamiento de aguas residuales que poseen separadores en sus proceso de tratamiento de aguas usadas, no poseen una capacidad mayor de reducción para la presencia de mercurio en los lodos generados por estas (J.Calif Denf Assoc, 2004).

Historia legal sobre el manejo de lodos

La producción de desperdicios bio-sólidos o lodos aumenta anualmente, como resultado de la enmienda del 1972 (PL -92-500) de la Ley Federal sobre el Control de Contaminación de las Aguas conocida como la Ley de Agua Limpia. La Agencia de Protección Ambiental Federal promulga la implantación de estándares para el uso o la disposición del lodo de aguas residuales (parte 503 del 40 CFR) bajo la sección 405(d) y (e) del acta de agua limpia (CWA), 33 U.S.C. 1345(d), (e), según la enmienda prevista por el acta de calidad del agua de 1987.

Debido a las enmiendas presentadas bajo la sección 405 del CWA, el congreso de los Estados Unidos por primera vez establece un programa comprensivo para reducir los riesgos ambientales. Según la enmienda prevista, bajo la sección 405(d) del CWA requiere que la EPA establezca límites y parámetros. Para el 19 de febrero de 1993, la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas en inglés) promulgó la implantación de la regla 503, dicha implantación identifica la presencia de 31 agentes contaminantes no presentes en la sección 405 del acta de agua limpia (CWA por sus siglas en inglés) (Anon, 2004). Para noviembre del 1995, la EPA excluye la utilización de la lista original de 31 contaminantes, para añadir los siguientes agentes contaminantes: dibenzo-p-dibenzo- p- dioxins polychlorinated (PCDDs), dibenzofurans polychlorinated (PCDFs) y dioxin biphenyls polichlorinated (PCBs), (USEPA, 1996).

Durante el 15 diciembre de 1999, el administrador de Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA por sus siglas en inglés), firmó el acuerdo numérico para la presencia de dioxinas, dibezofurans y PCBs presentes en los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua residuales. Luego de transcurridos dos años, el 15 de diciembre de 2001, nuevamente el administrador de la (EPA) presenta las nuevas prácticas y limitaciones numéricas para medir la presencia de dioxinas en los desperdicios bio-sólidos o lodos depositados en el terreno. Durante este año es informada, la acción final para enmendar el estándar para el uso y disposición de los lodos de agua residual aplicados a la superficie terrestre (USEPA, 2000).

El 12 de junio de 2002, la EPA publica un aviso donde presenta la disponibilidad de datos referentes a la disposición de dioxinas en los lodos de aguas residuales a ser depositados al terreno. El gravamen expuesto por la EPA, se debió al riesgo que representa a la salud humana y el medio ambiente, la presencia de dioxinas en los lodos. Estos según presentado por investigadores del Centro de Control de

Enfermedades de los Estados Unidos, la exposición a estas dioxinas produce cáncer (USEPA, 2002).

La regla 503 clasifica a los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales como lodos clase A y clase B, dependiendo del grado de tratamiento al cuál sea sometido el lodo. Según la EPA los dos tipos de lodos son adecuados para su aplicación al terreno, pero se imponen requisitos y restricciones a los lodos clase B. Estas restricciones son detalladas en la sub parte B del 40 CFR parte 503, el cuál establece acceso restringido al público, limitaciones de consumo por el ganado y el control de periodos de cosecha (USEPA, 1995).

La regla 503, fija las tasas acumulativas de contaminantes “Ceiling Concentrations” destinada a ocho metales, los cuales no deben excederse los límites establecidos por la EPA al ser aplicados al terreno. La tabla I presenta la Concentración Máxima de Metales (USEPA, 2000).

Capacidad asimilativa del terreno y la vegetación

La capacidad asimilativa del suelo y la vegetación es la cantidad de cieno o lodos considerados y constituyentes que puedan ser aplicados de manera segura al suelo (Overcash y Pal 1979). Un análisis básico ambiental para la no- degradación, es utilizar y desarrollar el criterio de diseño, para la aplicación de lodos en el terreno donde se suministran una tasa de contaminantes en un periodo de tiempo determinado, para determinar la masa de especie química, unidad de área, unidad de tiempo, Kg y años de acumulación del contaminante en terreno (Enmienda final a la Declaración de Impacto Ambiental, julio 2002.).

Marco legal

El marco legal de esta investigación está sustentado en la disposición de las leyes y reglamentos de Puerto Rico, al igual que las de los Estados Unidos de Norteamérica, relacionadas con el manejo y disposición de los desperdicios sólidos. Entendemos que dichas leyes y reglamentos sólo procuran proteger la calidad e integridad del medio ambiente y a su vez proteger la salud humana en general.

- **40 CFR Parte 503** (*Estándares para el Uso o Desecho del Lodo de Aguas Usadas*)
 - El Código Federal de Regulaciones establece bajo la sección 503, estándares y parámetros para el uso y disposición de los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas usadas. Los parámetros establecidos por el (40 CFR parte 503.13), limitan la presencia de patógenos, metales pesados y material orgánico o inorgánico en el lodo o cieno de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- **CFR**
 - 40 CFR, según sus siglas en inglés, se refiere al Código de Regulaciones Federales.
- **CERCLA**
 - CERCLA según sus siglas en inglés, se refiere a la Ley Federal Abarcadora de Emergencias Ambientales, Compensación y Responsabilidad Pública promulgada en 1980, o cualquier modificación o reautorización de la misma.
-

- **SARA**

- SARA (según sus siglas en inglés) es conocida como la Ley Federal de Reautorización, promulgada durante el 1986. Promulga la importancia de remediación y tratamiento de las áreas cualificadas como un “ Superfund” o cualquier modificación

- **Acta de Agua Limpia “Clean Water Act”**

- El acta de agua limpia, fiscaliza las descargas ilegales de contaminantes a los cuerpos de agua potable, cuerpos de aguas navegables e internacionales. A menos que la EPA otorgué un permiso de descarga.

- **40 CFR parte 261 sección 268.**

- El Código de Regulaciones Federales establece los estándares para la disposición de contaminantes en el terreno, según estable la parte 261 sección 268. Los componentes depositados en el terreno deben estar listados bajo el apéndice VIII de la parte 261 capítulo C. La disposición en el terreno bajo el 40 CFR 261 significa la colocación de pilas, estaciones de trasbordo e inyección subterránea de sustancias o componentes desechados.

- **Acta de Agua Segura “Safety Drinking Water Act”**

- El acta de agua segura creada por la Agencia de Protección Ambiental Federal previene y regula la presencia de contaminantes en el agua potable de la nación. Está acta establece los niveles máximos de contaminantes (MCL), para el agua potable.

- **Acta de Aire Limpio “Clean Air Act”**
 - El acta de aire limpio permite la descarga de algunos contaminantes a la atmósfera según los niveles máximos de contaminación. La meta del acta de aire limpio es reducir la concentración total de los agentes contaminantes lanzados a la atmósfera, a unos niveles que protejan la salud pública y el medio ambiente.

- **Emergency Planning and Community Right-to-Know (EPCRA)**
 - La Agencia de Protección Ambiental creó un plan de emergencia e información a la comunidad. Los principales requerimientos del (EPCRA) es solicitar a las industrias de manufactura y negocios información sobre sus procesos, uso de químicos y facilidad de almacenamiento de químicos.
 - Bajo este plan se establecen las estrategias a seguir durante una emergencia.

- **Programa Nacional de Descarga y Eliminación de Contaminantes (NPDES)**
 - Este programa reglamenta la descarga de agua de lluvias prominentes de industrias, municipios y agencias de gobierno. Monitorea la presencia de contaminantes a cuerpos de agua navegables de los Estados Unidos y sus territorios.

- **Ley Num. 416 de 22 de Septiembre de 2004**
 - Esta ley sustituye y deroga la Ley Núm. 9 de 18 de junio de 1970, según enmendada, ley que creó la Junta de Calidad Ambiental y establecido las funciones y deberes de esta junta.
 - Ley de Política Pública Ambiental, de la Junta de Calidad Ambiental, tiene la función principal de proteger y conservar el medio ambiente

utilizando sabia y juiciosamente los recursos necesarios, para impedir e eliminar daños que puedan afectarlo manteniendo un balance entre el desarrollo económico y el ambiente.

- Bajo el Artículo 17 de la Ley # 9, cualquier incumplimiento a estos reglamentos constituirá una violación y estará sujeto a las penalidades establecidas en la ley, hasta \$25,000.00 (\$50,000.00 en contumacia) por cada infracción, entendiéndose que cada día que subsista la infracción se considerará como una violación por separado.

- ***Reglamento para el Control de los Desperdicios Sólidos Peligrosos.***

- La Junta de Calidad Ambiental para el 5 de marzo del 1982 radica en el Departamento de Estado el Reglamento para el Control de los Desperdicios Sólidos Peligrosos y No Peligrosos.
- Dicho reglamento establece la definición de Desperdicios Sólidos Peligroso como cualquier desperdicio de comida, basura, cieno o cualquier "otro material desechado", incluyendo todo el "desperdicio sólido peligroso", excepto lo siguiente:
 1. Desperdicio líquido doméstico (o cualquier mezcla de desperdicio doméstico y otros desperdicios que pasen a través de un sistema de alcantarillado hacia una "planta de tratamiento propiedad del gobierno" para su tratamiento.
 2. Descargas de desperdicios líquidos industriales que son "descargas" de "fuentes precisadas" sujetas a reglamentación bajo la Ley de Agua Limpia, según enmendada.
 3. Fuente nuclear especial, o material subproducto según definido por la Ley de Energía Atómica de 1954, según enmendada.

- ***“Puerto Rico Land and Water Conservation Act 2000”***

- Esta ley, fue aprobada el 14 de junio del 2000, considera proveer la protección de terrenos críticos en Puerto Rico, estableciendo una cooperación intergubernamental para la protección de los recursos agua, tierra y aire.
- Establece las leyes para la conservación de las nuevas áreas administradas por el Gobierno de Puerto Rico y los Estados Unidos de América, para la protección y manejo de acuíferos, ecosistemas de bosques tropicales, especies amenazadas así como su biota.

- ***Reglamento para El Manejo de los Desperdicios Sólidos No Peligroso***

- La Junta de Calidad Ambiental ha desarrollado el reglamento para el manejo de los desperdicios sólidos no peligrosos, el cual establece los requisitos de ley para el manejo, almacenamiento, transportación, procesamiento y la disposición final de los desperdicios sólidos no peligrosos.

- ***REGLAMENTO DE ESTANDARES DE CALIDAD DE AGUA DE PUERTO RICO***

- Junta de Calidad Ambiental establece en este Reglamento preservar, conservar y restaurar la calidad del agua de Puerto Rico, de manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

- ***Ley número 10 del 19 de enero de 1995 (Ley para Fomentar la Reducción de Desperdicios Peligrosos en Puerto Rico)***

- Se declara política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico el desarrollo e implantación de estrategias económicamente viables y

ambientalmente seguras que fomenten la reducción de desperdicios peligrosos. A ese fin, es necesario desarrollar un plan para estimular la reducción de las fuentes de desperdicios peligrosos y fomentar su manejo en el lugar donde son generados.

- **Regla 555 (Plan de Monitoria y Análisis (PMA))**

- Establece que ninguna persona operará o permitirá la operación de un sistema de monitoria de calidad de aguas subterráneas. La Junta de Calidad Ambiental es la agencia facultada en ley para la aprobación del PMA. El PMA establece el procedimiento, manejo y análisis de las muestras colectadas en el sistema de agua subterránea.

- **Regla 556 (Requisitos sobre monitoria y análisis)**

- Establece el procedimiento de monitoria y frecuencia necesaria para asegurar la protección adecuada de la salud humana y el ambiente.

- **Regla 558 (Programa de Monitoria para Evaluación)**

- Establece la frecuencia de monitoria de calidad de aguas subterráneas, dentro del término de noventa (90) días a partir del inicio del programa establece la evaluación del agua subterránea atreves de un análisis de laboratorio. Luego de realizar el primer muestreo el dueño o operador de un sistema de monitoria realizará un muestreo anual.

- **Regla 559 (Evaluación de Medidas Correctivas)**

- Establece el procedimiento de monitoria dentro del término de noventa (90) días a partir del hallazgo o presencia de algún contaminante presente en las aguas subterráneas. Evalúa las medidas de mitigación efectiva para la remoción y eliminación de los contaminantes presentes en las aguas subterráneas.

- **Regla 560 (Selección de Remedio)**

- Establece el procedimiento de remediación basado en los resultados obtenidos en la evaluación de medidas correctivas y comentarios emitidos por la Junta de Calidad Ambiental. El dueño o operador de un sistema de monitoria contaminando debe someter una propuesta de remediación a la Junta de Calidad Ambiental dentro de un término de catorce (14) días a partir de la notificación de violación emitida por la JCA.

Como podemos observar, en Puerto Rico existen un sinnúmero de leyes y reglamentos, tanto federales como estatales, que unidos pretenden proteger la salud humana en general y medio ambiente de los posibles riesgos que representa el mal manejo de los desperdicios sólidos. Por lo tanto, es de suma importancia el que las leyes y reglamentos existentes en Puerto Rico, relacionados con el manejo, disposición final y control de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos sean cumplidos por el sector industrial, gubernamental, comercial y residencial.

Síntesis de Estudios Anteriores al Problema

La Agencia de Protección Ambiental y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos han creado una variedad de proyectos para la aplicación de lodos en el terreno, han sido investigados e implantados incluyendo la aplicación a terreno para cosechas, terrenos forestales, parques, áreas para juegos campos de golf y una variedad de áreas marginalmente productivas o dañadas (Bastian y Ryan 1986).

Los investigadores Bergkvist y Jarvis del Departamento Ciencias de Sólidos han desarrollado un modelo de laboratorio para determinar la presencia de cadmio a largo plazo en los lodos de aguas residuales utilizado en cosecha. Los investigadores han desarrollado una cosecha simulada en piscinas, utilizadas para medir la capacidad de

adsorción de Cd. Las piscinas poseen una afinidad potencial para la adsorción de metales y esto conduce los cambios de adsorción de los lodos de aguas residuales depositados en las piscinas.

Los datos obtenidos en la simulación fueron comparados con cambios medidos en carbono orgánico y ácido ethylenediaminetetraacetis (EDTA) encontrado en una muestra de terreno arcilloso de 41 años de utilizado para depositar lodos de aguas residuales. Análisis de laboratorio muestran que el transporte de macro poros y la ramificación radical de la raíz son afectados por los lixiviados procedentes de los lodos de aguas residuales demostrando una carga de Cd, en los parámetros analizados (Bergkvist P, Jarvis N., 2004).

Los investigadores Rathore y Khangarot del Centro de Investigación Toxicológica de India han realizado una serie estudios para evaluar el efecto de la temperatura en los metales pesado presentes en los lodos de aguas residuales. Para la realización de este estudio se utilizaron los siguientes metales cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, mercurio, níquel y cinc.

La toxicidad aguda de estos metales fue estudiada a 15, 20,25 y 30 grados centígrados. Resultando un aumento en toxicidad aguda de cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y cinc. No se reflejo aumento en toxicidad en manganeso. Los investigadores concluyeron que la temperatura es un factor determinante e importante para medir el grado de toxicidad aguda a corto y largo plazo. La influencia de la temperatura en la toxicidad aguda a corto y largo plazo de productos químicos en los lodos de aguas residuales, es considerada para establecer el tipo de criterios y estándares de disposición, para su aplicación en el terreno, para de esta manera salvaguardar la flora, fauna y salud humana (Rathore Rs, Khangarot BS, 2002)

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados para 1982 comenzó operaciones en la planta de tratamiento de Barceloneta, en dicha instalación se lleva a cabo el

proyecto de inyección de lodos al terreno. Los lodos generados por esta planta han sido aplicados al terreno desde 1986, la administración de la planta de Barceloneta ha utilizado los predios de una finca localizada en Caño Tiburones de dicho municipio. La realización de este proyecto se lleva a cabo bajo los estándares del (40 CFR 503) y la Junta de Calidad Ambiental. Se establece que el enviar los bio-sólidos a un relleno sanitario es un método de deshacerse y a su vez es un método de reciclaje beneficioso. Los componentes bio-sólidos enterrados representan una potencial fuente de contaminación del agua subterránea, superficiales y al medio ambiente (Enmienda final a la Declaración de Impacto Ambiental, julio 2002).

Toxicología Ambiental

Cuando una sustancia tóxica alcanza una superficie de contacto, el organismo o el medio ambiente se encuentran afectados debido a que esta sustancia penetra al organismo a diferentes velocidades. Todo depende de las propiedades fisicoquímicas y las condiciones en las que estén en la superficie de contacto, tales como, el área y la permeabilidad de la membrana de contacto y la magnitud del flujo sanguíneo en la zona de contacto afectada. La cantidad de tóxico que ingresa en el organismo es variada, ya que depende de la ruta de entrada. La mayoría de los contaminantes presentes en el ambiente no se encuentra un 100 % disueltos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Introducción

Este capítulo presenta información sobre la metodología que utilizo para la realización de nuestra investigación. Describimos además, el área de estudio, los objetivos y procedimientos efectuados para la recopilación de datos y análisis, además presentamos los puntos de muestreos establecidos en el sistema de relleno sanitario y el sistema de lechos de secado de la planta de tratamiento aguas usadas de Humacao.

Área de estudio

Se ha identificado como motivo de estudio la disposición los desperdicios bio-sólidos o lodos generados en la planta de tratamiento de aguas usadas regional de Humacao. La misma se encuentra ubicada en el parque Industrial San Gerónimo, Carretera # 3, KM.76.7. La planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, comenzó operaciones el 5 de mayo de 1995, las instalaciones cuentan con un proceso de sedimentación primario, el cual pasa por un proceso secundario de tratamiento de biofiltración, clarificador y clorinador. La planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao es la única facilidad administrada por la AAA que posee su propio sistema de relleno sanitario "Monolanfill" para la disposición final de los desperdicios Bio-sólidos o lodos generados a través del proceso de tratamiento secundario de dicha planta. Dentro de la facilidad de la planta regional de Humacao la administración de la AAA ha identificado diez (10) cuerdas de terreno, las cuales han sido divididas en dos celdas con una extensión de cinco (5) cuerdas terreno, utilizadas como sistema de relleno sanitario. La disposición de desperdicios bio- sólidos o lodos, en las instalaciones del sistema de

relleno sanitario, son reguladas por la EPA a nivel Federal y por la Junta de Calidad Ambiental a nivel Estatal.

Método experimental

Para determinar si las condiciones física y climatológicas alrededor del sistema de relleno sanitario, afectan los lodos depositados en el sistema de relleno sanitario, estaremos dividiendo este estudio en dos fases: Recopilación de datos & Comparación e Identificación de Resultados.

Primera Fase: I

Recopilación de Datos:

- 1- Busque información sobre los análisis de laboratorio realizados a los lodos depositados en el sistema de relleno sanitario, de los pasados dos años (2006 y 2007) sometidos por la AAA a la EPA, según el reglamento establecido bajo el 40 CFR parte 503.
- 2- Verifique la cantidad estimada de lodos depositado en el sistema de relleno sanitario.
- 3- Verifique el tiempo de vida útil estimado para el sistema de relleno sanitario operado por la Planta Regional de Humacao.
- 4- Verifique sobre el uso del terreno antes de ser usado para la construcción de la Planta Regional de Humacao.
- 5- Hacia donde descarga el agua de escorrentía y como se maneja.
- 6- Realice un muestreo en el área del sistema de relleno sanitario para comprobar la presencia de elementos contaminantes en los lodos y se estará realizando otro muestro en uno de los 24 lechos de secado disponibles en la planta de tratamiento de Humacao para establecer el porciento de

contaminantes presentes en los lodos antes de ser depositados en el sistema de relleno sanitario.

- 7- A continuación la (tabla II) presenta los parámetros de estudio y métodos analíticos de laboratorio para tomar muestras de desperdicios bio-sólidos o lodos según establecido por la EPA, estos parámetros se encuentra bajo el 40 CFR parte 503, Sub-parte B.

Se han escogido los siguientes elementos contaminantes presentes en los desperdicios bio-sólidos o lodos generados por la planta de tratamiento de Humacao, para determinar el posible riesgo ambiental que estos representan al estar presentes en los lodos depositados en el sistema de relleno sanitario:

- Mercurio
- Selenio
- Arsénico

Los agentes contaminantes seleccionados como propósito de estudio se encuentran establecido en el informe anual del 40 CFR parte 503 sometido por la AAA a la EPA.

Diseño del muestro

Para la presente investigación diseñamos el siguiente plan de muestreo, estos respondiendo a los objetivos de la misma. El propósito de este plan de muestro fue identificar los punto de muestreo dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao. Al realizar dicho muestreo evaluaremos la posibilidad de contaminación, generada por la disposición final de los desperdicios bio-sólidos o lodos depositados en sistema de relleno sanitario y sus efectos a salud humana y el medio ambiente.

Procedimiento para la toma de muestras

Para tomar las muestras, seguimos las guías y procedimientos generales de muestreo, según lo establece la US EPA (1997). La selección de estos estuvo basada en la información suministrada por la administración de la planta de tratamiento de Humacao, la tabla II, presenta los parámetros de muestreo. Una inspección visual al área de muestreo, es requerida para fijar los pasos a seguir durante el muestreo.

Utilizamos procedimientos de laboratorio consistentes a los descritos por la JCA, Plan de monitoria y análisis (PMA), Regla 555 del RMDSNP, Regla 705 de Puerto Rico, el 40 CFR 258.53(a) y el procedimiento de muestreo del laboratorio ambiental sub-contratado para realizar el muestreo.

El PMA incluyó los siguientes procedimientos y técnicas:

1. Identificación del área de muestreo.
2. Establecer los parámetros a muestrear o monitorear.
3. Selección y preparación del equipo de muestreo.
4. Metodo para coleccionar la muestra.
5. Manejo y preservación de la muestra.
6. Procedimiento del análisis y firma de la cadena de custodia, de acuerdo a los estándares o métodos seleccionados para el muestreo, guías aprobadas bajo reglamentos de la JCA.
7. Selección de programa de computadora, para la evaluación y comparación de los análisis recopilados durante el muestreo.
8. Identificación de los envases de muestreo (botellas de color ámbar), las mismas son requeridas por los estándares de muestreo de la EPA. Los envases de cristal utilizado son de un (1) litro, todos los envases serán identificados con el nombre de la muestra, lugar de muestreo, hora, fecha, numero de cadena de custodia y el nombre de la persona que colecto la muestra.

Cadena de custodia

Como parte del proceso de muestreo se tiene que completar la cadena de custodia generada por el laboratorio ambiental subcontratado. En la misma se tiene que llenar la siguiente información:

1. Nombre de la muestra.
2. Lugar de muestreo.
3. Parámetros de análisis
4. Fecha
5. Hora
6. Firma de testigo (testigo del muestreo)
7. Firma del representante del laboratorio.
8. Tipos de preservativo utilizado en los envases de muestreo.
9. Comentario (de ser necesarios).

Preservación de la muestra

Para la preservación de la muestra tomamos en consideración las siguientes medidas establecidas por los estándares de muestreo por la EPA:

1. Envases de color ámbar (la presencia de luz puede afectar la muestra de metales pesados).
2. Los envases no debe ser llenado completamente un 100 %, aproximadamente de debe tomar la muestra en un 90% de las dimensiones del envase.
3. La muestra será preservada a una temperatura de 4°C, se utilizará un termómetro para monitorear la temperatura dentro de la nevera utilizada para transportar la muestra.

Segunda Fase: II

Comparación e Identificación de Resultados:

Las concentraciones de metales presentes en los desperdicios bio- sólidos o lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Humacao serán comparados con los estándares 40 CFR parte 503, Sub-parte B. Evaluaremos e identificaremos la presencia de estos agentes contaminantes, al ser depositados en el terreno del sistema de relleno sanitario. A continuación la (tabla III) presenta la concentración máxima de metales pesados en los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el terreno según establecido en el 40 CFR parte 503.

Procedimiento:

Para llevar a cabo el proceso de avalúo de riesgo sobre la disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, utilice los siguientes criterios a continuación:

- Verifique la información general de la planta de tratamiento de Humacao, (Diseño, Manejo, Operación y disposición de desperdicios bio- sólido o lodos).
- Verifique la ubicación y zonificación de la planta.
- Verifique la cantidad de desperdicios bio- sólidos o lodos que es depositada en su sistema de relleno sanitario.
- Verifique información general sobre los materiales utilizados para la construcción del sistema de relleno sanitario.
- Estudie las condiciones o características de los desperdicios bio- sólido o lodos generados en la planta (factores inducidos por el sector industrial del área de Puerto Rico).
- Realice un análisis o avaluo de riesgo sobre las operaciones de la planta.

Se tomaran en consideración los siguiente criterios presentados anteriormente para realizar un avalúo de riesgo, el cual determinara si la disposición de desperdicios bio-sólidos o lodos en el sistema de relleno sanitario de la planta regional de Humacao, representa un riesgo a la salud humana y el medio ambiente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El propósito de esta investigación fue realizar un avalúo de riesgo, para la disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en la facilidades del sistema de relleno sanitario o vertedero de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao. Por medio de esta investigación determinaremos si la disposición de estos desperdicios bio- sólido o lodos representa un riesgo significativo a la salud humana y el medio ambiente. En este capítulo presentaremos los resultados finales obtenidos a través de toda la investigación realizada al proceso y manejo de disposición de desperdicios bio- sólido o lodos de la planta de Regional de Humacao.

La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Humacao, se encuentra localizado en el parque industrial San Gerónimo del municipio de Humacao, dicho sistema es operado por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico. Esta planta opera dentro de sus facilidades o instalaciones un sistema de relleno sanitario o vertedero “Monolanfill”, el cual es utilizado para la disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos generados durante el proceso de tratamiento de aguas usadas. Hay que mencionar que la administración de la AAA utilizada los estándares y parámetros establecidos en el 40 CFR parte 503, para monitorear la presencia de contaminantes en los desperdicios bio- sólidos o lodos generados.

La administración de AAA ha designado 10 cuerdas de terreno para la operación de un sistema de relleno sanitario o vertedero, el cual es utilizado para la disposición final de los desperdicios bio-sólidos o lodos. La 10 cuerdas de terreno del sistema de relleno sanitario, se encuentra dividida por dos celdas con unas dimensiones de 5 cuerdas de terreno cada una, debemos mencionar que estas celdas se encuentran cubiertas con “Flexible Membrane Liners”. Figura 3

Durante el proceso de diseño del sistema relleno sanitario se instalaron tres pozos de monitoreo, los cuales están localizados en gradiente arriba, gradiente medio y gradiente abajo. Todos los lixiviados generados en el sistema de relleno sanitario son recolectados y retornados al colector primario de la planta. Este colector se encuentra instalado en un canal de gravilla (tubo perforado) que recoge los lixiviados generados en el sistema de relleno sanitario. Figura 4

La Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) identifica en su permiso (NDPS), a los lodos o desperdicios bio- sólidos como lodos **Clase B**. Los lodos generados durante el proceso de tratamiento de aguas usadas son trasladados a través de un sistema de tuberías a un sistema de celdas o lechos de secado. Donde el lodo pasa de un estado semi- líquido a un estado sólido, aproximadamente este cambio en el estado de la materia puede ocurrir en un periodo de tres a cinco semanas. La planta de tratamiento posee 24 lechos de secados, los cuales reciben todos los desperdicios bio- sólidos generados durante la operación de la planta. La Figura 5 y Figura 6.

Los desperdicios bio- sólido o lodos almacenados son drenados a través de un sistema de tubería al sistema de lechos de secado. Principalmente cada lecho de secado recibe 148,821 galones de lodo. Ver Figura 4. La planta de tratamiento regional de Humacao es la única facilidad operada por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico que opera un sistema de relleno sanitario, según el Permiso de Operación para la Administración de un Sistema de Relleno Sanitario. La administración de la planta regional de Humacao ha solicitado a la Junta de Calidad Ambiental en su renovación del Permiso de Operación, la disposición final de desperdicios bio- sólido o lodos generados de otras instalaciones operadas por la (AAA). Debido a que su permiso de NPDES (**PR0025399**) faculta a la (AAA) a depositar los mismos en las instalaciones de la planta regional. Figura 7

Durante el año 2007, la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, mensualmente depositaron aproximadamente 37.45 toneladas secas de desperdicios bio- sólidos o lodos. Según establecido en la bitácora de disposición de lodos suministrada por la administración de la planta regional de Humacao, la planta de tratamiento genero 1,785.850 galones de lodo y unas 994,331 libras de sólidos durante el año 2007. Tabla VI y Figura 8

Descripción del Sistema de Relleno Sanitario Planta Regional de Humacao

- **Sistema de relleno sanitario**

- La planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao opera un sistema de relleno sanitario, según estipulado en el permiso de operación **RSP-0008** emitido por la Junta de Calidad Ambiental.
- Este sistema ha sido diseñado para la disposición final de los desperdicios bio- sólido o lodos generados durante el proceso de tratamiento de aguas usadas de la planta.
- Este sistema de relleno sanitario se encuentra localizado al Sur- Este del edificio central de administración, el mismo se encuentra desarrollado en un predio de 10 cuerdas de terreno. Las cuales se encuentra segregado por un sistema de dos celdas las cuales constan de 5 cuerdas de terreno predestinado para la disposición final de los desperdicios bio- sólido o lodos.
- Durante el proceso de desarrollo y construcción de este sistema de relleno sanitario se instaló una membrana impermeable (Flexible Membrana Liners) la cual está conectada a tres pozos de monitoreo. Figura 3 y Figura 2.

- **Requisitos para la disposición final de lodos**

- La administración de la planta regional de Humacao poseen un permiso NPDES (Nacional Pollutant Discharge Elimination System) emitido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés). La implantación de permiso, monitorea la presencia de los contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario y la descarga del efluente de la planta al océano.
- Una vez depositados los lodos en el sistema de relleno sanitario son regulados por el 40 CFR Parte 503 (Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge). Anualmente la administración de la planta regional de Humacao presenta un informe completo sobre la presencia de contaminantes en los desperdicios bio-sólidos o lodos. Tabla VII, VIII, IX.
- A nivel Estatal el sistema de relleno sanitario de la planta regional de Humacao es regulado y monitoreado por el Permiso de Operación **RSP-0008**. El cual estipula las restricciones y condiciones de ley en cuanto a la disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos generados a través del proceso de tratamiento de aguas residuales. La tabla V, presenta los constituyentes para el rastreo y detección de contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólidos o lodos.
- El permiso de operación del sistema de relleno sanitario, estipula en la Regla 555. La implantación de un plan de monitoria y análisis para aguas subterráneas, adyacentes a los predios de un sistema de relleno sanitario. Tabla V.

- La Regla 556 establece los requisitos sobre monitoreo y análisis. El sistema de relleno sanitario operado en la planta regional de Humacao, la implantación de la regla 556 establece el requisito de muestreo anual del sistema de pozos de monitoria. Ver Anejo 3 (Análisis de constituyentes).
- **Requisitos de Muestreo**
 - El 40 CFR Parte 503, estipula que se realice un “Toxicity Characteristic Leaching” (TCLP por sus siglas en Inglés). Para detectar la presencia de metales pesados.
- **Muestreo de los desperdicios bio- sólidos lodos**
 - El protocolo de muestreo de (TCLP) estable que se utilicen los siguientes métodos de muestreo para los contaminantes antes mencionados: Tabla IV
 - **Arsénico:** EPA 6010B
 - **Mercurio:** EPA 7470 A
 - **Selenio:** EPA 6010 B
- **Contaminantes y limites**
 - Simultáneamente la presencia de contaminantes en los desperdicios bio-sólidos o lodos depositados en el terreno, son monitoreados y regulados a través del “Land Application Pollutant Limits”. La presencia y límites de contaminantes aplicados en el terreno se encuentra establecidos en el “Regulatory Limits for Toxic Metals”. Tabla V.

Discusión y Resultados

Presentaré en esta discusión las condiciones físicas y climatológicas a las cuales están expuestos los contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólidos o

lodos depositados en el sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacaoy como esta pueden afectar la salud humana y el medio ambiente. Según establecido en el 40 CFR Parte 503, la administración de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, anualmente realiza un muestreo a los lodos depositados en los lechos secado, para monitorear la presencia de contaminantes establecidos en la Parte 503. Como propósitos de esta investigación fueron utilizados los resultados de laboratorio obtenidos del informe anual sometido a la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés). Gracias a los resultados del laboratorio podremos establecer una correlación entre la presencia de contaminantes y su concentración en el sistema de relleno sanitario. Ver Anejo 3.

Durante el año 2006 y 2007 la administración de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, llevó a cabo los muestreo requeridos por el 40 CFR Parte 503. Como propósito de nuestra investigación fueron seleccionados los siguientes contaminantes; Arsénico, Mercurio y Selenio.

A continuación presentamos un resumen de los análisis realizados a los desperdicios bio- sólido o lodos para los años 2006 y 2007:

- **Año 2006**

- Los resultados obtenidos durante este año establecen la presencia de Arsénico <0.005 Mg/Kg, Mercurio 0.0017 Mg/Kg y Selenio <0.005 Mg/Kg.
- La Tabla VII y Figura 9, presenta los parámetros de muestreo, método (EPA), resultados Mg/Kg y límites establecidos en la Parte 503.

- **Año 2007**

- Durante el año 2007 la administración de la planta de tratamiento de Humacao, realizo dos (2) muestreos a los desperdicios bio- sólido o lodos depositados en el sistema de lechos de secado.

- **Primer muestreo:** este muestreo se realizó el 8 de mayo de 2007. Reportando la presencia de Arsénico <0.005 Mg/Kg, Mercurio 0.0006 Mg/Kg y Selenio <0.005 Mg/Kg.
- La Tabla VIII y Figura 10, presenta los parámetros de muestreo, método (EPA), resultados Mg/Kg y límites establecidos en la Parte 503.
- **Segundo muestreo:** este muestreo se realizó el 31 de julio de 2007. Reportando la presencia de Arsénico <0.005 Mg/Kg, Mercurio 0.0006 Mg/Kg y Selenio <0.005 Mg/Kg.
- La Tabla IX y la Figura 11, presenta los parámetros de muestreo, método (EPA), resultados Mg/Kg y límites establecidos en la Parte 503.

Los resultados presentados anteriormente forman parte de los requisitos de monitoreo establecidos en el 40 CFR Parte 503 y permiso NPDES, para la operación de la planta de tratamiento de Humacao. Dichos resultados fueron suministrados por la administración de la planta de tratamiento de Humacao.

Comparación & Investigación: (muestreo y análisis)

Durante el proceso de investigación y avalúo de riesgo sobre la presencia de contaminantes en el sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento de Humacao. Como parte de la estrategia de investigación se estableció como la decisión de llevar a cabo una serie de muestreo a los desperdicios bio- sólido o lodos generados durante el proceso de tratamiento de la planta. Para de esta manera establecer una correlación comparativa sobre la presencia de contaminantes establecidos en el informe anual a la EPA requerido bajo 40 CFR Parte 503.

Debido a que el informe anual requerido bajo la Parte 503, establece los requisitos de muestreo de los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el sistema de lechos de secado. Teniendo como marco de referencia los requisitos de ley antes mencionados, establecimos como parte de esta investigación seleccionar uno de los veinticuatro (24) lechos de secado, para llevar a cabo muestreo. Figura 5.

1) Monitoria sistema de lechos de secado: Planta de tratamiento de Humacao

- Se estableció como punto de muestreo el lecho de secado número doce (12), en dicho lecho de secado se colectó una muestra de desperdicios bio- sólidos o lodos. Esto para identificar la presencia de los siguientes contaminantes listados en la Parte 503; arsénico, mercurio y selenio.
 - Los resultados de laboratorio obtenidos, establecen la presencia de arsénico, mercurio y selenio. Tabla X y Figura 12.
- **Discreción de la muestra colectada:** Según la bitácora de llenado del sistema de lechos de secado. La muestra colectada en el lecho de secado número doce (12) al momento de nuestra investigación, tiene 28 días de haber sido depositada en el lecho de secado.
 - La muestra colectada se encontraba deshidratada y compactada, aproximadamente se colectaron 2.5 libras de lodo sólido.
 - La figura 12, presenta un diagrama del lecho de secado seleccionado para colectar la muestra.

2) Sistema de Relleno Sanitario: según establecido en el 40 CFR Parte 503, el permiso NPDES y el Permiso de Operación del Sistema de Relleno Sanitario. La administración de la planta regional de Humacao, no se encuentran obligados a muestrear los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el sistema.

Las leyes y reglamentos antes mencionados tan solo requieren el muestreo de los desperdicios bio- sólidos o lodos antes de ser depositados en el sistema de relleno sanitario.

- **Requisitos de ley:** los requisitos de ley a los cuales esta sometida el operador o administrador de un sistema de relleno sanitario, no establecen los estándares y parámetros requeridos para determinar la bio- acumulación de contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el relleno sanitario.
- La determinación del periodo de vida útil del sistema de relleno sanitario es parcialmente determinada a través de modelos matemáticos establecido bajo la Parte 503 “The Risk Assessment Process for Part 503 Biosolids Rule” pero los mismos no miden la presencia de contaminantes o constituyentes de rastreo en la fuente de generación, según establecido en el 40 CFR Parte 261 “Identification and Listing of Hazardous Wastes”.
- Para establecer la meta y los objetivos presentados en esta investigación realizamos un muestreo a las facilidades del sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento regional de Humacao.
- A continuación presentamos los resultados a los análisis de laboratorio realizados a los desperdicios bio-sólidos o lodos depositados en el relleno sanitario. El muestreo realizado fue para detectar la presencia de los siguientes metales: Arsénico, Mercurio y Selenio. Tabla IV.
- **Descripción del proceso de muestreo y análisis**
 - **Identificación área de muestreo:** para llevar a cabo nuestro muestreo fue seleccionada la celda número uno (1) del sistema de relleno

sanitario. Dentro de esta celda fueron seleccionados dos puntos de muestreo el punto A y punto B, para colectar la muestra se utilizo un dispositivo de barrena manual de un pie (12 pulgadas). Figura 13.

- El sistema de relleno sanitario se encuentra dividido por un sistema de celdas, las cuales representan un tiempo de vida útil de veinte (20) años. La celda # 2 de este sistema de relleno sanitario no se encuentra en operación. Todos los desperdicios bio- sólido o lodos depositados al momento de esta investigación, han sido depositados en la celda # 1. Figura 3 y Figura 7.

- Durante el proceso de muestreo se dividió la celda # 1 en dos puntos de muestreo Punto A y Punto B. Se establecieron los siguiente criterios para realizar el muestreo del sistema de relleno sanitario:
 - **Punto A:** Desperdicios bio- sólidos depositados recientemente
 - **Punto B:** Desperdicios bio- sólidos depositados anteriormente

Descripción del punto de muestreo: *Sistema de relleno sanitario*

- **Punto A:** según el operador del la planta de tratamiento la pequeña montaña o talud de desperdicio bio- sólidos o lodos identificado como parte del muestreo tiene unos 35 días de haber sido depositados en el sistema de relleno sanitario. La muestra fue colectada en el centro de la pequeña montaña, se observo que el desperdicio depositado en este punto era reciente debido a que no se observo el crecimiento de yerba silvestre y la constitución física del desperdicio era una semisólida no compactada. La Tabla XI y Figura 14, presentan los resultados de laboratorio obtenidos en el punto de muestreo A.
- **Punto B:** este punto de muestreo representa la cantidad de desperdicios bio- sólidos o lodos depositados anteriormente en el sistema de relleno sanitario.

Según la bitácora de la planta de tratamiento de Humacao para el año 2007 se depositaron 449.44 toneladas secas de lodos en el sistema de relleno sanitario. La muestra colectada en este punto se encontraba sólida y compactada. Se pudo observar que el área seleccionada no habidos sido utilizada recientemente para depositar desperdicios, ya que la misma se encontraba cubierta de yerba silvestre. La Tabla XII y la Figura 15, presenta los resultados de laboratorio obtenidos en el punto de muestreo B.

Resultados objetivo 2: Evaluar las condiciones físicas que pueden afectar los lodos y el transporte de contaminantes.

- 1- Celdas del sistema de relleno sanitario están expuestas a condiciones físicas:
 - Lluvia
 - Viento
 - Cambios en temperatura
- 2- Método de transportación y distribución de los lodos en las Celdas del SRS.
- 3- Saturación del sistema de relleno sanitario (1) y posible Desbordamiento.
Cercanía de cuerpo de agua (caño Fronteras).

Resultados objetivo 3: Determinar si hay migración de estos contaminantes al sistema de agua subterránea que son reutilizados por la planta. Según los resultados de laboratorio presentados en por la AAA, se detectan la presencia de contaminantes listados bajo el 40 CFR parte 503. Figura

Observaciones

Durante el proceso de muestreo en la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao se observaron las siguientes situaciones:

1. En el área del sistema de lechos de secado se encuentran almacenados el equipo motorizado utilizado para la remoción y transportación de los lodos, el mismo no este almacenado bajo techo.
2. El sistema de lechos de secado posee (24) lechos los cuales no están identificados adecuadamente con un número, para facilitar su localización.
3. Los empleados de pueden estar expuestos a contaminantes presentes en los lodos, ya que al realizar la tarea de remoción de lodos no utilizan equipo de seguridad para efectuar la tarea.
4. Los lodos depositados en el sistema de relleno sanitario, no están siendo distribuidos homogéneamente ya que se pudo apreciar una acumulación de lodos.
5. Dentro de la celda # 1, se pudo apreciar el crecimiento de una planta de calabaza, la cual tenía frutos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Introducción

En este estudio evaluamos los peligros relacionados a la operación del sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao. Evaluamos el manejo y disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario. Por otro lado evaluamos las medidas existentes para controlar la contaminación y los peligros ambientales relacionados con la disposición final de los lodos. De igual forma evaluamos los resultados de laboratorio obtenidos del muestreo realizado al lecho de secado número 12 y el muestreo realizados en el celda número uno (Punto A y Punto B). Como parte de esta investigación el muestreo realizado en los puntos de muestreo antes mencionado, fue para identificar los siguientes contaminantes listados bajo el 40 CFR parte 503, arsénico, selenio y mercurio. Los resultados de los análisis de nuestro muestreo fueron comparados con los resultados del análisis de laboratorio realizado por la administración de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, como requerido por la EPA.

A través de esta investigación realizamos a cabo un avalúo de riesgo, para la disposición de los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario. Debido a los resultados desarrollados a través de nuestra investigación, la meta de este estudio fue el en determinar si las condiciones físico químicas de los lodos una vez depositados en el sistema de relleno sanitario que los metales pesados presentes en los lodos pudieran ser de riesgo al ambiente o la salud humana, la acumulación de los mismos o su migración al suelo.

Análisis y discusión de los resultados

La administración de la planta de tratamiento de Humacao, como parte de los requisitos de ley establecidos bajo el 40 CFR Parte 503 (Estándares para el Uso o Desecho del Lodo de Aguas Usadas). Presenta un informe anual a la (EPA), para cumplir con los requerimientos de este reglamento. Como parte de nuestra investigación recopilamos la data histórica de los análisis de laboratorio realizados a los lodos depositados en los lechos de secado, durante el año 2006 y 2007. Los resultados de

laboratorio realizados durante el año 2006, establecen que la presencia de < 0.005 mg/kg de arsénico, 0.0017 mg/kg de mercurio y < 0.005 mg/kg de selenio. Para el año 2007, los resultados de laboratorio establecen la presencia de < 0.005 mg/kg de arsénico, 0.0006 mg/kg de mercurio y < 0.005 mg/kg de selenio.

Los análisis y resultados de laboratorio antes mencionados fueron utilizados para determinar nuestra evaluación de riesgo en cuanto la disposición de desperdicios bio- sólidos o lodos en sistema de relleno sanitario de la planta de aguas usadas de Humacao. Para sustentar nuestra evaluación de riesgo llevamos a cabo una serie de muestreos a los lodos depositados en uno de los lechos de secado y a sus vez se realizó un muestreo en el área del sistema de relleno sanitario esto para establecer una correlación y porcentaje acumulativo de contaminantes. A través de los análisis de laboratorio realizados en el lecho de secado # 12, podemos identificar la presencia de 0.159 mg/kg de arsénico, 0.079 mg/kg de mercurio y 0.159 mg/kg de selenio.

Para determinar la correlación y porcentaje acumulativo establecida en nuestra evaluación de riesgos se identificó la celda número uno (1), del sistema de relleno sanitario. Se identificaron dos puntos de muestreo dentro de la celda punto de muestreo A y punto de muestreo B. Los análisis de laboratorio realizados en el punto muestreo A demuestran la presencia de 0.347 mg/kg de arsénico, 0.0173 mg/kg de mercurio y 0.347 de selenio. En el punto muestreo B demuestra la presencia de 0.362 mg/kg de arsénico, 0.172 mg/kg de mercurio y 0.362 de selenio. Según establece el 40 CFR Parte 503, la presencia de estos contaminantes en los lodos depositados en el terreno, basados en los límites establecidos bajo este reglamento podemos determinar que la planta de tratamiento de Humacao cumple con los requisitos de ley establecidos.

Basado en los resultados presentados a través de esta investigación podemos concluir que nuestra hipótesis de este estudio fue aceptada. Debido a que las condiciones físicas a las cuales están expuestos los contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólido o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento de Humacao, favorecen su dilución y fijación al terreno.

De esta investigación se desprende que la operación del sistema de relleno sanitario, administrado por la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, se encuentra en total cumplimiento con las leyes y reglamentos que regulan su operación Si embargo es necesario añadir que el plan de monitoria y rastreo de contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólidos o lodos generados por la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, representan un riesgo ambiental a largo

plazo. Los resultados de laboratorio antes presentados demuestran que la disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos en el terreno, están creando una carga bio-acumulativa en el sistema de relleno sanitario. Los análisis de laboratorios realizados a los pozos de monitoreo del sistema de relleno sanitario, demuestran el impacto ambiental que podría ocasionar la migración de estos contaminantes al nivel freático del área del sistema de relleno sanitario. Este posible impacto es mitigado por el sistema de membrana impermeable que cubre el sistema de celdas del sistema de relleno sanitario, que a su vez están conectadas a una sistema de recolección de lixiviados el cual retorna al punto de entrada de la planta de tratamiento las aguas contaminadas generadas por este sistema. La presencia de desperdicios sólidos disueltos en el lodo es capaz de ser atenuados por el suelo mediante el mecanismo de precipitación, adsorción o intercambio de iones. Bajo estas condiciones físicas e hidrológicas se favorece la filtración de contaminantes, los cuales pueden pasar a través de suelo no saturado fijando los contaminantes al suelo y entrar en las aguas subterráneas.

Identificamos que los sólidos disueltos en el lodo pueden ocasionar problemas en la calidad del aire de la zona, debido la correlación asociada con la recolección y disposición de los desechos bio- sólidos en el sistema de relleno sanitario por los empleados. El polvo, los olores y el humo generado durante este proceso generan la exposición de los contaminantes presentes en los lodos, ya que los empleados se ven expuestos a la liberación de partículas con alto potencial de toxicidad, las cuales podrían llegar al torrente sanguíneo a través de la inhalación.

Recomendaciones

Por los resultados obtenidos y el peligro que representa la disposición final de los desperdicios bio- sólido o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao, recomendamos a la administración de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. Los siguientes:

- Establecer un plan de monitoreo y rastreo para los contaminantes presentes en los desperdicios bio- sólidos o lodos una vez depositados en el terreno.
- Continuar con el monitoreo y rastreo de contaminantes en los pozos de monitoreo establecidos en el sistema de relleno sanitario.

- Evaluar los resultados de la carga bio- acumulativa, para determinar si el sistema de relleno sanitario operado por la facilidad de la planta de tratamiento de Humacao puede recibir desperdicios bio- sólidos o lodos generados por otras de las plantas operadas por la AAA.
- Durante el proceso de aplicación o desecho de los desperdicios bio- sólidos o lodos en el terreno, se debe realizar un estudio y muestreo de aire para identificar si hay riesgo ocupacional durante el proceso de aplicación en el terreno.
- Establecer un programa de vigilancia médica, para determinar si los empleados han estado expuestos a la presencia de metales pesados por análisis de sangre.
- Establecer un proceso de distribución homogéneo durante el proceso de disposición final de los desperdicios bio- sólidos o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario.
- Llevar a cabo un muestreo y análisis de agua subterránea y superficial apropiado.
- Llevar a cabo un estudio para medir sobre la eficiencia de los pozos de monitoria del sistema de relleno sanitario.
- Llevar a cabo un estudio para medir la eficiencia del proceso de recirculación de los contaminantes presentes en los lixiviados recuperados a través del sistema de celdas del sistema de relleno sanitario una vez son retornados al afluente de la planta de tratamiento.

Limitaciones

Durante el proceso de investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- Durante el proceso de muestreo, no se permitió la tomar fotos del área de disposición final de los lodos.
- Debido a la limitación de tiempo y económico, el muestreo solo pudo ser realizado una vez, en tres puntos para completar este estudio, hubiese sido ideal realizar nueve muestreos en diferentes puntos del sistema de relleno sanitario y el sistema de lechos de secado.
- La limitación de análisis de laboratorio.

- Por la falta de tiempo no se pudo indagar o recopilar data histórica sobre la construcción de la planta de tratamiento de aguas usadas de Humacao y la construcción del sistema de relleno sanitario.
- La falta de análisis previos a la disposición final de los desperdicios bio-sólidos o lodos depositados en el sistema de relleno sanitario.
- Durante el proceso de muestreo del sistema de relleno sanitario se presentaron limitaciones técnicas, debido a que no se pudo utilizar un instrumento de muestreo más eficiente a utilizado para la toma de muestra, debido a que este sistema posee una membrana impermeable.

A pesar de las limitaciones presentadas durante el desarrollo de esta investigación, la misma pudo ser completada y lograr establecer la meta estipulada.

LITERATURA CITADA

- Anon. (2004). The Effect of amalgam Separator on Mercury Loading to Wastewater Treatment Plants. *J Calif Dent Assoc.* 593-600.
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados *Enmienda final a la Declaración de Impacto Ambiental.* (2002). Planta Regional de Tratamiento de Aguas Usadas de Barceloneta Proyecto de Inyección de Bio-sólidos. Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. P.O. Box 7066 Estación Barrio Obrero Santurce, Puerto Rico 00916. Julio de 2002.
- Babish, JG., Stoewsand, GS., Kranz, JMS., Boyd, JN., Ahrens, VD & Lisk, DJ. (1990). *Toxicologic Studies Associated with The Agricultural Use of Municipal Sewage Sludge and Health Effect Among Sewage Treatment Plant Workers.* IEQ institute the Dr.Krengel LTD, Potsdam Alemania.
- Bergkvist P, Jarvis N. (2004). Modeling Organic Carbon Dynamics and Cadmium fate in long- term Sludge Amended Soil. *J Environ Qual.* Jan-Feb; (33)1:181-91.
- Field, L.J., Macdonald, D.M., Norton, S.B., Severn, C.G. & Ingersoll, C.G. (1999). Evaluating sediment chemistry and toxicity data using logistic regression modeling. *Environ. Toxicol. Chem.* 18(6):1311-1322.
- Luoma and Rainbow, (2005), *Why is metal Bioaccumulation so variables?* Bioadynamics as unifying concept: *Environmental Science and Technology*, 39 (7):1912-1931.
- Morales, Hernández, F., Soto, Jiménez, MF & Paez, Osuma, F. (2004). Heavy Metal in Sediments and Lobster (*Panulirus Gracilis*) from the discharge area of the submarine sewage outfall in Mazatlan Bay (SE Gulf of California). *Arch Environ Contam Toxicol.* 46(4): 485-91.
- Rathore, RS. Khangarot, BS. (2002). Effect of temperature on the Sensitivity of Sludge worm *Tubifex tubifex* Muller to Selected Heavy Metal. *Ecotoxicol Environ Saf,* 53(1):27-36.
- Schoof, Rosalind, A & Houkal, Dana. (2005). The Evolving Science of Chemical Risk Assessment for Land- Applied Biosolids. *J Environ Qual.* 114-21.
- Science Advisory Board. (1996). An SAB Report: *Review of the Agency's Approach for Developing Sediment Criteria for Five Metals.* Prepared by the Sediment Quality Criteria Subcommittee of the Ecological Processes and Effects Committee. EPA-SAB-EPEC-95-020. EPA Science Advisory Board.
- Science Advisory Board. (2000). An SAB Report: *Review of an Integrated approach to metals assessment in surface waters and sediments.* EPA-SAB-EPEC-00-005. U.S. Environmental Protection Agency, Science Advisory Board. EPA Science Advisory Board, Washington, DC.

- Segade, Rio, Susana. (2003). A Fractional Factorial Design Applied to the Optimization of Microwave- and Ultrasound-Assisted Acid Leaching Methods for Heavy Metals Determination in Sludges by Flame Atomic Absorption Spectrometry. *International Journal of Environmental & Analytical Chemistry*; 2003, Vol.83 Issue 4,343,14.
- Shen, S.B, Tyagi, R.D, Blais & J.F, Surampali, R.Y. jun, (2003). Bacterial Leaching of Metal from tannery Sludge by Indigenous Sulphur-Oxidizing Bacteria-Effect of Sludge Solid Concentration. *Journal Environmental Engineering*; Vol.129 Issue 6, 513- 519.
- Tandi NK., Nyamangara, J., Bangira, C. (2004). Environmental and potential health effect of growing leafy vegetables on soil irrigated using sewage sludge and effluent: a case of Zn and Cu. *Environ Sci Health*. Vol; 39(3):476-71.
- U.S Environmental Protection Agency. (1995). *A Guide to the Biosolid Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule*. EPA/832-B-93-005. Office of Wastewater Management Washington. D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Folleto Informativo del Manejo de Bio-sólidos y Residuos, (Control de Olores en el Manejo de Bio-sólidos). EPA 832-F-00-067. Office of Wastewater Management Washington. D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2003). Technical Background Document for the Sewage Sludge Exposure and Hazard Screening Assessment. Prepared for Office of Water U.S Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000). *Exposure and human health reassessment of 2, 3, 7, 8- tetrachlorobibenzo-p-dioxin (TCDD) and related compounds*. USEPA/600/P-001001Bg. Natl. Center for Environ. Assessment, Office of Research and Development, USEPA, Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency (2002). *Exposure analysis for dioxins, dibenzofurans, and coplanar polychlorinated biphenyls in sewage sludge*. Tech. Background Document. Draft. Prepared by RTI, Research Triangle Park for Office of Water, USEPA, Washington, DC.

Tablas

Tabla 1: Concentración Máxima de Metales.

Metales: Concentración Tasa Acumulativas
Límite (mg/kg) carga contaminante

Contaminante	Límite (mg/kg)	Límite (mg/kg)	Límite (mg/kg)
Arsénico	75	41	41
Cadmio	4,3000	1,500	1,500
Cobre	4,300	1,500	1,500
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	17
Níquel	420	420	420
Selenio	100	100	100
Zinc	7,500	2,800	2,800

NL: no tiene límites establecidos Fuente: US EPA 1993 y 1994.

Tabla 2: *Parámetros de estudio y análisis.*

Parámetros de Estudio	Métodos Análisis TCLP ICP
Bario	EPA 6010B
Cadmio	EPA 6010B
Chromio	EPA 6010B
Plata	EPA 6010B
Arsénico	TCLP-Arsénico EPA 7060 ^a
Plomo	TCLP-Plomo EPA 7421 ^a
Mercurio	TCLP-Mercurio EPA 7470 ^a
Selenio	TCLP-Selenio EPA 7740 ^a

Los parámetros de estudio se encuentran bajo el 40 CFR parte 503, Sub-parte B.

Tabla 3: Concentración Máxima de Metales.

Metales: Concentración Tasa Acumulativas de Concentración
Límite (mg/kg) carga contaminantes

Contaminante	Límite (mg/kg)	Límite (mg/kg)	Límite (mg/kg)
Arsénico	75	41	41
Cadmio	4,3000	1,500	1,500
Cobre	4,300	1,500	1,500
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	17
Níquel	420	420	420
Selenio	100	100	100
Zinc	7,500	2,800	2,800

Fuente: US EPA 1993 y 1994

Tabla 4: “Regulatory Limits for Toxic Metals”

Pollutant	Pollutant Ceiling Concentrations Mg/Kg	Cumulative Pollutant Loading Rate Kg/ha(lb/acre)	Pollutant Concentration Mg/Kg	Annual Pollutant Loading Rates Kg/ha(lb/acre- yr)
Arsenic	75	41(37)	41	2(1.8)
Mercury	57	17(15)	17	0.85(0.77)
Selenium	100	100(90)	36	5(4.5)

Fuente: US EPA 1993 y 1994

Tabla 5: Constituyentes para Rastreo de Detección

Constituyentes Inorgánicos	Constituyentes Orgánicos	Constituyentes Orgánicos
Antimonio	Acetona	p-Diclorobenceno 1,4Diclorobenceno
Arsénico	Acrilonitrilo	Trans-1,4-Dicloro-2-Buteno
Bario	Benceno	1,1 Dicloroetano; Cloruro de Etilideno
Berilio	Bromoclorometano	1,2 Dicloroetano; Dicloroetilino
Cadmio	Bromodiclorometano	1,1 Dicloroetileno 1,1-Dicloroetano
Cromo	Bromoformo;Tribromometano	cis-1,2 Diclóetilino cis 1,2 Dicloroetano
Cobalto	Bisulfuro de Carbono	Trans-1,2 Dicloroetilino Trans-1,2 Dicloroetano
Cobre	Tetracloruro de Carbono	1,2 Dicloropropano; Dicloropropileno
Níquel	Clorestano;Cloruro de Etilo	Cis-1,3 Dicloropropeno
Selenio	Cloroformo;Triclorometano	Trans-1,3 Dicloropropeno
Plata	Dibromoclorometano; Clorodibromometano	Mercurio
Talio	1,2-Dibromo-3- Cloropropano	Bromuro de metilo; Bromometano
Vanadio	1,2 Dibromoetano; Dibromoetileno,DBE	Cloruro de metilo
Zinc	Diclorobenceno; 1,2 Diclorobenceno	Clorometano

Tabla 6: *Sólidos depositados en los lechos de secada durante el año 2007.*

Meses(2007)	Galones	Lbs Sólidos	*DMT
Enero	179,520	115,808	52.55
Febrero	142,120	78,972	35.10
Marzo	143,055	59,400	26.94
Abril	100,980	44,484	20.20
Mayo	211,310	109,734	49.79
Junio	177,650	102,500	46.43
Julio	177,650	91,501	41.59
Agosto	145,860	66,855	30.29
Septiembre	97,240	48,877	21.96
Octubre	138,380	76,721	35.07
Noviembre	203,830	155,984	70.54
Diciembre	68,255	43,495	18.97
Total	1,785,850	994,331	449.44
Average	148,821	82,861	37.45

- * DMT: Toneladas Secas

Información suministrada por la administración de la planta regional de Humacao

Tabla 7: Resultados de laboratorio (Lechos de Secado año 2006)

Parámetros	Método (EPA)	Resultados Mg/Kg	Limites Mg/Kg
Arsénico	SW 846 6010B	<0.005	75
Mercurio	SW 846 7470A	0.0017	57
Selenio	SW 846 6010B	<0.005	100

Tabla 8: Resultados de laboratorio (Lechos de Secado 8 de mayo de 2007):

Parámetros	Método (EPA)	Resultados Mg/Kg	Limites Mg/Kg
Arsénico	SW 846 6010B	<0.005	75
Mercurio	SW 846 7470A	0.0006	57
Selenio	SW 846 6010B	<0.005	100

Tabla 9: Resultados de laboratorio (Lechos de Secado 31 de julio de 2007):

Parámetros	Método (EPA)	Resultados Mg/Kg	Limites Mg/Kg
Arsénico	SW 846 6010B	<0.005	75
Mercurio	SW 846 7470A	0.0006	57
Selenio	SW 846 6010B	<0.005	100

Tabla 10: Resultados de laboratorio (Lechos de Secado # 12

)

Parámetros	Método (EPA)	Resultados Mg/Kg	Limites Mg/Kg
Arsénico	SW 846 6010B	0.159	75
Mercurio	SW 846 7470A	0.079	57
Selenio	SW 846 6010B	0.159	100

Tabla 11: Resultados de laboratorio (Sistema de Relleno Sanitario Punto A)

Parámetros	Método (EPA)	Resultados Mg/Kg	Limites Mg/Kg
Arsénico	SW 846 6010B	0.347	75
Mercurio	SW 846 7470A	0.173	57
Selenio	SW 846 6010B	0.347	100

Tabla 12: Resultados de laboratorio (Sistema de Relleno Sanitario Punto B)

Parámetros	Método (EPA)	Resultados Mg/Kg	Limites Mg/Kg
Arsénico	SW 846 6010B	0.362	75
Mercurio	SW 846 7470 ^a	0.172	57
Selenio	SW 846 6010B	0.362	100

Figuras

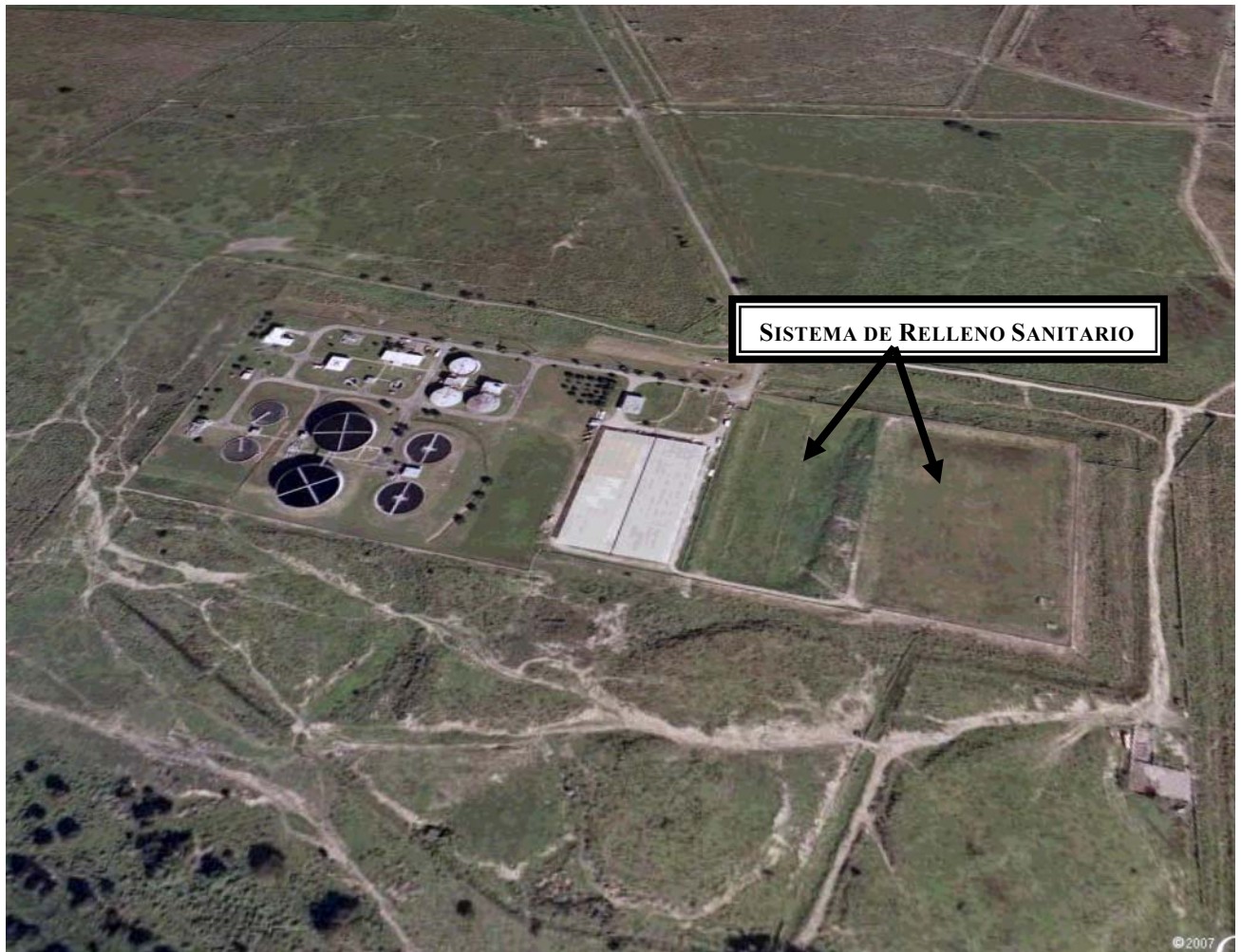


Figura 1. Sistema de Relleno Sanitario Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Humacao.



Figura 2. .Área de Investigación Sistema de Lechos de Secado y Relleno Sanitario.

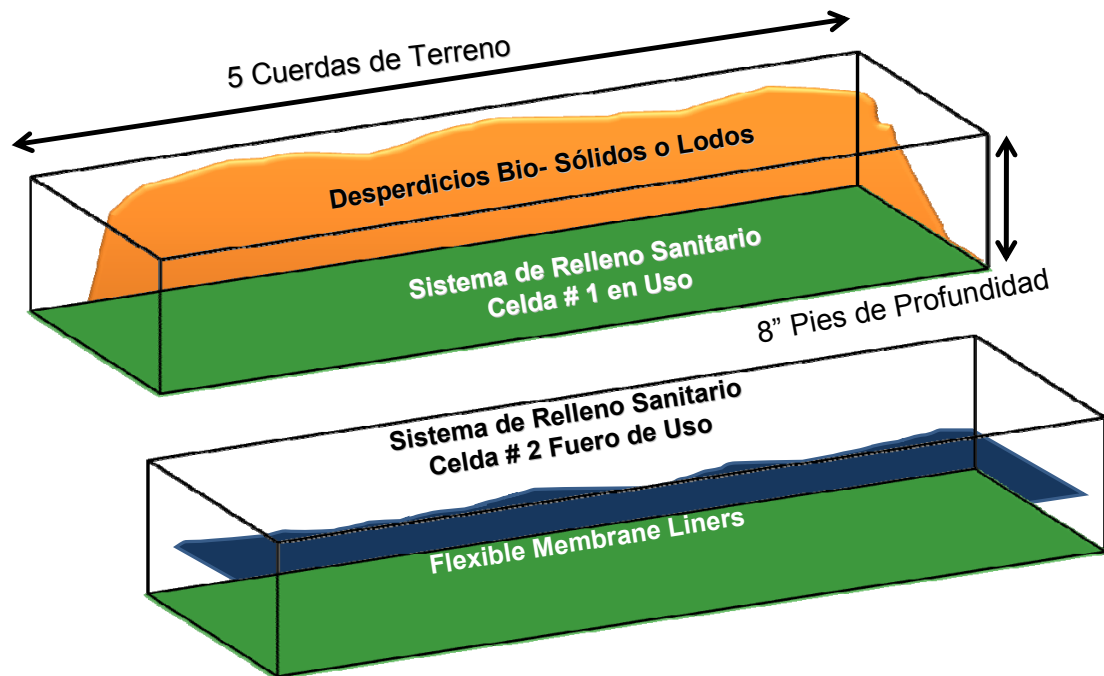


Figura 3. Diagrama sistema de celdas y membrana impermeable sistema de relleno sanitario.

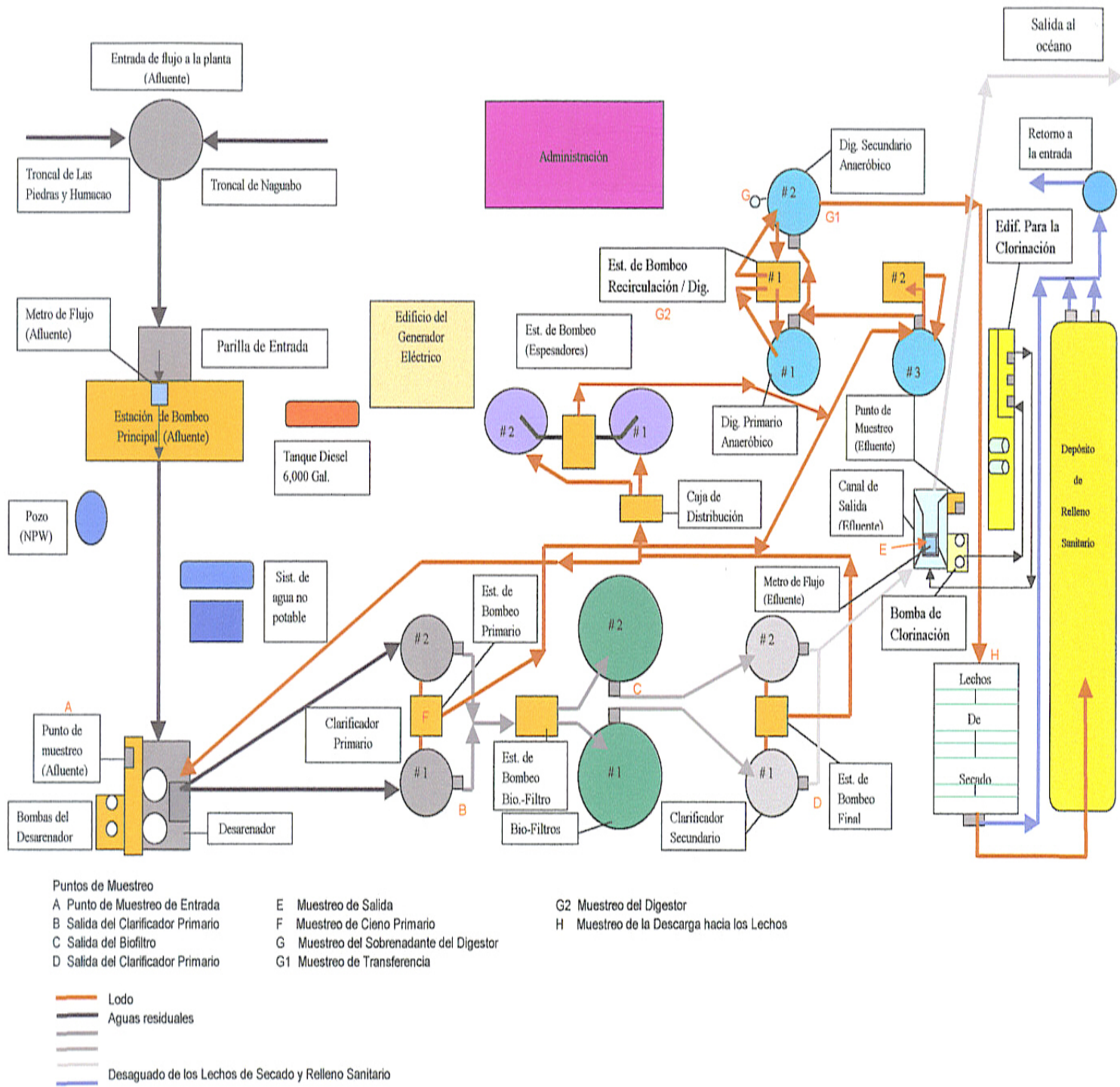


Figura 4. Flujograma de Proceso

Lechos de Secado Planta Regional de Humacao

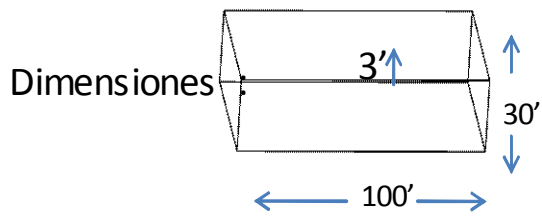
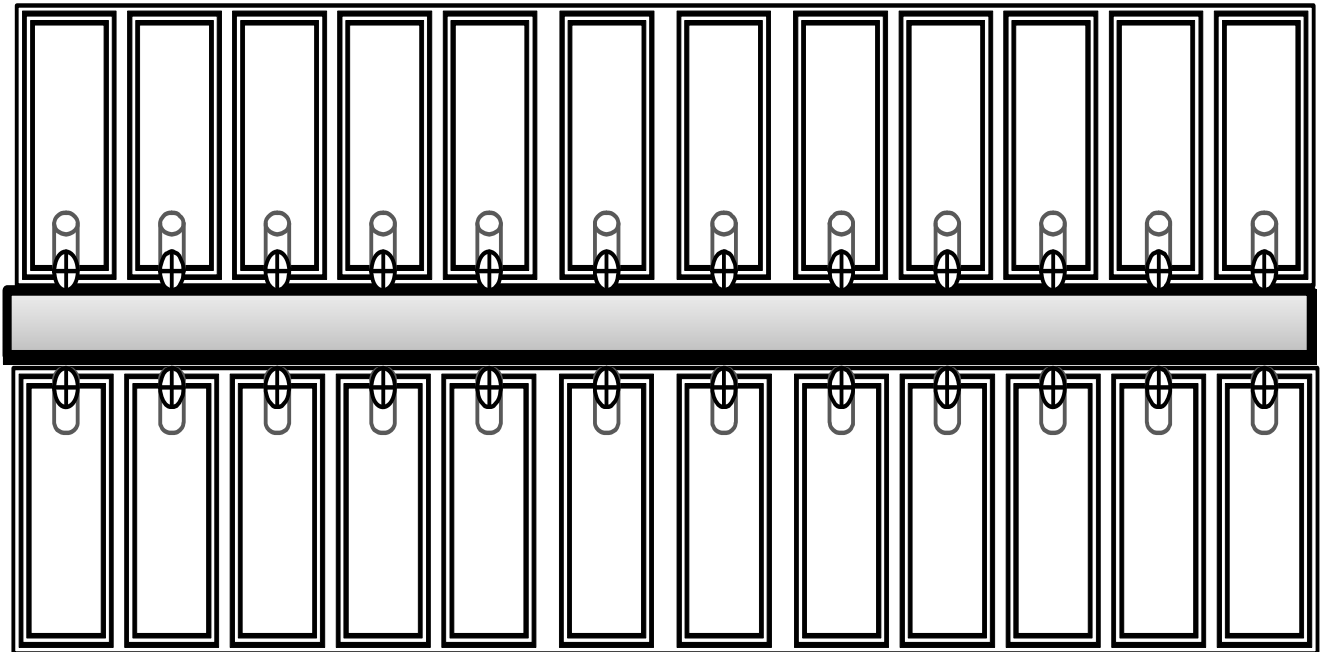


Figura 5. Diagrama sistema de lechos de secado.



Figura 6.Foto Área Sistema de Lechos de Secado.



Figura 7.Foto Aérea Sistema de Relleno Sanitario.

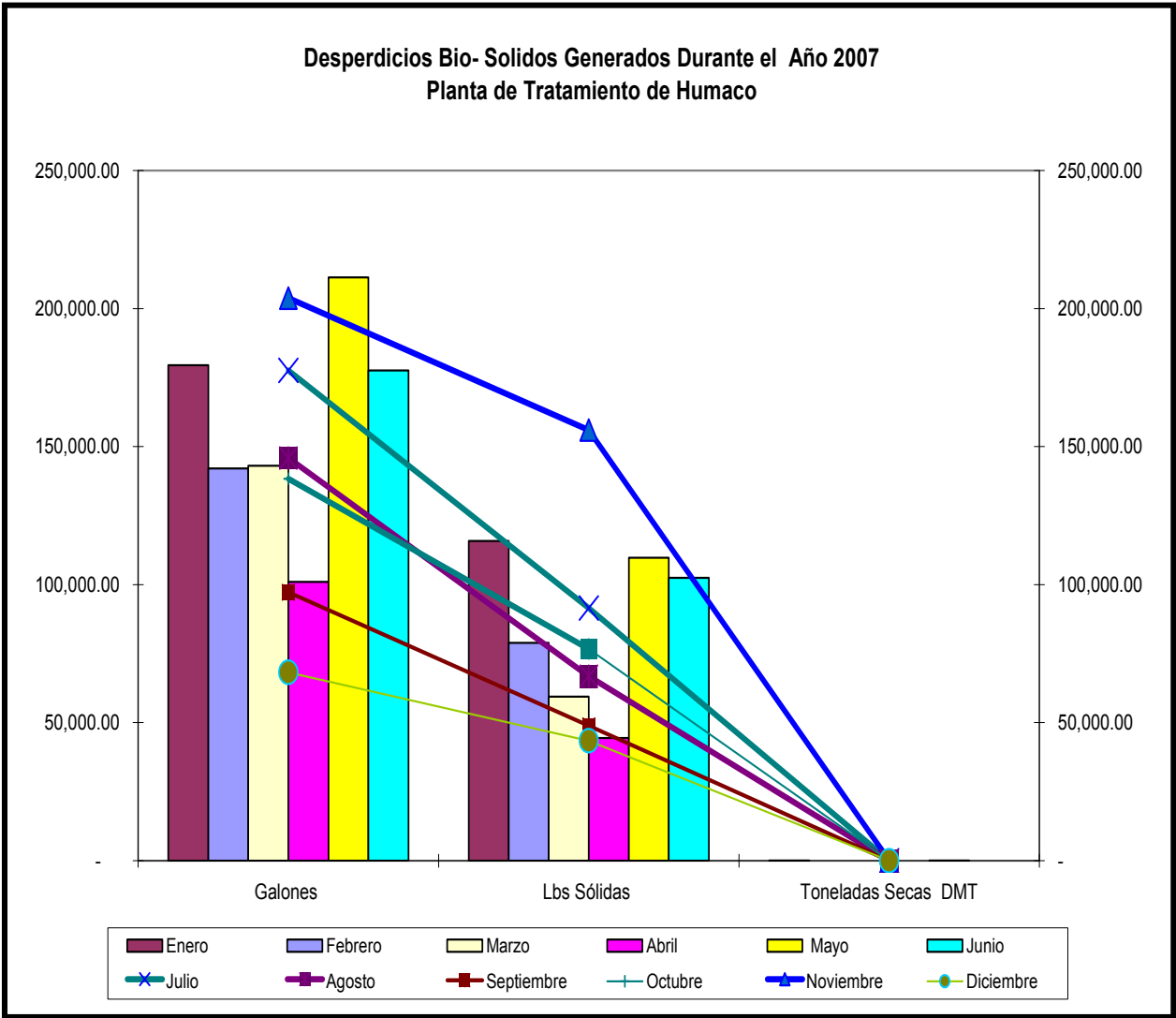


Figura 8. Grafica Total de Desperdicios Bio- Sólidos Generados durante el año 2007.

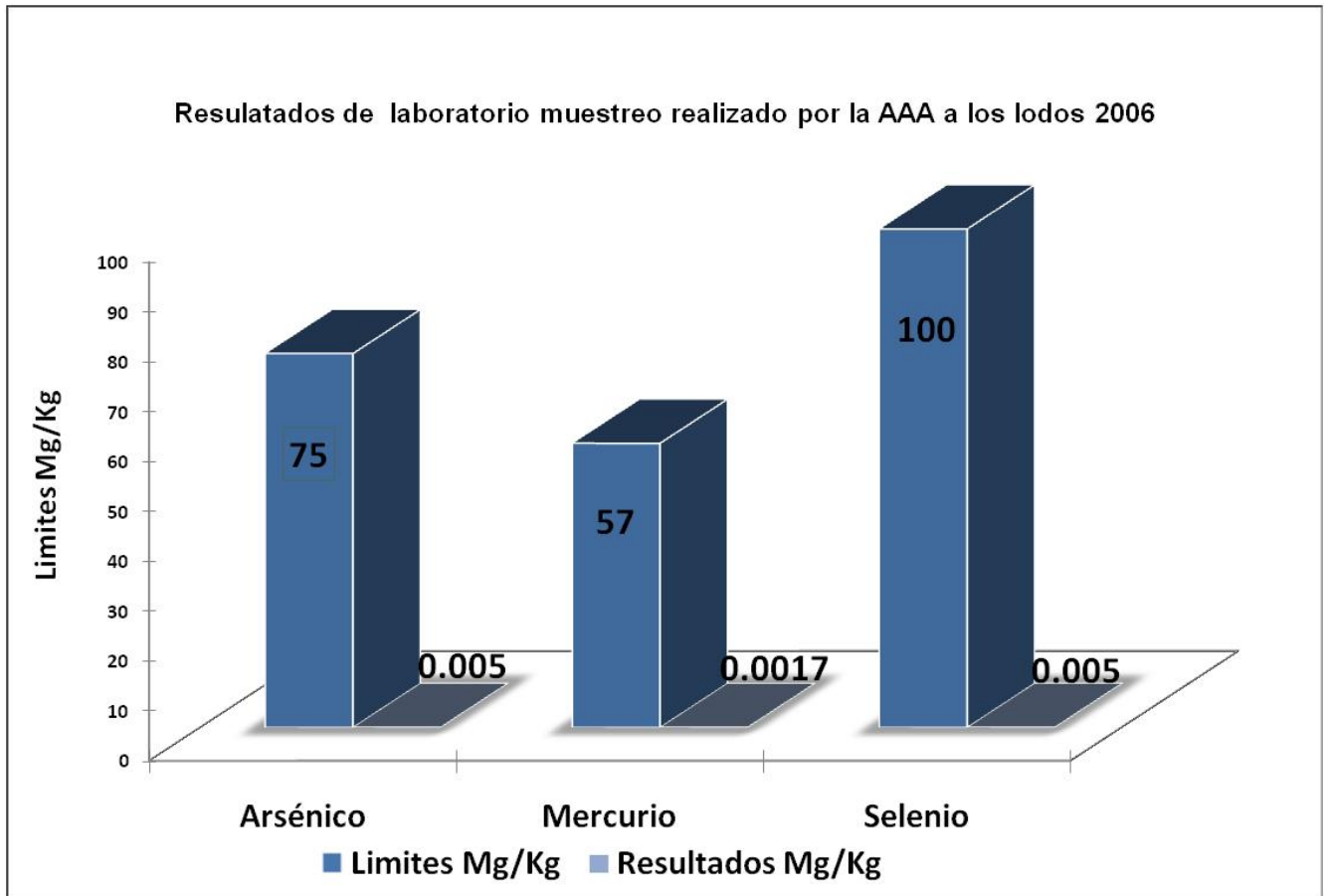


Figura 9. Resultados de laboratorio año 2006.

Nota: Información suministrada por la administración de la planta de tratamiento de Humacao.

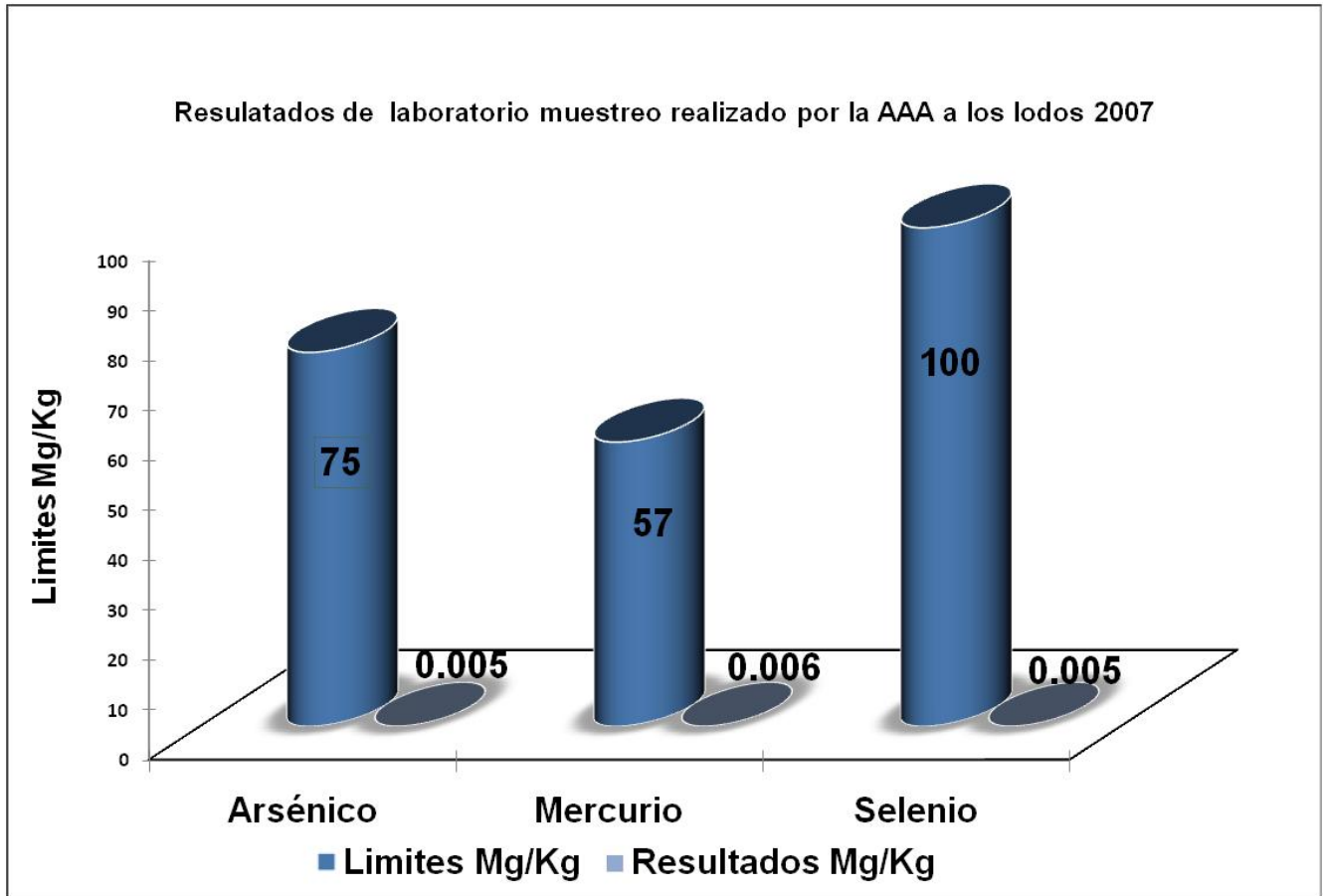


Figura 10. Resultados de laboratorio año 2007.

Nota: Información suministrada por la administración de la planta de tratamiento de Humacao.

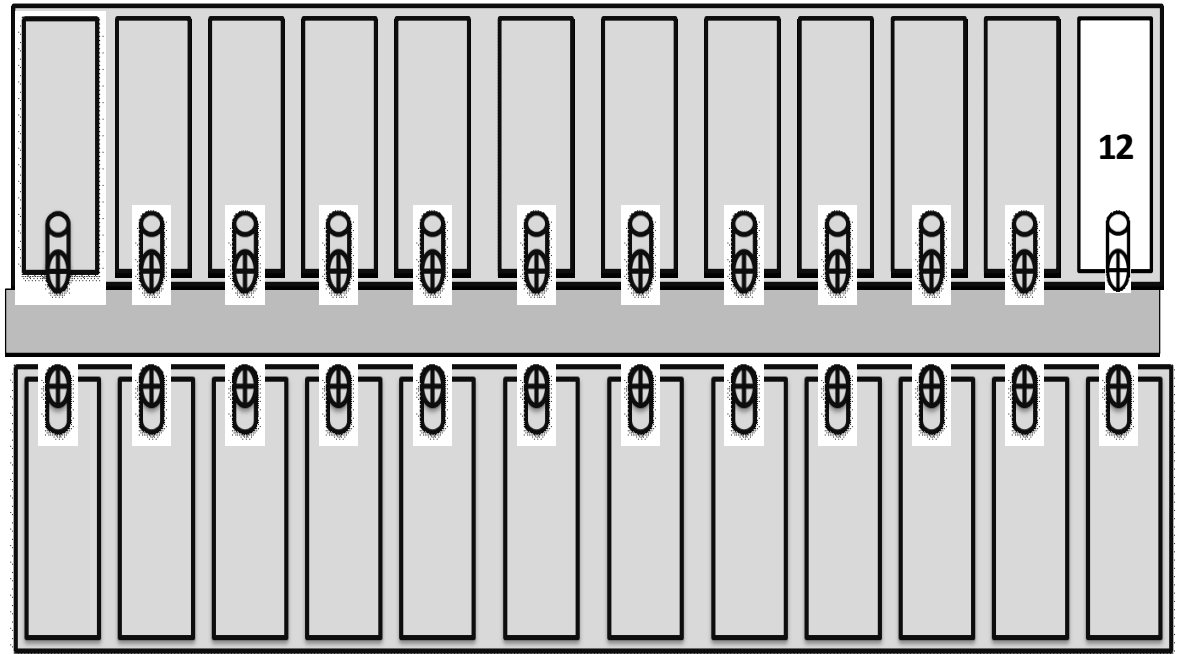


Figura 11.Diagrama sistema de lechos de secado muestreo Lecho # 12.

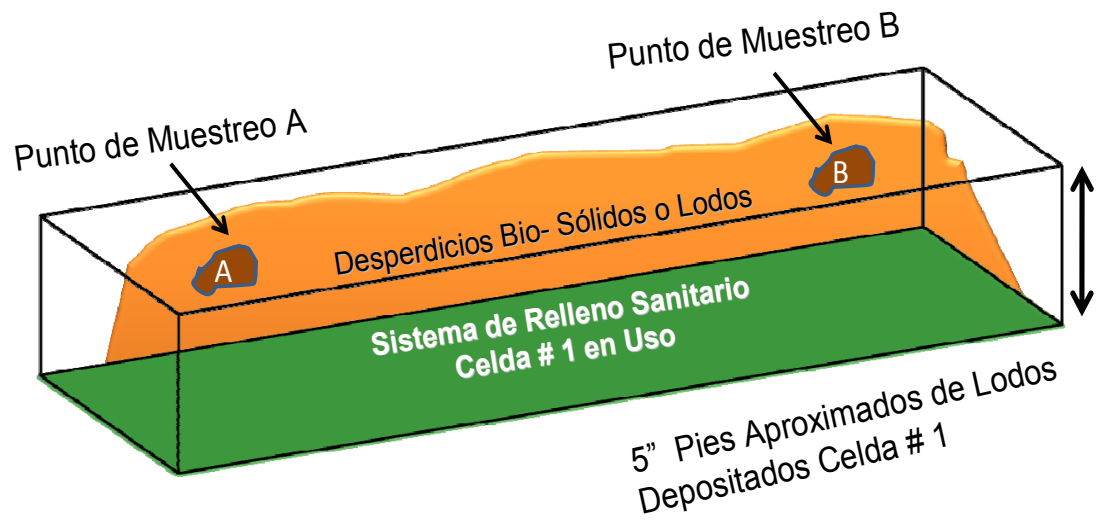


Figura 12.Diagrama punto de muestreo A y B.

Sistema de Relleno Sanitario Punto de Muestreo A

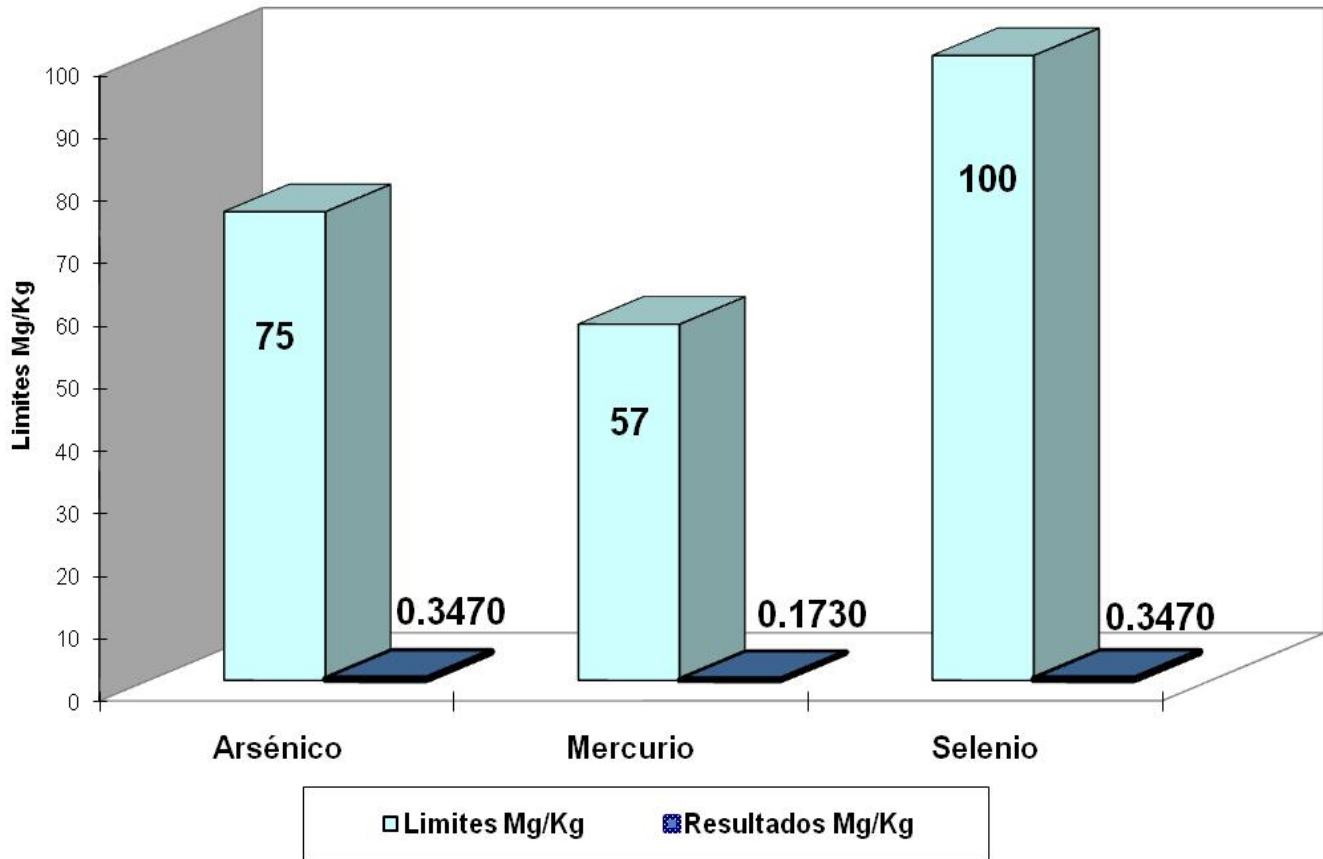


Figura 13. Sistema de relleno sanitario punto de muestreo A.

Sistema de Relleno Sanitario Punto de Muestreo B

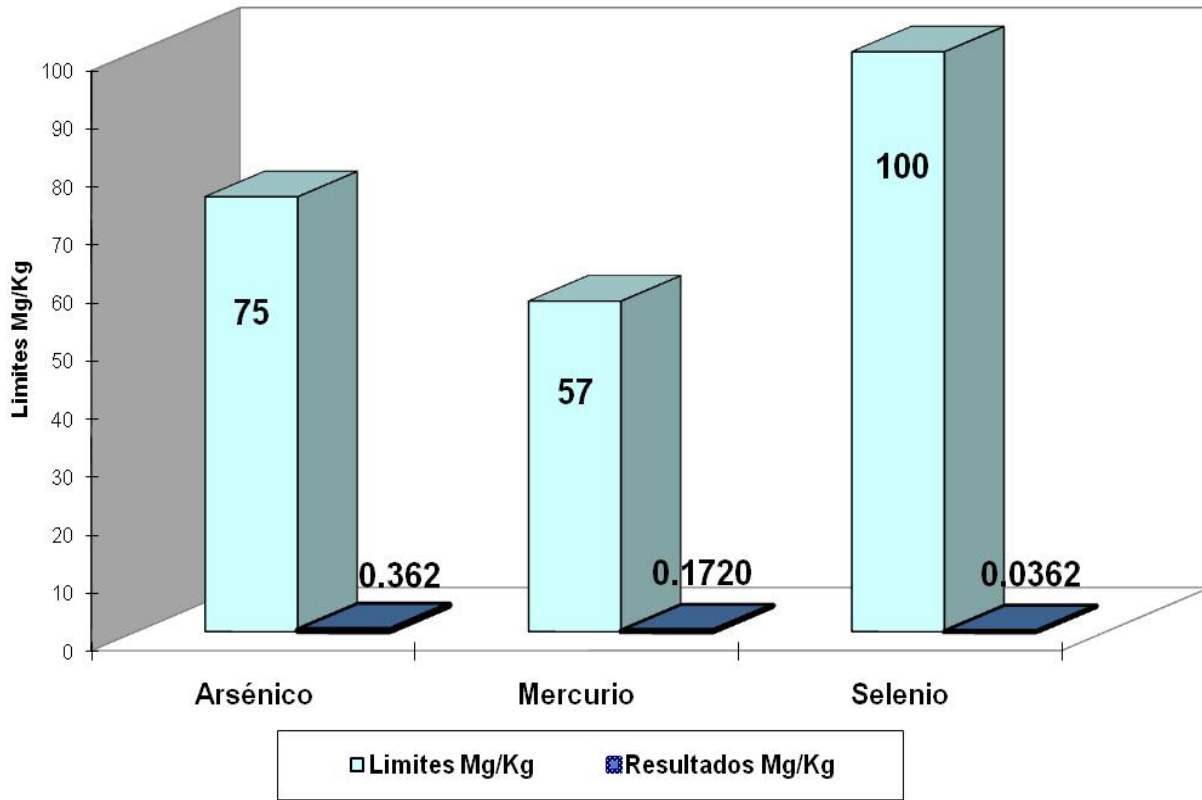


Figura 14. Sistema de relleno sanitario punto de muestreo B.

Apéndice 1

Resultados de laboratorio muestra lecho de secado # 12



BECKTON ENVIRONMENTAL
LABORATORIES, INC.



REPORT OF ANALYSIS

ATTENTION: Mr. Edwin Bayron
COMPANY: Bard Shannon
Humacao, P.R.

DATE: December 31, 2007
CONTRACT: Bard Shannon, Humacao

LAB. SAMPLE ID: BEL-0708081
SAMPLE COLLECTED BY: W. Serrano
DATE RECEIVED: 12/13/07

DATE: 12/13/07
TIME: 11:15AM

DESCRIPTION: Lecho de secado Cama #12
LAB. FILE ID: 0708081
MATRIX: Sludge

PARAMETER	EPA METHOD	SAMPLE TYPE	UNITS	BEL-0708081	METHOD DETECTION LIMIT	ANALYST	DATE ANALYZED
Arsenic	SW 846 6010B	Grab	mg/Kg	3.42	0.159	HS	12/27/07
Mercury	SW 846 7470A	Grab	mg/Kg	3.88	0.079	HS	12/26/07
Selenium	SW 846 8010B	Grab	mg/Kg	7.31	0.159	HS	12/27/07

Results reported in dry weight basis.

Method Detection Limit (MDL)-The minimum concentration of a substance that can be measured and reported with 99% confidence that the value is above zero.

Certification and release of the data contained in the Report of Analysis has been authorized by the Laboratory Manager or the Manager's C


Lcda. Iris M. Chévere Alfonzo
Laboratory Director
Chemist License 2378





PAGE 1 OF 1

Apéndice 2

Resultados de laboratorio nuestro punto de muestreo A



BECKTON ENVIRONMENTAL
LABORATORIES, INC.



REPORT OF ANALYSIS

ATTENTION: Mr. Edwin Bayron
COMPANY: Bard Shannon
Humacao, P.R.

DATE: December 31, 2007

CONTRACT: Bard Shannon, Humacao

LAB. SAMPLE ID: BEL-0708082
SAMPLE COLLECTED BY: W. Serrano
DATE RECEIVED: 12/13/07

DATE: 12/13/07
TIME: 11:35AM

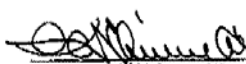
DESCRIPTION: Land Fill #1
LAB. FILE ID: 0708082
MATRIX: Soil

PARAMETER	EPA METHOD	SAMPLE TYPE	UNITS	BEL-0708082	METHOD DETECTION LIMIT	ANALYST	DATE ANALYZED
Arsenic	SW 846 6010B	Grab	mg/Kg	3.81	0.347	HS	12/27/07
Mercury	SW 846 7470A	Grab	mg/Kg	3.90	0.173	HS	12/28/07
Selenium	SW 846 6010B	Grab	mg/Kg	4.68	0.347	HS	12/27/07

Results reported in dry weight basis.

Method Detection Limit (MDL)-The minimum concentration of a substance that can be measured and reported with 99% confidence that the value is above zero.

Certification and release of the data contained in the Report of Analysis has been authorized by the Laboratory Manager or the Manager's Designee.


Lcda. Iris M. Chévere Alfonzo
Laboratory Director
Chemist License 2370



PAGE 1 OF 1

Apéndice 3

Resultados de laboratorio muestra punto de muestreo B



BECKTON ENVIRONMENTAL
LABORATORIES, INC.



REPORT OF ANALYSIS

ATTENTION: Mr. Edwin Bayron
COMPANY: Bard Shannon
Humacao, P.R.

DATE: December 31, 2007

CONTRACT: Bard Shannon, Humacao

LAB. SAMPLE ID: BEL-0708083
SAMPLE COLLECTED BY: W. Serrano
DATE RECEIVED: 12/13/07

DATE: 12/13/07
TIME: 11:30AM

DESCRIPTION: Vertedero #2
LAB. FILE ID: 0708083
MATRIX: Soil

PARAMETER	EPA METHOD	SAMPLE TYPE	UNITS	BEL-0708083	METHOD DETECTION LIMIT	ANALYST	DATE ANALYZED
Arsenic	SW 846 6010B	Grab	mg/Kg	5.79	0.362	HS	12/27/07
Mercury	SW 846 7470A	Grab	mg/Kg	6.81	0.172	HS	12/26/07
Selenium	SW 846 6010B	Grab	mg/Kg	7.96	0.362	HS	12/27/07

Results reported in dry weight basis.

Method Detection Limit (MDL)-The minimum concentration of a substance that can be measured and reported with 99% confidence that the value is above zero.

Certification and release of the data on this Report of Analysis has been authorized by the Laboratory Manager or the Manager's Designee.

[Signature]
Lcda. Iris M. Chévere Alfaro
Laboratory Director
Chemist License 2370



PAGE 1 OF 1

