

**ESTUDIO PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS
DE RELLENOS SANITARIOS**

CLAUDIA JOHANA MORALES

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN
INGENIERIA SANITARIA
2007**

**ESTUDIO PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS
DE RELLENOS SANITARIOS**

CLAUDIA JOHANA MORALES

**TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO ESPECIALISTA EN
INGENIERIA AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN INGENIERIA SANITARIA**

**DIRECTORA
ADELA LONDOÑO CARVAJAL
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN
INGENIERIA SANITARIA
2007**

TABLA DE CONTENIDO	Pág.
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. MARCO TEORICO.....	16
3.1 LIXIVIADO	16
3.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADO Y OTROS CONTAMINANTES.....	16
3.3 CANTIDAD DE LIXIVIADOS.....	18
3.4 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS.....	19
3.5 MÉTODOS DE TRATAMIENTO	20
3.5.1 Procesos Físicos-Químicos.....	20
3.5.2 Membranas (Ósmosis inversa)	21
3.5.3 Adsorción	21
3.5.3.1 Carbón Activado	23
3.5.3.2 Zeolita.....	24
3.5.3.3 Gel de Sílice	24
3.5.4 Métodos Electroquímicos	24
3.5.4.1 Electrodialisis.....	24
3.5.4.2 Electrocoagulación	25
3.5.5 Procesos Biológicos	25
3.5.5.1 Adsorción por Algas y Plantas Acuáticas	25
3.5.5.2 Lagunas de estabilización	26
4. RELLENO SANITARIO “LA ESMERALDA”	27
4.1 LOCALIZACIÓN	27

4.2 VOLUMENES DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	27
4.3 DISPOSICIÓN Y TRTAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	27
4.4 ESTACIÓN METEOROLOGICA.....	31
5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO LIXIVIADOS	32
5.1 CANALIZACIÓN	32
5.2 HOMOGENIZACIÓN	35
5.2.1 Homogenizador o hidrolizador.	35
5.2.2 Tanque de nutrientes.	35
5.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO	36
5.4 SEDIMENTACIÓN	37
5.5 OXIGENACIÓN	37
5.6 MANEJO DE LODOS	37
4. METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN	38
4.1 SELECCIÓN FECHAS DE MUESTREO	38
4.2 SITIO DE MUESTREO	42
4.3 CARACTERÍSTICAS DE MUESTREO	43
5. METALES PESADOS ANALIZADOS.....	43
5.1. PLOMO.....	44
5.2 CROMO	45
5.3 CADMIO	46
5.4 MERCURIO	47
6. RESULTADOS	51
6.1 MUESTREO 27 DE JUNIO.....	51
6.2 MUESTREO DE 10 DE JULIO	54
6.3 MUESTREO 17 DE JULIO	57
6.4 MUESTREO 19 DE JULIO	61
7. RESUMEN DE RESULTADOS	64
8. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	67
9. BIBLIOGRAFIA	69

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Resultados de Caracterización del Sistema de Tratamiento de los Lixiviados (Abril 18 de 2006).....	14
Tabla 2. Resultados Caracterización del Sistema de Tratamiento de los Lixiviados (Febrero 23 de 2007).	15
Tabla 3. Resultados Caracterización del Sistema de Tratamiento de los Lixiviados (Abril 20 de 2007).....	15
Tabla 4. Eventos de Lluvia del día 26 de junio de 2007.....	39
Tabla 5. Eventos de Lluvias del día 7 de julio de 2007	40
Tabla 6. Eventos de Lluvias del día 8 de julio de 2007	40
Tabla 7. Lluvia Ligera 17 de julio de 2007	41
Tabla 8. Lluvia Ligera el día 19 de julio	42
Tabla 9. Resultados de Laboratorio. Junio 27 de 2007.....	51
Tabla 10. Resultados de Laboratorio. Julio 10 de 2007.....	55
Tabla 11. Resultados de Laboratorio. Julio 17 de 2007.....	58
Tabla 12. Resultados de Laboratorio. Julio 19 de 2007.....	61
Tabla 13. Resumen de Resultados	65

LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Grafico 1. Histograma de Lluvia Fuerte de 26 de junio.	39
Grafico 2. Histograma de Lluvia Fuerte de 7 de julio de 2007.....	40
Grafico 3. Histograma de Lluvia Fuerte de 8 de julio de 2007.....	41
Grafico 4. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Junio 27 de 2007.....	52
Grafico 5. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Junio 27 de 2007.....	53
Grafico 6. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Junio 27 de 2007.....	53
Grafico 7. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Junio 27 de 2007.....	54
Grafico 8. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Julio 10 de 2007.	55
Grafico 9. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Julio 10 de 2007.	56
Grafico 10. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Julio 10 de 2007.....	57
Grafico 11. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Julio 10 de 2007.....	57
Grafico 12. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Julio 17 de 2007.....	58
Grafico 13. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Julio 17 de 2007.....	59
Grafico 14. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Julio 17 de 2007.....	60

Grafico 15. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Julio 17 de 2007.....	60
Grafico 16. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Julio 19 de 2007.....	62
Grafico 17. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Julio 19 de 2007.....	63
Grafico 18. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Julio 19 de 2007.....	63
Grafico 19. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Julio 17 de 2007.....	64
Grafico 20. Resultados de Mercurio contra Caudal de Lixiviados.	66
Grafico 21. Resultados de Cromo contra Caudal de Lixiviados.	67

LISTA DE FOTOS

Pág.

Foto 1. Panorámica General del Relleno Sanitario La Esmeralda 30
Foto 2. Área Total Relleno Sanitario La Esmeralda 31
Foto 3. Sitio de Muestreo 43

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1 71
Anexo 2 76
Anexo 3 83
Anexo 4 85
Anexo 5 90
Anexo 6 92
Anexo 7 94

RESUMEN

Este trabajo reúne varias caracterizaciones realizadas a los lixiviados que se generan en el Relleno Sanitario La Esmeralda los cuales se vierten en la Quebrada Aguas Frías, se realizaron en cuatro jornadas de muestreo en las cuales se caracterizaron 4 metales pesados: plomo, cromo, mercurio y cadmio; estas jornadas se realizaron tanto en días lluviosos como en días secos.

Según los resultados obtenidos las concentraciones de los metales analizados se encuentran cumpliendo con lo establecido por el decreto 1594/84, a excepción del mercurio que se encuentra por encima de los límites permisibles.

Para el mercurio se tiene datos hasta de 3,6 mg/L. Se determinó que la influencia del clima es significativa en concentración, pero en carga tiene (kg/d) menores variaciones; sin embargo no se ha establecido correlación debido a los pocos días caracterizados.

Es por lo tanto es necesario estudiar la instalación de un proceso adicional para el tratamiento del mercurio con el propósito de dar cumplimiento a la normatividad.

ABSTRACT

This work assembles several characterizations realized to the lixiviados that generate in the Sanitary Landfill The Emerald which spill in the Gully Cold Waters, they were realized in four days of sampling in which 4 heavy metals were characterized: lead, chrome, mercury and cadmium; these days were realized both in the rainy days and in dry days.

According to the obtained results the concentrations of the analyzed metals are expiring with the established for the decree 1594/84, with the exception of the mercury that one finds over the permissible limits.

For the mercury information is had up to of 3,6 mg/L. One determined that the influence of the climate is significant in concentration, but in load it has (kg/d) minor variations; nevertheless correlation has not been established due to a few characterized days.

It is therefore it is necessary to study the installation of an additional process for the treatment of the mercury with the intention of giving fulfillment to the normatividad.

INTRODUCCIÓN

El lixiviado es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable transportando sustancias contenidas en el material y producidas en las reacciones de este. Puede contener tanto material suspendido o disuelto, generalmente ambos. Este líquido es comúnmente hallado y asociado a Rellenos sanitarios, en donde es el resultado de las lluvias percolando a través de los desechos sólidos y reaccionando con los productos de descomposición, de la basura. Si el Relleno Sanitario no tiene sistema de recolección de lixiviados, éstos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar problemas medioambientales y de salud. Típicamente, el lixiviado es anóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro. El lixiviado tiene un olor bien característico, difícil de ser confundido y olvidado.

En el relleno sanitario “LA ESMERALDA” de la ciudad de Manizales, los lixiviados son canalizados y posteriormente llevados a un sistema de tratamiento que consta de: cámara de sedimentación primaria, tanque homogenizador, tanque regulador reactor UASB, sedimentación secundaria y un lecho de secado para los lodos generados en el proceso de tratamiento.

En el presente trabajo se realizaron cuatro jornadas de muestreo en las cuales se caracterizaron 4 metales pesados: plomo, cromo, mercurio y cadmio; estas jornadas de muestreo se realizaron tanto en días lluviosos como en días secos.

Según los resultados obtenidos las concentraciones de los metales analizados se encuentran cumpliendo con lo establecido por el decreto 1594/84, a excepción del mercurio que se encuentra por encima de los límites permisibles.

Para el mercurio se tiene datos hasta de 3,6 mg/L. Se determinó que la influencia del clima es significativa en concentración, pero en carga tiene (kg/d) menores

variaciones; sin embargo no se ha establecido correlación debido a los pocos días caracterizados.

Es por lo tanto es necesario estudiar la instalación de un proceso adicional para el tratamiento del mercurio con el propósito de dar cumplimiento a la normatividad.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la necesidad de remover metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario “LA ESMERALDA”.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Hacer caracterizaciones de los metales pesados (Plomo, Cromo, Mercurio, Cadmio) para conocer la contaminación por metales pesados que aportan los lixiviados tratados.
- Estudiar la variación de la concentración de algunos metales para implementar un tratamiento para su remoción.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según caracterizaciones realizadas periódicamente a estos lixiviados los valores que se obtiene a la salida del sistema demuestran que la empresa se encuentra cumpliendo con los parámetros establecidos por la norma, en este caso el decreto 1594/84 en el artículo 74; adicional a esto, la remoción de los metales pesados como son mercurio, cromo, cadmio y plomo es muy baja (ver tabla 1, 2 y 3) a la salida del sistema. Los resultados de dichas caracterizaciones no son representativas ya que son muestras puntuales y esporádicas respecto a los

cambios que pueden ocurrir durante los procesos de disposición de residuos sólidos y del tratamiento de los lixiviados.

En las siguientes tablas se encuentran los resultados de las caracterizaciones realizadas a los lixiviados en los últimos 2 años. En estas caracterizaciones se puede observar que los resultados a la salida (Quebrada Aguas Frías) se encuentran entre las concentraciones que establece la norma (decreto 1594/84), pero también se puede notar que los últimos años los resultados cumplen la normatividad pero las concentraciones de metales aumentan en algunas ocasiones a la salida del sistema.

Tabla 1. Resultados de Caracterización del Sistema de Tratamiento de los Lixiviados (Abril 18 de 2006).

PARÁMETRO	Entrada	Salida	Decreto 1594/84 (mg/L)	Cumple
Mercurio (mg/L)	0.00395	0,00054	0,02	si
Cromo (mg/L)	0.5	0.04	0,5	si
Plomo (mg/L)	0.24	0.07	0,5	si
Cadmio (mg/L)	*		0.1	

*Sin análisis

Fuente: Laboratorio AQUATEST

Tabla 2. Resultados Caracterización del Sistema de Tratamiento de los Lixiviados (Febrero 23 de 2007).

PARÁMETRO	Entrada Sistema	Salida (Q. Aguas Frías)	Decreto 1594/84 (artículo 74) (mg/L)	Cumple
Mercurio (mg/L)	0.00575	0,009	0,02	si
Cromo (mg/L)	0.12	0.15	0,5	si
Plomo (mg/L)	0.14	0.11	0,5	si
Cadmio (mg/L)	0.01	0.01	0.1	si

Fuente: Laboratorio AQUATEST

Tabla 3. Resultados Caracterización del Sistema de Tratamiento de los Lixiviados (Abril 20 de 2007).

PARÁMETRO	Entrada Sistema	Salida (Q. Aguas Frías)	Decreto 1594/84 (artículo 74) (mg/L)	Cumple
Mercurio (mg/L)	$6 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	0,02	si
Cromo (mg/L)	1,32	0,71	0,5	no
Plomo (mg/L)	0,16	0,15	0,5	si
Cadmio (mg/L)	0,02	0,02	0.1	si

Fuente: Laboratorio AQUATEST

3. MARCO TEORICO

3.1 LIXIVIADO

El lixiviado es el líquido que ha percolado a través de los desechos sólidos y ha extraído material disuelto o suspendido de él y sustancias solubilizadas en el proceso de estabilización de los residuos sólidos. La porción líquida del lixiviado está conformado por el líquido producido en la descomposición de los desechos y el que ha entrado al relleno de fuentes externas como la escorrentía superficial, agua lluvia, agua subterránea y manantiales.

En el caso de este relleno se excluyen las fuentes externas porque se dispone de impermeabilización y el diseño impide que corrientes superficiales ingresen al relleno. Entonces el lixiviado será solamente el líquido producido en la estabilización de la basura y el aporte de las lluvias en el área del relleno.

Cuando el líquido percola a través de los desechos sólidos que están en descomposición bien sea en condiciones aeróbicas durante las primeras semanas (en áreas húmedas) o en el primer año (áreas secas), o en condiciones anaeróbicas cuando ya no hay oxígeno presente; ambos, material biológico y constituyentes químicos, son tomados ya que los residuos sólidos están compuestos físicamente por un 40-50% de agua, vegetales, animales, plásticos, desechos combustibles, vidrios, cenizas, etc. Químicamente están compuestos por sustancias orgánicas, compuestos minerales y residuos sólidos peligrosos (organoclorados, organofosforados, cianuros y otros).

3.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADO Y OTROS CONTAMINANTES

Las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados generados en un relleno sanitario son específicas para cada sitio, ya que dependen de la

composición de los desechos depositados y de las condiciones reinantes en él, como clima, temperatura, contenido de humedad, edad del relleno, régimen de precipitación pluvial, tipo de cobertura y densidad de la masa de vertido. permitiendo establecer las condiciones específicas para efectuar los estimativos respecto a la generación de gases y lixiviados.

Los gases, principalmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), que genera la descomposición anaerobia de sustancias orgánicas del relleno son también motivo de preocupación. De acuerdo con la etapa de descomposición que se alcance, el metano puede constituir hasta el 60 % de los componentes gaseosos que genera un relleno sanitario. El metano es un gas inodoro y combustible, más ligero que el aire y explosivo cuando su concentración en aire está entre el 5 y el 15%. El dióxido de carbono es un problema debido a que es más denso que el aire (1.5 veces), y tiende a moverse hacia abajo en el relleno hasta alcanzar las aguas subterráneas. Teniendo en cuenta que el CO_2 soluble en el agua crea un ambiente ácido debido a la formación del ácido carbónico (H_2CO_3) en el cual los minerales como calcio, magnesio, hierro, cadmio, plomo y cinc, presentes en los desechos (o en el suelo), tienden a disolverse y avanzar hacia el nivel freático. El calcio y el magnesio solo aportan dureza a las aguas subterráneas, pero los metales pesados tóxicos constituyen un problema más serio porque pueden hacer que el agua no sea adecuada para consumo humano.

Las diferencias se originan principalmente en los altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable, que se tiene en los residuos sólidos en los países en desarrollo. La materia orgánica fácilmente biodegradable tiene un contenido de humedad alto, y como su nombre lo indica se degrada rápidamente en el relleno sanitario, produciendo a su vez altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco en general mucho más altas que las que se reportan típicamente para lixiviados de países desarrollados producto de la

fermentación inicial. A su vez, estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno.

El atascamiento de los sistemas de drenaje, de conducción y de tratamiento de los lixiviados es siempre un problema práctico de gran significancia en los rellenos sanitarios. El bajo pH a su vez puede interferir con el funcionamiento de numerosas tecnologías que se proponen, por ejemplo, la volatilización del amoníaco, para la cual se requieren pH básicos, o con algunos procesos biológicos como la nitrificación, o químicos como la oxidación del hierro.

De igual manera, la remoción de DBO se ve afectada por la toxicidad que generan los metales, pero a su vez, la remoción de metales, incluyendo aquellos incrustantes como el hierro, se ve interferida por la presencia de la DBO que sirve como agente acomplejante que mantienen los metales en solución dificultando y limitando severamente su remoción. Estamos entonces en una encrucijada, los metales afectan la remoción de la DBO, y la presencia de DBO la remoción de los metales, sin dejar en claro por donde empezar a tratar.

3.3 CANTIDAD DE LIXIVIADOS

La cantidad de los lixiviados en un relleno sanitario también es un punto importante a considerar en el momento de la selección de la tecnología para su tratamiento. La cantidad de los lixiviados es función de tres variables principales. El área rellenada, la cantidad de infiltración que se permita, y el sistema de drenaje, impermeabilización. El área rellenada afecta porque es a través de ella que se realiza la entrada y el contacto del agua de infiltración con la basura. Al aumentar el área rellenada, aumenta paralelamente la cantidad de lixiviados. Teniendo en cuenta que los rellenos son sistemas que duran lustros y décadas en su funcionamiento, igualmente se espera que la cantidad de lixiviados aumente.

Este aumento es un aumento gradual, lento, con los años.

Por otra parte la cantidad de infiltración que se permita al relleno depende de numerosas variables tales como: la operación que se le dé al relleno- como por ejemplo la desviación de aguas de escorrentía, la cantidad de precipitación directa que se tenga en la zona, y la presencia de infiltraciones subterráneas. Usualmente las variaciones en la producción de lixiviados asociadas a las infiltraciones, son variaciones rápidas, asociadas a la lluvia por ejemplo, y que hacen oscilar notablemente la cantidad de lixiviados que se debe tratar.

Por ultimo, los sistemas de drenaje e impermeabilización son importantes porque son los que permiten que los lixiviados no contaminen los suelos y las aguas subterráneas, y además que el lixiviado que se produce en realidad se recoja y se permita su tratamiento. De la misma manera, una vez se hace el cerramiento de las diferentes áreas de los rellenos, los caudales de infiltración disminuyen notablemente, generando una caída abrupta en la cantidad de lixiviado a tratar.

Se tienen entonces dos dinámicas distintas que afectan la cantidad de los lixiviados a tratar, una lenta que afecta el caudal medio y una rápida que afecta los caudales diarios. Las variaciones de los caudales de lixiviados afectan de manera diferente a los sistemas de tratamiento. Algunos sistemas pueden acomodar en su proceso las variaciones en caudal, sin afectar el rendimiento, mientras que otros no. Esto puede generar la necesidad de estructuras de almacenamiento y ecualización de caudales que afectan los costos del proceso.

3.4 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS

Una vez presentadas las principales características de los lixiviados que hay que tener en cuenta en su tratamiento, en el presente apartado se pasa a hacer una exposición de las principales tecnologías para el tratamiento de los lixiviados. Se hace primero una exposición de las principales tecnologías existentes, y luego se pasa a mirar algunos avances recientes.

Las alternativas de tratamiento de lixiviados se pueden categorizar de acuerdo a varias características como por ejemplo de acuerdo a los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover. Vale la pena recordar que los lixiviados contienen todos los mayores grupos de contaminación conocidos como son la contaminación por patógenos, por materia orgánica, la contaminación por nutrientes, y por sustancias tóxicas.

En algunos casos la remoción de uno de los grupos de contaminación se ve impedido por la presencia del otro grupo como es el caso de la remoción de la materia orgánica y los metales pesados.

Todas las tecnologías conocidas para el tratamiento de aguas residuales se han probado para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Existe una extensa literatura técnica sobre las aplicaciones de las diferentes tecnologías para el tratamiento de lixiviados.

3.5 MÉTODOS DE TRATAMIENTO

3.5.1 Procesos Físicos-Químicos

El intercambio iónico es un proceso por medio un sólidos insoluble remueve iones de cargas positivas o negativas de una solución electrolítica y transfiere otros iones de carga similar a la solución en una cantidad equivalente. Este proceso ocurre sin que existan cambios estructurales en el sólido. Si los sólidos intercambian iones positivos (cationes) se denominan intercambiadores catiónicos e intercambiadores aniónicos si intercambian iones negativos (aniones).

El intercambio iónico es un fenómeno muy frecuente en la naturaleza. Las arcillas, coloides y humus vegetales del suelo, tienen la propiedad de intercambiar algunos de sus cationes transportados por las corrientes de agua y aún abonos (calcio y magnesio); así la nutrición de la litosfera en lo relativo a sales minerales, depende

de las propiedades químicas del suelo, especialmente de sus cationes intercambiables y de la capacidad del intercambio del mismo.

El intercambio iónico es un fenómeno dinámico; corresponde al proceso de sorción lo implica el contacto, generalmente en forma de gel que contienen grupos ionizables y constituyen un gran ión insoluble, asociado a iones móviles de carga opuesta. A lo largo de la reacción la estructura física del cambiador mantiene la propiedad de tomar u almacenar en forma selectiva una o más especies de soluto contenidos originalmente en el fluido.

3.5.2 Membranas (Ósmosis inversa)

En proceso de la osmosis inversa el agua es forzada a cruzar una membrana, dejando las impurezas detrás. La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña, que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus son separados del agua.

Es uno de los procedimientos más nuevos para los tratamientos de aguas ya sea para uso en calderas de alta presión, productos farmacéuticos y cosméticas, consumo humano, potabilización del agua del mar, diálisis etc.

Su uso se está extendido rápidamente, debido a su gran versatilidad y a los cada vez más reducidos costos de los equipos y al valor del agua purificada o permeada por unidad de volumen; se considera a la ósmosis inversa como un hiperfiltro, que permite eliminar en un 80 a 98% de sales disueltas u otros contaminantes como son las bacterias, microbios presentes en el agua.

3.5.3 Adsorción

La adsorción es un fenómeno superficial que implica a un adsorbato y un adsorbente debido a la aparición de fuerzas de interacción entre ambos. En el proceso de descontaminación de aguas con carbón activado el mecanismo de adsorción implica es de tipo físico fundamentalmente, lo cual permite desorber el

contaminante una vez que se ha agotado la capacidad del adsorbente gracias al carácter reversible de este tipo de adsorción.

La adsorción es el fenómeno de concentración de una especie química en la interfase debido a la interacción entre las moléculas existentes a ambos lados de la misma. La especie adsorbida recibe el nombre adsorbato, mientras que la especie que adsorbe es el adsorbente.

Dependiendo del tipo de interacción existente entre las dos especies se habla de adsorción física y de adsorción química. En el primer caso, las interacciones son de tipo de Van der Waals, relativamente débiles y de largo alcance. En el segundo caso, se forma un verdadero enlace químico entre el adsorbato y sustrato. La distinta naturaleza de estas interacciones genera muchas diferencias entre ambos tipos de adsorción, entre las que cabe destacar las siguientes: 1, la velocidad de adsorción es mucho mayor en el caso de fisisorción debido a que en este caso prácticamente no hay barrera energética para el proceso de adsorción; 2, como consecuencias de la mayor de interacción, la entalpía de adsorción es mucho mayor en la quimisorción; 3, debido a la formación de los enlaces químicos, la adsorción química se limita a una única capa de adsorbato, mientras que en la fisisorción es común la presencia de múltiples capas (es también posible la presencia de una primera capa quimisorbida y capas adicionales fisisorbidas), 4, la adsorción química es, lógicamente muy selectiva (como cualquier reacción química), mientras que la adsorción física no lo es.

Los adsorbentes más empleados son el carbón activado, tamices moleculares, gel de sílice, polímeros orgánicos y alúminas activadas. La selección del adsorbente más indicado para la aplicación concreta puede estar sujeta a diversos criterios. Entre las propiedades que destacan encontramos su capacidad, costo, regeneración y vida.

3.5.3.1 Carbón Activado

Es un material carbonaceo poroso, preparado por carbonización y posterior activación de sus moléculas de origen vegetal o mineral. La propiedad más importante es la gran adsorptividad, la cual es lograda por el desarrollo de un gran estructura porosa, alcanzando áreas superficiales alrededor de 900 – 1200 m²/g.

Es el adsorbente más versátil de todos, pues reúne una serie de factores que lo muestran atractivo para muchos procesos. La superficie del carbón activo es esencialmente no polar, por ello no adsorbe fuertemente agua, así que puede ser utilizado para tratamiento de aguas o en procesos con gases húmedos.

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, si bien porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importancia.

Parte importante de los metales pesados presentes en aguas contaminadas son removidos por precipitación como hidróxidos insolubles, sales básicas o coprecipitado junto a carbonato de calcio o hidróxido férrico, en la etapa de tratamiento con cal, pero esta etapa de depuración no los elimina completamente. Una de las posibilidades de rebajar su concentración por debajo de los límites máximos permitidos es, mediante su adsorción en carbón activado. Este proceso puede ser antecedido por un tratamiento con cloruro férrico para formar flóculos de hidróxido de hierro que adsorben efectivamente metales pesados. La adsorción en carbones activados se utiliza ampliamente en plantas de tratamiento de aguas para la eliminación de olores, de sabores y para la separación de compuestos orgánicos pero además, como se ha señalado, en esta etapa se pueden separar metales pesados como el cromo y mercurio.

3.5.3.2 Zeolita

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos porosos; existen zeolitas naturales que se comercializan, pero también existen muchas que se pueden sintetizar. Estos compuestos son útiles en algunas ocasiones ya que se pueden disponer de una estructura en tres dimensiones rígida y de dimensiones exactas en la que solo quepan moléculas de un tamaño determinado y las mayores no se adsorberán.

3.5.3.3 Gel de Sílice

El gel de sílice es un sólido amorfo compuesto de partículas esféricas de sílice, SiO_2 . La superficie de la sílice tiene gran afinidad por el agua por el uso mas habitual del gel de sílice es para secar gases y líquidos. Además, es mas barata y fácil de regenerar que las zeolitas, aunque no es óptima para secar gases a altas temperaturas.

3.5.4 Métodos Electroquímicos

3.5.4.1 Electrodialisis

La Electrodialisis es un procedimiento de separación con membranas que tiene por objeto concentrar (o diluir) disoluciones de electrolitos mediante el uso de membranas de intercambio iónico y la aplicación de un potencial eléctrico.

Fundamentalmente se trata de una técnica separativa, de concentración y descontaminación en la que especies iónicas son transportadas a través de membranas iónicas con permeabilidad selectiva (aniones, cationes) bajo la acción de un campo eléctrico.

Los iones relativamente pequeños pasan rápidamente a través de las membranas, pero iones orgánicos grandes y las partículas coloidales migran a las superficies de la membranas, ensuciándolas u obstruyéndolas y reducen su eficiencia. Los resultados de planta piloto indican que la electrodialisis es un método práctica y económico, que puede remover hasta el 50% de los compuestos inorgánicos

disueltos desde efluentes provenientes de tratamientos secundarios, si se eliminan aquellas sustancias de mayor tamaño y/o coloidales.

3.5.4.2 Electrocoagulación

La electrocoagulación es un proceso que aplica los principios de la coagulación–floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional.

La aplicación de la técnica de electrocoagulación está en tener una alternativa para el tratamiento de aguas residuales que la hará útil en algunos casos, pero sin sustituir totalmente los procedimientos químicos y biológicos que se han venido aplicando desde tiempos muy remotos. La naturaleza misma ha mitigado los impactos ambientales causados por el hombre, reestablecido el equilibrio ecológico y biológico necesario para la supervivencia de este.

3.5.5 Procesos Biológicos

3.5.5.1 Adsorción por Algas y Plantas Acuáticas

La utilización de plantas acuáticas ha sido desarrollada como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales, y ha demostrado ser eficiente en la remoción de una amplia gama de sustancias, orgánicas así como nutrientes y metales pesados. Por metales pesados se entiende a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas, y que no se pueden degradar por medios naturales, además que son peligrosos porque tienden a bioacumularse en el organismo. El mecanismo mediante el cual la planta saca del agua residual el contaminante es el siguiente: las plantas acuáticas, tienen la propiedad de inyectar grandes cantidades de oxígeno hacia sus raíces. El aire que no es aprovechado

por la especie y que ésta expele es absorbido por microorganismos, como bacterias y hongos, que se asocian a la raíz y se encargan de metabolizar los contaminantes que entran al sistema. Al igual que las microalgas, estas plantas acuáticas (macrófitas) son usadas para asimilar y descomponer nutrientes, materia orgánica e inorgánica. Presentan, desde luego, una serie de ventajas en su implementación que dependerán del tipo de efluente a tratar y de las condiciones de operación. En general, el procedimiento consiste en establecer sistemas con especies flotantes, con especies sumergidas, o bien con especies enraizadas.

3.5.5.2 Lagunas de estabilización

La tecnología de lagunas de estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) y parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO_5). La etapa secundaria en la laguna facultativa remueve la mayoría de la fracción remanente de la DBO_5 soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas. El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduración es la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno). Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costo-efectiva para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural. Las lagunas de estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación.

4. RELLENO SANITARIO “LA ESMERALDA”

4.1 LOCALIZACIÓN

El relleno sanitario La Esmeralda se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Manizales próximo a la vía que conduce al municipio de Neira. El área del relleno está comprendida entre las coordenadas cartesianas 1'03.600 mN a 1'054.400 mN y 1'173.600 mE y 1'174.600 mE. Limita al Norte con la propiedad de la firma Botero y Serna, al Sur con los predios de Aura Gallego y José Gómez, al Este con la firma Sajonia de propiedad de Cristóbal Salinas y al Oeste con la vía que conduce al municipio de Neira y con la Hacienda La Palmera.

4.2 VOLUMENES DE RESIDUOS SÓLIDOS

En el relleno sanitario La Esmeralda se disponen en promedio 400 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos ordinarios generados por la actividad humana. En Manizales el relleno atiende una población de 400.000 habitantes en las zonas urbana y rural aproximadamente, además, recibe desechos de otros municipios, entre ellos, Anserma, Neira, Villamaría, Belalcázar, Chinchiná, Palestina, Arauca y Santágueda, Risaralda, San José, Aranzazu, La Merced, Salamina, Filadelfia, Súpia , Riosucio, Santa Rosa, Santuario, La Virginia, Armenia y Marmato. Se excluyen de los residuos sólidos ordinarios los desechos biomédicos, especiales y peligrosos.

4.3 DISPOSICIÓN Y TRTAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Durante la operación del relleno sanitario se han desarrollado dos zonas de disposición; la zona antigua que operó desde el año 1991 hasta 1999 y la zona nueva que opera desde el año 1999 hasta la actualidad. Se han construido canales y cámaras separados para los lixiviados correspondientes y a finales del

año 2003 se separaron también las aguas lluvias con la construcción de nuevos canales abiertos que no permiten la llegada de esta agua a los canales de lixiviados.

Los residuos sólidos en la zona de disposición es compactada en capas de 30cm hasta obtener densidades de compactación de por lo menos una tonelada por metro cúbico. Para desarrollar el relleno en forma organizada, la zona se divide en terrazas y cada terraza se divide en franjas de 5m de altura y 10m de ancho aproximadamente, de manera que cada franja se pueda ir llenando en un ángulo de 30 grados hasta alcanzar la altura de la franja de 5m. Durante la adecuación de cada terraza, se construyen filtros sobre la capa de impermeabilización para evacuar los lixiviados hacia la zona de tratamiento. Pueden ser principales (tubería, piedra y geotextil) o secundarios (piedra) y van comunicados entre sí en espina de pescado. La adecuación del terreno consiste en la construcción de filtros para aguas subterráneas, impermeabilización del suelo de soporte para impedir el paso de los lixiviados hacia el suelo inferior y hacia los filtros de aguas subterráneas, construcción de filtros para lixiviados y construcción de chimeneas para gases.

Actualmente, el lixiviado recolectado de la zona disposición nueva es conducido a una planta de tratamiento de consta de un cámara de sedimentación primaria, tanque homogenizador, tanque regulador, un reactor UASB, una planta de sedimentación secundaria y un lecho de secado; de igual manera el lixiviado viejo se conduce al sistema de tratamiento y juntos atraviesan por una serie de cámaras donde ocurren procesos de oxigenación hasta la desembocadura en la quebrada aguas frías.

En la siguiente foto se encuentra una vista general de todo la zona que comprende los predios del relleno sanitario, incluyendo las oficinas, la estación meteorológica, taller, vivero, pesebreras, planta de tratamiento de lixiviados, etc.

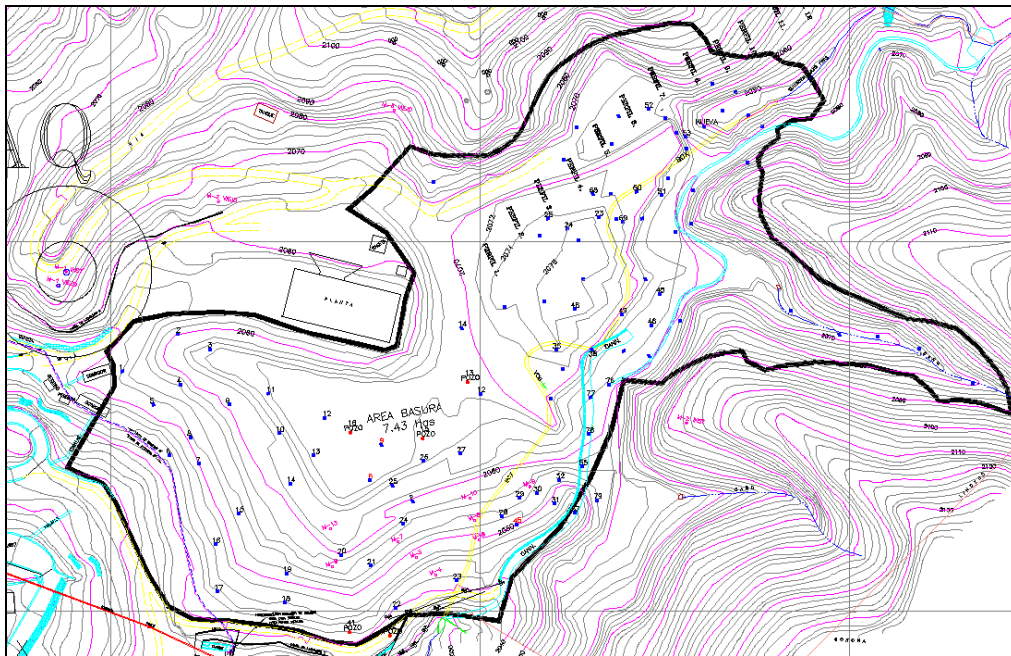
Foto 1. Panorámica General del Relleno Sanitario La Esmeralda



Fuente: EMAS SA ESP

La zona de disposición final de los residuos ordinarios del relleno sanitario tiene un área total de 7.43 hectáreas actualmente, en la foto 2 se encuentra delimitada el área.

Foto 2. Área Total Relleno Sanitario La Esmeralda



Fuente: EMAS SA ESP

4.4 ESTACIÓN METEOROLOGICA

En el Relleno Sanitario La Esmeralda se encuentra ubicada en las instalaciones una estación meteorológica desde Junio del año 1.997. Toma registros desde cada 2 minutos hasta cada 120 minutos, de los siguientes parámetros:

- Precipitación
- Presión Barométrica
- Temperatura interna y externa
- Humedad interna y externa
- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Temperatura del viento
- Temperatura de rocío
- Humedad de rocío

En la actualidad se tiene programada la estación meteorológica para registrar información cada 5 minutos, y se encuentra en red con las otras estaciones meteorológicas del Municipio de Manizales, concentrándose toda la información en el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia IDEA.

5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO LIXIVIADOS

El sistema actual de Tratamiento de Lixiviados (tratamiento primario y biológico) del Relleno Sanitario La Esmeralda, se basa en operaciones de canalización, homogenización, tratamiento biológico, sedimentación y oxigenación del lixiviado, complementado con el bombeo de lodos, secado de los mismos y su disposición final, que garantizan remociones mayores a lo exigido por el decreto 1594 de 1984. Esta información fue suministrada por la dirección técnica de la Empresa Metropolitana de Aseo.

Actualmente el Sistema de Tratamiento de Lixiviados, está conformado de la siguiente manera:

5.1 CANALIZACIÓN

A nivel interno la evacuación de los lixiviados se realiza mediante filtros principales, secundarios, intermedios y perimetrales, construidos en piedra, algunos con tubería perforada, arena y geotextil, así:

- Filtro principal: conducción construida sobre la capa de impermeabilización del relleno sanitario, de sección mínima 0,6 m de ancho x 0,8 m de altura, geotextil en tres caras (se excluye la superior), capa de arena de 10 cm, tubería perforada de 8 pulgadas y piedra para filtro, pendiente mínima del 1%. Se construyen en sentido paralelo al flujo deseado y con una

separación horizontal entre filtros de aproximadamente 30 metros. Son los filtros que mayor lixiviado han de conducir por estar ubicados en el fondo y porque sobre ellos se da inicio a la construcción de las chimeneas para evacuación de gases, las cuales a su vez, por gravedad, pueden transportar lixiviados desde terrazas superiores. A ellos se conectan además en espina de pescado los filtros secundarios.

- Filtro secundario: conducción construida sobre la capa de impermeabilización del relleno sanitario, de sección mínima 0,4 m x 0,4 m, en solo piedra, pendiente mínima del 1%. Se conectan a los filtros principales en un ángulo de 45 grados por ambos costados y están separados horizontalmente entre sí cada 15 metros aproximadamente. En estos se recoge primordialmente el lixiviado que se genera en la primera terraza de disposición final de residuos sólidos y además el lixiviado de terrazas superiores que halla logrado atravesar las capas de cobertura.
- Filtro intermedio: conducción construida sobre las capas de cobertura de cada terraza de residuos sólidos, de sección mínima 0,4 m x 0,4 m, en solo piedra, pendiente mínima del 1%. Se conectan a las chimeneas en el mismo nivel de la terraza respectiva y a los filtros perimetrales. En estos se recoge el lixiviado que se genera en la terraza inmediatamente superior de disposición final de residuos sólidos y además el lixiviado de terrazas mas arriba que halla logrado atravesar las capas de cobertura. La separación horizontal aproximada entre ellos es de 15 metros.
- Filtro perimetral: conducción construida en el perímetro de cada terraza de disposición final de residuos sólidos, en su base, de sección mínima 0,4 m x 0,4 m, en piedra y geotextil en su cara superior para independizarlo de la canal de aguas lluvias, que debe ubicarse encima del filtro perimetral; pendiente mínima del 1%. Para independizar las aguas lluvias de los lixiviados que corren por el filtro perimetral, se construye sobre el geotextil una capa de barro cemento que impermeabiliza e impide la infiltración de

las aguas lluvias. Los canales de aguas lluvias se terminan de conformar en barro cemento en sus laterales.

Ver fotografías de filtros en Anexo No. 1

Externamente la evacuación de los lixiviados se realiza por medio de cinco (5) canales, cada uno con distinto origen y trayecto en el relleno, así:

- **Canal de lixiviado viejo 1.** Este canal recoge el lixiviado viejo de las primeras terrazas cercanas a las instalaciones de la estación meteorológica y a la planta de reciclaje “Corporación Ciudad Verde”. El lixiviado es conducido a través de filtros, tubería y cámaras de sedimentación primaria hasta la planta de sedimentación secundaria. En el trayecto existe una cámara de medición volumétrica de caudal, donde está instalado el **Vertedero No. 1.**
- **Canal de lixiviado 2.** Este canal recoge el lixiviado de las primeras terrazas cercanas al box Couvert; es conducido a través de una tubería por el techo del box hasta el canal en barro cemento que lo lleva a una estación de bombeo para elevarlo hasta el canal de lixiviado 3; esta operación de bombeo se realiza cuando el lixiviado que proviene por el canal de lixiviado 2 es lixiviado nuevo. Sobre el inicio del canal se dispuso una cámara para medición volumétrica de caudal y está ubicado el **Vertedero No. 2.** Posterior a la estación de bombeo, este canal recibe los lixiviados que provienen del tratamiento biológico en el reactor UASB y los conduce hasta la planta de sedimentación secundaria, atravesando varias cámaras de sedimentación primaria.
- **Canal de lixiviado 3.** Este canal en concreto recoge el lixiviado de las últimas terrazas cercanas a la salida del box, que lo lleva primero al homogenizador, desde donde es bombeado al tanque de nutrientes, anterior al reactor UASB. Antes de la entrada al homogenizador se realiza

medición de caudal con una **Canaleta Parshall**. En su trayecto se instalan mallas para cribado grueso.

- **Canal de lixiviado 4.** Este canal en concreto recoge el lixiviado de las últimas terrazas cercanas al sitio material de cobertura y lo conduce directamente al tanque regulador o tanque de nutrientes.
- **Canal de Lixiviado 5.** Este canal en barrocemento y concreto, conduce los lixiviados generados en las terrazas 7 en adelante, hacia el canal de lixiviados 4, pasando antes por un viaducto o “lixiaducto”.

Ver fotografías de canales y estructuras complementarias en Anexo 2.

5.2 HOMOGENIZACIÓN

En dos unidades:

5.2.1 Homogenizador o hidrolizador.

Tiene un capacidad de 60 m^3 y un tiempo de retención hidráulico de 8,3 horas para un caudal de 2 L/s. Se realiza un cribado fino en la entrada con dos (2) mallas. El flujo se distribuye por dos (2) compartimientos y pasa luego al tanque de sedimentación, donde se realiza una acumulación de microorganismos que hacen la acidogénesis y la metanogénesis parcial de la materia orgánica. El último compartimiento es el foso de bombeo, desde el cual puede hacerse un vaciado superior de su contenido hasta el canal de lixiviado 2 en caso de suspender el bombeo. Dos (2) bombas de 12 Hp impulsan el efluente hasta el tanque de nutrientes. Ver las fotografías en Anexo No. 2.

5.2.2 Tanque de nutrientes.

Tiene capacidad de 13 m^3 . Recibe flujos separados por gravedad desde el canal 4 y el canal 5 y realiza la mezcla con el bombeo desde el homogenizador. Entrega de esta manera una carga constante al reactor UASB, tanto en concentración como en caudal. La salida del tanque de nutrientes se realiza por el fondo,

utilizando tubería de diferente diámetro para regular el caudal. En la entrada de los flujos se realiza un cribado grueso con una malla removible, ajustada a la forma de canasta. En la salida del tanque regulador existe un pequeño mezclador hidráulico y al final, una pareja de vertederos a la entrada de cada unidad de reactor UASB.

5.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

En el reactor UASB, diferentes tipos de bacterias degradan la materia orgánica presente hasta convertirla en metano y dióxido de carbono, así como en material celular. El reactor UASB consta de dos (2) unidades, cada uno de 90 m³ de capacidad y 24 horas de tiempo de retención hidráulico, para un caudal total de lixiviado de 2 L/s como máximo. Luego de los vertederos de medición (**Vertederos No. 2**), el flujo se distribuye en cada unidad por una canaleta superior dotada de vertederos que alimentan los trece (13) tubos laterales de dos (2") pulgadas que entrega el flujo en el fondo de reactor. Cada unidad tiene una salida de fondo a 50 cm y están dotados de válvulas que descargan su contenido a la cámara de salida. Los reactores (cada uno) tienen tubería horizontal de dos (2") pulgadas en grupos de cuatro (4), formando tres (3) hileras y cada tubo tiene una válvula. Este sistema asegura la purga parcial de lodos y la extracción de muestras. El efluente se recoge por canaleta lateral y descarga en conjunto por tubería de seis (6") pulgadas hasta la cámara, donde se puede realizar medición volumétrica de la salida general. En el Anexo No. 4 se muestran las fotografías del tanque de nutrientes y el reactor UASB.

Los gases generados se conducen desde el interior de cada reactor hacia la superficie, utilizando láminas de acero y tubería, hasta acumularla toda en sendas campanas que lo llevan hasta la chimenea, donde se quema en forma permanente.

5.4 SEDIMENTACIÓN

El conjunto de sedimentador de placas y el sedimentador convencional, es de aproximadamente 47 m³ y 7 horas de tiempo de retención, para un caudal de 2 L/s. La unidad de floculación forma parte del conjunto y tiene una capacidad de 2,8 m³. Tiene acondicionado un dosificador para realizar coagulación en un canal inclinado, en caso de adicionar sustancias químicas para desarrollar un tratamiento físico químico. En el Anexo No. 5 se presentan las fotografías de estas estructuras.

5.5 OXIGENACIÓN

El efluente del sistema de tratamiento es entregado a la Quebrada Aguas frías por medio de unos canales escalonados que le permiten la oxigenación del residuo líquido hasta el descole. En el trayecto se hace sedimentación y consumo del oxígeno a través de cámaras de retención. Al final del recorrido se ha instalado un vertedero de medición de caudal, con aditamento para la medición volumétrica (**Vertedero No. 4**). En el Anexo No. 6 se presentan las fotografías del canal oxigenador.

5.6 MANEJO DE LODOS

Son retenidos en las cámaras dispuestas sobre los canales de conducción del lixiviado crudo o tratado, en el homogenizador, el tanque de nutrientes, el sedimentador convencional y el sedimentador de placas. Desde estos últimos, los lodos son bombeados hasta los lechos de secado, que son 12 celdas en total (están numerados), cada una con área de 9 m² y 1 m de profundidad. El sistema de drenaje está conformado por tubería perforada, arena y grava. El retorno de los lechos se realiza antes de la planta de sedimentación secundaria. La operación se facilita con dos bombas de 2 Hp. Una vez seco el lodo, se dispone en el relleno sanitario. En el Anexo No. 7 se presentan las fotografías de los lechos de secado.

4. METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN

4.1 SELECCIÓN FECHAS DE MUESTREO

Con la finalidad de observar los cambios en las características del lixiviado a la salida del sistema debido a la influencia climática, se establecieron jornadas de muestreo con diferentes precipitaciones en los días precedentes.

En el presente trabajo se realizaron cuatro jornadas de muestreo, en cada una se tomaron 10 muestras puntuales cada hora; esto con el fin de comparar la influencia de la variación del clima en las concentraciones de los metales que salen después del sistema de tratamiento, de igual manera se busca determinar si es necesario un sistema adicional de tratamiento para remover metales pesados en el caso que las concentraciones de dichos metales se encuentren sobre las concentraciones establecidas por la legislación.

Para la elección del día específico de muestreo se tuvo en cuenta la cantidad de mm de lluvia precipitados en el transcurso de los días anteriores.

Se llevaron a cabo 4 muestreos, dos correspondientes a días secos y dos a días lluviosos. En la siguiente grafica se muestran los eventos de lluvia que se presentaron el día 26 de junio, día previo al primer muestreo realizado en día lluvioso. Todos los datos de lluvias fueron suministrados por la estación meteorológica de L Relleno Sanitario "La Esmeralda".

Tabla 4. Eventos de Lluvia del día 26 de Junio de 2007.

LLUVIAS AISLADAS				
	UNIDADES	LLUVIA 1 hora:10:40 am	LLUVIA 2 hora:11:35 am	LLUVIA 3 hora:12:30 pm
DURACIÓN	min	35	35	45
MAGNITUD	mm	17,40	4,00	3,00
INTENSIDAD MEDIA	mm/h	29,83	6,86	4,00
INTENSIDAD MÁXIMA	mm/h	62,40	14,40	7,20
CLASIFICACIÓN	CONCEPTUAL	LLUVIA FUERTE	LLUVIA MODERADA	LLUVIA MODERADA

En el siguiente grafico se muestra el comportamiento de la lluvia fuerte que se presento el 26 de junio.

Grafico 1. Histograma de Lluvia Fuerte de 26 de Junio.



Para el día 10 de julio se tiene un precedente de los eventos de lluvia de los días 7 y 8 de julio de 2007, donde se puede observar lluvias fuertes en estos días previos al segundo muestreo de día lluvioso.

Tabla 5. Eventos de Lluvias del día 7 de Julio de 2007

LLUVIAS AISLADAS 7 de Julio				
	UNIDADES	LLUVIA 1 hora:12:05 am	LLUVIA 2 hora:2:35 am	LLUVIA 3 hora:6:05 am
DURACIÓN	min	20	5	5
MAGNITUD	mm	5,20	0,20	0,20
INTENSIDAD MEDIA	mm/h	15,60	2,40	2,40
INTENSIDAD MÁXIMA	mm/h	38,40	2,40	2,40
CLASIFICACIÓN	CONCEPTUAL	LLUVIA FUERTE	LLUVIA LIGERA	LLUVIA LIGERA

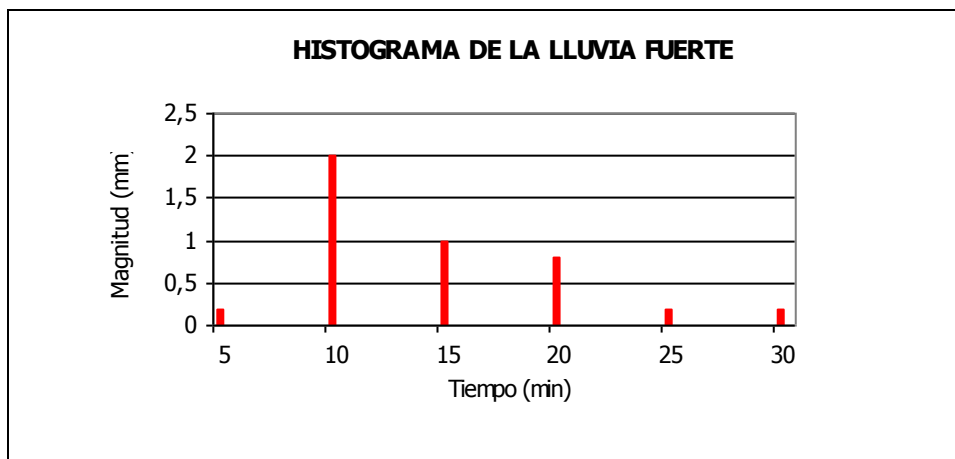
Grafico 2. Histograma de Lluvia Fuerte de 7 de Julio de 2007.



Tabla 6. Eventos de Lluvias del día 8 de Julio de 2007

LLUVIAS AISLADAS 8 de Julio				
	UNIDADES	LLUVIA 1 hora:9:50 am	LLUVIA 2 hora:1:05 pm	LLUVIA 3 hora:9:10 pm
DURACIÓN	min	5	30	5
MAGNITUD	mm	0,20	4,40	0,20
INTENSIDAD MEDIA	mm/h	2,40	8,80	2,40
INTENSIDAD MÁXIMA	mm/h	2,40	24,00	2,40
CLASIFICACIÓN	CONCEPTUAL	LLUVIA LIGERA	LLUVIA FUERTE	LLUVIA LIGERA

Grafico 3. Histograma de Lluvia Fuerte de 8 de Julio de 2007.



Para los días secos se tiene como base que días previos a estos no se presentaron eventos de lluvias fuertes. En la tabla 7 se encuentra los evento de lluvia presentados el 17 de julio, estas lluvias son ligeras en las horas de la noche y de una duración muy corta, lo que indica que no repercuten en los resultados y se toma este día como muestreo en día seco.

Tabla 7. Lluvia Ligera 17 de Julio de 2007

LLUVIAS AISLADAS			
	UNIDADES	LLUVIA 1	LLUVIA 2
		12:40 a.m	12:15:00 a.m.
DURACIÓN	min	5	5
MAGNITUD	mm	0,20	0,20
INTENSIDAD MEDIA	mm/h	2,40	2,40
INTENSIDAD MÁXIMA	mm/h	2,40	2,40
CLASIFICACIÓN	CONCEPTUAL	LLUVIA LIGERA	LLUVIA LIGERA

El día 18 y 19 de julio no se presento ningún evento de lluvia en el transcurso de estos días, salvo en el día 19 de julio que se presento una lluvia ligera a las 4:35

pm, para esta hora, el muestreo había terminado, ya que este se realizó hasta las 4:00 pm.

Tabla 8. Lluvia Ligera el día 19 de Julio

LLUVIAS AISLADAS		
	UNIDADES	LLUVIA 1 hora:4:35 pm
DURACIÓN	min	5
MAGNITUD	mm	0,20
INTENSIDAD MEDIA	mm/h	2,40
INTENSIDAD MÁXIMA	mm/h	2,40
CLASIFICACIÓN	CONCEPTUAL	LLUVIA LIGERA

4.2 SITIO DE MUESTREO

El sitio de muestreo se localizó a la salida del sistema de tratamiento de lixiviados antes de ser vertidos a la Quebrada Aguas Frías.

En la siguiente foto se encuentra ubicado el sitio donde se tomaron las muestras.

Foto 3. Sitio de Muestreo



4.3 CARACTERISTICAS DE MUESTREO

Los muestreos fueron de tipo puntual con toma de muestra cada 1 hora durante un periodo de 10 horas consecutivas y cada muestra fue analizada en el laboratorio. Las muestras se tomaron en recipientes plásticos de 2 litros y fueron refrigeradas inmediatamente.

5. METALES PESADOS ANALIZADOS

Los metales pesados que se analizaron son los de mayor importancia para EMAS, y que sirven de indicadores sobre la lixiviación de metales en el relleno. EMAS ha adoptado los metales pesados de mayor importancia para medir los niveles de contaminación y tener una base para comparar con la legislación existente: plomo, cadmio y mercurio; adicionalmente a estos se incluyó realiza el análisis de

romo, ya que en el relleno se realiza disposición de residuos de curtiembres, en las cuales se utilizan sales de dicho metal.

5.1. PLOMO

El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el año 5000 antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana.

El Plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. El Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua.

El Plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por Plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de Plomo presente.

Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbadas cuando interfiere con el Plomo. El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen. Este es el porqué nosotros ahora empezamos a preguntarnos si la contaminación por Plomo puede influir en los balances globales. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del Plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presentes. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por Plomo.

El Plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

5.2 CROMO

Hay varias clases diferentes de Cromo que difieren de sus efectos sobre los organismos. El Cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas.

Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (III) son el acero, las peleterías y las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales del Cromo (VI). Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del Cromo en agua. A través de la combustión del carbón el Cromo será también emitido al agua y eventualmente se disolverá.

El Cromo (III) es un elementos esencial para organismos que puede interferir en el metabolismo del azúcar y causar problemas de corazón, cuando la dosis es muy baja. El Cromo (VI) es mayoritariamente tóxico para los organismo. Este puede alterar el material genético y causar cáncer.

Los cultivos contienen sistemas para gestionar la toma de Cromo para que está sea lo suficientemente baja como para no causar cáncer. Pero cuando la cantidad de Cromo en el suelo aumenta, esto puede aumentar las concentraciones en los cultivos. La acidificación del suelo puede también influir en la captación de Cromo por los cultivos. Las plantas usualmente absorben sólo Cromo (III). Esta clase de Cromo probablemente es esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor, efectos negativos pueden ocurrir.

No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de Cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales el Cromo puede causar problemas respiratorios, una baja

disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores.

5.3 CADMIO

El Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el Zinc. El Cadmio también consiste en las industrias como inevitable subproducto del Zinc, plomo y cobre extracciones.

Las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El Cadmio de las corrientes residuales pueden también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de Cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.

Otra fuente importante de emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del Cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante es vertido por las compañías productoras.

El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelo que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto.

En ecosistemas acuáticos el Cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al Cadmio puede variar

ampliamente entre organismos acuáticos. Organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por Cadmio que organismos de agua dulce. Animales que comen o beben Cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro.

La toma por los humanos de Cadmio tiene lugar mayormente a través de la comida. Los alimentos que son ricos en Cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración de Cadmio en los humanos y provocar alteraciones en el funcionamiento del sistema de filtración de los riñones. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el Cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano.

5.4 MERCURIO

La presencia de trazas de mercurio en agua se debe principalmente a los residuos de actividades productivas como la minería y la industria, además de las debidas a causas naturales por fenómenos geológicos como la meteorización, la erosión de las rocas y la lixiviación. La interacción de este metal con el ecosistema depende de la forma y especie química en la que se encuentre, además de otros factores como el pH, las condiciones de óxido-reducción del agua, la presencia de sustancias orgánicas con capacidad de formar complejos químicos y diversos factores climáticos que potencian el estrés químico.

Los microorganismos (bacterias, fitoplancton en el océano y hongos) convierten al mercurio inorgánico a metilmercurio. El metilmercurio liberado por los microorganismos puede entrar al agua o al suelo y permanecer ahí durante mucho tiempo, especialmente si se adhiere a pequeñas partículas en el suelo o el agua. El mercurio generalmente permanece en la superficie del suelo y no se moviliza a través del suelo hacia el agua subterránea. Es probable que cualquier forma de mercurio que entre a cuerpos de agua se deposite en el fondo, en donde puede permanecer durante mucho tiempo.

Los compuestos de mercurio se usan principalmente como plaguicidas agrícolas; también en la industria del cloro-álcali, en pinturas, como catalizadores, en componentes eléctricos, cosméticos, termómetros, manómetros, baterías, materiales dentales, etc. Es tóxico a concentraciones mayores que 0,005 mg/L, y no puede ser degradado bio- o químicamente. Aunque la EPA establece en 0,002 mg/L la cantidad permisible en agua potable, en Suecia y Alemania este valor está regulado en sólo 0,001 mg/L. La toxicidad de los compuestos orgánicos, como el metil- o fenilmercurio, es considerablemente mayor que la de las especies inorgánicas. Los tratamientos comunes de remoción se basan en la precipitación como sulfuro, el intercambio iónico, la adsorción, la coagulación y la reducción.

El mercurio se da de manera natural en el medio ambiente y existe en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura, se lo conoce como mercurio “elemental” o “metálico”. Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas.

Los seres humanos pueden estar expuestos al mercurio de diversas formas, incluido, entre otras cosas, el consumo de pescado, los usos ocupacionales y domésticos, las amalgamas dentales y las vacunas que contienen mercurio.

Las emisiones de mercurio se pueden encontrar en cuatro categorías:

- Fuentes naturales: liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la actividad volcánica o la erosión en las rocas;
- Las actuales liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) resultantes de la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como

los combustibles fósiles –en particular el carbón, y en menor medida el gas y el petróleo- y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;

- Las actuales liberaciones antropógenas resultantes del uso intencional del mercurio en productos y procesos durante la fabricación, los derrames, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo;
- Las liberaciones de mercurio anteriormente depositado en suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos.

A continuación se tiene algunos ejemplos de uso del mercurio:

Como metal (entre otros):

- para extracción de oro y plata (durante siglos)
- como catalizador en la industria cloroalcalina
- en manómetros para medir y controlar la presión
- en termómetros
- en interruptores eléctricos y electrónicos
- en lámparas fluorescentes
- en las amalgamas dentales

Como compuestos químicos (entre otros):

- en baterías (como dióxido)
- biocidas en la industria del papel, pinturas o en semillas
- como antiséptico en productos farmacéuticos
- reactivos para análisis de laboratorio
- catalizadores
- pigmentos y colorantes (quizás uso muy antiguo)
- detergentes (quizás uso muy antiguo)
- explosivos (quizás uso muy antiguo)

Los métodos específicos para controlar las liberaciones de mercurio de estas fuentes varían mucho, según sean las circunstancias locales, pero pueden agruparse en cuatro categorías:

- A.** Reducción de la extracción y consumo de mercurio en materias primas y productos que originan liberaciones de mercurio;
- B.** Sustitución o eliminación de productos, procesos y prácticas que contienen o utilizan mercurio;
- C.** Control de las liberaciones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo (“end-of-pipe”);
- D.** Gestión de desechos de mercurio.

Se han detectado efectos perjudiciales en seres humanos, pero con menos fiabilidad o a exposiciones mucho mayores, se han detectado efectos en la variabilidad del ritmo cardíaco y en la presión sanguínea en niños de siete años de edad con exposición prenatal así como en la mortalidad cardiovascular en adultos. En el caso del mercurio elemental y los compuestos inorgánicos de mercurio, se han observado los siguientes efectos: en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, enzimas asociadas con el funcionamiento de la tiroides, en los índices de abortos espontáneos, genotoxicidad, sistema respiratorio, sistema (digestivo) gastrointestinal, hígado, sistema inmunológico y la piel.

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimentaria. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio. La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza el metilmercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilmercurio. La mayor parte del

metilmercurio en tejidos de peces forma enlaces covalentes con grupos sulfhidrido proteínico, con lo que la vida media de eliminación resulta larga.

6. RESULTADOS

6.1 MUESTREO 27 DE JUNIO

En las tablas N° 9 se encuentran relacionadas las horas de toma de muestras y los resultados de las concentraciones de los metales del muestreo realizado el 27 de junio.

Tabla 9. Resultados de Laboratorio. Junio 27 de 2007.

	PLOMO	CROMO	MERCURIO	CADMIO
	Absorción Atómica	Absorción Atómica	Generador de Hidruros	Absorción Atómica
HORA	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
07:00 a.m.	0,07	0,03	2,52	0,01
08:00 a.m.	0,06	0,03	2,17	0,01
09:00 a.m.	0,12	0,05	3,53	0,02
10:00 a.m.	0,08	0,03	2,67	0,01
11:00 a.m.	0,15	0,25	4,34	0,02
12:00 p.m.	0,09	0,05	3,21	0,02
01:00 p.m.	0,10	0,06	3,11	0,02
02:00 p.m.	0,11	0,05	3,60	0,02
03:00 p.m.	0,10	0,08	3,20	0,01
04:00 p.m.	0,11	0,11	3,30	0,02
Promedio	0,099	0,074	3,165	0,016
Máximo	0,15	0,25	4,34	0,02
Mínimo	0,06	0,03	2,17	0,01
Desv. Std	0,026	0,067	0,613	0,005
Coeficiente Variación	0,263	0,901	0,194	0,323
Valor Permisible (mg/L)	0,5	0,5	0,2	0,1

Como se puede observar en la tabla anterior las concentraciones de mercurio son elevadas y sobrepasan los límites permisibles por el decreto 1594/84 que establece concentraciones de 0,02 mg/L. Para plomo, cromo y cadmio las

concentraciones se encuentran por debajo de los límites del decreto; para estos metales se determinan concentraciones de 0.5, 0.5 y 0.1 mg/L respectivamente.

En los siguientes gráficos se visualiza el comportamiento de dichos metales en las diferentes horas que se realizó el muestreo.

Claramente se puede observar como el mercurio se encuentra en mayor concentración respecto a los otros metales. También se observar en las graficas 4, 5, 6 y 7 un incremento significativo en la concentración de los metales a las 9:00 am y 11:00 am, excepto para el cromo que solo tiene un incremento a las 11:00 am.

Grafico 4. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Junio 27 de 2007.

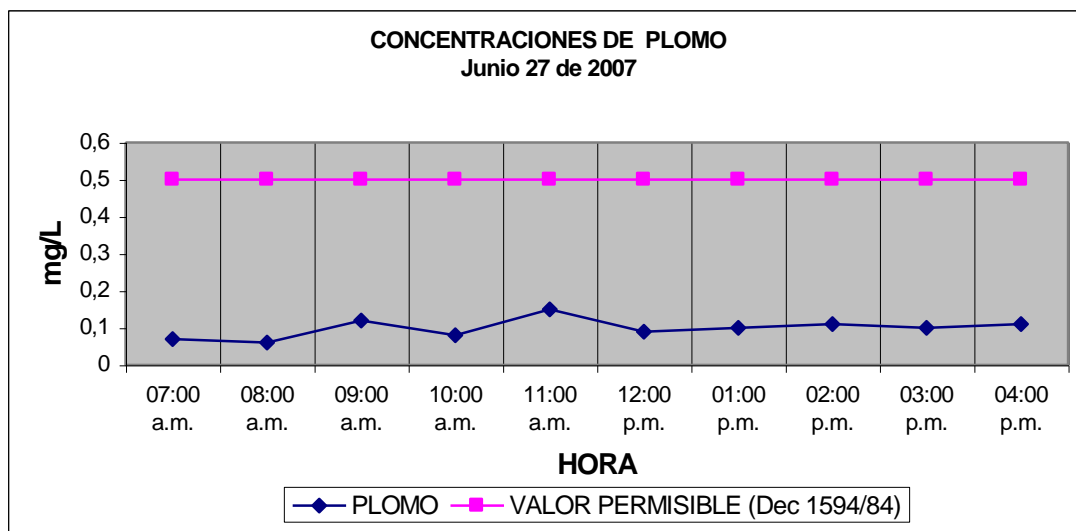


Grafico 5. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Junio 27 de 2007.

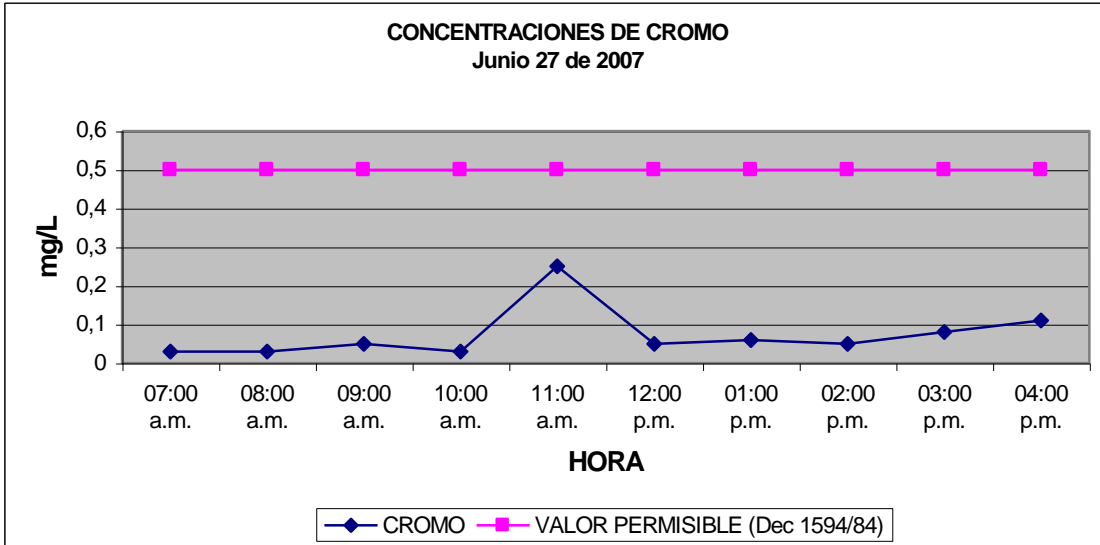


Grafico 6. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Junio 27 de 2007.

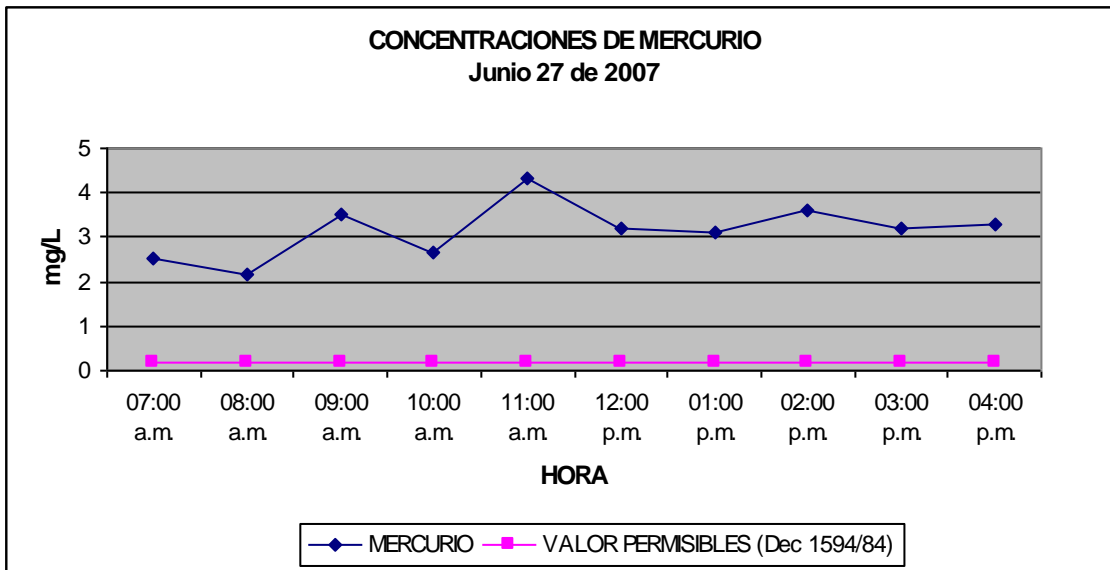
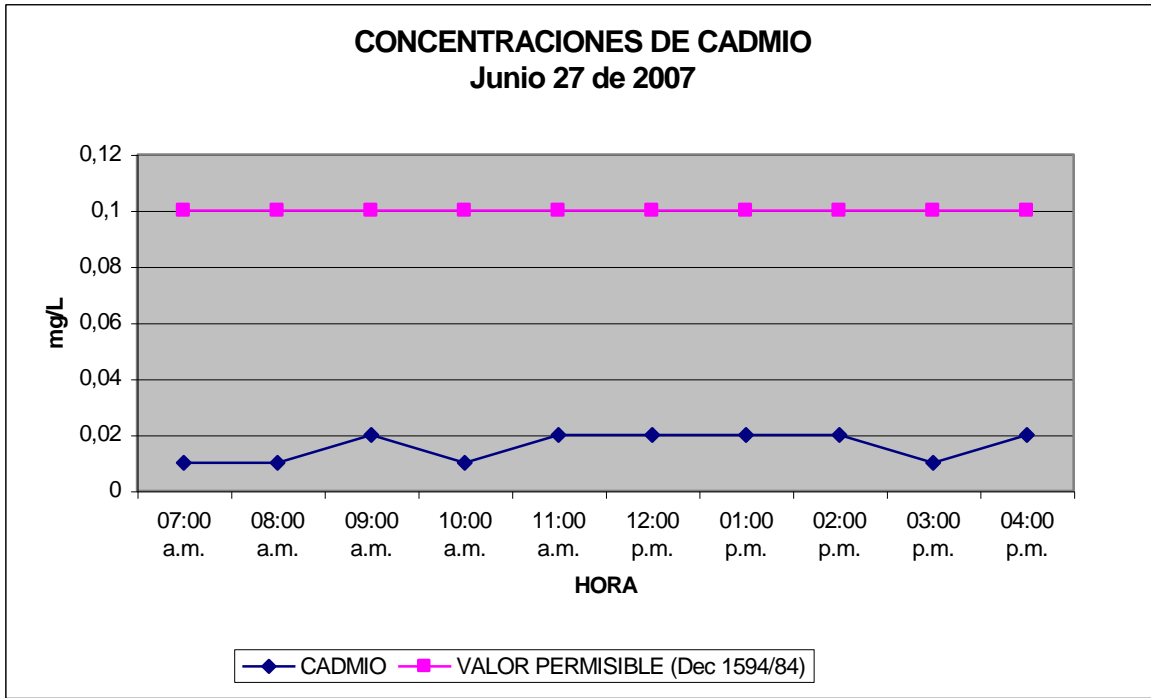


Grafico 7. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Junio 27 de 2007.



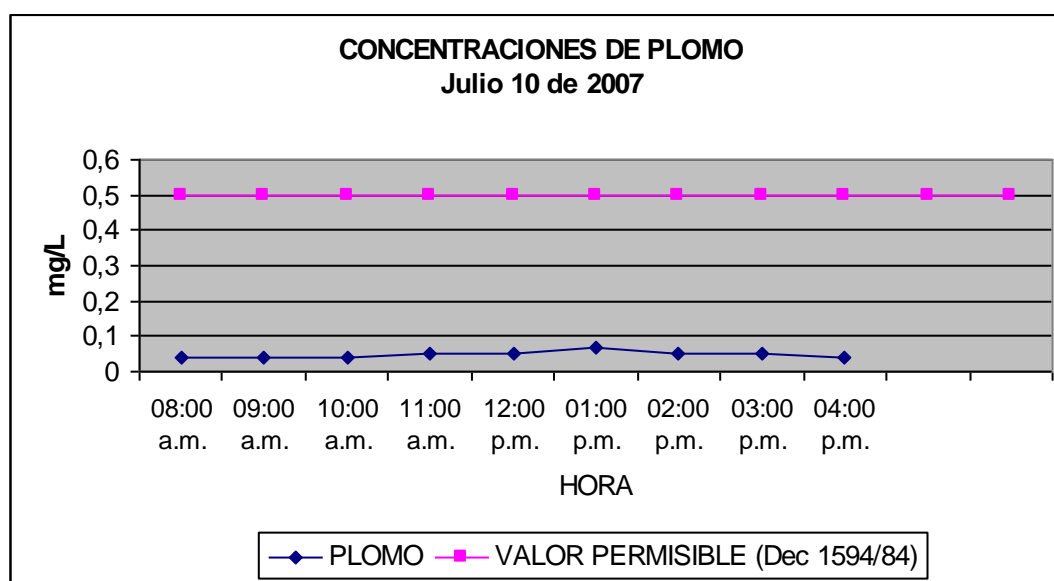
6.2 MUESTREO DE 10 DE JULIO

En la tabla 10 se puede observar al igual que los resultados del muestreo del 27 de junio, que la concentración de mercurio es mayor en comparación con plomo, cromo y cadmio. Las concentraciones de mercurio sobre pasa el límite permisible establecido por el decreto; los metales plomo, cromo y cadmio cumplen con la normatividad. Sin embargo las concentraciones de mercurio disminuyeron aproximadamente 1 mg/L, en comparación con los resultados de la tabla 9 que corresponde al muestreo del 27 de julio. En los gráficos se muestra el comportamiento de todos los metales pesados analizados; en detalle las graficas 8, 9, 10 y 11 muestran los resultados del comportamiento de cada metal, observándose un incremento en la concentración del mercurio a las 1:00 pm, el comportamiento de los otros metales es regular y lineal.

Tabla 10. Resultados de Laboratorio. Julio 10 de 2007.

	PLOMO	CROMO	MERCURIO	CADMIO
	Absorción Atómica	Absorción Atómica	Generador de Hidruros	Absorción Atómica
HORA	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
08:00 a.m.	0,04	0,05	1,51	0,01
09:00 a.m.	0,04	0,06	1,09	0,01
10:00 a.m.	0,04	0,07	1,55	0,01
11:00 a.m.	0,05	0,06	1,61	0,01
12:00 p.m.	0,05	0,08	1,83	0,01
01:00 p.m.	0,07	0,08	2,71	0,01
02:00 p.m.	0,05	0,07	1,77	0,01
03:00 p.m.	0,05	0,06	1,72	0,01
04:00 p.m.	0,04	0,06	1,62	0,01
Promedio	0,048	0,066	1,712	0,010
Máximo	0,07	0,08	2,71	0,01
Mínimo	0,04	0,05	1,09	0,01
Desv. Std	0,010	0,010	0,431	0,000
CV	0,203	0,155	0,252	0,000
Valor Permissible (mg/L)	0,5	0,5	0,2	0,1

Grafico 8. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Julio 10 de 2007.



Los resultados de las tablas 9 y 10 se realizaron en días lluviosos; el 26 de junio se presentó un evento de lluvia fuerte con 17,4 mm de magnitud las 10:40 am, también se presentaron dos eventos de lluvia moderada entre las 11:00 am y la 1:00 pm con una magnitud aproximadamente de 0,4 mm. En promedio se tiene una magnitud de lluvia diaria de 27,6 mm. Para el 9 de julio se presentó un evento de lluvia fuerte con una magnitud de 2,6 mm.

Grafico 9. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Julio 10 de 2007.

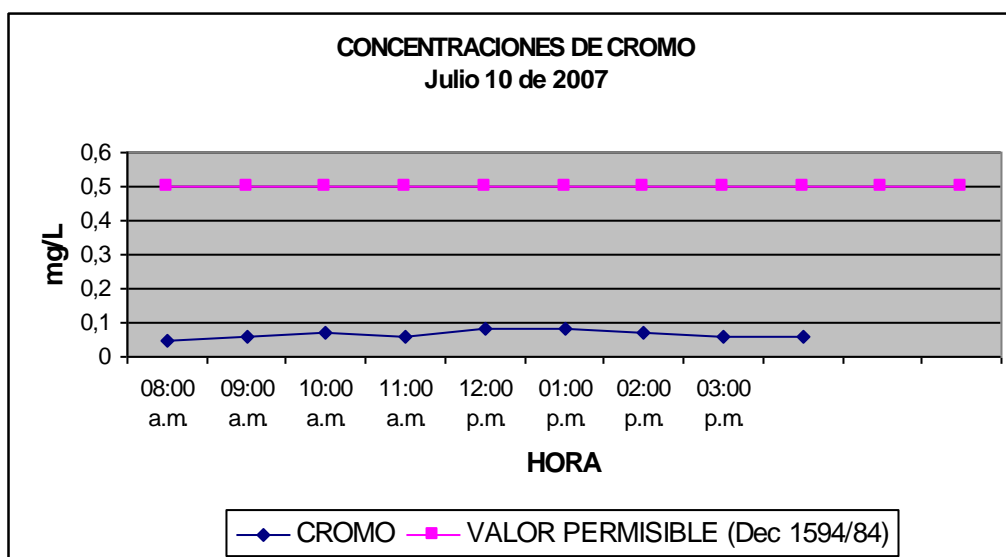


Gráfico 10. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Julio 10 de 2007.

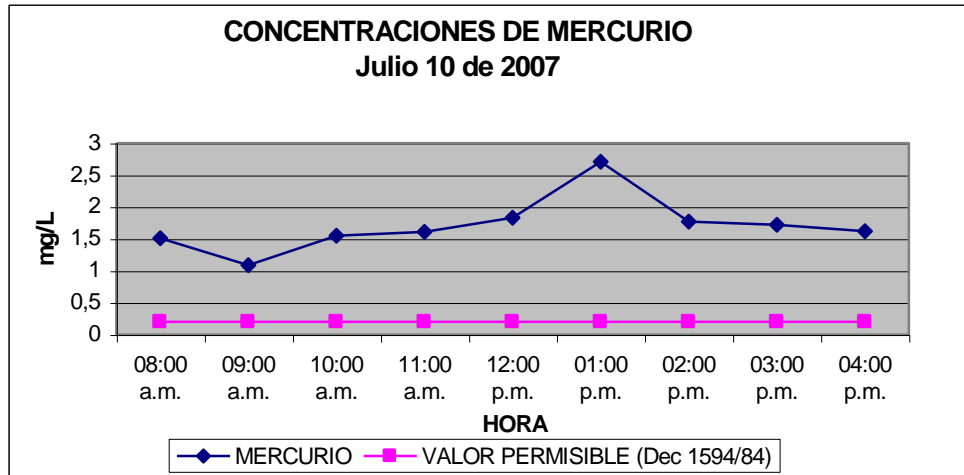
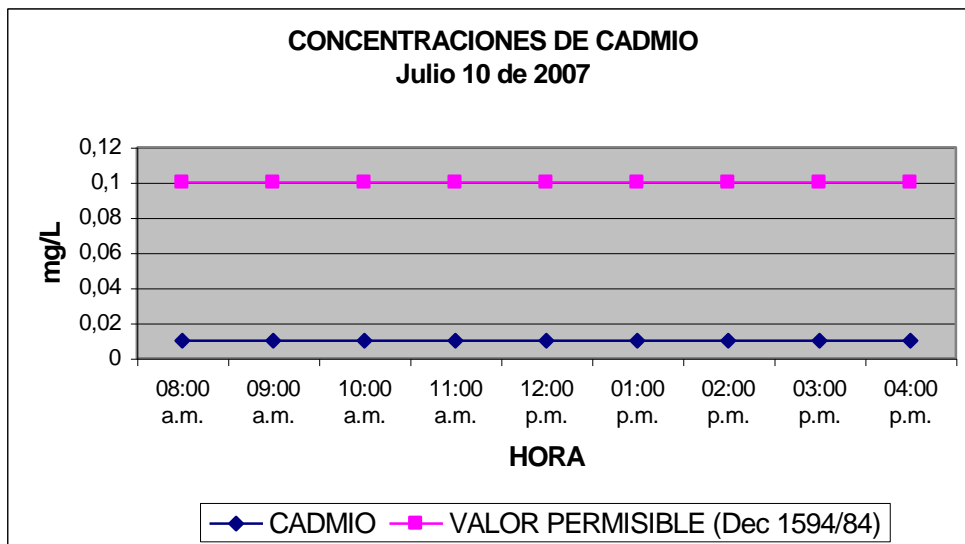


Gráfico 11. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Julio 10 de 2007.



6.3 MUESTREO 17 DE JULIO

A continuación se encuentran la tabla 11 con los resultados de los análisis de laboratorio del 17 de julio.

Tabla 11. Resultados de Laboratorio. Julio 17 de 2007.

	PLOMO	CROMO	MERCURIO	CADMIO
	Absorción Atómica	Absorción Atómica	Generador de Hidruros	Absorción Atómica
HORA	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
07:00 a.m.	0,06	0,08	2,86	0,01
08:00 a.m.	0,06	0,08	2,77	0,01
09:00 a.m.	0,07	0,07	2,88	0,01
10:00 a.m.	0,07	0,08	2,71	0,01
11:00 a.m.	0,06	0,08	2,13	0,01
12:00 p.m.	0,06	0,08	2,59	0,01
01:00 p.m.	0,07	0,09	3,13	0,01
02:00 p.m.	0,04	0,07	2,23	0,01
03:00 p.m.	0,06	0,1	3,60	0,01
04:00 p.m.	0,06	0,1	2,47	0,01
Promedio	0,061	0,083	2,737	0,010
Máximo	0,07	0,10	3,60	0,01
Mínimo	0,04	0,07	2,13	0,01
Desv. Std	0,009	0,011	0,429	0,000
CV	0,144	0,128	0,157	0,000
Valor Permissible (mg/L)	0,5	0,5	0,2	0,1

Gráfico 12. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Julio 17 de 2007

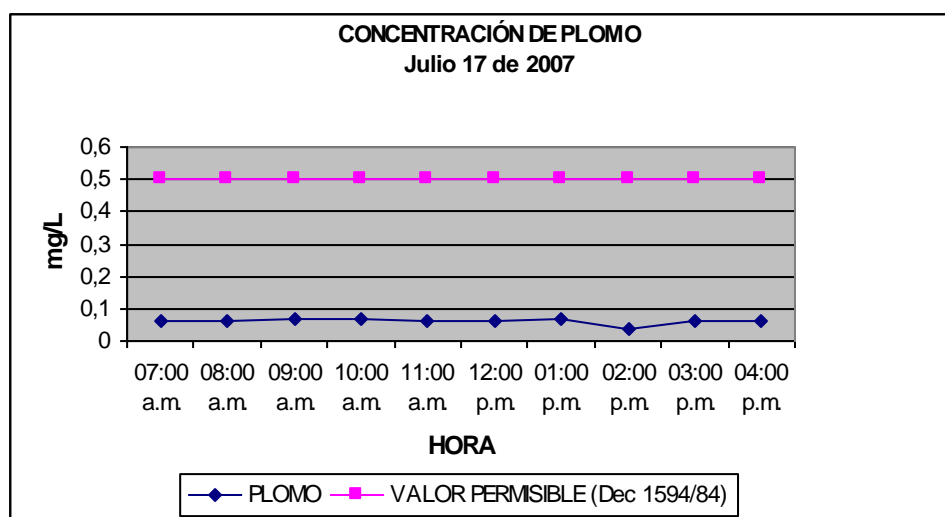
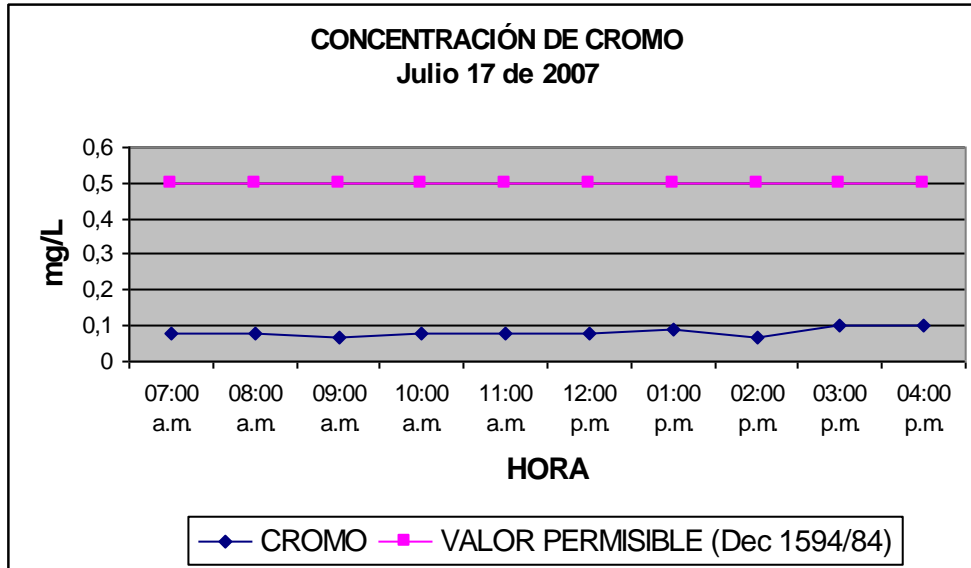


Grafico 13. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Julio 17 de 2007.



El comportamiento en concentración de los metales como el plomo y cromo para estas dos últimas jornadas presenta variaciones importantes a lo largo de las jornadas de muestreo, el cadmio no presenta ningún tipo de variación en concentración. El mercurio muestra variaciones poco significativas en comparación a los muestreos realizados en los días lluviosos. Sin embargo las concentraciones no alcanzan a cumplir con lo estipulado en el artículo 74 del decreto 1594/84.

Grafico 14. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Julio 17 de 2007.

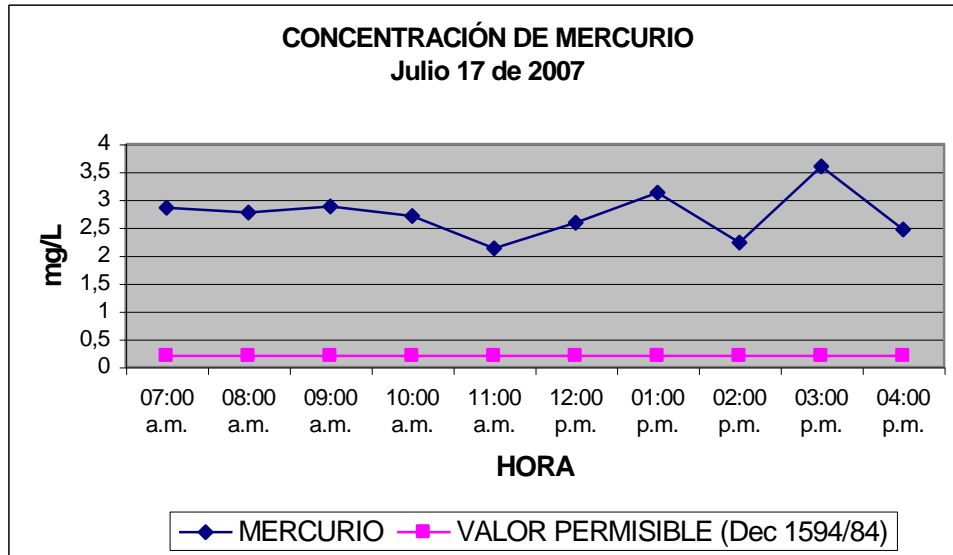
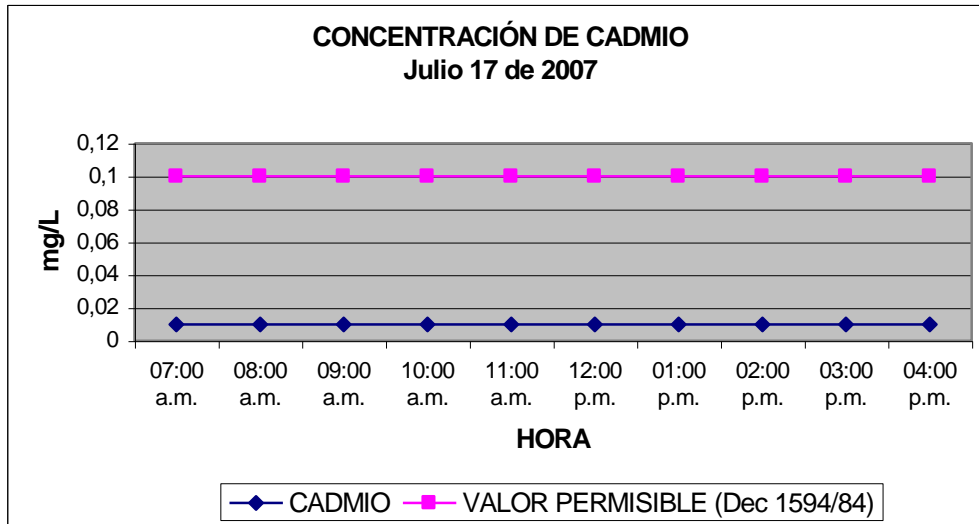


Grafico 15. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Julio 17 de 2007.



6.4 MUESTREO 19 DE JULIO

En la tabla 12 se encuentran los resultados de los análisis de el día 19 de julio, para este día los resultados de cadmio siguen lineales, sin ningún tipo de cambio en concentración el en transcurso del muestreo. Plomo, cadmio y cromo cumplen con los límites establecidos por el artículo 74 del decreto 1594/84; para mercurio de igual manera que en muestreos anteriores a los resultados sobre pasan el valor permisible en concentración.

Tabla 12. Resultados de Laboratorio. Julio 19 de 2007.

	PLOMO	CROMO	MERCURIO	CADMIO
	Absorción Atómica	Absorción Atómica	Generador de Hidruros	Absorción Atómica
HORA	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
07:00 a.m.	0,05	0,09	2,45	0,01
08:00 a.m.	0,06	0,07	2,84	0,01
09:00 a.m.	0,05	0,09	2,32	0,01
10:00 a.m.	0,05	0,06	2,5	0,01
11:00 a.m.	0,06	0,06	2,85	0,01
12:00 p.m.	0,05	0,07	2,46	0,01
01:00 p.m.	0,05	0,09	2,41	0,01
02:00 p.m.	0,05	0,08	2,53	0,01
03:00 p.m.	0,05	0,11	2,42	0,01
04:00 p.m.	0,05	0,07	2,12	0,01
Promedio	0,052	0,079	2,490	0,010
Máximo	0,06	0,11	2,85	0,01
Mínimo	0,05	0,06	2,12	0,01
Desv. Std	0,004	0,016	0,219	0,000
CV	0,081	0,202	0,088	0,000
Valor Permisible (mg/L)	0,5	0,5	0,2	0,1

Las graficas 16, 17, 18 y 19 corresponden al muestreo realizado el 19 de julio. Los muestreos del 17 y 19 de julio se realizaron en días secos, no se presentaron eventos de lluvia en estos dos días de muestreo, salvo el 19 de julio que se presento una lluvia ligera de 0,20 mm de magnitud a las 4:20 pm, teniendo en

cuenta que la última muestra fue tomada a las 4:00 pm en esta jornada de muestreo.

De la misma manera que en los muestreo de días lluviosos, para el 17 y 18 de julio se presenta un incremento de mercurio respecto a los otros metales analizados.

Gráfico 16. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Plomo. Julio 19 de 2007.

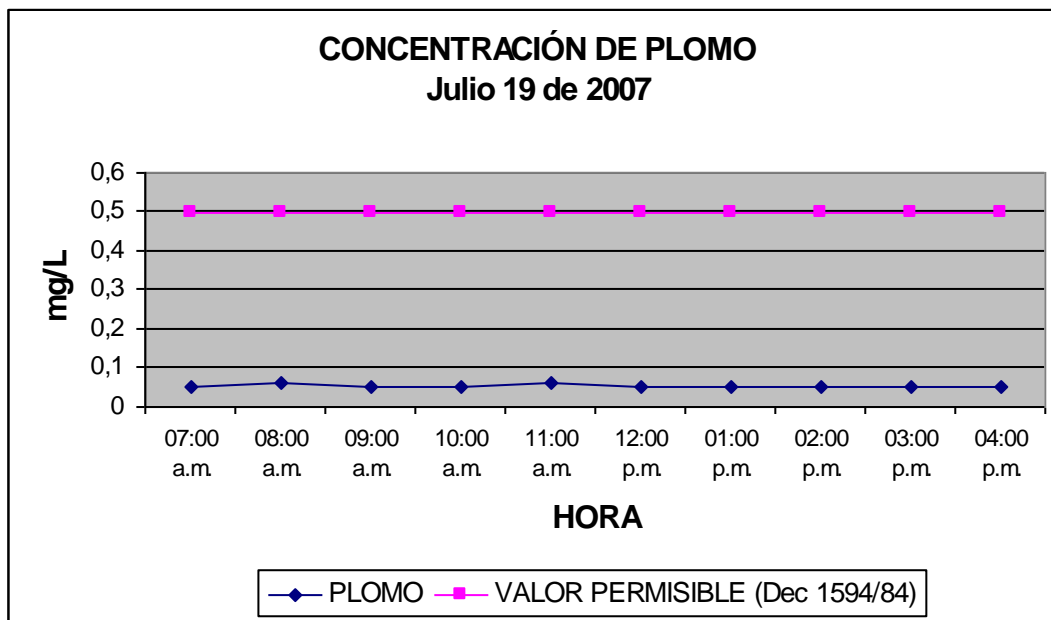


Grafico 17. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cromo. Julio 19 de 2007.

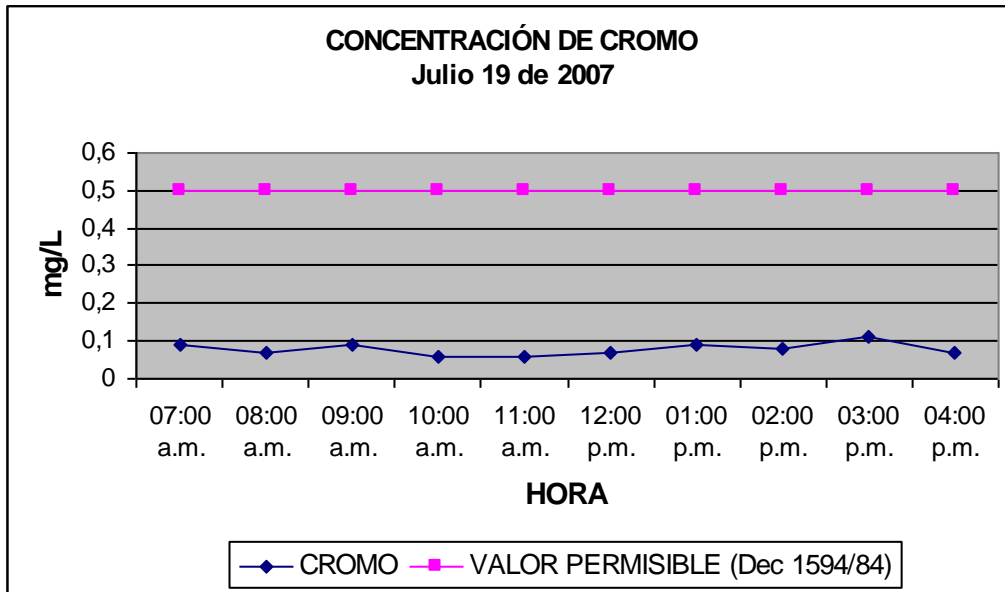


Grafico 18. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Mercurio. Julio 19 de 2007.

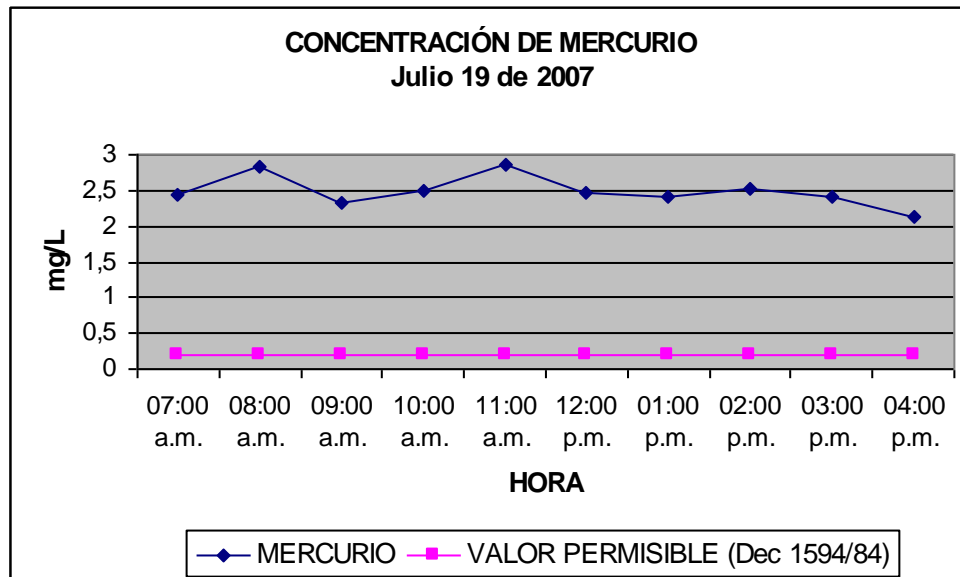
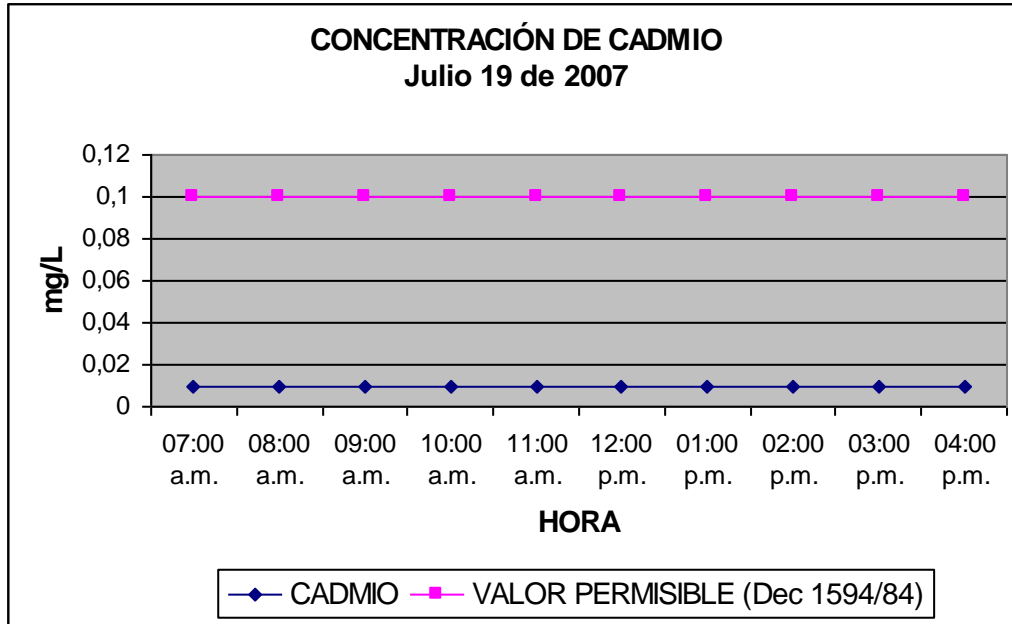


Grafico 19. Resultados de Análisis de Laboratorio. Concentraciones de Cadmio. Julio 17 de 2007.



7. RESUMEN DE RESULTADOS

En la tabla 13 se encuentra un resumen de los datos de lluvia, caudal y los resultados de los metales mas representativos. En el anexo 9 se encuentran los resultados de laboratorio de cada muestreo entrega por el laboratorio de química de la Universidad Nacional sede Manizales.

Tabla 13. Resumen de Resultados

Fecha	Lluvia mm/d	Caudal lixiviados L/s	Mercurio		Cromo	
			Conc. mg/L	Carga kg/día	Conc. mg/L	Carga kg/día
23-Jun-07	1,2					
24-Jun-07	0					
25-Jun-07	0					
26-Jun-07	24,4					
27-Jun-07	0	1,02	3,165	0,279	0,074	0,007
06-Jul-07	3,4					
07-Jul-07	5,6					
08-Jul-07	4,8					
09-Jul-07	2,6					
10-Jul-07	5	1,88	1,712	0,278	0,066	0,011
14-Jul-07	0,2					
15-Jul-07	0,4					
16-Jul-07	2,6					
17-Jul-07	0,4	1,56	2,737	0,369	0,083	0,011
18-Jul-07	0,6					
19-Jul-07	0,6	1,02	2,49	0,219	0,079	0,007
			Promedio	0,286	Promedio	0,009

En general las concentraciones son bajas de los metales analizados, con excepción de mercurio. Para los dos metales que mayor concentración reportan (mercurio y cromo) se calculan las cargas contaminantes en la tabla anterior. Se observa lo siguiente:

1. Analizando las lluvias de cuatro días precedentes a cada muestreo, se concluye que estos se realizaron con diferentes regímenes de precipitación y resultan en diferentes caudales de lixiviados.
2. Las concentraciones de mercurio tienen variaciones más sensibles con respecto al caudal, que las de cromo; quizás esto se debe a que la mayor concentración permite mayor sensibilidad en los análisis.
3. Se calculan las cargas de cada metal en las cuatro días diferentes. A pesar de corresponder a diferentes lluvias y a diferentes caudales y concentraciones, se nota que las cargas tienen menos variaciones y se

puede decir que son relativamente estables. La carga promedio de mercurio es de 0,286 kg/d y la carga de Cromo es de 0,009 kg/d.

4. No se establece una correlación de lluvias, caudales de lixiviados, concentración y carga, debido a que los datos son pocos para este análisis. Se requiere para ello de un periodo largo de análisis con estudios de Evapotranspiración, percolación, escorrentía.

En las graficas 20 y 21 se encuentran los datos de concentración promedio de Mercurio y Cromo de cada uno de los días de muestreo contra el caudal de los lixiviados. Estos datos corresponden a la tabla 13 donde se encuentra el resumen de los resultados obtenidos.

Grafico 20. Resultados de Mercurio contra Caudal de Lixiviados.

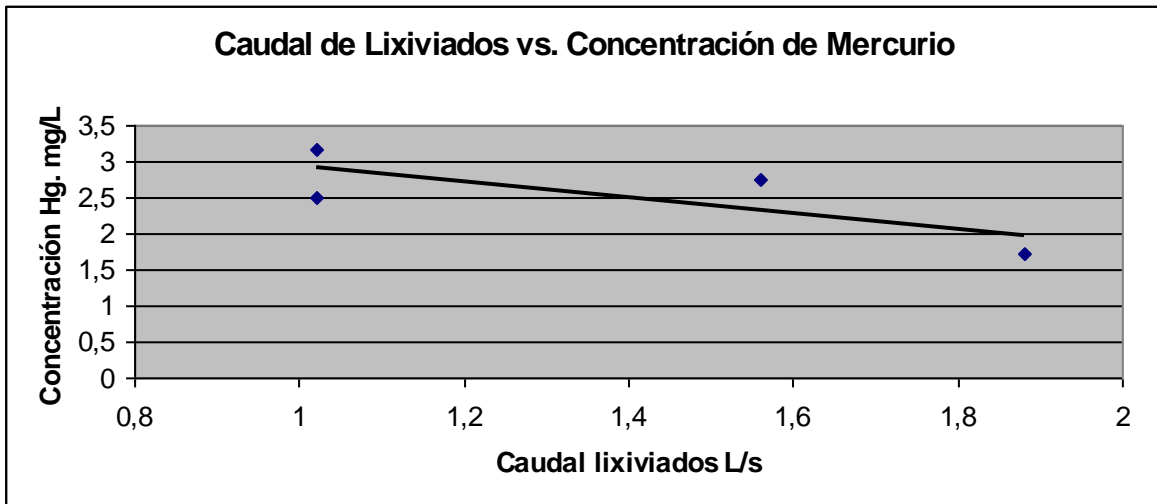
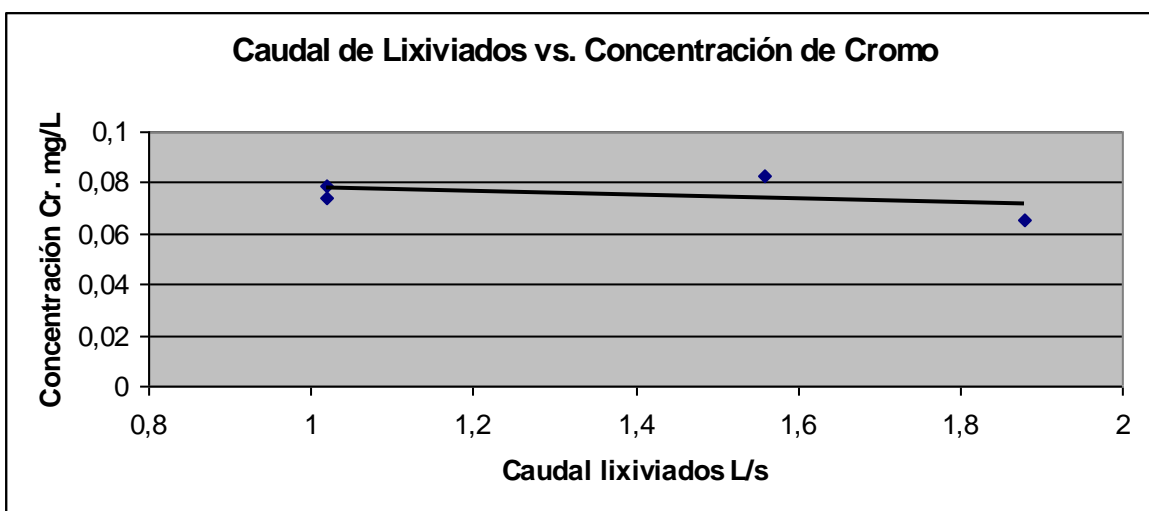


Grafico 21. Resultados de Cromo contra Caudal de Lixiviados.



8. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

- Los resultados de mercurio evidencian la necesidad de implementar un sistema de tratamiento eficiente a los lixiviados con el objeto de disminuir la concentración de este metal, evitando a la vez el deterioro de la quebrada, la cual es receptora de este vertimiento.
- La realización de un estudio detallado durante un trayecto representativo del recorrido de la quebrada Aguas Frías, podría conocerse su capacidad de asimilación teniendo en cuenta el vertimiento de lixiviados que se realiza a dicha quebrada.
- En investigaciones previas se han realizado remociones de color con carbón activado dando resultados positivos, también se podrían realizar ensayos adsorción con carbón para remover metales, en especial para la remoción de mercurio. En la actualidad, el mercado tiene opciones para realizar los ensayos con varios tipos de carbón activado especializados en remoción de metales. Una de estas opciones puede ser con la empresa EXRO LTDA, que suministra un polímero como agente quelante en los metales; este polímero se llama METALABSORB EXRO 699.

- Es importante tener en cuenta la posibilidad de realizar un estudio para determinar los tipos de residuos que están aportan mayores cantidades de mercurio al relleno y establecer protocolos para el manejo de estos.
- Los resultados de mercurio en las 4 jornadas de muestreo se encuentran fuera de los límites permisibles que establece el decreto 1594/82.
- Las concentraciones de plomo dadas en los resultados de las 4 jornadas de muestreo realizadas, se encuentra cumpliendo con lo establecido por el decreto 1594/84.
- Las concentraciones de cromo arrojadas en los resultados de las 4 jornadas de muestreo realizadas, se encuentra cumpliendo con lo establecido por el decreto 1594/84.
- Las concentraciones de cadmio arrojadas en los resultados de las 4 jornadas de muestreo realizadas, se encuentra cumpliendo con lo establecido por el decreto 1594/84.
- La realización de un mayor número de jornadas en cada época de verano e invierno, podría arrojar cambios significativos en la concentración de los metales.
- Analizando las lluvias de cuatro días precedentes a cada muestreo, se concluye que estos se realizaron con diferentes regímenes de precipitación y resultan en diferentes caudales de lixiviados.
- Según los resultados que arroja la estación meteorológica las épocas invierno se encuentran comprendidas en mayo, septiembre y noviembre; para lo cual sería importante realizar muestreos en dichas épocas y determinar el comportamiento de los metales en los lixiviados en esta época del año.
- No se establece una correlación de lluvias, caudales de lixiviados, concentración y carga, debido a que los datos son pocos para este análisis. Se requiere para ello de un periodo largo de análisis con estudios de Evapotranspiración, percolación, escorrentía.

- Las concentraciones de mercurio tienen variaciones más sensibles con respecto al caudal, que las de cromo; quizás esto se debe a que la mayor concentración permite mayor sensibilidad en los análisis.

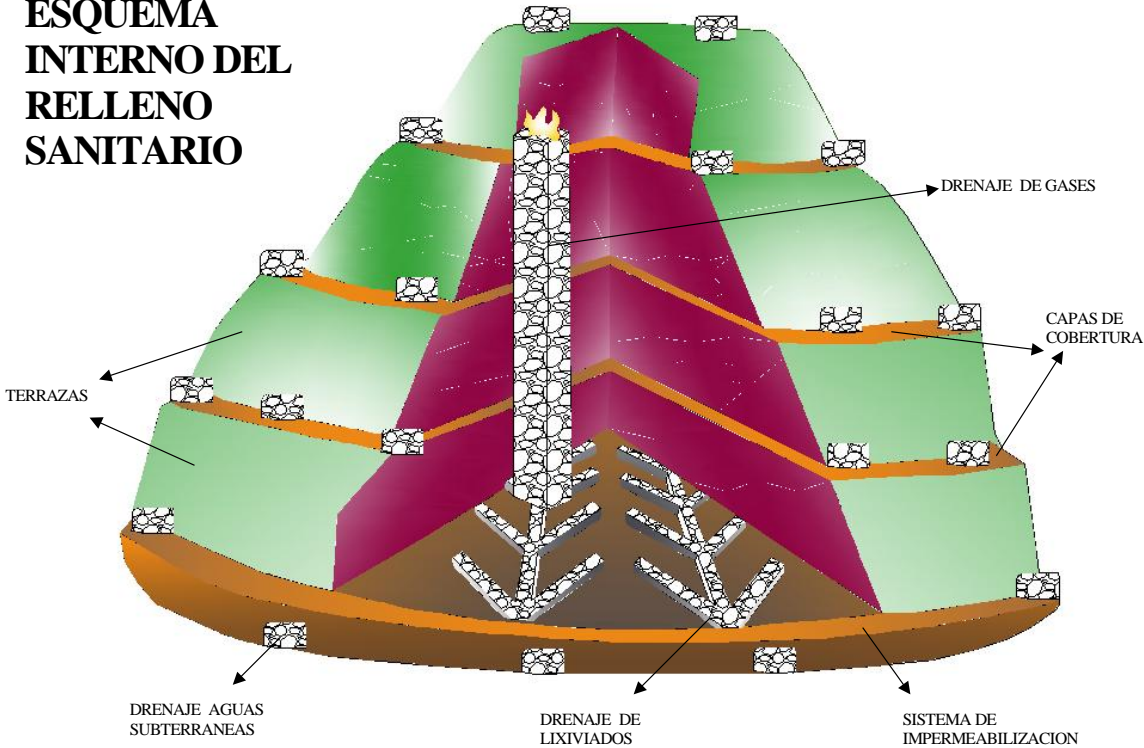
9. BIBLIOGRAFIA

- **Design of Municipal Wastewater Treatment Plants**, WEF Manual of Practice No. 8. ASCE Manual & Report on Engineering Practice No. 76.
- **Metcalf & Eddy (2003)** Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, fourth edition, McGraw-Hill, New York, 1819 pp.
- **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS OPS**, 2002, Portal del Proyecto Regional Sistemas integrados de Tratamiento y uso de las aguas residuales en América Latina: realidad y potencial.
- **Reglamento de Agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000**
- **Guía para el Monitoreo y Seguimiento del Agua**, IDEAM 2004
- **Decreto 1594** del 26 de junio de 1984 Ministerio de Salud
- **Electrocoagulación de Aguas Residuales**, Revista Colombiana de Física, Volumen 34, numero 2, 2002.
- **GIRALDO, Eugenio**. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances Recientes, Universidad de los Andes. 1997.
- **MORRILLO F. FAJARDO E.** Estudio de los reactores UASB para el tratamiento de lixiviados del relleno Sanitario la Esmeralda. Universidad Nacional de Colombia. Manizales 2005.
- **BENAVIDES P. POSADA E.** Remoción de color de los lixiviados del Relleno Sanitario la Esmeralda por adsorción sobre carbón activado. Universidad Nacional de Colombia. Manizales 2004.
- **AGUDELO, García Rubén Alberto**. Tratabilidad de Lixiviados Producidos en Rellenos Sanitarios. Universidad de Antioquia.

- **TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VIGIL.** Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I y II. Editorial Mc Graw Hill. 2000.

ANEXO 1
FOTOGRAFÍAS DE FILTROS PRINCIPALES, SECUNDARIOS, INTERMEDIOS
Y PERIMETRALES PARA EVACUACIÓN DE LIXIVIADOS

ESQUEMA INTERNO DEL RELLENO SANITARIO



FILTRO PRINCIPAL



RED DE FILTROS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS DE LA BASE



CHIMENEAS



FILTROS INTERMEDIOS PARA LIXIVIADOS



FILTRO PERIMETRAL DEBAJO Y CANA L DE AGUAS LLUVIAS



ANEXO 2
**FOTOGRAFIAS DE LOS CANALES DE LIXIVIADOS, VERTEDEROS,
CANALETA PARSHALL, CAMARA DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA,
ESTACIÓN DE BOMBEO, ETC**

CANAL DE LIXIVIADOS 1



CANAL DE LIXIVIADOS 2



CANALETA PARSHALL



CANAL DE LIXIVIADOS 4



CANAL DE OXIGENACIÓN



LIXIADUCTO



CAMARA DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA



ESTACIÓN DE BOMBEO



REJILLA PARA SÓLIDOS



ANEXO 3
FOTOGRAFIAS TANQUE HOMOGENIZADOR



ANEXO 4
FOTOGRAFIAS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO UASB



ESTRUCTURA ENTRE TANQUE REGULADOR Y REACTOR UASB





REACTOR UASB





ANEXO 5
FOTOGRAFÍAS PLANTA DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA



ANEXO 6
FOTOGRAFIAS CANAL DE OXIGENACIÓN



ANEXO 7
FOTOGRAFIAS LECHO DE SECADO DE LODOS



