

**AFECTACIONES AMBIENTALES DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN LOS  
RELLENOS SANITARIOS SOBRE EL RECURSO AGUA.**

**EDINSON GÓMEZ VASQUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2018**

**AFECTACIONES AMBIENTALES DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN LOS  
RELLENOS SANITARIOS SOBRE EL RECURSO AGUA.**

**EDINSON GÓMEZ VASQUEZ**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Química Ambiental.**

**Director**

**ROLANDO SANTOS SANTOS.  
Especialista en Auditorías y Estudios de Impacto Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2018**

## **DEDICATORIA**

En el proceso de mi crecimiento académico como Ingeniero Ambiental, decidí cumplir una meta la cual era realizar la especialización de Química Ambiental en la Universidad Industrial de Santander, la cual lleno mis expectativas y me permitió escalar un peldaño más en la vida. Por ello este logro lo dedico a Dios primeramente por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy; a mis padres por darme la vida, por su amor incondicional y porque siempre me han apoyado en todo lo que emprendo; también a todos aquellos familiares y amigos que contribuyeron de una u otra manera a la realización de este logro, ustedes saben quiénes son.

**EDINSON GÓMEZ VASQUEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Por el interés demostrado en el desarrollo de esta monografía, manifiesto mi agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho parte de este proceso.

### **Se agradece:**

Al Ingeniero Rolando Santos Santos, Director de la misma por su constante apoyo y paciencia en cada una de las etapas desarrolladas, y por compartir su experiencia y conocimiento.

Al Ingeniero Jairo Claret Puente Bruges, como evaluador de la monografía, por sus aportes enriquecedores en la formulación del documento final.

A todos y cada uno de los funcionarios y docentes de la Universidad Industrial de Santander, adjuntos al programa de Especialización en Química Ambiental, por su contribución a nuestra formación y desarrollo profesional.

A cada uno de los profesionales que me asesoraron y que con su conocimiento hicieron posible la realización de esta monografía.

A mis compañeros y amigos de la especialización por brindarme su amistad y colaboración en los momentos que la necesite.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS.</b>	<b>16</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL.</b>	<b>16</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</b>	<b>16</b>
<b>3. NORMATIVIDAD APLICABLE.</b>	<b>17</b>
<b>4. METODOLOGÍA PROPUESTA.</b>	<b>19</b>
<b>4.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN.</b>	<b>19</b>
<b>4.2 TIPOS DE FUENTES DE INFORMACIÓN.</b>	<b>19</b>
<b>4.3 PROCEDIMIENTO.</b>	<b>20</b>
4.3.1 Etapa 1. Identificar los tipos de lixiviados generados en los rellenos sanitarios.	20
4.3.2 Etapa 2. Caracterizar los impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua.	20
4.3.3 Etapa 3. Definir acciones de mitigación para los impactos ambientales generados sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios.	21
<b>5. DESARROLLO METODOLÓGICO.</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Tipos de lixiviados generados en los rellenos sanitarios.</b>	<b>22</b>
5.1.1 Residuos Sólidos.	22
5.1.1.1 Definición	22
5.1.1.2 Características de los residuos sólidos.	22
5.1.1.3 Factores influyentes en la generación, características y cantidad de los residuos sólidos.	23
5.1.1.4 Clasificación de los residuos sólidos urbanos para Colombia.	24
5.1.1.5 Generación y composición de los residuos sólidos en Colombia.	26
5.1.1.6 Reacciones físicas, químicas y biológicas que se presentan en la degradación de los residuos sólidos.	27
5.1.1.7 Ciclo del manejo integral de los residuos sólidos.	29
5.1.2 Relleno sanitario	30
5.1.2.1 Definición	30
5.1.2.2 Tipos de rellenos sanitarios.	31
5.1.2.3 Ventajas y limitaciones del relleno sanitario.	33
5.1.2.4 Descripción General de un Relleno Sanitario.	34
5.1.2.5 Efectos de los vertederos sobre el medio ambiente.	36
5.1.2.6 Problemática de la disposición final de residuos sólidos en Colombia.	38
5.1.2.7 Acuerdos internacionales para la reducción de los rellenos sanitarios a su mínima expresión	41
5.1.3 Lixiviados.	44
5.1.3.1 Definición.	44
5.1.3.2 Composición y tipos de lixiviados en un relleno sanitario.	45
5.1.3.3 Factores que influyen en la cantidad de lixiviados que se generan en un relleno sanitario.	47

5.1.3.4 Parámetros generales que se deben monitorear en el vertimiento de lixiviados de un relleno sanitario.	48
<b>5.2. Impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua.</b>	<b>52</b>
5.2.1 El agua.	52
5.2.1.1 Definición.	52
5.2.1.2 Composición y estructura.	52
5.2.1.3 Cantidad de agua en el planeta.	53
5.2.1.4 Importancia del agua.	54
5.2.1.5 Principales contaminantes del agua en Colombia.	55
5.2.2. Principales impactos ambientales de los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua.	57
5.2.3 Caracterización de los impactos ambientales de los lixiviados de los rellenos sanitarios sobre el recurso agua, según la Matriz Leopold.	61
5.2.3.1 Definición.	61
5.2.3.2 Antecedentes.	61
5.2.3.3 Procedimiento de síntesis para la elaboración y aplicación de la matriz Leopold.	62
<b>5.3 Acciones de mitigación para los impactos ambientales generados sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios.</b>	<b>68</b>
5.3.1 Reciclaje.	68
5.3.2 Reutilizar.	69
5.3.3 Compostaje.	69
5.3.4 Recirculación de lixiviados.	70
5.3.5 Evaporación de lixiviados.	71
5.3.6 Tratamientos biológicos aeróbicos	73
5.3.7 Tratamientos biológicos anaeróbicos	74
5.3.8 Tratamientos fisicoquímicos.	75
5.3.8.1 Coagulación/Floculación.	76
5.3.8.2 Oxidación.	76
5.3.8.3 Osmosis inversa.	77
5.3.8.4 Nanofiltración.	77
5.3.8.5 Síntesis de las acciones de mitigación para el tratamiento de lixiviados.	78
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>81</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.</b>	<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>85</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Normatividad aplicable al tema de la monografía.	17
Tabla 2. Factores que influyen en la generación, características y cantidad de los residuos sólidos en un determinado lugar.	24
Tabla 3. Clasificación de los residuos sólidos en base a la GTC 24.	25
Tabla 4. Generación de residuos sólidos en Colombia.	26
Tabla 5. Composición física de los residuos sólidos urbanos en Colombia.	27
Tabla 6. Fases de fermentación en la degradación de los residuos sólidos.	29
Tabla 7. Ventajas y limitaciones de un relleno sanitario.	33
Tabla 8. Tipos de lixiviados presentes en un relleno sanitario.	46
Tabla 9. Parámetros que deben monitorear en el vertimiento de un lixiviado.	51
Tabla 10. Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.	56
Tabla 11. Aspectos negativos por la presencia de lixiviados en las corrientes de aguas.	60
Tabla 12. Matriz Leopold valoración de impactos Negativos.	63
Tabla 13. Matriz Leopold valoración de impactos Positivos.	64
Tabla 14. Matriz Leopold, impactos de los lixiviados sobre el recurso hídrico.	65
Tabla 15. Síntesis Matriz Leopold, impactos de los lixiviados sobre el recurso hídrico.	66
Tabla 16. Aspectos ambientales del agua afectados por los lixiviados.	67
Tabla 17. Generación de lixiviados con relación a su ciclo de vida y su valor de impacto sobre el recurso agua.	67
Tabla 18. Comparación de tratamientos para la remoción de contaminantes en los lixiviados.	78

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Etapas del ciclo del manejo integral de los residuos sólidos.	30
Figura 2. Relleno sanitario tipo área.	31
Figura 3. Relleno sanitario tipo rampa.	31
Figura 4. Relleno sanitario tipo zanja o trinchera.	32
Figura 5. Relleno sanitario tipo combinado área y rampa.	32
Figura 6. Esquema de un relleno sanitario.	36
Figura 7. Como contamina un relleno sanitario.	37
Figura 8. Lixiviado generado en rellenos sanitarios.	44
Figura 9. Estructura molecular del agua.	53
Figura 10. Distribución de agua global en el mundo.	54
Figura 11. Ciclo del agua.	55

## RESUMEN

**TITULO:** AFECTACIONES AMBIENTALES DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS SOBRE EL RECURSO AGUA.\*

**AUTOR:** EDINSON GÓMEZ VASQUEZ. \*\*

**Palabras claves:** Relleno sanitario, Residuos sólidos, lixiviados, recurso agua, impactos ambientales, acciones de mitigación.

**DESCRIPCIÓN:** La presente monografía como modalidad de trabajo de grado para la especialización en Química ambiental, tiene como finalidad identificar y caracterizar los impactos ambientales sobre el recurso agua, ocasionados por la generación de lixiviados debido a la degradación de los residuos sólidos en los rellenos sanitarios, todo ello se realiza mediante la aplicación de métodos de estudio cuantitativos y cualitativos con el fin de llegar al origen de la problemática actual. A su vez la metodología a utilizar se orientó en tres etapas para el cumplimiento de la misma, en primer lugar se identificaron los tipos de lixiviados generados en los rellenos sanitarios. Como segunda etapa se identificaron y evaluaron los impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua mediante la metodología Leopold de causa y efecto. Y por último se definieron las diferentes acciones de mitigación para los impactos ambientales generados sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios.

Los resultados esperados con el desarrollo de este estudio son positivos, pues permiten la creación de un referente para la toma de decisiones que beneficien al medio ambiente, en relación a los impactos que los lixiviados generan sobre el recurso agua. Y también que alimentan una de las líneas de investigación dentro de las temáticas de profundización en la Especialización en Química Ambiental de la Universidad industrial de Santander.

---

\*Trabajo de grado.

\*\* Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: SANTOS SANTOS, Rolando. Especialista en Auditorías y Estudios de Impacto Ambiental.

## ABSTRACT

**TITLE:** ENVIRONMENTAL AFFECTATIONS OF THE LIXIVIATES GENERATED IN THE SANITARY FILLERS ON THE WATER RESOURCE. \*

**AUTHOR:** EDINSON GÓMEZ VASQUEZ. \*\*

**Keywords:** Sanitary landfill, solid waste, leachate, water resource, environmental impacts, mitigation actions.

**DESCRIPTION:** The present monograph as a work modality of degree for the specialization in Environmental Chemistry, has the purpose of identifying and characterizing the environmental impacts on the water resource, caused by the generation of leachates due to the degradation of the solid waste in the landfills, all This is done through the application of quantitative and qualitative study methods in order to arrive at the origin of the current problem. At the same time, the methodology to be used was oriented in three stages for the fulfillment of the same, in the first place the types of leachate generated in landfills were identified. As a second stage, the environmental impacts generated by leachates from sanitary landfills were identified and evaluated on the water resource through the Leopold methodology of cause and effect. And finally, the different mitigation actions were defined for the environmental impacts generated on the water resource, by the leachates from landfills.

The results expected with the development of this study are positive, because they allow the creation of a reference for decision making that benefits the environment, in relation to the impacts that leachates generate on the water resource. And also that they feed one of the lines of research within the themes of deepening in the Specialization in Environmental Chemistry of the Industrial University of Santander.

---

\*Degree work

\*\* Industrial University of Santander. Science Faculty. School of Chemistry Specialization in Environmental Chemistry. Director: SANTOS SANTOS, Rolando. Specialist in Audits and Studies of Environmental Impact.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales más alarmantes y que ocasiona grandes afectaciones sobre el recurso agua, es la generación de lixiviados procedentes de la disposición final de los residuos sólidos en un relleno sanitario.

Estos lixiviados emanados generalmente por la carga orgánica presente en los residuos sólidos, se encuentran en mayores volúmenes por la influencia de factores climáticos como la precipitación y la temperatura.

Debido a la falta de una separación en la fuente, la carga orgánica presente en los lixiviados de los rellenos sanitarios, se ve impregnada de otras sustancias como compuestos o elementos químicos presentes en los demás residuos sólidos, esto aumentando la carga contaminante que lleva este efluente, y por ende ocasionando mayores impactos sobre el recurso agua una vez tiene contacto con el mismo, esta afectación se incrementa si no se le realiza un tratamiento previo al lixiviado antes de ser vertido.

Esto ha avivado la preocupación del hombre debido a los alcances negativos, que estos efluentes contaminantes generan al tener contacto con el recurso agua, ya sea por vertimiento, evaporación -precipitación o infiltración al suelo. Por tal razón el mismo se ha ocupado en diseñar y proponer acciones que mitiguen las afectaciones que se causan a diario sobre un ecosistema en particular.

El marco de referencia para el establecimiento y ejecución de esta propuesta de grado para la Especialización en Química Ambiental, acerca de las Afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua, tiene su importancia en la identificación de los principales componentes fisicoquímicos presentes en los lixiviados, con el fin de reconocer los impactos ambientales que se generan, y promover acciones de mitigación que permitan el desarrollo de procesos limpios, y a su vez el cuidado y protección de un recurso vital como el agua para la continuidad de vida en un ecosistema.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

De todos los seres vivos que habitan el planeta Tierra, el hombre es el mayor generador de residuos sólidos de todo tipo, debido al gran desarrollo industrial de este siglo. Como factor intrínseco para la mitigación de este impacto ambiental, se ha implementado la recolección de residuos sólidos a través de sistemas de acopio puerta a puerta, los cuales tienen como sitio de disposición final los rellenos sanitarios.

Este proceso de disposición final, se caracteriza por la llegada de los residuos sólidos en camiones de recolección al relleno sanitario, donde son depositados en sitios denominados cárcavas. Los diferentes residuos allí dispuestos permanecerán indefinidamente con el objetivo de ser degradados, por la acción del tiempo y de los factores climáticos, como la precipitación, la temperatura y la radiación solar, al iniciarse el proceso de descomposición, se generan olores ofensivos, gases tóxicos, gases efecto invernadero asociados al calentamiento global y lixiviados o sustancias líquidas provenientes de la degradación de la materia orgánica allí presente.

En la mayoría de los rellenos sanitarios del país, llegan los residuos sólidos mezclados al no realizarse una separación en la fuente, esta situación afecta de manera significativa la carga de lixiviación generada, pues no traerá consigo solo materia orgánica, sino además la presencia de diversas sustancias químicas tóxicas adheridas, provenientes de otras clases de residuos.

Los lixiviados generados en un relleno sanitario deben ser eliminados periódicamente, mediante la ubicación de tuberías dentro de las cárcavas, en este proceso se presentan algunas fallas como la infiltración de lixiviados al suelo, o la carencia de un pretratamiento de estos líquidos antes de ser vertidos a una fuente hídrica o al alcantarillado. Es aquí donde se generan los principales impactos ambientales sobre el recurso agua, y se alteran las condiciones normales de un ecosistema, evidenciándose esto en la degradación del suelo, la eliminación de la cobertura vegetal y la muerte de especies faunísticas.

La problemática planteada anteriormente, direcciona esta investigación a la siguiente pregunta:

¿Qué importancia tiene la caracterización de los impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua?

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Identificar las afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Identificar los tipos de lixiviados generados en los rellenos sanitarios.
- Caracterizar los impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua.
- Definir acciones de mitigación para los impactos ambientales generados sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios.

### 3. NORMATIVIDAD APLICABLE.

En la siguiente tabla se presenta la normatividad ambiental aplicable al tema de la presente monografía.

Tabla 1. Normatividad aplicable al tema de la monografía.

NORMA	MAGNITUD	DESCRIPCIÓN
Ley 23 de 1973.	Nacional.	Principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo y otorgó facultades al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales
Decreto ley 2811 de 1974.	Nacional.	Código nacional de los recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los RNR, la defensa del ambiente y sus elementos.
Decreto 1449 de 1977.	Nacional.	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática.
Constitución Política de Colombia, 1991.	Nacional.	Establece que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente y conservar las áreas de importancia ecológica. Además deberá planificar el manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Ley 99 de 1993.	Nacional.	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental. Organiza el sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos.
Decreto 351 de 2014.	Nacional.	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades.
Decreto 838 de 2005	Nacional.	Establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Ordinarios, en lo correspondiente a sus componentes, niveles, clases, modalidades y calidad. Además asigna a los municipios y departamentos la responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos y la obligación de formular e implementar planes de gestión integral de residuos sólidos, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 4741 de 2005.	Nacional.	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o

		desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
GTC-ISO/IEC 24 de 2009	Nacional.	Guía Técnica Colombiana para la separación en la fuente.
Decreto 3930 de 2010.	Nacional.	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2981 de 2013.	Nacional.	por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo
Ley 1672 de 2013.	Nacional.	Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones.
Resolución 0754 de 2014.	Nacional.	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Resolución 0631 de 2015.	Nacional.	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1077 de 2015	Nacional.	Por el medio el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Título 2 servicio público de aseo, artículo 2.3.2.1.1.
Decreto 1076 de 2015.	Nacional.	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Resolución 472 de 2017.	Nacional.	Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1784 de 2017.	Nacional.	Por el cual se modifica y adiciona el decreto número 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo.
Decreto 050 de 2018.	Nacional.	Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de las Macrocuencas (Carmac), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.

Fuente. Documentos encontrados en línea de cada normatividad.

## 4. METODOLOGÍA PROPUESTA.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se definió el siguiente plan de trabajo, siendo el método el camino que se elige para la obtención de un fin y el procedimiento la inclusión de la definición de tareas, normas y procedimientos para la ejecución.

### 4.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN.

Con el objetivo de lograr el propósito de este proyecto de investigación, se tuvieron en cuenta dos tipos de investigaciones:

- **Investigación exploratoria.** Esta investigación es ajustable para este estudio a realizar, pues el conocimiento que se tiene sobre las afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua, es un poco ambiguo, lo cual impide realizar las hipótesis y conclusiones más adecuadas para la mitigación de este impacto. Por otra parte esta investigación permite explorar el material documental y corroborar dicha información primaria con la realidad.
- **Investigación Descriptiva.** Esta investigación aplica en este análisis para los impactos sobre el recurso agua, debido al contacto con los lixiviados de los rellenos sanitarios, puesto que un medio de adquirir conocimiento sobre una situación en particular, es la descripción de una serie de conceptos y variables identificados, que permitirán conocer la problemática ambiental que allí se presenta, con el objeto de plantear las posibles medidas de restauración o mitigación para la misma.

### 4.2 TIPOS DE FUENTES DE INFORMACIÓN.

Las principales fuentes de información que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este trabajo de grado en modalidad de monografía, fueron las de categoría secundaria; enfocadas en la información que diferentes autores recolectaron ya hubiese sido como información primaria de campo, análisis propios o la utilización de otros materiales bibliográficos existentes, todo ello en relación al tema de

afectaciones ambientales de los lixiviados de los rellenos sanitarios sobre el recurso agua.

#### **4.3 PROCEDIMIENTO.**

Para lograr la realización de los objetivos propuestos para esta monografía se aplicó el siguiente procedimiento estructurada en tres etapas:

**4.3.1 Etapa 1. Identificar los tipos de lixiviados generados en los rellenos sanitarios.** Para el desarrollo de este objetivo se realizó una revisión y recolección de la información contenida en libros, artículos, tesis de grado, documentos web, estudios recientes, papers; la cual permitió conocer los datos más relevantes en base al tipo de residuos sólidos que se depositan generalmente en un relleno sanitario, y a su vez mediante el estudio de la caracterización fisicoquímica de los mismos, conocer los tipos de lixiviados que allí se generan.

**4.3.2 Etapa 2. Caracterizar los impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua.** Tendiendo como fuente estudios anteriores e información de tipo primaria y secundaria, consignada en medios tanto impresos como digitales, se realizó una descripción de los impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios sobre el recurso agua. Esta información recolectada se ordenó y analizó mediante la aplicación de una matriz Leopold. Esta metodología se basa en la aplicación de una matriz con el fin de establecer relaciones causa - efecto de acuerdo a las características propias de cada proyecto.

En esta matriz se presentaron en las filas los aspectos o factores ambientales para cada recurso natural, y en las columnas las actividades dentro del relleno sanitario que generan los posibles impactos.

Esta matriz califica los aspectos ambientales (filas) y las actividades de un proceso (columnas), mediante la intercepción de las mismas en un cuadro específico, en este se ubicaron valores de acuerdo a la magnitud e importancia de la alteración potencial provocada, con el fin de obtener un valor por fila y columna del impacto generado, y poder sacar las conclusiones más apremiantes de la relación de las actividad de un proyecto con el medio natural.

#### **4.3.3 Etapa 3. Definir acciones de mitigación para los impactos ambientales generados sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios.**

Una vez caracterizados y evaluados los impactos ambientales que se generan sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios mediante la aplicación matriz Leopold, se describieron los parámetros técnicos para la definición de diversas acciones de mitigación, como herramienta para la planificación de procesos de restauración ambiental de los ecosistemas que circundan las áreas de disposición final de los residuos sólidos.

## 5. DESARROLLO METODOLÓGICO.

A continuación se encuentra toda la información bibliográfica recolectada, en función del tema de referencia de los lixiviados generados por los residuos sólidos en los rellenos sanitarios, y su incidencia sobre el recuso agua, todo ello como cumplimiento al desarrollo metodológico planteado para esta monografía.

### 5.1. Tipos de lixiviados generados en los rellenos sanitarios.

Para identificar los tipos de lixiviados que se generan en un relleno sanitario en general, es necesario realizar en primer lugar la búsqueda de diferentes conceptos precursores para la formación de este.

#### 5.1.1 Residuos Sólidos.

**5.1.1.1 Definición.** Los residuos sólidos son los diferentes tipos de objetos, materiales, sustancias o elementos, producto de la fabricación, transformación o utilización de un bien en labores domésticas, industriales, agropecuarias, comerciales, de salud, institucionales o de servicios. Que el productor desecha, dispone o entrega y que son aptos o no de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, generando ganancias económicas rentables.<sup>1</sup>

#### 5.1.1.2 Características de los residuos sólidos.

##### ❖ Características físicas.

- **Estructura Gravimétrica:** Es el peso en porcentaje de un tipo de residuo en específico sobre el total de residuos sólidos generados.

---

<sup>1</sup> COLOMBIA, MINAMBIENTE. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Título preliminar. Capítulo I. artículo 1, Definiciones.2002.

- **Peso específico:** Relación entre el peso de los residuos y el volumen que ocupan.
- **Compresibilidad:** Es la fuerza de reducción debido a una presión aplicada, que soporta un determinado volumen de residuos.
- **Producción Per Cápita:** Cuantía de residuos diaria producida una persona se expresa en se expresa en Kg/hab-día. <sup>2</sup>

❖ **Características químicas.**

- **Poder Calorífico:** Proporción de calor que emana un determinado material cuando es incinerado.
- **Potencial de Hidrógeno (pH):** Expresa el valor de acidez o alcalinidad que puede alcanzar un residuo.
- **Composición Química:** Especifica y determina la presencia de diferentes compuestos químicos en los residuos mediante un análisis químico.
- **Relación carbono/nitrógeno.** Indica el nivel de degradación de la fracción orgánica en el tratamiento y disposición final.

❖ **Características biológicas.**

Esta característica hace referencia a la población microbiana y los diferentes agentes patógenos presentes en una muestra de residuos sólidos, se determinan mediante un análisis microbiológico de laboratorio. <sup>3</sup>

**5.1.1.3 Factores influyentes en la generación, características y cantidad de los residuos sólidos.** Los factores que influyen en la generación, características y cantidad per cápita de los residuos sólidos en un determinado lugar, se presentan en la siguiente tabla.

---

<sup>2</sup> MALDONADO, Juan. Rellenos Sanitarios. Guía Ambiental. MINAMBIENTE. 2002. p. 16

<sup>3</sup> *Ibíd.*, p. 17.

Tabla 2. Factores que influyen en la generación, características y cantidad de los residuos sólidos en un determinado lugar.

Factores		Influencia
Climáticos	Lluvia	Aumento contenido de humedad.
	Otoño	Aumento contenido de hojas.
	Verano	Aumento contenido de: envases de bebidas (lastas, vidrio, plástico).
Épocas especiales	Navidad/ Año nuevo	Aumento embalajes (papel, cartón, plástico y metal).
	Vacaciones escolares	Aumento de población en áreas turísticas.
	Otras festividades	Aumento de envases bebidas (lata, vidrio, plástico rígido)
Demográficos	Población urbana	Mayor población, mayor generación per cápita de Residuos sólidos.
Socioeconómicos	Poder adquisitivo	Mayor consumo de productos superfluos, mayor generación per cápita de residuos sólidos.
	Desarrollo tecnológico	Introducción materiales más livianos, reduciendo peso específico aparente de los residuos sólidos.
	Promociones comerciales	Aumento de embalajes.

Fuente. LEITE, M. Wilson y PEINADO, M.J. Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en ciudades de América Latina y el Caribe. Ed. IBAM-IDRC. Río de Janeiro. 2006. p. 261.

**5.1.1.4 Clasificación de los residuos sólidos urbanos para Colombia.** De acuerdo a su fácil manejo, explotación y disposición los residuos sólidos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Ordinarios o comunes.** Son aquellos que se les conoce una vía de tratamiento o disposición final convencional, que se crean en todas las áreas de producción del generador. Ej. Papel, vidrio, envases y plástico.
- **Especiales.** Son aquellos que necesitan una gestión diferente a la habitual en base a sus características de recuperación o peligrosidad. Ej. Escombros, llantas, colchones, aparatos eléctricos y electrónicos.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> MINISTERIO DE VIVIENDA, Ciudad y Territorio. Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico República de Colombia. Resolución 1447 de 2005. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano. 2005. p.49-50.

A continuación se presenta la clasificación de los residuos sólidos en base a la separación en la fuente de los mismos según la Guía Técnica Colombia 24 (GTC 24), las cuales conllevan gran similitud en sus especificaciones.

Tabla 3. Clasificación de los residuos sólidos en base a la GTC 24.

Tipo de residuo	Clasificación	Ejemplos
Residuos no peligrosos	1. Aprovechables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartón y papel (hojas, plegadiza, periódico, carpeta).</li> <li>• Vidrio (Botellas, recipientes) <sup>A</sup>.</li> <li>• Plásticos (Bolsas, garrafas, envases, tapas) <sup>A</sup>.</li> <li>• Residuos metálicos (chatarra, tapas, envases) <sup>A</sup>.</li> <li>• Textiles (ropa, limpiones, trapos).</li> <li>• Madera (aserrín, palos, cajas, guacales, estibas).</li> <li>• Cuero (ropa, accesorios).</li> <li>• Empaques compuestos (cajas de leche, cajas jugo, cajas de licores, vasos y contenedores desechables) <sup>A</sup>.</li> </ul>
	2. No aprovechables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papel tissue (papel higiénico, paños húmedos, pañales, toallas de mano, toallas sanitarias, protectoras diarios).</li> <li>• Papeles encerados, plastificados, metalizados.</li> <li>• Cerámicas.</li> <li>• Vidrio plano.</li> <li>• Huesos.</li> <li>• Material de barrido.</li> <li>• Colillas de cigarrillo.</li> <li>• Materiales de empaque y embalaje sucios.</li> </ul>
	3. Orgánicos biodegradables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de comida.</li> <li>• Cortes y podas de Materials vegetales.</li> <li>• Hojarasca.</li> </ul>
Residuos peligrosos		<p>A nivel doméstico se generan algunos de los siguientes residuos peligrosos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilas, lámparas, fluorescentes, aparatos eléctricos y electrónicos.</li> <li>• Productos químicos como aerosoles inflamables, solventes de pinturas, plaguicidas, fertilizantes, aceites y lubricantes usados, baterías de automotores y sus respectivos envases o empaques.</li> <li>• Medicamentos vencidos.</li> <li>• Residuos con riesgo biológico tales como: cadáveres de animales y elementos que han entrado en contacto con bacterias, virus o microorganismo patógenos, como agujas, residuos humanos, limas, cuchillas, entre otros.</li> </ul>

<b>Residuos especiales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escombros.</li> <li>• Llantas usadas.</li> <li>• Colchones.</li> <li>• Residuos en gran volumen como por ejemplo: muebles, estanterías, electrodomésticos.</li> </ul>
<p><sup>A</sup> Se recomienda que los envases estén enjuagados y secos para garantizar su valorización.</p>	
<p>Nota 1. Para que los residuos no sean clasificados como peligrosos no pueden estar impregnados o haber estado en contacto con sustancias clasificadas como peligrosas.</p>	

Fuente. Guía Técnica Colombiana. GTC 24. Gestión Ambiental Residuos Sólidos. Guía para la Separación en la Fuente. ICONTEC. 2009. p. 7.

#### 5.1.1.5 Generación y composición de los residuos sólidos en Colombia.

Estudios realizados por el Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, determinaron que en Colombia la producción de residuos sólidos es cercana a las 27.500 toneladas por día, de estas el 40.7% se le atribuyen a las cuatro principales ciudades. Bogotá con un 20%, y Medellín Cali y Barranquilla responsables de un 20.7%, las otras capitales de departamento con un valor alrededor de los 18.7%, y el 40.6 % se generan en el resto de los 1054 municipios.

5

Tabla 4. Generación de residuos sólidos en Colombia.

Producción RSU %	Ciudades	Cantidad (toneladas/día)
<b>40.7</b>	Bogotá.	5.500
	Medellín.	2.420
	Cali.	1.815
	Barranquilla.	1.457
<b>18.7</b>	Otras capitales de departamento.	5.143
<b>40.6</b>	1054 municipios	11.165

Fuente. ARRIETA, G. Aplicación de la metodología de diagnóstico ambiental para vertederos de residuos urbanos (EVIAVE) en el contexto de los rellenos sanitarios de Colombia. Memoria para la obtención del DEA. Universidad de Granada, España. 2007.

En la siguiente tabla se presenta la composición física porcentual de los residuos sólidos urbanos en Colombia.

<sup>5</sup> ARRIETA, G. Aplicación de la metodología de diagnóstico ambiental para vertederos de residuos urbanos (EVIAVE) en el contexto de los rellenos sanitarios de Colombia. Memoria para la obtención del DEA. Universidad de Granada, España. 2007.

Tabla 5. Composición física de los residuos sólidos urbanos en Colombia.

Clase	Contenido %
Comida y cenizas	24,2
Higiénicos	42,5
Vidrio y cerámicos	3,9
Cartón	2,4
Cauchos y cueros	1
Plásticos	11
Jardín y prados	6,6
Papel	3,8
Textiles	1,9
Metales	1
Madera	0,6
Otros	1,1

Fuente. MINISTERIO AMBIENTE VIVIENDA y DESARROLLO SOSTENIBLE. Programa Colombia sin botaderos a cielo abierto. Documento presentación. Bogotá- Colombia. 2005. p.3.

El volumen de los residuos electrónicos y similares dentro de los cuales se encuentran los computadores, impresoras, celulares y algunos electrodomésticos, ha aumentado de un 3 a un 5% según el dato proporcionado por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, por tal razón en Colombia se generan aproximadamente 356.16 toneladas/día. <sup>6</sup>

Las cifras en cuanto a generación de residuos peligrosos en Colombia para el año 2011 fue de 174.418,7 toneladas, este valor superando al de 2010 que fue de 141.735,0 toneladas, el alza que se presentó entre estos dos años, se puede atribuir al auge de la economía en Colombia en 2011 respecto al 2010 en 5.9%. <sup>7</sup>

#### **5.1.1.6 Reacciones físicas, químicas y biológicas que se presentan en la degradación de los residuos sólidos.**

<sup>6</sup> REDACCIÓN: EL TIEMPO. Colombia produce cada año 130.000 toneladas de basura electrónica. [En línea], 6 de junio de 2017 [recuperado en 17 febrero 2018]. Disponible en Internet: <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/basura-electronica-en-colombia-96280>

<sup>7</sup> PINZÓN, Fabian Mauricio; HOYOS, Martha Cecilia y RAMÍREZ HENRÍQUEZ, Jaime Eduardo. Informe nacional generación y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia- año 2011. Subdirección de estudios ambientales – IDEAM. 2011. p18.

- ❖ **Reacciones Biológicas.** Estas reacciones de degradación ocurren generalmente en la fracción orgánica de los residuos sólidos mediante las siguientes fases:
- **Hidrólisis Aerobia.** Las sustancias orgánicas son degradadas por la acción microbiana en un ambiente aerobio, este proceso transforma compuestos complejos como lípidos, polisacáridos y proteínas en compuestos sencillos para ser empleados como fuentes de energía y de carbono celular. <sup>8</sup>
  - **Hidrólisis y Fermentación.** En esta fase se desarrolla un ambiente anaerobio, donde el nitrato y sulfato aceptan electrones, reduciéndose a gas nitrógeno y ácido sulfhídrico.
  - **Acetogénesis.** Los compuestos generados en la fase anterior, son transformados en otros de peso molecular intermedio como el ácido acético, ácido fólvico y otros más complejos. Se genera gran cantidad de dióxido de carbono, gas hidrogeno y la concentración de DQO y DBO<sub>5</sub> aumentan debido a procesos de dilución de ácidos orgánicos en el lixiviado.
  - **Metanogénesis.** En esta fase la acción bacteriana transforma el ácido acético, algunos ácidos y el gas hidrogeno en metano y CO<sub>2</sub>, esto implica la generación de un pH neutro en la fracción orgánica del relleno sanitario, y su vez el incremento del pH del lixiviado, lo cual disminuye los valores en carga de DBO<sub>5</sub>, DQO, conductividad eléctrica y metales pesados.<sup>9</sup>
  - **Maduración y Estabilización.** La fuerza de generación del gas dentro del relleno sanitario se atenúa, pues la mayor fracción de los compuestos se han separado con el lixiviado en las etapas anteriores. Todavía en esta fase se encuentran algunos gases como como CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, la degradación biológica del lixiviado poseerá ácidos húmicos y fólvicos complejos de degradar.
- ❖ **Reacciones Químicas.** Estas se efectúan dentro de la fracción orgánica de los residuos sólidos, se presentan reacciones de oxidación debido al oxígeno contenido allí, las otras reacciones son ácido-metal a causa de la presencia de ácidos orgánicos y CO<sub>2</sub>. Estas dos reacciones transportan los compuestos

---

<sup>8</sup> MALDONADO, Juan. Op. Cit. p. 48.

<sup>9</sup> *Ibíd.*, p. 49.

metálicos y sales. La formación de metano produce menor carga de ácidos y mayor retención de metales.

- ❖ **Reacciones Físicas.** Estas reacciones se presentan generalmente mediante la relación agua-residuos sólidos, favoreciendo la dilución de los diferentes compuestos allí presentes, y que estos estén disponibles para procesos de absorción y adsorción. <sup>10</sup>

Tabla 6. Fases de fermentación en la degradación de los residuos sólidos.

Fase	Fermentación	Reacción	Edad del relleno	Gas producido
1	Aeróbica.	Oxidación.	0 – 2 años.	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> .
2	Anaeróbica.	Fermentación acida.	2 semanas – 2 meses.	N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> .
3	Anaeróbica.	Fermentación desequilibrada con producción de metano.	2 meses – 2 años.	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> .
4	Anaeróbica.	Fermentación equilibrada con producción de metano.	2 años – termino de fermentación ( 25 – 40 años)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> .
5	Termino.		> 25 – 40 años.	

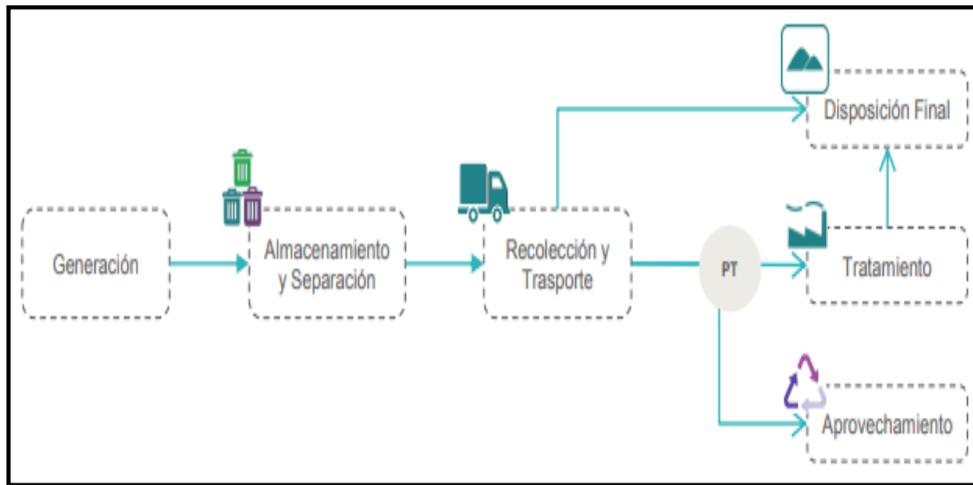
Fuente. RÖBEN, Eva. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. Loja, Ecuador. 2002. p. 36.

**5.1.1.7 Ciclo del manejo integral de los residuos sólidos.** El ciclo de manejo integral de residuos sólidos es el conjunto de actividades que se implementan desde la generación de estos hasta su aprovechamiento o disposición final. Con el objetivo de establecer la ruta más adecuada para la correcta segregación, recolección, acopio y traslado, aprovechamiento, o vertido final. <sup>11</sup>

<sup>10</sup> *Ibíd.*, p. 50.

<sup>11</sup> GRUPO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y DOCUMENTAL. Procedimiento manejo de residuos sólidos. Proceso de gestión ambiental. Código 710.18.08-11 versión 1. [En línea], 16 de junio de 2015 [recuperado en 20 abril 2018]. Disponible en Internet: [https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/procesos\\_caracterizados/9.%20Procedimiento%20Manejo%20de%20Residuos%20Solidos%20v1.pdf](https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/procesos_caracterizados/9.%20Procedimiento%20Manejo%20de%20Residuos%20Solidos%20v1.pdf)

Figura 1. Etapas del ciclo del manejo integral de los residuos sólidos.



Fuente. COLOMBIA, Ministerio de Vivienda. Guía de planeación estratégica para el manejo de residuos sólidos.2017. p.43.

El manejo integral de residuos sólidos se constituye en una técnica actual, compuesta por un cierto número de actividades a desarrollar, con el objetivo de mitigar los impactos que se pueden presentar en un determinado lugar, por la generación de desechos, los cuales pueden ser aprovechables y disminuir la recarga en los rellenos sanitarios. Todo este proceso integral ocasiona múltiples beneficios en el componente económico al generar ingresos, en el social al mejorar la calidad de vida de las personas, y en el ambiental al promover el cuidado y protección de los recursos naturales presentes en el ecosistema.

### 5.1.2 Relleno sanitario.

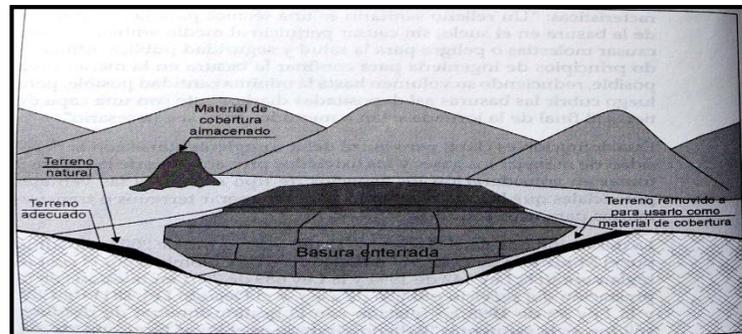
**5.1.2.1 Definición.** Es un área de terreno seleccionada técnicamente, para la para la confinación o disposición final controlada de los residuos sólidos, la cual emplea principios de ingeniería, con el objetivo de fijar una barrera entre el medio ambiente y los desechos generados. Estos sitios no deben ser focos de riesgo para la salud pública, y deben mitigar y controlar los impactos ambientales que se puedan presentar sobre los recursos naturales. <sup>12</sup>

<sup>12</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto número 0838 del 23 de Marzo de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Capítulo I Definiciones Artículo 1°.2005. p.3.

### 5.1.2.2 Tipos de rellenos sanitarios.

- **Tipo área:** Se implementa cuando se cuenta con terrenos de hondonadas o concavidades originarias o construidas, por la extracción de material del subsuelo. <sup>13</sup>

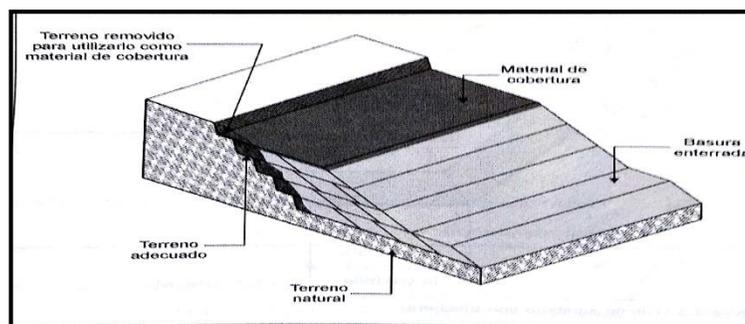
Figura 2. Relleno sanitario tipo área.



Fuente. COLLAZOS, Hector. Diseño y Operación de rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C 2005.p. 68.

- **Tipo rampa:** Se emplea en áreas de terrenos con un nivel freático profundo y pendientes medias, de tal manera que las adecuaciones del sitio se hacen mediante pequeñas excavaciones, de ahí se adquiere el material para cubrir los residuos sólidos, a su vez estos se disponen en forma escalonada. <sup>14</sup>

Figura 3. Relleno sanitario tipo rampa.



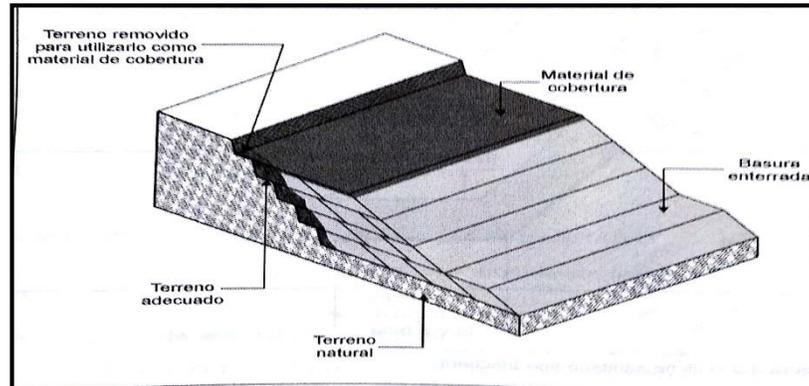
Fuente. COLLAZOS, Hector. Diseño y Operación de rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C 2005.p. 69.

<sup>13</sup> COLLAZOS, Hector. Diseño y Operación de rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C 2005.p. 68.

<sup>14</sup> *Ibíd.*, p. 69.

- **Tipo zanja o trinchera:** Este tipo de relleno sanitario es uno de los más prácticos debido a su operación sencilla, se utiliza en terreno planos y se pueden realizar excavaciones de dos a tres metros de profundidad.<sup>15</sup>

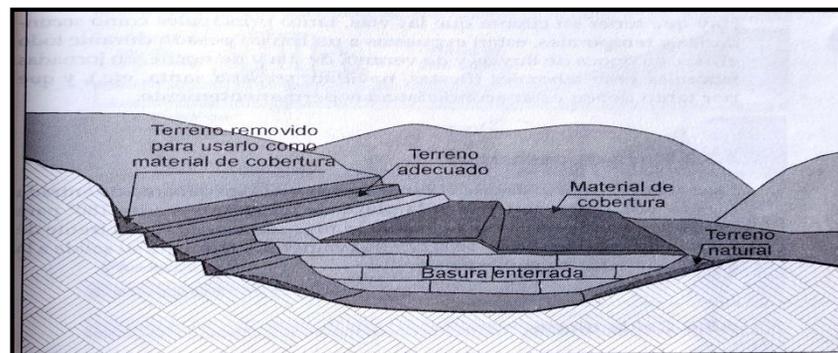
Figura 4. Relleno sanitario tipo zanja o trinchera.



Fuente. COLLAZOS, Hector. Diseño y Operación de rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C 2005.p. 70.

- **Tipo combinado área y rampa:** Se establecen en zonas de terreno quebradizas o planas, se debe realizar una excavación e ir elaborando rampas en dicha área, se extienden los residuos y se van compactando y tapando.<sup>16</sup>

Figura 5. Relleno sanitario tipo combinado área y rampa.



Fuente. COLLAZOS, Hector. Diseño y Operación de rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C 2005.p. 71.

<sup>15</sup> Ibíd., p. 70.

<sup>16</sup> Ibíd., p. 71.

### 5.1.2.3 Ventajas y limitaciones del relleno sanitario.

Tabla 7. Ventajas y limitaciones de un relleno sanitario.

Ventajas	Limitaciones
<p>1. La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para instaurar el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración o de compost.</p>	<p>1. La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado, por diversas razones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.</li> <li>• Se asocia el término relleno sanitario al de botadero a cielo abierto.</li> <li>• La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales que no garantizan la calidad ni sostenibilidad de la obra.</li> <li>• La falta de saneamiento legal del lugar.</li> </ul>
<p>2. Tiene menores costos de operación y mantenimiento que los métodos de tratamiento.</p>	<p>2. El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.</p>
<p>3. Un relleno sanitario es un método actualmente muy utilizado, debido a su capacidad para recibir todo tipo de RSM.</p>	<p>3. La vulnerabilidad de la calidad de las operaciones del relleno y el alto riesgo de transformarlo en un botadero a cielo abierto, principalmente por la falta de voluntad política de las administraciones municipales para invertir los fondos necesarios a fin de asegurar su correcta operación y mantenimiento.</p>
<p>4. Genera empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.</p>	<p>4. No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir viviendas, escuelas, etc.</p>
<p>5. Recupera gas metano en los rellenos sanitarios que reciben más de 500 t/día, lo que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas ciudades.</p>	<p>5. La limitación para construir infraestructura pesada por los asentamientos y hundimientos después de clausurado el relleno.</p>
<p>6. Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, lo que reduce los costos de transporte y facilita la supervisión por parte de la comunidad. Ver distancias establecidas para la ubicación de un relleno sanitario en el en Decreto 838 de 2005. Título I, capítulo II, artículos 4, 5,6.</p>	<p>6. Se requiere un monitoreo luego de la clausura del relleno sanitario, no solo para controlar los impactos ambientales negativos, sino también para evitar que la población use el sitio indebidamente.</p>
<p>7. Una vez el relleno sanitario es clausurado, y aplicados métodos de aislamiento de los residuos sólidos allí</p>	<p>7. Puede ocasionar impacto ambiental de largo plazo si no se toman las previsiones</p>

dispuestos con el exterior, estos terrenos que se consideraban improductivos o marginales, pueden ser útiles para la construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etc.	necesarias en la selección del sitio y no se ejercen los controles para mitigarlos. En rellenos sanitarios de gran tamaño conviene analizar los efectos del tráfico vehicular, sobre todo de los camiones que transportan los residuos por las vías que confluyen al sitio y que producen polvo, ruido y material volante. En el vecindario el impacto lo generan los líquidos, gases y malos olores que pueden emanar del relleno.
8. Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación de residuos.	8. Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.
9. Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal.	9. En general, no puede recibir residuos peligrosos.

Fuente. JARAMILLO, Jorge. Guía para el Diseño Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2002.

#### 5.1.2.4 Descripción General de un Relleno Sanitario.

- **Valla de información.** En esta se presenta la información básica necesaria para darla a conocer a toda la comunidad entre ello se da a conocer: nombre del municipio, nombre de la empresa que presta el servicio y su identificación, nombre del relleno sanitario e identificación propia como slogan, medidas de seguridad antes de entrar al relleno sanitario, entre otros que se considere necesario.
- **Zona de entrada y de salida.** Estas zonas son las que corresponden a la puerta principal del relleno, la caseta de registro y la báscula; en esta área ingresan y salen los vehículos una vez son registrados, para proceder hacia la zona de descarga.<sup>17</sup>
- **Sistema vial o vías de desplazamiento.** Este sistema vial lo componen las vías primarias, secundarias y temporales, las cuales tienen especificaciones

<sup>17</sup> COLLAZOS, Héctor. Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. 2013. p. 71.

diferentes de acuerdo a la vida útil del relleno sanitario, por periodos cortos de tiempo o de acuerdo al avance dentro del relleno.

- **Playa de descargue.** En esta zona de trabajo es donde el carro compactador llega al área de entrada, frente a la playa y realiza un giro de 180° para hacer la descarga en reversa, dejando la basura lo más cerca posible a la celda diaria o frente de trabajo. <sup>18</sup>
- **Celda diaria.** Es el área donde se colocan los residuos diarios, esta celda tiene un frente con una inclinación aproximada de 30°, donde el buldócer riega la basura en capas de 30 centímetros de forma horizontal y es compactada hasta alcanzar un peso específico mínimo de 0,7 t/m<sup>3</sup>.
- **Red de lixiviados.** Esta red se caracteriza por estar en forma de espina de pescado, la cual consta de una serie de tuberías dispuestas a lo largo y ancho de la celda, cuya función principal es recolectar y conducir los lixiviados hasta el sistema de tratamiento, donde se reduce su carga contaminante y posteriormente ser descargados a las fuentes hídricas. <sup>19</sup>
- **Planta de tratamiento.** Cuenta con una serie de estructuras que componen el tren de tratamiento y que ayudan a reducir la carga contaminante que poseen los lixiviados, para ser descargados al recurso agua y su impacto sea minimizado. <sup>20</sup>
- **Chimeneas y piezómetros.** Estas instalaciones tienen como objetivo principal poder medir y controlar la presión que se maneja al interior de las celdas para reducir el riesgo de explosión por acumulación de gases, los cuales son producidos por la descomposición de la materia orgánica (procesos aerobios y anaerobios), liberando gases como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), entre otros. El proceso anaerobio, que es el predominante, libera principalmente metano (CH<sub>4</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y amoníaco (NH<sub>3</sub>).<sup>21</sup>

---

<sup>18</sup> *Ibíd.*, p. 72.

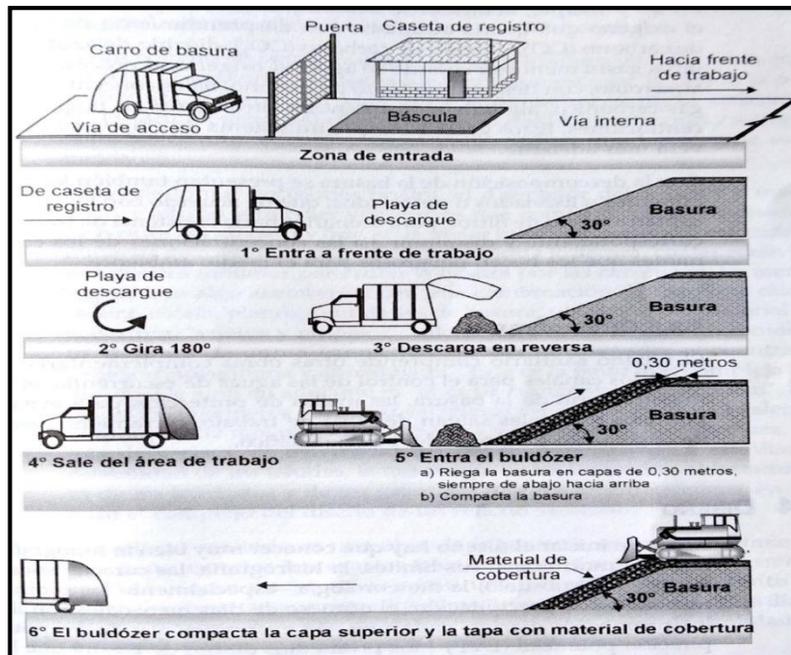
<sup>19</sup> *Ibíd.*, p. 73.

<sup>20</sup> *Ibíd.*, p. 74.

<sup>21</sup> *Ibíd.*, p. 75.

- **Drenaje interior y perimetral.** Estos dos tipos de drenaje permiten la intercepción, conducción y evacuación del agua lluvia dentro y alrededor del relleno sanitario respectivamente, con el propósito de controlar el volumen de lixiviados dentro de relleno sanitario y pueda mejorarse las condiciones de operación. <sup>22</sup>

Figura 6. Esquema de un relleno sanitario.



Fuente. COLLAZOS, Héctor. Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. 2013. p. 73.

**5.1.2.5 Efectos de los vertederos sobre el medio ambiente.** Las principales afectaciones de los rellenos sanitarios se ven representadas mediante los siguientes aspectos.

- **Contaminación del aire.** Se debe principalmente a la generación de olores ofensivos, y gases como CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> emanados por la descomposición de la materia orgánica presente en los residuos sólidos y también por las quemaduras que se realicen en el lugar, lo cual genera cooperación a los diferentes efectos sobre cambio climático por la emisión de estos gases invernadero.

<sup>22</sup> *Ibíd.*, p. 76.

- **Contaminación de aguas.** Esta contaminación se presenta debido a la generación de lixiviados, los cuales llegan a las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, debido a procesos de escorrentía o infiltración.
- **Contaminación de suelos.** Igualmente se encuentra relacionada a la generación y manejo de lixiviados, los cuales al percolar por el suelo alteran las características naturales del mismo.<sup>23</sup>
- **Contaminación paisajística.** Debido a los diferentes efectos adversos sobre los recursos naturales, se presenta un impacto negativo en el valor escénico del medio ambiente, también desvalorización de los predios circundantes al relleno sanitario.
- **Impactos sobre el ser humano.** Estos impactos pueden aparecer de manera indirecta, debido a las afectaciones generadas sobre los recursos naturales, o de manera directa por la ingesta de alimentos contaminados, o también por el contacto con vectores sanitarios. Todo esto se verá representado en el deterioro de la salud del hombre.<sup>24</sup>

Figura 7. Como contamina un relleno sanitario.



Fuente. ARISMENDI, Alberto. En el Distrito Turístico de Verón-Punta Cana urge la construcción de un relleno sanitario. [Base de datos en línea]. Mayo 24 de 2018. Revista Bavaronews, año XIII, Edición 440.

<sup>23</sup> FORERO, Jorge. Análisis e implementación de la metodología EVIAVE (Evaluación del impacto ambiental de botaderos municipales – Estudio de caso en la jurisdicción de la CAR – Cundinamarca). Maestría en medio ambiente y desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Primera edición. Editorial Kimpres Ltda. 2011. p. 68.

<sup>24</sup> *Ibíd.*, p. 69.

#### **5.1.2.6 Problemática de la disposición final de residuos sólidos en Colombia.**

La disposición final de residuos sólidos en Colombia se ha convertido en una problemática pública, debido a que la mayoría de rellenos sanitarios han llegado o está llegando a su ciclo de vida útil, todo ello como consecuencia de la gran cantidad de desechos que llegan a los mismos. Sumándole a ello el término de las licencias ambientales de funcionamiento, las malas administraciones, la ineficiencia de las entidades que operan este sector, la producción de gases de efecto invernadero, la proliferación de gallinazos, la filtración de lixiviados y la emanación de olores ofensivos, lo cual intensifica la magnitud del problema, siendo los rellenos sanitarios los principales focos para la propagación de enfermedades y el medio por el cual se contaminan los recursos naturales presentes en el ecosistema de un determinado sector.

Ciudades como Bogotá, Bucaramanga, Cali, Popayán, Armenia, Pereira y otros pequeños municipios, se encuentran en un gran aprieto pues sus sitios de disposición final de residuos sólidos han llegado a su tope máximo de almacenamiento. Toda la problemática ambiental mencionada anteriormente, ha generado la necesidad por parte de la autoridad ambiental de mejorar la deficiente normatividad vigente, con el objetivo de proponer eficientes acciones a nivel nacional para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

Colombia debe explotar mejor sus residuos sólidos pues solo se rescata el 17% de ellos, se generan casi 32.000 toneladas diarias de desechos y solo se reciclan 6.200 toneladas.<sup>25</sup>

#### **❖ Problemática de algunos rellenos sanitarios del país.**

- **Relleno sanitario Doña Juana.** Se encuentra ubicado en la vía a Usme en el departamento de Cundinamarca, posee un área de 472 ha, en cual se depositan los residuos de 6 municipios. Llegan diariamente 5.891.8 toneladas de basura de las

---

<sup>25</sup> VANGUARDIA LIBERAL. La crisis de los rellenos sanitarios. Redacción editorial. [En línea], 11 de diciembre de 2017 [recuperado en 23 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.vanguardia.com/opinion/editorial/418306-la-crisis-de-los-rellenos-sanitarios>

cuales la capital del país aporta 5.880 toneladas, posee capacidad para admitir residuos hasta el 2012.<sup>26, 27</sup>

Este relleno sanitario funciona hace más de dos décadas, y durante toda su marcha ha presentado un sin número de problemáticas como el desarrollo de olores ofensivos, la presencia de vectores, el aumento en la generación de lixiviados, los deslizamientos de residuos sólidos depositados y la desestabilización en la estructura del suelo.<sup>28, 29</sup>

- **Relleno sanitario El Carrasco.** Se encuentra ubicado en el área suroccidental de Bucaramanga kilometro siete vía a Girón en el Departamento de Santander. Posee un área de 92 ha, en el cual se depositan las basuras de 11 municipios, la generación de residuos sólidos de Bucaramanga es aproximadamente de 562 toneladas por día, lo que representa el 76.5% de los residuos recibidos en este vertedero.<sup>30, 31</sup>

Este sitio de disposición final de residuos sólidos en la capital de Santander, ha mantenido su operación a pesar de los múltiples intentos de cierre, su vida útil llego a su fin en el 2007, pero debido a la utilización de celdas transitorias desde el 2011, se han aplazado sus intentos de clausura. Y actualmente este se encuentra en funcionamiento.<sup>32</sup>

---

<sup>26</sup> RGS, Red de Gestores Sociales. La ciudad seguirá obligada a recibir las basuras de cuarenta municipios. [En línea], 2007 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.rgs.gov.co/noticias.shtml?x=13670>.

<sup>27</sup> SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. 2008. p. 24.

<sup>28</sup> PERSONERÍA DE BOGOTÁ. Deficiencia en planta de lixiviados de Doña Juana. [En línea], 2006 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.personeriabogota.gov.co/?idcategoria=961>.

<sup>29</sup> PROCURADURÍA GENERAL DE LA NACIÓN. PGN adelanta vigilancia preventiva ante deslizamiento en el dique ambiental sur del Relleno Sanitario “Doña Juana” [En línea], 2009 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias\\_2009/noticias\\_420.html](http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias_2009/noticias_420.html)

<sup>30</sup> EMAB, Empresa de Aseo de Bucaramanga. [En línea], 2009 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://emabesp.com/descargas/Disposicionfinal.pdf>.

<sup>31</sup> SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. [En línea], 2008 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://emabesp.com/descargas/Disposicionfinal.pdf>.

<sup>32</sup> MINAMBIENTE, Ministerio del Medio Ambiente, Colombia. [En línea], 3 de noviembre de 2010 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res\\_1529\\_060810.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res_1529_060810.pdf).

Las principales problemáticas en el relleno sanitario El Carrasco están relacionadas con los siguientes factores relacionados a continuación: incumplimiento de la cobertura diaria apropiada, los residuos allí depositados no cumplen la densidad de compactación, presencia masiva de gallinazos, se presenta el depósito de residuos peligrosos, se generan drenajes por escorrentía de lixiviado, evidenciándose el mal manejo en el tratamiento de los mismos, provocando la contaminación del suelo y aguas subterráneas.<sup>33</sup>

Desde mediados del mes de febrero del año 2016, el relleno sanitario El Carrasco ubicado dentro del área metropolitana de Bucaramanga en Santander, cuenta con la operación de una nueva planta para el tratamiento de los lixiviados allí generados. Todo ello con el objetivo de mitigar el impacto del vertimiento que este realiza sobre la quebrada la Iglesia, la cual tributa sus aguas al río de Oro.

Esta planta de tratamiento de lixiviados utiliza la técnica de osmosis inversa con espirales estáticas, siendo la primera en el país. La cual cumple con los requerimientos exigidos por los entes ambientales de carácter nacional e internacional, para corroborar tal afirmación se están esperando los análisis de laboratorio realizados al efluente, los cuales serán emitidos en quince días, aunque el líquido que vierte en la salida la planta es transparente y se remueven metales pesados que anteriormente no se realizaba. Si los resultados esperados son positivos, este líquido se podrá utilizar en actividades de aseo del lugar y de los camiones de recolección.<sup>34</sup>

- **Relleno sanitario regional La Glorita.** Se encuentra ubicado en el corregimiento de Combia baja a 14 kilómetros del municipio de Pereira, allí se vierten los residuos sólidos de 17 municipios en total, y la capital aporta un total de 280 toneladas al día de las 650 que llegan diariamente al mismo, la autoridad ambiental competente para esta zona asegura que su vida útil se pronostica hasta el año 2010.<sup>35</sup>

---

<sup>33</sup> CONTRALORÍA DE BUCARAMANGA. Control de advertencia 121.42.6.13.00. [En línea], 2008 [recuperado en 27 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.contraloriabga.gov.co/portal/descargas/CONTROLES%20DE%20ADVERTENCIA%20008/control%20de%20advertencia%20No%206.pdf>.

<sup>34</sup> CHIO, Juan Carlos. “Nueva planta de lixiviados de El Carrasco es la más eficiente del país”: Emab. [En línea]. Marzo 8 de 2016. Periódico Vanguardia Liberal [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/350187-nueva-planta-de-lixiviados-de-el-carrasco-es-la-mas-eficiente->

<sup>35</sup> Secretaría de planeación de Pereira. 2008. Plan de desarrollo municipio de Pereira 2008-2011. p.25

La problemática ambiental que presenta este relleno sanitario se evidencia en las siguientes situaciones erosión del terreno, deslizamientos del material de cobertura de los residuos, presencia de aves de carroña, vertimientos de aguas residuales debido al lavado y limpieza de la maquinaria allí utilizada, ausencia en el control de ingreso al relleno, no se cuenta con un buen sistema para la conducción, y tratamiento de los lixiviados, se presenta contacto de lixiviados con las fuentes hídricas lo cual acarrea alteraciones en los demás recursos naturales del ecosistema.<sup>36,37</sup>

- **Basurero Navarro en Cali.** Las problemáticas que generalmente soportan estos sitios de disposición final de basuras, a lo cual no escapa el basurero Navarro en la ciudad de Cali, son la recarga en cantidad de desechos, la alta producción de lixiviados, el aumento de recicladores y los vectores sanitarios como focos de contaminación. Por tal motivo este lugar tuvo que ser clausurado a mediados del mes de junio de 2018, pero la administración municipal identificó la necesidad de implementar el correcto mantenimiento, y operación de la planta de tratamiento de lixiviados en el mismo, con el objetivo de mitigar los impactos de este pasivo ambiental, por ello se convocó a una licitación la cual ganó la empresa Conhydra S.A E.S.P de Medellín y C- DEG S.A.S. Este lugar posee una capacidad de almacenamiento de lixiviados de 450.000 m<sup>3</sup>, estando ocupados unos 163.000 m<sup>3</sup>, de estos últimos se esperan tratar 45.500 m<sup>3</sup> durante lo que resta del 2018.<sup>38</sup>

**5.1.2.7 Acuerdos internacionales para la reducción de los rellenos sanitarios a su mínima expresión. [32].** La preocupación por el cuidado y protección del medio ambiente mundial, fue el tema a tratar en la reunión llevado a cabo en Estocolmo en 1972. Desde allí se han realizado un sin número de cumbres medio ambientales en diferentes lugares donde han participado y han firmado los acuerdos allí establecidos diferentes países de los 5 continentes de nuestro planeta.

---

<sup>36</sup> CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda. a. Resolución No. 544 [En línea], 2008 [recuperado en 28 abril 2018]. Disponible en Internet: [www.carder.gov.co/documentos/2325\\_RS\\_544-15\\_Mayo-08.pdf](http://www.carder.gov.co/documentos/2325_RS_544-15_Mayo-08.pdf).

<sup>37</sup> CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda. b. Proceso de gestión ambiental sectorial regulación y control a la demanda ambiental auto de inicio de investigación administrativa [En línea], 2008 [recuperado en 28 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.carder.gov.co/documentos/3461\\_AI679-17-dic-2008.pdf](http://www.carder.gov.co/documentos/3461_AI679-17-dic-2008.pdf).

<sup>38</sup> Redacción Periódico El Tiempo. Consorcio manejará la planta de lixiviados de antiguo basurero [En línea]. Julio 9 de 2018. [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/colombia/cali/consorcio-manejara-la-planta-de-lixiviados-de-antiguo-basurero-240430>

Países industrializados de América, Asia y Europa, han sido los pioneros en implementación de políticas ambientales para el manejo y tratamiento de los residuos sólidos. Se destaca la puesta en marcha de planes de gestión integral de residuos sólidos en países latinoamericanos como: México, Cuba, Barbados, Chile, Colombia, Costa Rica, Brasil, Nicaragua, y Venezuela. Con el objetivo de mitigar el impacto que estos generan sobre los recursos naturales de un ecosistema. Estos acuerdos internacionales buscan la unificación de los diferentes estados, en la mitigación de los impactos generados por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, por ello Colombia ha establecido un proceso de cooperación bilateral con países como Alemania, Países Bajos, Japón y Reino Unido, con el objetivo de mejorar la gestión del medio ambiente en miras a un desarrollo sostenible.

Un gran número de países latinoamericanos firman diversos acuerdos, enfocados en minimizar la cantidad de residuos sólidos que se depositan en un relleno sanitario, siendo este un foco importante de contaminación para un área determinada, pero en realidad son pocos los que llevan a la práctica el mismo. El otro contexto es diferente puesto que Estados Unidos y algunos países europeos y asiáticos que se han hecho partícipes de dichos acuerdos, han implementado metodologías de reducción en la disposición final de residuos sólidos, como la separación en la fuente para el reciclaje o utilización de estos productos en otras actividades industriales.<sup>39</sup>

#### ❖ **Caso basura cero San Francisco – Estados Unidos.**

Esta ciudad ubicada en el distrito de California en EE.UU, desde hace más de 25 años se encuentra implementando una política de reducción, en la cantidad de residuos sólidos que llegan a su relleno sanitario. En donde toda la población tiene claro que al momento de depositar su basura lo debe realizar mediante la clasificación en contenedores de colores de acuerdo al tipo de residuo generado.

Los tipos de contenedores que allí se utilizan son de color verde donde se ubican los residuos orgánicos; los de color azul para depositar todos los materiales reciclables; y los de color negro para los desechos no aprovechables que irán al relleno sanitario. Datos proporcionados por la empresa que se encarga de la recolección de residuos sólidos en este lugar, dan a conocer que esta ciudad genera 5.480.000 Kilogramos por día y se reciclan 4.384.000 Kilogramos, para un total de

---

<sup>39</sup> CONTE, Mariana y D'Elia, Vanesa. La política ambiental en América Latina y el Caribe. vol.39 n°.154 México. [En línea], 19 de mayo de 2008 [recuperado en 28 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362008000300006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362008000300006)

1.096.000 Kilogramos de residuos que deben ser depositados en el vertedero. Este ejemplo quiere ser tomado por la ciudad de Buenos Aires en Argentina la cual que genera 6.000.000 de Kilogramos por día y deposita en su relleno sanitario 3.500.000 Kilogramos.<sup>40</sup>

#### ❖ **Caso basura cero Bogotá – Colombia.**

La Administración Distrital de la ciudad capital de Colombia, pretende mediante la Unidad Administrativa de Servicios Públicos reducir la cantidad de residuos sólidos que son vertidos al relleno sanitario Doña Juana, debido a la gran problemática ambiental que este presenta actualmente. Lo que se pretende con este proyecto es la inclusión de los aproximadamente trece mil recicladores que existen en la ciudad, para desarrollar este aprovechamiento y reutilización de los diferentes residuos que se desechan, y que pueden ser utilizados como materias primas en el ciclo de procesos industriales.

Lo primero que se necesita es crear una conciencia ambiental en los ciudadanos, mediante el hábito de separar sus residuos sólidos en bolsas, donde se utilizarán las de color blanco para depositar el material reciclable, y las negra para los desechos orgánicos y sanitarios. Los residuos tóxicos, hospitalarios y electrónicos deben ser depositados en los puntos ecológicos de centros comerciales corporaciones ambientales o con un gestor autorizado.<sup>41</sup>

#### ❖ **Caso basura cero Holanda – Europa.**

Holanda perteneciente a los países bajos europeos, está innovando desde hace varias décadas en el cuidado y la protección del medio ambiente. Esto lo está realizando mediante la implementación de una cultura de cero basuras y la eliminación de los rellenos sanitarios en sus comunidades. Este país produce 60 millones de toneladas de basura anuales, de las cuales 48 millones se reciclan, 10 millones ochocientas se incineran y 1 millón doscientas mil se depositan en los rellenos sanitarios. La implementación de esta cultura de reciclaje se ha vuelto obligatoria, mediante la imposición de multas económicas para aquel que no

---

<sup>40</sup> Di Nicola, Gabriel. Basura cero: la Ciudad aprende de San Francisco a reciclar los residuos. Medio ambiente. [Base de datos en línea]. Junio 2 de 2014. Periódico La Nación. [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <https://www.lanacion.com.ar/1696504-basura-cero-la-ciudad-aprende-de-san-francisco-a-reciclar-los-residuos>

<sup>41</sup> Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría General. Basura Cero pretende eliminar rellenos sanitarios. [En línea]. Diciembre 17 de 2013. [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.bogota.gov.co/article/basura-cero-pretende-eliminar-rellenos-sanitarios>

desarrolle esta actividad, por otra parte la generación de empleo dentro de este ciclo de manejo integral de los residuos sólidos.

Algunos residuos de construcción son utilizados para la pavimentación de carreteras; los residuos orgánicos para la producción de compostaje; la granulometría presente en las llantas desechadas, se reutiliza en la fabricación de cerámicas para pisos; los materiales reciclables para la producción de nuevos productos.<sup>42</sup>

### 5.1.3 Lixiviados.

**5.1.3.1 Definición.** Se denomina lixiviados a los líquidos que se generan una vez inicia el proceso de descomposición de los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario, este proceso inicia gracias a la acción del tiempo y de las condiciones climáticas. Los lixiviados poseen características fisicoquímicas y microbiológicas contaminantes de gran relevancia identificándose las siguientes sustancias en altas concentraciones: materia orgánica, materia biológica infecciosa, nitrógeno, fósforo, y sustancias tóxicas.<sup>43</sup>

Figura 8. Lixiviado generado en rellenos sanitarios.



Fuente. GÁLVEZ, Antonia. Tratamiento de Lixiviados de Vertederos de Residuos Urbanos. Editorial academia española. 2011. p. 45.

<sup>42</sup> SILVA HERRERA, Javier. Cómo saca Holanda partido de la basura. [En línea]. Julio 11 de 2014. Periódico el Tiempo [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14238156>

<sup>43</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. Universidad de los Andes. Revista de ingeniería. 2001. p. 44.

**5.1.3.2 Composición y tipos de lixiviados en un relleno sanitario.** La composición de los lixiviados generados en un relleno sanitario, varía en función de la clase de residuo dispuesto, el grado de descomposición de los desechos y la cantidad de los mismos.<sup>44</sup>

La fracción líquida que se genera por la degradación de los residuos sólidos en un relleno sanitario, contiene cierta concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos, los cuales se pueden catalogados de la siguiente manera.<sup>45, 46</sup>

**1) Materia orgánica diluida** (Demanda Química de Oxígeno, Carbono Orgánico Total, Ácidos Grasos Volátiles, ácidos húmicos y fúlvicos). **2) Macro inorgánicos** (Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Amonio, hierro, Manganeso; Cloro, Sulfato, Bicarbonatos. **3) Metales pesados** (Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Niquel, Zinc). **4) Compuestos xenobióticos** (hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas). Otros componentes presentes en los lixiviados pero en bajas cargas son los sulfuros, arsenatos, boratos, selenatos, Bario, Litio, Cobalto.<sup>47</sup>

Los sitios de disposición final de residuos sólidos, se caracterizan por poseer dentro de sus instalaciones, diversas áreas o cárcavas de diferentes tiempos, lo cual incide en la generación de distintos tipos de lixiviados en composición, en cada una de ellas<sup>48, 49</sup>. Por otra parte la composición de los lixiviados fluctúa entre los diferentes sitios de disposición final de desechos, en base a diversos factores como la conformación y el ciclo de degradación de los residuos sólidos urbanos, y la tecnología implementada en el relleno.<sup>50</sup>

Diversos estudios han demostrado que los residuos líquidos, emanados de la descomposición de los desechos sólidos en un relleno sanitario o lixiviados, se

---

<sup>44</sup> MÉNDEZ NOVELO, Roger, *et al.* Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario Ingeniería, vol. 8, núm. 2. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México. 2004. p. 156.

<sup>45</sup> KJELDSSEN, P, *et al.* Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Crit. Rev. Env. Sci. Tec.2002. p. 297.

<sup>46</sup> WISZNIOWSKI, J, *et al.* Landfill leachate treatment methods: A review. Environ. Chem. Lett. 2006. p. 51-61

<sup>47</sup> RAMÍREZ SOSA, D.R, *et al.* Determination of organic compounds in landfill leachates treated by Fenton-Adsorption. Waste Manag. 2013. p. 390, 391.

<sup>48</sup> RAGLE, N, *et al.* Composition and Variability of Leachate from Recent and Aged Areas within a Municipal Landfill. Water Environ. Res. 67. 1995. p. 238-243

<sup>49</sup> PABLOS, M.V, *et al.* Correlation between physicochemical and ecotoxicological approaches to estimate landfill leachates toxicity. Waste Manag. 31. 2011. p.1841-1847.

<sup>50</sup> KJELDSSEN, P, *et al.* Op. Cit. p. 336.

pueden catalogar en tres rangos en base al tiempo de degradación y acción que ha soportado cada cárcava y estos son: jóvenes mayores a cinco años; intermedios entre cinco y diez años; y viejos los mayores a diez años.<sup>51, 52, 53, 54</sup>

Tabla 8. Tipos de lixiviados presentes en un relleno sanitario.

Parámetros	Unidades	Lixiviado Joven		Lixiviado Intermedio		Lixiviado Viejo	
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
<b>pH</b>	Unidades	8,26	7,77	8,5	7,6	9,58	8,18
<b>CE</b>	mS/cm	36,7	27,1	23,5	16,2	20,6	11,6
<b>AGV</b>	meq/L	295	70	100	50	62,5	45
<b>AT</b>	mg CaCO3/L	36300	12400	10746	7344	8694	1689
<b>DT</b>	mg CaCO3/L	4324	1251	1863	866	2700	400
<b>DBO5</b>	mg O2/L	13391	1171	1594	496	165	78
<b>DQO</b>	mg O2/L	25455	9181	6638	3673	2197	1105
<b>COT</b>	mg COT/L	7840	3531	3025	1240	999	415
<b>ST</b>	mg/L	33796	17673	17950	10596	9345	5472
<b>SDT</b>	mg/L	33703	17041	17775	10473	8877	5382
<b>NTK</b>	mg N-NTK/L	2492	2184	2072	1204	1095	9,2
<b>N Amoniacal</b>	mg N-NH3/L	2184	1050	1848	1008	956	9,2
<b>Cl-</b>	mg Cl/L	4200	2121	3099	1398	2420	800

Fuente. TORRES LOZADA, P, *et al.* Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad. 2014 p. 245 – 255.

<sup>51</sup> KANG, K, *et al.* 2002. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. *Water Res.* 36. 2002. p. 4023-4032.

<sup>52</sup> KULIKOWSKA, D; KLIMIUK, E. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Biores. Technol.* 99. 2008. p.5981-5985.

<sup>53</sup> RENOU, S, *et al.* Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *J. Hazard Mat.* 150. 2008. p.468-493.

<sup>54</sup> SHOULIANG, H, *et al.* Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill ages. *J. Environ. Sci.* 20. 2008. p. 492-498.

**5.1.3.3 Factores que influyen en la cantidad de lixiviados que se generan en un relleno sanitario.** La cantidad de lixiviados que se generan en un relleno sanitario se ven influenciados por dos clases de factores unos internos (en función del tipo de desechos) y otros externos (ajenos a los residuos generados) los cuales se presentan a continuación.<sup>55</sup>

❖ **Factores internos.**

- Composición de los residuos. Esta dada en función de la caracterización fisicoquímica de los residuos, que se dispondrán en el relleno sanitario.
- Degradación de los residuos. Depende del tipo de naturaleza del residuo, si es orgánico o inorgánico.
- Volumen de los residuos. Se aplica mediante cambios en el tamaño original de los desechos, los cuales activan la rápida generación de lixiviado.<sup>56</sup>

❖ **Factores externos.**

- Intercambio catiónico. Los suelos con gran cantidad de materia orgánica y de arcillas, inhiben el paso de metales presentes en los lixiviados, disminuyendo el flujo de este líquido al subsuelo.
- Geología del terreno. Determinada en función de diversos parámetros del suelo como textura, Infiltración, estructura, capacidad de campo.
- Condiciones atmosféricas. Son todos los factores como la temperatura, radiación solar, humedad, evapotranspiración, precipitación y velocidad y dirección de vientos, en una zona determinada.
- Diseño y manejo del relleno sanitario. Hace referencia a las características internas de la estructura, como sistema de drenaje, material de cubierta, pendientes del lugar, técnicas de compactación.<sup>57</sup>

Diversos autores en síntesis concluyen que la cantidad de lixiviados que se generan en un relleno sanitario, aumentan o disminuyen en función de varios factores

---

<sup>55</sup> VAZQUEZ, Elías. Cuantificación y efectos de la producción de lixiviados en el Relleno Sanitario de Salinas Victoria, N. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 2001. p. 22.

<sup>56</sup> *Ibíd.*, p. 23,24.

<sup>57</sup> *Ibíd.*, p. 25.

importantes como: el nivel de compactación de los residuos, el valor de humedad de los desechos, el material de recubrimiento para aislar el suelo, la cantidad de lluvia, la humedad de la zona, los cambios de temperatura, la evaporación, la escorrentía, la cantidad infiltración, el área ocupada y el sistema de drenaje, etc.<sup>58,59</sup>

**5.1.3.4 Parámetros generales que se deben monitorear en el vertimiento de lixiviados de un relleno sanitario.** Los principales parámetros que deben ser medidos en un vertimiento de lixiviados provenientes de la descomposición de los residuos sólidos dispuestos en un relleno sanitario son: la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>, el vínculo DBO<sub>5</sub>/DQO, el Potencial de Hidrógeno (pH), el nitrógeno, los metales pesados, la conductividad, las sales disueltas totales, los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.<sup>60</sup>

- **DQO.** El análisis de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales, permite conocer la cantidad de sustrato orgánico capaz de ser oxidado de manera química con una solución de ácido sulfúrico. Por otra parte este parámetro es el de mayor cuidado en el tratamiento de lixiviados<sup>61</sup>. Las variaciones en los valores de DQO en diversas muestras de lixiviados se pueden presentar debido a: estructura del relleno sanitario, la composición de los residuos sólidos, las características geomorfológicas del lugar y los tiempos de maduración de los residuos.<sup>62</sup>
- 
- **DBO<sub>5</sub>.** Es uno de los parámetros más importantes que se analizan en muestras de aguas residuales y superficiales, para conocer la carga de contaminación en las mismas. Este ensayo se basa en la determinación de la cantidad de oxígeno, consumido por los microorganismos presentes en la fracción orgánica de una muestra de agua. Se desarrolla en un periodo de cinco días a una temperatura

---

<sup>58</sup>GIRALDO, Eugenio. Op. Cit. p. 44.

<sup>59</sup> MÉNDEZ NOVELO, Roger, *et al.* Op. Cit. p. 156.

<sup>60</sup> CHÁVEZ MONTES, Wendy Margarita. Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Ciudad de Chihuahua, México. Tesis de grado. Centro de investigación en materiales avanzados. 2011. p. 17-18.

<sup>61</sup> CRITES; TCHOBANOGLIOUS. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Editorial Mc Graw Hill. 2000.

<sup>62</sup> QARANI S, *et al.* Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study, Journal of Environmental Management. 2010.

de 20°C, aunque en el laboratorio se realizan mediciones a 10, 15 o hasta veinte días con el objetivo de conocer el porcentaje total de materia orgánica oxidada.<sup>63</sup>

- **Relación DBO<sub>5</sub>/DQO.** El vínculo entre estos dos parámetros cuando se analizan los resultados fisicoquímicos, realizados a un lixiviado indican la edad de maduración de este líquido. Generalmente los valores de esta relación para lixiviados jóvenes son altos y para lixiviados viejos es todo lo contrario, bajos índices cuantitativos en esta relación DBO<sub>5</sub>/DQO, permiten identificar que se está en presencia de un lixiviado estable y complejo de descomponer por medios biológicos. Por tal razón es indispensable aplicar tecnologías fisicoquímicas para el tratamiento de estos residuos líquidos.<sup>64, 65</sup>
- **pH.** Los valores de acidez o alcalinidad en un lixiviado suelen cambiar en base al tiempo de maduración del mismo. Por tal razón en la etapa ácida los valores de pH se reducen hasta cinco o más veces, por la acción de los ácidos orgánicos, y a su vez se aumentan hasta más o menos ocho en la etapa de maduración<sup>66</sup>. Los lixiviados de rellenos sanitarios jóvenes debido a su etapa acidogénica, poseen gran cantidad de ácidos grasos volátiles, y los viejos todo lo contrario, por su etapa metanogénica, estos compuestos son los causantes de los cambios en los valores de pH en dichos residuos líquidos emanados de la descomposición de los residuos sólidos.<sup>67, 68</sup>
- **Conductividad eléctrica.** Es un parámetro medible en los diversos tipos de aguas, el cual está vinculado a la cantidad de sales presentes en una solución, las cuales están distribuidas en iones positivos y negativos, que permiten conducir energía eléctrica. Las fracciones orgánicas en una muestra de agua no permiten mayor transporte de energía, sucediendo lo contrario en las fracciones inorgánicas que se caracterizan por ser buenas conductoras de energía. El

---

<sup>63</sup> IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0087. Versión: 02. Demanda Bioquímica de Oxígeno – 5 días, incubación y electrometría. 2007. p. 2.

<sup>64</sup> FÁTIMA, S, *et al.* Effect of depth and age on leachate characteristics of Achan Landfill, Srinagar, Jammu and Kashmir, India. J. Environ. Sci. Tox. Food Technol. 2. 2012. p. 4-11.

<sup>65</sup> RAMÍREZ SOSA, D.R, *et al.* Op. Cit. p. 393.

<sup>66</sup> TCHOBANOGLUS, G, *et al.* Gestión Integral de Residuos Sólidos, Vol. I, Ed. Mc Graw-Hill, España. 2006.

<sup>67</sup> KURNAIAWAN, T; LO W; y CHAN G., Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate, Journal of Hazardous Materials, Vol. B129. 2006. p. 80-100.

<sup>68</sup> RENOU, S, *et al.* Landfill leachate treatment: Review and opportunity, Journal of hazardous materials. Vol. 150. 2008. p. 468-493.

análisis de este parámetro en el laboratorio se realiza mediante el conductímetro, donde se maneja un cierto rango desde los de 10 hasta 50.000 micromho por centímetro ( $\mu\text{mho/cm}$ ).<sup>69</sup>

- **Sólidos totales.** La presencia de sólidos disueltos y suspendidos en una muestra de agua, conforman la cantidad de sólidos totales en la misma. Estas partículas evidencian alteraciones negativas en la calidad de una fuente hídrica. El estudio de este parámetro en aguas potables o residuales, permite mantener un control en la eficiencia de los procesos que se llevan a cabo en una planta de tratamiento en función al cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. La cantidad de sólidos presentes en una corriente de agua, dependen de diversos factores como: los vertimientos, los terrenos que recorre, la presencia de basuras, el arrastre de partículas por vientos, la intensidad y frecuencia de lluvias etc.<sup>70</sup>

La determinación de los sólidos totales en una muestra de agua, se realiza mediante la evaporación del líquido a una temperatura de 103 – 105° C durante 30 minutos, quedando como residuo la materia sólida allí contenida.<sup>71</sup>

- **Metales pesados.** Este término hace referencia a los elementos químicos que siendo metálicos, son también altamente tóxicos para la salud y el medio ambiente debido a su propiedad biocacumulable; dentro de los cuales se encuentra el talio, cromo, arsénico, mercurio, plomo, níquel, zinc y cadmio. Es muy fácil que estos elementos se introduzcan al agua, pues los mismos se pueden encontrar de manera natural en los horizontes del suelo. La determinación de estos elementos en el laboratorio se puede realizar en aguas residuales, crudas o potables; mediante el método espectrofotométrico de absorción atómica, los metales totales se pueden determinar en una muestra de

---

<sup>69</sup> IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0082. Versión: 02. Conductividad eléctrica en aguas por el método electrométrico. 2006. p. 2.

<sup>70</sup> IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0436. Versión: 01. Sólidos totales secados a 103° - 105°C. 2007. p. 1-8.

<sup>71</sup> PAREDES, D; GUERRERO, J y CASTAÑO, J. M. Metodología para la evaluación de la calidad del agua. Scientia et technica, N° 5. 2001. p.113-119.

agua sin cribar, mediante un proceso de digestión acida, y en una muestra cribada para metales solubles.<sup>72</sup>

- **Nitrógeno total.** Una carga alta de nitrógeno en una muestra de agua, hace referencia a un proceso de contaminación que ha ocurrido hace poco tiempo, el cual puede ser muy tóxico. En el análisis que se realiza en el laboratorio se determina la cantidad de nitrógeno orgánico y amoniacal, en base a la materia orgánica presente en la muestra líquida; este proceso se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos con el objetivo de promover la formación de amonio. Este método empleado lleva el nombre de “Nitrógeno Kjeldahl” pues es la adición del Nitrógeno Orgánico y el Nitrógeno Amoniacal, en una muestra de agua de cualquier tipo.<sup>73</sup>

La cantidad de nitrógeno presente en el lixiviado de un vertedero, varía en función del tiempo de maduración de dicho líquido, pues en los rellenos sanitarios jóvenes ocurren proceso de degradación de compuestos orgánicos y disminución de aminos en los aminoácidos.<sup>74, 75</sup>

Tabla 9. Parámetros que deben monitorear en el vertimiento de un lixiviado.

Físicos	Químicos orgánicos	Químicos Inorgánicos	Biológicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH.</li> <li>• Potencial de reducción de oxidación.</li> <li>• Conductividad.</li> <li>• Color.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fenoles.</li> <li>• DQO.</li> <li>• Carbono orgánico total.</li> <li>• Ácidos volátiles.</li> <li>• N-Orgánico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos suspendidos, totales y disueltos.</li> <li>• Sólidos volátiles en suspensión y disueltos.</li> <li>• Cloruros.</li> <li>• Sulfatos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO.</li> <li>• Coliformes totales.</li> <li>• Recuento sobre placa estándar.</li> </ul>

<sup>72</sup> IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0432. Versión: 02. Determinación de metales pesados totales con digestión acida y solubles lectura directa por espectrofotometría de absorción atómica. 2004. p. 1-16.

<sup>73</sup> IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo programa de fisicoquímica ambiental. Código: TP0096. Versión: 02. Nitrógeno total en agua por el método semi-micro kjeldahl - electrodo de amoniaco. 2004. p. 2-9.

<sup>74</sup> KULIKOWSKA, D; KLIMIUK, E. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Biores. Technol.* 99. 2008. p. 5981-5985.

<sup>75</sup> ZIYANG, L, *et al.* Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages. *Sci. Total Environ.* 407. 2009. p. 3385-3391

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbiedad.</li> <li>• Temperatura.</li> <li>• Olor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceites y grasas.</li> <li>• Sustancias activas al azul de metileno.</li> <li>• Grupos funcionales Orgánicos.</li> <li>• Hidrocarburos clorados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fosfatos.</li> <li>• Alcalinidad y acidez.</li> <li>• N - Nitrato.</li> <li>• N - Nitrito.</li> <li>• N - Amoníaco.</li> <li>• Sodio.</li> <li>• Potasio.</li> <li>• Calcio.</li> <li>• Magnesio.</li> <li>• Metales pesados:(Pb, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Fe, Mn, Hg, Ba, Ag.</li> </ul>	
---	--	---	--

Fuente. TCHOBANOGLUS, G; THEISEN, H y VIGIL, S. En Gestión Integral de los Residuos (Vol. I), Editorial Mc Graw-Hill. España. 1998.

## **5.2. Impactos ambientales que generan los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua.**

Es necesario como proceso inicial ahondar en el tema de agua, dentro del contexto de referencia en la identificación de los impactos ambientales que recaen sobre este recurso, por la acción de los lixiviados.

### **5.2.1 El agua.**

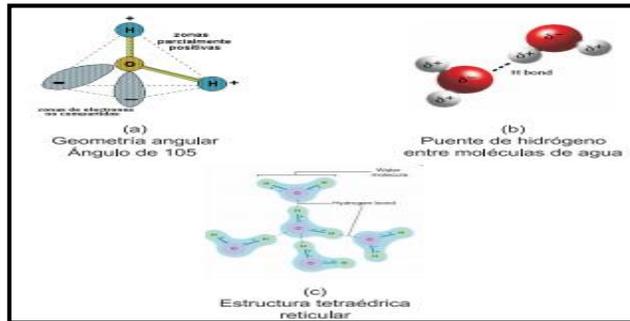
**5.2.1.1 Definición.** El agua es un líquido incoloro e inoloro, siendo una de las sustancias más necesarias e importantes para el desarrollo de los ecosistemas y la continuidad de la vida de las especies. Es el principal agente de los diferentes ciclos químicos y bioquímicos que se realizan en el planeta, posee una característica única al encontrarse disponible en el mismo en los tres estados de la materia.<sup>76</sup>

**5.2.1.2 Composición y estructura.** La molécula de agua está integrada por dos partículas de hidrogeno y una de oxígeno, caracterizada por ser muy estable y fuerte debido a la unión establecida por 66 enlaces covalente. Posee una estructura

<sup>76</sup> ORTEGA, Maria del Rosario. La tierra: Hidrología- hidrosfera. Estación regional del noroeste. Instituto de Geología. UNAM. 2008. p.15.

angular al formar un ángulo de  $105^\circ$  entre los dos átomos de hidrógeno, permitiendo que desarrolle una alta polaridad y que reaccione generando su unión a otras sustancias polares.<sup>77</sup>

Figura 9. Estructura molecular del agua.



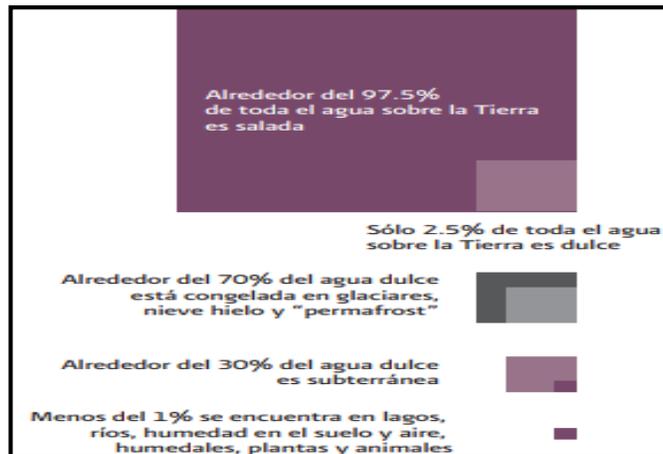
Fuente. CARBAJAL, Ángeles y GONZÁLEZ, María. Propiedades y funciones biológicas del agua. 2012. p. 66.

**5.2.1.3 Cantidad de agua en el planeta.** Cálculos recientes acerca de la disponibilidad de agua en el planeta, han dado a conocer que existen reservas de 1,386 millones de  $\text{km}^3$ , de estos el 97.5% es agua salada y el 2,5% es agua dulce. Pero existe un limitante pues el 70 % de esta última se encuentra en estado sólido, lo cual hace más difícil su consumo. El agua para consumo humano está disponible en forma lotica y lentic, como ríos, quebradas, lagos, estanques, pozos, acuíferos y en ocasiones en áreas apartadas a las comunidades lo cual hace más difícil y costosa su utilización.<sup>78</sup>

<sup>77</sup> CARBAJAL, Ángeles y GONZÁLEZ, María. Propiedades y funciones biológicas del agua. Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid. Capítulo 3. 2012. p. 63.

<sup>78</sup> Comisión Nacional del Agua. Agua en el mundo. Gobierno federal. Capítulo 8, 2011. p. 115.

Figura 10. Distribución de agua global en el mundo.



Fuente. Comisión Nacional del Agua. Agua en el mundo. Gobierno federal. Capítulo 8. 2011. p. 116.

**5.2.1.4 Importancia del agua.** La gran importancia del agua radica en sus extraordinarias propiedades en base a su composición y estructura. Formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, los cuales unidos por enlaces polares le proporcionan a esta sustancia ciertas propiedades, retribuidas en el aumento de su masa molecular, por ello su presenta altos valores de fusión, ebullición, calor específico, vaporización, tensión superficial, y gran capacidad expansiva.<sup>79</sup>

El agua es un recurso necesario para la evolución del hombre y los demás seres vivos, indispensable para el desarrollo de las comunidades en función de sus actividades domésticas y económicas. Está disponible en el ambiente en forma dulce y salada en medios superficiales y subterráneos.<sup>80</sup>

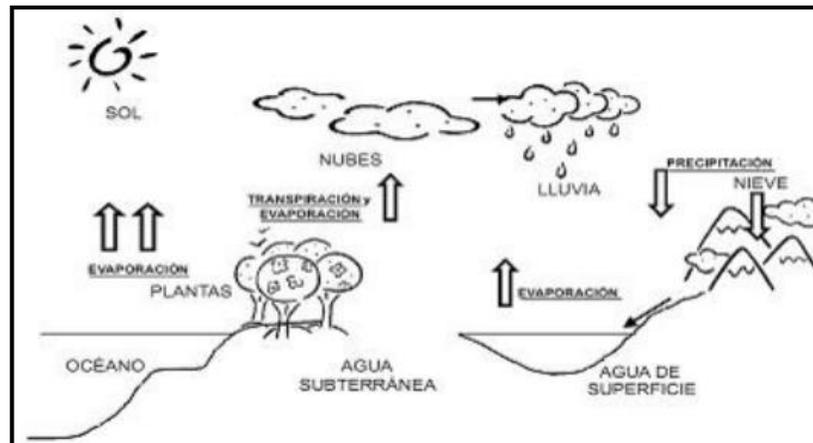
También la importancia del agua radica en los diferentes usos para los cuales es requerida. Como por ejemplo en procesos naturales de mantenimiento de fuentes hídricas, vegetación, ecosistemas, movimiento de sedimentos, y para el desarrollo de reacciones internas; por otra parte también es empleada en actividades de servicio, esparcimiento, domésticas, industriales y agropecuarias. Es importante

<sup>79</sup> CARBAJAL, Ángeles y GONZÁLEZ, María. . Op. Cit. p. 67.

<sup>80</sup> CORDERO CAMACHO, Doris. PROCUENCAS, protección y recuperación de microcuencas para el abastecimiento de agua potable en la provincia de Heredia, Costa Rica, [En línea], 2003 [recuperado en 15 junio 2018]. Disponible en Internet: [http://www.undp.org/cu/eventos/aprotegidas/pre-PSA\\_CRica-Procuenas\\_Heredia.pdf](http://www.undp.org/cu/eventos/aprotegidas/pre-PSA_CRica-Procuenas_Heredia.pdf).

reconocer la relación que existe entre los diferentes usos del agua y sus fuentes precursoras dentro del ciclo del agua.<sup>81</sup>

Figura 11. Ciclo del agua.



Fuente. FERNÁNDEZ CIRELLI, Alicia. El agua: un recurso esencial Química Viva, Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina. Vol. 11, núm. 3. 2012. p. 150.

**5.2.1.5 Principales contaminantes del agua en Colombia.** El agua posee ciertas características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas, las cuales se le atribuyen al lugar donde esta brota o nazca. Generalmente estos nacimientos de agua se encuentran en las partes altas de las montañas, las cuales durante el recorrido o trayecto que lleve en su cauce comienza a descender, siendo este un factor negativo enfocado al cambio en sus características normales debido a las acciones antrópicas de las comunidades aledañas a este recurso, enmarcándose como principal causante de esto los vertimientos y residuos sólidos que se depositan a las fuentes hídricas. (Ver tabla 9)

Colombia es uno de los países con mayor porcentaje de reservas hídricas en América, ocupando el sexto lugar. Pero la gran preocupación es que las mismas se están contaminando de una manera acelerada, por actividades industriales,

<sup>81</sup> FERNÁNDEZ CIRELLI, Alicia. El agua: un recurso esencial Química Viva, Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina. Vol. 11, núm. 3. 2012. p. 149.

domesticas agropecuarias y mineras. Más del 50% del agua en nuestro país no puede ser usada para consumo humano debido a déficit en su calidad.<sup>82</sup>

La contaminación de las aguas loticas y lenticas se presenta en mayor valor con respecto a parámetros biodegradables y no biodegradables en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena, Villavicencio y Bucaramanga, todo esto en base a la normatividad ambiental vigente. Y la problemática aumenta si se le adhiere la baja inversión en plantas de tratamiento de agua potable y residual.<sup>83</sup>

Tabla 10. Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

PARÁMETRO	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS VERTIDAS AL ALCANTARILLADO O A UN CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL.
<b>pH</b>	6-9 unidades de pH
<b>Temperatura</b>	<40 °C
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	180.0 mg/L O <sub>2</sub>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	90.0 mg/L O <sub>2</sub>
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	90.0 mg/L
<b>Sólidos sedimentables (SSED)</b>	5.0 ml/L
<b>Grasas y aceites</b>	20.0 mg/L
<b>Fenoles</b>	Análisis y reporte mg/L
<b>Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)</b>	Análisis y reporte mg/L
<b>Hidrocarburos totales (HTP)</b>	Análisis y reporte mg/L
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclico (HAP)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>Fósforo total (P)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>Nitratos (N-NO<sub>3</sub>)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>Nitrógeno total (N)</b>	Análisis y reporte mg/L
<b>Cianuro Total (CN<sup>-</sup>)</b>	0,5 mg/L
<b>Cloruros (Cl<sup>-</sup>)</b>	Análisis y reporte mg/L

<sup>82</sup> CASTAÑO, Carlos. El 50% del agua en Colombia es de mala calidad. Colombia MINAMBIENTE. 2012.

<sup>83</sup> GARCÍA, Martha, *et al.* COLOMBIA, MINAMBIENTE, ENA. Estudio nacional de agua para apoyar el desarrollo sostenible del país. 2014.

<b>Sulfatos(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	Análisis y reporte mg/L
<b>Sulfuros (S<sup>2-</sup>)</b>	Análisis y reporte mg/L
<b>Bario (Ba)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>Cadmio (Cd)</b>	0.1 mg/L
<b>Zinc (Zn)</b>	3.0 mg/L
<b>Cobre (Cu)</b>	1.0 mg/L
<b>Cromo (Cr)</b>	0.5 mg/L
<b>Hierro (Fe)</b>	Análisis y reporte mg/L
<b>Mercurio (Hg)</b>	0.02 mg/L
<b>Níquel (Ni)</b>	0.5 mg/L
<b>Plata (Ag)</b>	Análisis y reporte en mg/L
<b>Plomo (Pb)</b>	0.5 mg/L
<b>Acidez Total</b>	Análisis y reporte en mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>Alcalinidad Total</b>	Análisis y reporte en mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>Dureza Cálcida</b>	Análisis y reporte en mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>Dureza Total</b>	Análisis y reporte mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>Color Real (medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)</b>	Análisis y reporte en m <sup>-1</sup>

Fuente. Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución número 0631 de 2015. p. 6-7.

**5.2.2. Principales impactos ambientales de los lixiviados de los rellenos sanitarios, sobre el recurso agua.** La contaminación de las aguas subterráneas por parte de los lixiviados en las áreas de influencia del relleno sanitario del municipio de Arauca en Colombia, se evidencio una vez realizados los análisis microbiológicos en las altas concentraciones de coliformes totales, aerobios mesófilos y coliformes fecales, lo cual es debido a la cantidad de residuos orgánicos que allí se generan.<sup>84</sup>

La presencia de metales pesados en el agua subterránea debido a la infiltración de lixiviados en las capas del suelo, y su posterior comunicación con estos acuíferos,

<sup>84</sup> OJEDA REINA, Rosalba. Evaluación preliminar del impacto sobre las aguas subterráneas y superficiales del área de influencia directa del vertedero de residuos sólidos del municipio de Arauca y propuesta de recuperación paisajística del mismo. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Arauca. Ingeniería ambiental. 2005. p. 142.

es evidencia de contaminación por parte de estos líquidos emanados en el proceso de descomposioción de los residuos sólidos de los rellenos sanitarios.<sup>85</sup>

El inadecuado manejo de los lixiviados producidos en el relleno sanitario el Carrasco de Bucaramanga, ha sido uno de los mayores retos a mejorar por parte de los entes ambientales de la zona, puesto que los mismos están ocasionando contaminación del suelo y el agua, debido a la acelerada descomposición de los desechos en las cárcavas clausuradas, y al rápido transporte de estos líquidos gracias a la acción de las corrientes de aguas.<sup>86</sup>

Un estudio geológico y fisicoquímico realizado en base a la calidad de las aguas subterráneas, dentro del área de influencia del relleno sanitario La Guásima, ubicado en el estado de Carabobo, Venezuela; permitió identificar que en ciertos acuíferos dispuestos aguas abajo del vertedero se presentan elevadas cargas de Manganeseo y Aluminio; y aguas arriba del sitio valores altos de Hierro. Por otra parte los parámetros microbiológicos estuvieron representados por altas concentraciones de coliformes fecales y totales. También se presentaron valores de compuestos tóxicos como sulfuros de hidrogeno y pesticidas organoclorados.<sup>87</sup>

El relleno sanitario de Morelia en México, donde se depositaron miles de toneladas de basura durante los años 1980 al 1999, ya hoy clausurado ha sido motivo de estudios edáficos e hidrológicos, con el objetivo de identificar el impacto de los lixiviados sobre las reservas de aguas subterráneas cercanas a este, dicho análisis permitió corroborar la hipótesis que se tenía de la infiltración de dichas aguas contaminantes al subsuelo hasta llegar a los acuíferos, en las cuales se encontraron altas concentraciones de metales pesados, que afectan de manera directa los procesos y características biológicas de las aguas subterráneas.<sup>88</sup>

---

<sup>85</sup> MARTINEZ, D.E, *et al.* Hidrogeoquímica del área de disposición final de residuos de Mar del Plata, Argentina. XXXII Congreso de la AIH y VI de ALHSUD, CD trabajos completos. Mar del Plata, Argentina, 2002. p. 391-399.

<sup>86</sup> HANS JÜRGEN, E. Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos. [En línea], (s.f.) [recuperado en 19 junio 2018]. Disponible en Internet: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/cantidad/cantidad.html>

<sup>87</sup> POLO, Mirna y GUEVARA, Edilberto. Contaminación de acuíferos por efecto de los lixiviados en el área adyacente al vertedero de desechos sólidos la Guásima, municipio libertador, estado Carabobo. Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Carabobo. [En línea], (s.f.) [recuperado en 19 junio 2018]. Disponible en Internet: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a8n2/8-2-1.pdf>

<sup>88</sup> ISRADE, I; BUENROSTRO, O. y CARRILLO, A. El tiradero de Morelia y sus lixiviados. Vinculación, núm. 6, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 1999. p. 35-43.

Los principales factores de contaminación que se generan en los rellenos sanitarios, una vez inicia el proceso de descomposición de los residuos sólidos, se ven enmarcados por la alta producción de biogás y lixiviados los cuales afectan de manera directa los recursos naturales de un ecosistema.<sup>89</sup>

Estudios realizados mediante el programa de modelación QUAL2E a las aguas del río Tunjuelo en Cundinamarca, debido al vertimiento del lixiviado tratado que el relleno sanitario Doña Juana emite sobre este. Se pudo identificar que el valor de la DBO<sub>5</sub> aumenta ocasionando la pérdida de oxígeno disuelto en el punto aguas abajo del vertimiento, lo cual ocasiona alteración en la calidad del agua y por ende la muerte y eliminación de la micro y macrofauna presente en dicha fuente hídrica. Sumándole a esto el poco caudal que este río posee, y el aumento de la carga de contaminación que recibe durante el recorrido de su cauce, la situación se agudiza y es difícil que se pueda presentar un proceso de autopurificación.<sup>90</sup>

Los principales impactos identificados en el área de influencia del vertedero de residuos sólidos, de la ciudad de Linares en Nuevo León México, sobre las corrientes de agua superficiales y subterráneas, se presentaron debido a las elevadas cargas de contaminación en referencia a parámetros como Nitratos, Plomo, Hierro y Manganeso, generando alteración en la calidad del suelo y del agua, y por ende afectaciones nocivas en la salud del ser humano.<sup>91</sup>

El relleno sanitario de la Mina en Marbella Málaga, ha generado gran contaminación de los acuíferos presentes en la zona sur oeste, debido a que los lixiviados están migrando e infiltrándose en el suelo hasta llegar a las reservas de agua, cargándolas con compuestos de cloro, sodio, y amonio provocando el aumento en la conductividad eléctrica, todo ello acarreado desequilibrio en el ciclo de interrelación de los diferentes recursos del ecosistema allí circundante.<sup>92</sup>

---

<sup>89</sup> ROBLES MARTÍNEZ, F. Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Segunda Edición. Instituto Politécnico Nacional. Distrito Federal, México. 2008. p. 115.

<sup>90</sup> CRISTANCHO MONTENEGRO, Diana Lucia. Estimación del efecto del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana sobre la calidad del agua del Río Tunjuelo y su posible tratamiento en la PTAR Canoas. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Bogotá, Colombia. 2013. p. 85, 91, 104.

<sup>91</sup> LEON GOMEZ, Héctor, *et al.* Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Revista mexicana de ciencias geológicas. Versión On-line ISSN 2007-2902, versión impresa ISSN 1026-8774. vol.32, n.3. 2015. p. 514-526

<sup>92</sup> VADILLO PÉREZ, Iñaki, *et al.* Contaminación por lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos en acuíferos carbonatados: vertedero de la Mina (provincia de Málaga). Departamento de Geología y Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 1998. p. 318.

Debido a los medios de transporte que los lixiviados de los rellenos sanitarios pueden tener, una vez se rompe la geomembrana que impide su comunicación con el suelo, estos liberan sus componentes tóxicos en las corrientes de agua superficial y subterránea más cercanas, afectando los ciclos de vida acuática y bioacumulándose en los sedimentos, las plantas, los animales y las rocas de dicho ecosistema.<sup>93</sup>

En la siguiente tabla se presentan algunos aspectos negativos debido a la existencia de lixiviados de residuos sólidos en las corrientes de aguas, y también qué genera el aumento en la concentración de algunos parámetros del agua, debido al aporte de este líquido contaminante.

Tabla 11. Aspectos negativos por la presencia de lixiviados en las corrientes de aguas.

<b>Aspectos negativos debido a la existencia de lixiviados de residuos sólidos en las corrientes de aguas.</b>	
No útil para labores de uso doméstico, agropecuario y recreativo. Alteración de las condiciones sanitarias del líquido. Toxicidad para el ser humano, animales y plantas. Aumento en la presencia de sólidos totales. Deterioro del aspecto estético y cristalino. Taponamiento de acuíferos. Problemas de olor y gusto. Fuerte cambio de color. Formación de cieno. Formación de flocs.	
<b>Parámetros afectados.</b>	<b>Efectos producidos.</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Agotamiento del oxígeno
Hierro	Coloración de herrumbre
Reducción o aumento en el pH	Aumento de toxicidad
Nitrógeno	Precipitación de metales
Metales pesado	Aumento de toxicidad y aparición de algas
Materia Orgánica	Aumento de toxicidad
Sólidos totales	Crecimiento de toxicidad
Calcio	Atenuación. Obstrucción de acuíferos
Magnesio	Incremento en la dureza
Fosforo	Aparición de algas

<sup>93</sup> PASTOR, Jesús. *et al.* Vertederos controlados problemática de los lixiviados. En La naturaleza de los residuos y los lixiviados: Contribución a la educación ambiental: el problema de los residuos urbanos. Madrid, España. 1991. p. 56-57.

Fluoruro	Toxicidad
Amonio	Ambiente reductor
Selenio	Toxicidad

Fuente. PASTOR, Jesús. *et al.* Vertederos controlados problemática de los lixiviados. En La naturaleza de los residuos y los lixiviados: Contribución a la educación ambiental: el problema de los residuos urbanos. Madrid, España. 1991. p. 58-63.

**5.2.3 Caracterización de los impactos ambientales de los lixiviados de los rellenos sanitarios sobre el recurso agua, según la Matriz Leopold.** Una vez identificados los principales impactos ambientales generados por los lixiviados de los rellenos sanitarios sobre el recurso agua, se presenta una síntesis de la metodología Leopold para comprender su desarrollo e implementar la evaluación de los tensionantes ya nombrados.

**5.2.3.1 Definición.** La matriz Leopold es una metodología cualitativa para la identificación y evaluación de los impactos ambientales en un determinado proyecto, representada mediante un cuadro de doble entrada en el cual hay ejes dispuestos como filas donde se ubican los factores ambientales y en otros ejes ubicados como columnas se encuentran las acciones o actividades generadoras o causantes de los posibles impactos. Estas filas y columnas se interceptan en una celda que se divide en diagonal, donde a su vez se va a evaluar la magnitud Vs la importancia de cada actividad sobre los diferentes factores ambientales.<sup>94</sup>

**5.2.3.2 Antecedentes.** El Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos, fue el primer ente en implementar la utilización de la metodología Leopold para la identificación y evaluación de los impactos ambientales en sus informes de proyectos mineros, luego fue implementándose en proyectos de construcción de obras.<sup>95</sup>

<sup>94</sup> DELLAVEDOVA, Maria. Gabriela. Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Arquitectura y Turismo. 2010. p. 13.

<sup>95</sup> PINTO, Santiago. Metodologías para la valoración de impactos ambientales. División del medio ambiente, INERCO. Sevilla. 2007. p.3.

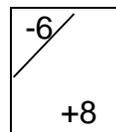
**5.2.3.3 Procedimiento de síntesis para la elaboración y aplicación de la matriz Leopold.** Para elaborar y aplicar la Matriz Leopold, se deben efectuar los siguientes pasos, con el objetivo de identificar y evaluar los impactos ambientales de un proyecto.

1) Ubicar en las filas de la matriz los factores ambientales, y en las columnas las acciones del proyecto.

2) Cada fila y columna se intercepta en una cuadrícula específica la cual está dividida mediante una diagonal, esta admite dos valores en la parte superior la magnitud y en la parte inferior la importancia, todo ello relacionando la incidencia de la acción sobre el factor ambiental.

3) La magnitud ubicada en la parte superior de cada celda puede tomar valores de calificación negativos para unos impactos negativos y positivos para un impacto positivo (rango posible: -10 hasta +10).

4) La importancia ubicada en la parte inferior de cada celda puede tomar únicamente valores de calificación positivos (rango posible: +1 hasta +10)



5) Para obtener el valor de cada celda se multiplican las dos calificaciones (rango posible: -100 hasta +100)

$$\begin{array}{|c|} \hline -6 \\ \hline +8 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -48 \\ \hline \end{array}$$

6) Determinados los valores para cada celda se realiza una sumatoria por cada fila y cada columna, con el objetivo de obtener un solo valor al final de las mismas ya sea positivo o negativo, identificando con esto cuales acciones del proyecto afectan de manera beneficiosa o detrimental.

7) Es importante tener en cuenta que al final se debe realizar una sumatoria por separado de los valores obtenidos en las filas y columnas y este debe ser el mismo, lo cual indica que la matriz está bien elaborada.<sup>96</sup>

❖ **Tablas de calificación de la magnitud e importancia del impacto ambiental para su uso con la matriz Leopold.**

Tabla 12. Matriz Leopold valoración de impactos Negativos.

Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	+4
Media	Media	-5	Media	Local	+5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	-8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	+10

Fuente. Estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Producción. Guía para la elaboración e interpretación de la matriz Leopold, planta de reciclaje de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil. 2011. p.9.

<sup>96</sup> Estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Producción. Guía para la elaboración e interpretación de la matriz Leopold, planta de reciclaje de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil. 2011. p. 8.

Tabla 13. Matriz Leopold valoración de impactos Positivos.

Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

Fuente. Estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Producción. Guía para la elaboración e interpretación de la matriz Leopold, planta de reciclaje de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil. 2011. p.9.

- ❖ Matriz Leopold, para la evaluación de los impactos ambientales de los lixiviados de los rellenos sanitarios sobre el recurso agua.

Tabla 14. Matriz Leopold, impactos de los lixiviados sobre el recurso hídrico.

MATRIZ LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES DE LOS LIXIVIADOS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.										
		ACTIVIDADES Y PROCESOS								
		GENERACIÓN DE LIXIVIADOS								
		LIXIVIADO JOVEN		LIXIVIADO INTERMEDIO		LIXIVIADO VIEJO				
MEDIO DE TRANSPORTE: Escorrentía (E), Infiltración (I)		I	E	I	E	I	E			
ASPECTOS AMBIENTALES	RECURSO HÍDRICO	<b>Aumento en los parámetros microbiológicos.</b> (E. coli, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Mesófilos Aerobios)						-10/10	-9/10	-8/10
		<b>Aumento en los parámetros fisicoquímicos.</b> (DBO5, DQO, Conductividad Eléctrica, Ácidos Grasos Volátiles, Alcalinidad, Dureza, Sólidos Totales, Carbono Orgánico, Nitrogeno Total, Metales pesados, Agentes Incrustantes, Cloro Detergentes.						-10/10	-8/10	-7/10
		<b>Cambio en la estabilidad de la temperatura</b>						-8/9	-7/8	-6/8
		<b>Aumento de pH</b>						-6/10	-7/10	-8/10
		<b>Alteración de caudales</b>						-9/8	-8/8	-7/8
		<b>Alteración de las propiedades organolépticas</b>						-8/9	-7/9	-8/9
		<b>Taponamiento de cuerpos de agua</b>						-8/8	-8/7	-8/9
		<b>Contaminación por sustancias tóxicas y peligrosas</b>						-9/9	-8/9	-8/9
		<b>Aumento de la eutrofización</b>						-9/10	-9/9	-8/10
		<b>Disminución o muerte de las comunidades acuáticas</b>						-9/10	-9/9	-8/9
		<b>Inhibición del ciclo del agua</b>						-9/9	-8/8	-7/8
		<b>Eliminación de la vegetación</b>						-8/9	-7/9	-6/9
		<b>Bajo rendimiento en procesos biológicos</b>						-9/10	-8/9	-7/8
		<b>Deterioro del aspecto estético y cristalino</b>						-8/8	-8/9	-9/10
		<b>Alteración de las condiciones sanitarias del líquido</b>						-9/10	-8/9	-8/10
<b>Formación de cieno</b>						-8/9	-8/8	-8/10		
<b>Alteración de la calidad respecto a la normatividad ambiental</b>						-9/10	-8/10	-7/10		
<b>Desequilibrio del sistema acuático</b>						-9/9	-8/9	-7/9		

Tabla 15. Síntesis Matriz Leopold, impactos de los lixiviados sobre el recurso hídrico.

MATRIZ LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES DE LOS LIXIVIADOS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.												
		ACTIVIDADES Y PROCESOS						SINÓPSIS				
		GENERACIÓN DE LIXIVIADOS						AFECTACIONES				
		LIXIVIADO JOVEN		LIXIVIADO INTERMEDIO		LIXIVIADO VIEJO						
MEDIO DE TRANSPORTE: Escorrentía (E), Infiltración (I)		I	E	I	E	I	E	-	+	Σ		
ASPECTOS AMBIENTALES	RECURSO HÍDRICO	<b>Aumento en los parámetros microbiológicos.</b> (E. coli, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Mesófilos Aerobios)		-100		-90		-80		3	0	<b>-270</b>
		<b>Aumento en los parámetros fisicoquímicos.</b> (DBO5, DQO, Conductividad Eléctrica, Ácidos Grasos Volátiles, Alcalinidad, Dureza, Sólidos Totales, Carbono Orgánico, Nitrogeno Total, Metales pesados, Agentes Incrustantes, Cloro Detergentes.		-100		-80		-70		3	0	<b>-250</b>
		<b>Cambio en la estabilidad de la temperatura</b>		-72		-56		-48		3	0	-176
		<b>Aumento de pH</b>		-60		-70		-80		3	0	<b>-210</b>
		<b>Alteración de caudales</b>		-72		-64		-56		3	0	-192
		<b>Alteración de las propiedades organolépticas</b>		-72		-63		-72		3	0	<b>-207</b>
		<b>Taponamiento de cuerpos de agua</b>		-64		-56		-72		3	0	-192
		<b>Contaminación por sustancias tóxicas y peligrosas</b>		-81		-72		-72		3	0	<b>-225</b>
		<b>Aumento de la eutrofización</b>		-90		-91		-80		3	0	<b>-261</b>
		<b>Disminución o muerte de las comunidades acuáticas</b>		-90		-81		-72		3	0	<b>-243</b>
		<b>Inhibición del ciclo del agua.</b>		-81		-64		-56		3	0	<b>-201</b>
		<b>Eliminación de la vegetación</b>		-72		-63		-54		3	0	-189
		<b>Bajo rendimiento en procesos biológicos</b>		-90		-72		-56		3	0	<b>-218</b>
		<b>Deterioro del aspecto estético y cristalino</b>		-64		-72		-90		3	0	<b>-226</b>
		<b>Alteración de las condiciones sanitarias del líquido</b>		-90		-72		-80		3	0	<b>-242</b>
<b>Formación de cieno</b>		-72		-64		-80		3	0	<b>-216</b>		
<b>Alteración de la calidad respecto a la normatividad ambiental</b>		-90		-80		-70		3	0	<b>-240</b>		
<b>Desequilibrio del sistema acuático</b>		-81		-72		-63		3	0	<b>-216</b>		
SINÓPSIS	AFECTACIONES	-		18		18		18				<b>-3974</b>
		+		0		0		0				
		Σ		<b>-1441</b>		<b>-1282</b>		<b>-1251</b>		<b>-3974</b>		

Realizada la evaluación de los diferentes impactos ambientales que se originan sobre el recurso agua, al tener contacto con los lixiviados de los rellenos sanitarios, mediante la metodología Leopold. Se identificaron los siguientes aspectos ambientales de mayor relación en cuanto a su valor de magnitud e importancia.

Los aspectos ambientales del recurso agua donde repercuten con mayor fuerza los impactos de los lixiviados de los rellenos sanitarios son los siguientes:

Tabla 16. Aspectos ambientales del agua afectados por los lixiviados.

Aspectos ambientales	Valor de afectación
Aumento en los parámetros microbiológicos. (E. coli, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Mesófilos Aerobios)	-270
Aumento en los parámetros fisicoquímicos. ( DBO5, DQO, Conductividad Eléctrica, Ácidos Grasos Volátiles, Alcalinidad, Dureza, Solidos Totales, Carbono Orgánico, Nitrogeno Total, Metales pesados, Agentes Incrustantes, Cloro Detergentes.	-250
Aumento de pH	-210
Alteración de las propiedades organolépticas	-207
Contaminación por sustancias tóxicas y peligrosas	-225
Aumento de la eutrofización	-261
Disminución o muerte de las comunidades acuáticas	-243
Inhibición del ciclo del agua.	-201
Bajo rendimiento en procesos biológicos	-218
Deterioro del aspecto estético y cristalino	-226
Alteración de las condiciones sanitarias del líquido.	-242
Formación de cieno	-216
Alteración de la calidad respecto a la normatividad ambiental	-240
Desequilibrio del sistema acuático	-216

El análisis para las columnas permitió identificar que dentro del ciclo de vida del lixiviado, el que repercute con mayor fuerza en la generación de impactos negativos sobre el recurso agua es el lixiviado joven, seguido del intermedio y finalizando con el viejo.

Tabla 17. Generación de lixiviados con relación a su ciclo de vida y su valor de impacto sobre el recurso agua.

ACTIVIDADES Y PROCESOS					
Generación de lixiviados					
Lixiviado joven		Lixiviado intermedio		Lixiviado viejo	
I	E	I	E	I	E
-1441		-1282		-1251	

### **5.3 Acciones de mitigación para los impactos ambientales generados sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios.**

Las principales técnicas aplicables a la mitigación de los impactos ambientales, generados por los lixiviados de los rellenos sanitarios sobre el recurso agua, se presentan a continuación, todo ello dentro del desarrollo de procesos de restauración ambiental para las fuentes hídricas y ecosistemas ubicados dentro de estas áreas de influencia.

**5.3.1 Reciclaje.** Es una técnica mediante la cual se seleccionan de la fracción total de residuos sólidos que se generan en un determinado lugar, aquellos desechos que pueden ser utilizados nuevamente para la reelaboración del mismo producto o la elaboración de productos nuevos, entre estos encontramos el plástico, vidrio, papel, cartón, metales, residuos orgánicos, etc.<sup>97</sup>

Es importante nombrar que esta técnica se fundamenta en diversos aspectos como la reducción, reutilización de materiales que puedan ser empleados y a su vez el rechazo de aquellos que contaminan con ello garantizando la protección y cuidado del medio ambiente.

#### **❖ Beneficios del reciclaje.**

- Reduce el volumen de residuos sólidos.
- Extiende la vida útil de los rellenos sanitarios.
- Permite crear una cultura ambiental en la población.
- Protege los recursos naturales.
- Fuente para la generación de empleo.
- Se economiza materia prima.
- Minimiza el valor de la recolección y disposición final de residuos sólidos.
- Se ahorra energía.
- Disminuye la dispersión de gases a la atmosfera.<sup>98</sup>

---

<sup>97</sup> WILLIAMS, P. T. "Waste treatment and disposal" 1st edition. Wiley & Sons, England. 1998.

<sup>98</sup> GONZÁLEZ TORO, Carmen. RECICLAJE: PARA LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES. [En línea]. Septiembre de 2007. [Recuperado en 20 junio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.uprm.edu/taubetapi/library/docs/Presentacion%20Charla%20de%20Reciclaje.pdf>

**5.3.2 Reutilizar.** Dentro del ciclo para el manejo integral de los residuos sólidos que se generan en un determinado lugar, la reutilización hace parte de dicha gestión, pues enmarca la implementación de las tres “R”, Reducir, Reutilizar y Reciclar. Por ello donde se implementan sistemas de recolección de residuos sin aprovechamiento alguno, estos se identifican como técnicas no viables desde el punto de vista ambiental.<sup>99</sup>

Por otra parte la reutilización coopera con la reducción de la cantidad de residuos que llegaran a un relleno sanitario, puesto que estos volúmenes tan elevados se constituirán en un componente negativo e importante, para la generación de los posibles impactos ambientales en dicho lugar.

La reutilización consiste en determinar de los materiales que han sido reciclados, cuáles de estos pueden ser utilizados nuevamente, bien sea en el estado actual que se encuentran, o realizándoles algún proceso fisicoquímico de esterilización, o para que los mismos puedan ingresar a algún proceso industrial como materia prima en la fabricación de otros productos cuya base sea el material reciclado.

Como ejemplo de ello tenemos la reutilización de envases de plástico o vidrio generalmente por industrias de alimentos, la elaboración de manualidades con materiales reciclables, la utilización del compost para la producción de abono orgánico, la utilización de plásticos y su futura transformación por procesos industriales en otros productos comerciales.<sup>100</sup>

**5.3.3 Compostaje.** El compostaje es una técnica biológica para la transformación de la materia orgánica en abono, la cual permite activar los procesos de biodegradación en medios aerobios y anaerobios, y donde se necesita de manera primaria la presencia y desarrollo de microorganismos formadores del suelo en condiciones termofílicas, ósea a temperaturas mayores a los 45 °C, todo ello posibilitando la transformación de compuestos orgánicos contaminantes en sustancias inofensivas.<sup>101</sup>

El procedimiento que generalmente se utiliza para llevar a feliz término esta técnica, es homogenizar una cantidad de suelo con residuos animales o vegetales los cuales

---

<sup>99</sup> LECITRA, Micaela. Reducir, Reutilizar y Reciclar: El problema de los residuos sólidos urbanos. Grupo de Estudios Internacionales Contemporáneos. Derechos Humanos y Ambiente. 2010. p.10.

<sup>100</sup> *Ibíd.*, p. 11.

<sup>101</sup> USEPA. Composting. Engineering Bulletin, EPA/540/5-96/502. 1996.

pueden ser, pedazos de madera, aserrín, cascaras de frutas y verduras, cascaras de huevo, estiércol de ganado, gallinaza y lombrinaza, estos componentes brindan una textura permeable para un balance óptimo de carbono y nitrógeno. Es necesario mantener una temperatura termofílica con el objetivo de proporcionar constancia y rapidez al proceso de degradación de la materia orgánica<sup>102</sup>. Finalizado el proceso de descomposición por parte de los microorganismos, la materia orgánica soporta un descenso de temperatura, lo cual indica la disminución de la actividad microbiana, a causa de la ausencia de carbono orgánico.<sup>103</sup>

La producción de compost a partir de los residuos orgánicos que generalmente llegan a los rellenos sanitarios, disminuyen la cantidad en cuanto a volumen de lixiviados que se pueden genera por la descomposiocrn de los mismos en estos sitios de disposición final.

**5.3.4 Recirculación de lixiviados.** Una de las técnicas más utilizadas para disminuir el impacto ambiental generado por los lixiviados, distingue la recirculación de estos líquidos por el relleno. Estudios realizados en américa del norte, han sugerido que la recirculación de los lixiviados en un vertedero de residuos sólidos, permite que los mismos disminuyan su carga contaminante (definida mediante análisis físicos-químicos y microbiológicos), lo cual permite que esta técnica sea catalogada como un óptimo tratamiento para los mismos, previniendo el riesgo de contaminación del recurso agua.<sup>104</sup>

Aplicar un proceso efectivo de tratamiento al lixiviado es muy complejo puesto que la cantidad y calidad de este es muy cambiante, esto en base al periodo de operación del vertedero. Por ello la técnica más prometedor y con alta eficiencia es la de recircular el lixiviado nuevamente al relleno sanitario<sup>105</sup>. Con esta se logra humedecer los residuos allí dispuestos, lo que a su vez genera gran producción de metano que puede ser utilizado como combustible. Por otra parte cuando los ácidos

---

<sup>102</sup> WILLIAMS, R. T; ZIEGENFUSS, P. S y SISK, W. E. Composting of explosives and propellant contaminated soils under thermophilic and mesophilic conditions. *Journal of Industrial Microbiology*, 9.1992. p 137-144.

<sup>103</sup> FOGARTY, A. M. y TUOVINEN, O. H. Microbial degradation of pesticides in yard waste composting. *Microbiological Reviews*, 55. 1991. p 225-233.

<sup>104</sup> CHUGH, S, *et al.* Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation. The Univ of Queensland, St Lucia, Australia. 1997.

<sup>105</sup> SPONZA, D. T. y NURI, Un Da O. El impacto de la recirculación de lixiviados y recirculación de volumen en la estabilización de residuos sólidos municipales en simulaciones de biorreactores anaerobios. Sección de la Ingeniería Ambiental, La Dokuz Eylül Universidad, Buca Kaynaklar Campus. 2003.

grasos se metanogenizan, el pH del lixiviado se incrementa, y al incrementarse este la solubilidad de los metales se reduce de tal manera que se presenta una reducción de los metales en solución que son movilizados por el lixiviado. De esta forma se genera una reducción importante tanto de la Demanda Bioquímica de Oxígeno como de los metales que transporta el lixiviado.<sup>106</sup>

Para la recirculación de los lixiviados en un relleno sanitario, se deben tener en cuenta diversos factores geológicos y de drenaje, con el objetivo de permitir el adecuado movimiento y evacuación de los mismos.

Es importante tener en cuenta que los lixiviados que serán recirculados por el relleno sanitario, deberán ser conducidos con antelación a ciertos procesos fisicoquímicos, como un aporte a la eliminación de carga contaminante presente en los mismos.<sup>107</sup>

**5.3.5 Evaporación de lixiviados.** Evaporar los lixiviados que se generan en los rellenos sanitarios es una nueva técnica a implementar, debido a que se utiliza el biogás que se produce en los mismos o la luz solar como fuente de energía para dicho proceso de calentamiento. Diferentes estudios realizados en base a la cantidad de gases y lixiviados que se generan en los vertederos han permitido identificar y corroborar la abundancia gas para realizar este procedimiento de evaporación.

De acuerdo al tipo de lixiviados en ocasiones se presenta la necesidad, de realizar un post-quemado de la solución gas-vapor de agua que emite el evaporador, para mitigar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles que se transportan durante la evaporación. De tal manera que la porción de gas necesaria se incrementa, pero una vez calcinados estos compuestos químicos las emisiones de este proceso se restringen a vapor de agua y un cieno espeso.

Esta técnica se está implementado con gran fuerza a nivel mundial debido al cuidado de la capa de ozono en relación con la mitigación de los gases de efecto invernadero, siendo el metano uno de los mayores gases que se producen en los rellenos sanitarios, y causante de la absorción de los rayos infrarrojos generadores

---

<sup>106</sup> CORENA LUNA, Mironel de Jesús. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Tesis de grado. Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. Sincelejo. 2008. p. 38.

<sup>107</sup> *Ibíd.*, p. 39.

del fenómeno de calentamiento global. Por ello y para mitigar la emisión de compuestos orgánicos volátiles en los vertederos se realiza esta práctica.

Este método de evaporar lixiviados resulta ser muy utilizado, debido a la sencillez tecnológica de sus equipos, su fácil manejo y bajos costos, pero también presenta algunos obstáculos operativos como la generación de espumas por el burbujeo producto de la evaporación, el incrustamiento de partículas en el sistema, y el transporte de compuestos orgánicos volátiles.<sup>108</sup>

#### ❖ **Utilización del proceso de evaporación de lixiviados en el Relleno sanitario Don Juanito.**

Actualmente en el relleno sanitario “Don Juanito” ubicado en la ciudad de Villavicencio, en el departamento del Meta, realiza dentro de sus tratamientos para el lixiviado allí generado, el proceso de evaporación donde a continuación se presentan las conclusiones más importantes de un estudio allí realizado:

El tratamiento de evaporación para lixiviados es una alternativa viable para el relleno sanitario “Don Juanito” por los aspectos climáticos, ambientales y del área disponible del relleno; ya que estos aspectos facilitan un desarrollo óptimo para el para la operación de esta alternativa de evaporación de lixiviados. A su vez esta técnica es compatible con las características de los lixiviados generados y las necesidades del ente que lo administra.<sup>109</sup>

Es importante establecer este proceso de evaporación forzada, como tratamiento seguido al de la planta de tratamiento de lixiviado (PTLX), para reducir los impactos generados por estos líquidos en el área circundante al relleno sanitario. Como tratamiento preliminar al proceso de evaporación de lixiviado se aconseja establecer un sistema para retención de sólidos, para el pretratamiento una fase de ajuste de pH, y para el postratamiento la eliminación de lodos del proceso.

Para obtener excelentes resultados en la evaporación del lixiviado, se debe mantener un valor de temperatura de 27 a 31°C, lo cual influye en mantener

---

<sup>108</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. Universidad de Los Andes. Revista de ingeniería. 2002.

<sup>109</sup> FUENTES, Leonardo Arley y PALACIO VACA, Jhon Jairo. Evaluación del sistema alternativo de evaporación forzada de lixiviados para el relleno sanitario “Don Juanito” de Villavicencio, Meta. Tesis de grado Ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, 2003. p. 109.

constante la humedad en valores por debajo del 64 %, ayudando a que se presente una mayor evaporación del lixiviado.<sup>110</sup>

**5.3.6 Tratamientos biológicos aeróbicos.** El proceso aerobio ha sido utilizado en gran medida para el tratamiento de los lixiviados dentro de los rellenos sanitarios, con diferentes sistemas desde los tradicionales como las lagunas aireadas hasta los más modernos como los reactores que utilizan membranas.

Estos tratamientos son requeridos cuando es necesario bajar la concentración de DBO en los efluentes, puesto que los lixiviados tienen altas concentraciones de este parámetro, este tipo de procesos proporcionan remociones superiores al 90 %, sin embargo el 10 % restante puede ser alto. De acuerdo a las exigencias del vertimiento, este tipo de procesos aeróbicos se usan como pos-tratamiento a los sistemas anaeróbicos y para tratar lixiviados viejos con bajos niveles de DBO, puesto que los costos tanto en su diseño, operación y mantenimiento al necesitar una capacidad técnica son más elevados que los anaeróbicos.<sup>111</sup>

A continuación se describen algunos tratamientos biológicos aerobios:

- **Lagunas Aireadas.** Es un método que favorece el tratamiento para los lixiviados por ser procesos simples en la operación y en la recirculación de los lodos. Las lagunas aireadas tienen una remoción alta en la DBO5 y DQO, sobre todo cuando la relación de estos dos parámetros es mayor al 0,4. Una de las desventajas y que limitan el proceso es la temperatura en épocas de invierno y el espacio requerido para su construcción.
- **Plantas de Lodos Activados.** Este proceso no es muy usual en el tratamiento de los lixiviados dentro de los rellenos sanitarios, aunque se pueden obtener buenos resultados, alguna de sus desventajas es el requerimiento de habilidad para la operación y el control en los equipos, por lo cual no es tan apropiado como las lagunas aireadas.
- **Discos Biológicos.** El sistema de tratamiento por discos biológicos requiere bajo mantenimiento, es de fácil instalación y requiere poca energía para su

---

<sup>110</sup> *Ibíd.*, p. 110-111.

<sup>111</sup> CORENA LUNA, Mironel de Jesús. Op. Cit. p. 39.

operación, ayuda a reducir el nitrógeno amoniacal en la etapa del lixiviado viejo o antiguo.

- **Filtros Rociadores.** Los filtros rociadores no son muy aptos para el tratamiento de los lixiviados en ninguna de sus etapas, pues una de sus desventajas es su medio del filtro se tapan por depósitos de materiales inorgánicos.<sup>112</sup>
- **Humedales artificiales.** Son sistemas naturales artificiales que tratan de igualar su proceso a los tratamientos físicos, químicos y biológicos, para mejorar la calidad de los vertimientos residuales que se movilizan a través de los mismos. Se reconoce como una técnica rentable y que aporta beneficios al medio ambiente, para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

Esta técnica natural se tipifica de acuerdo al movimiento de aguas en su proceso como humedales de corriente libre, corriente subsuperficial horizontal y vertical, representando cada una diferentes valores de remoción de carga contaminante. La vegetación utilizada para el desarrollo de estos sistemas son principalmente macrófitas acuáticas y algunas gramíneas, donde las cuales ejecutan procesos de fitoextracción, fitoestabilización, transpiración y rizofiltración. Es importante identificar el tipo de flora idónea para lograr un eficiente tratamiento en el proceso de depuración de los lixiviados, por ello se aconseja el uso de vegetación nativa.<sup>113</sup>

**5.3.7 Tratamientos biológicos anaeróbicos.** Los tratamientos anaeróbicos son métodos clásicos para la remoción de materia orgánica y la reducción en términos de la DBO al reportar altas eficiencias, son utilizados para llegar a tratamientos secundarios o como pre-tratamientos para alcanzar eficiencias superiores, son precedidos de los sistemas aerobios como los lodos activados.

Una de las ventajas de los tratamientos biológicos anaeróbicos es su fácil sistema y la baja producción de lodos, esto representado de igual forma en menores costos en su diseño, operación, mantenimiento y requisitos técnicos. Una de las desventajas notables en este tipo de tratamientos es el alto contenido de amoníaco y minerales disueltos causantes de problemas de toxicidad para los microorganismos.<sup>114</sup>

---

<sup>112</sup> COSSU, *et al.* "Biological Treatment, landfilling: process, technology and environmental impact". Edit. Academic Press. 1989.

<sup>113</sup> BELTRÁN, Y y J, L. Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: Revisión del estado del arte. Umbaga, 1(7). 2012.

<sup>114</sup> CORENA LUNA, Mironel de Jesús. Op. Cit. p. 40.

- **Lagunas Anaerobias.** Este tratamiento es utilizado como pre-tratamiento, almacenamiento y balanceo, puesto que no es un método completo y es mayormente utilizado en zonas donde la temperatura y el clima son constantes.
- **Digestores Anaerobios.** Es uno de los tratamientos más eficientes en la remoción de cargas orgánicas y metales pesados, pero a su vez es uno de los procesos más costosos de las plantas para obtener una alta eficiencia.
- **Filtros Anaerobios.** Este tipo de procesos es nuevo para el tratamiento de los lixiviados, pero ofrece altas eficiencias y bajos tiempos de retención denominado UASB por sus siglas en inglés (reactores anaeróbicos de lecho de lodos y flujo ascendente).<sup>115</sup>

La función primordial de los tratamientos biológicos de lixiviados, es la minimización de la materia orgánica y los compuestos nitrogenados, todo ello con el objetivo de reducir el valor de los tratamientos secundarios. Alterando los factores ambientales como oxígeno y reservas de sustrato<sup>116</sup>. También estos tratamientos pueden reducir la presencia de nitrógeno, Plomo, Niquel, Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno, en un rango de 63 a 94 % en lixiviados.<sup>117</sup>

**5.3.8 Tratamientos fisicoquímicos.** Estas técnicas de tratamiento poseen un valor de ejecución más alto y su efectividad es más restringida, aunque son muy óptimos para el tratamiento de lixiviados con demandas químicas y bioquímicas de oxígeno muy bajas. Se reconoce la importancia de los procesos fisicoquímicos en el orden de pretratamiento o tratamientos modernos, pero deben ser ubicados antes o enseguida de los sistemas biológicos para obtener altos valores de remoción. Los tratamientos fisicoquímicos aplicados a los lixiviados permiten la exclusión de diversos parámetros como metales pesados, y compuestos orgánicos halogenados y otros más, lo cual no aplica para el tratamiento biológico.<sup>118</sup>

---

<sup>115</sup> COSSU, *et al.* Op. Cit.

<sup>116</sup> EWA, N; OKONIEWSKA, E y KACPRZAK, M. Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor. *Desalination*. 2005. p. 185, 357-362.

<sup>117</sup> SIRIANUNTAPIBOON, S. y HONGSRISUWAN, T. Removal of Ni and Pb by a sequencing batch reactor (SBR) system. *Bioresource Technology*. 2007. P. 98, 808-818

<sup>118</sup> TCHOBANOGLUS, G; THEISEN, H y VIGIL, S. En *Gestión Integral de los Residuos (Vol. I)*. España: Mc Graw-Hill. 1996.

**5.3.8.1 Coagulación/Floculación.** Esta técnica tiene como objetivo eliminar las partículas presentes en la fracción líquida de una solución, entre más bajo sea el pH se eliminan con mayor facilidad las partículas causantes del color en el lixiviado. A su vez los procesos de adsorción y oxidación retienen sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos.<sup>119</sup>

Estos procesos para que resulten eficaces deben ir unidos junto a todo un sistema de tratamiento para los lixiviados<sup>120</sup>. Donde para lograr dicho objetivo se deben aplicar ciertos compuestos como sulfato de aluminio, carbonato de calcio, cloruro férrico, cloro sulfato férrico, poliacrilamida, cloruro de polialuminio, para reducir la cantidad de partículas coloidales, el color y las sustancias tóxicas.<sup>121</sup>

La coagulación floculación es aconsejable para disminuir carga de contaminación en los lixiviados estabilizados<sup>122, 123</sup>. En la fase metanogénica disminuye los valores de DQO y Halógenos orgánicos adsorbibles.<sup>124</sup>

**5.3.8.2 Oxidación.** Para el tratamiento de lixiviados generados en vertederos de residuos sólidos, no es muy recomendable debido a que se necesitan grandes cantidades de ozono, y la reacción es un poco demorada. Pero si se alterna con otros métodos resulta disminuyendo el valor de DQO de un 54% a un 94%.<sup>125</sup>

Si se utilizan sustancias como el cloro, el hipoclorito de calcio, el permanganato de potasio o el ozono, en el proceso de oxidación del lixiviado, estas permiten reducir el color del mismo.<sup>126</sup>

La oxidación química aplicada sobre un lixiviado permite lograr remociones de carga en cuanto a los siguiente parámetros Demanda Química de Oxígeno en un 86%, Cu

---

<sup>119</sup> MÉNDEZ, R, *et al.* Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. Revista Internacional de Contaminación ambiental, 25(3).2009. p. 133-145.

<sup>120</sup> TCHOBANOGLUS, G; THEISEN, H y VIGIL, S. Op. Cit.

<sup>121</sup> RENO, S, *et al.* Leachate Treatment: Review and opportunity. Hazardous Materials. 2008. p.150, 468-493.

<sup>122</sup> QASIM RS y CHIANG W. Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment. Lancaster, Pennsylvania, Technomic Publ. 1994.

<sup>123</sup> AMOKRANE, *et al.* Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. Water Res 31 11 1997.p. 2775–2782.

<sup>124</sup> HANS JURGEN, Ehrig. Physicochemical Treatment. ITW Ingenieurberatung GMBH, Erich – Norrenberg Strasse 5. D-5860 Iserlohn, West Germany.1989.

<sup>125</sup> MONGE I y ORTA de Velásquez. Removal and transformation of recalcitrant organic matter from stabilized landfill leachates by coagulation ozonation coupling process” Water Research. 2004

<sup>126</sup> CORENA LUNA, Mironel de Jesús. Op. Cit. p. 40.

y Zn descartados totalmente, Al en un 96%, Fe en un 51%, Ca en un 79% y Mn en un 17%, donde a su vez se reduce el fuerte color del lixiviado.<sup>127</sup>

**5.3.8.3 Osmosis inversa.** Este método de tratamiento utilizado para la desmineralización de las aguas, empleando membranas como una barrera para la separación de iones y partículas presentes en una solución. Estas membranas actúan mediante unas fuerzas filtrantes semi-selectivas, debido a la fuerza ejercida por la presión osmótica de la solución más concentrada. La osmosis inversa permite una excelente filtración, siendo el mejor método para la retención de sólidos disueltos, y de sólidos en suspensión.<sup>128</sup>

Esta membrana formada por una capa "microporosa" que retiene las partículas presentes en la solución y facilita el flujo del agua, excluye las bacterias patógenas entre un 85% y 95% de sólidos inorgánicos. También remueve otras sustancias diluidas con elevadas concentraciones de sales como Na, Ca, B, Fe, Cl-, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.<sup>129</sup> La osmosis inversa es un tratamiento que requiere para su mayor eficiencia debe estar unido a otros procesos como la coagulación/floculación.<sup>130</sup>

**5.3.8.4 Nanofiltración.** Es una técnica de disociación por movimiento cruzado a presión, sus membranas se caracterizan por tener una medida de poro semejante al peso mol de 200 dalton a 1.000 dalton. Debido a esto son aptas para retener compuestos orgánicos y desmineralizarlos. Su presión de fuerza fluctúa entre los 10 y 34 bar y permite la separación de moléculas orgánicas livianas y sales multivalentes del agua. Dichas membranas están compuestas por acetato de celulosa y de polisulfona. Su área está cargada eléctricamente y facilita el proceso de transporte y separación.

---

<sup>127</sup> MÉNDEZ, R, *et al.* Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. Revista Internacional de Contaminación ambiental, 25(3).2009. p. 133-145.

<sup>128</sup> KUCERA J. Reverse Osmosis. Desing, Processes, and applications for Engineers. Co-published by John Wiley& Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scrivener Publishing LLC, Salem, Massachusetts. USA. 2010. p. 151.

<sup>129</sup> Diseños y soluciones sostenibles DSS. S.A. Osmosis inversa. [En línea]. Julio de 2012. [Recuperado el en 23 junio de 2018]. Disponible en internet: [http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis\\_inversa.pdf](http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis_inversa.pdf)

<sup>130</sup> HANS JURGEN, Ehrig. Op. Cit.

La nanofiltración atrae y dispersa iones monovalentes y dispersa iones divalentes como el Ca, Mg, SO<sub>4-2</sub> y HCO<sub>3-</sub>, generando el ablandamiento el agua.<sup>131</sup>

Una vez se aplica esta técnica permite extraer de la solución gran cantidad de sólidos totales y sedimentables, disminuir la concentración de sales minerales, NO<sub>3-</sub> y PO<sub>43-</sub>, mejorar el color, reducir el contenido de materia orgánica y DBO. Por ello alcanza remociones del 99%.<sup>132</sup>

### 5.3.8.5 Síntesis de las acciones de mitigación para el tratamiento de lixiviados.

En la siguiente tabla se presenta una comparación entre los diferentes tratamientos, para la remoción de carga contaminante de los lixiviados, lo cual permite determinar la mejor opción de acuerdo al parámetro que se desea eliminar.

Tabla 18. Comparación de tratamientos para la remoción de contaminantes en los lixiviados.

Parámetro a eliminar del lixiviado.	RENDIMIENTO DEL TRATAMIENTO						
	Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sistemas Naturales	UASB
<b>DBO</b>	Muy alto	Alto	Muy Alto	Intermedio	Muy alto	Muy alto	Muy alto
<b>Nutrientes</b>	Alto	Muy Bajo	Muy Alto	Bajo	No	No	Variable
<b>Metales</b>	Intermedio	Alto	Muy Alto	Intermedio	Alto	Alto	Alto
<b>COV</b>	Alto	+	Muy Alto	+	No	+	Variable
<b>Patógenos</b>	Bajo	Bajo	Muy Alto	Bajo	Muy alto	Variable	Variable

Fuente. GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. Universidad de los Andes. Revista de ingeniería. 2001.

<sup>131</sup> MORCILLO, Gabriel. Diseño y construcción de una planta piloto para la purificación de salmueras de desalación, 1985. p.27.

<sup>132</sup> Fundación Chile. Tecnologías de membrana nanofiltración. Tecnología convencional tipo físico. [En línea]. Noviembre de 2015. [Recuperado en 25 junio de 2018]. Disponible en internet: [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_23.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_23.pdf).

❖ **Se recomiendan los siguientes tratamientos para la remoción de parámetros contaminantes en los lixiviados jóvenes.**

- **Lodos activados.** Esta técnica disminuye el contenido de nitrógeno y ayuda a promover la demanda biológica de oxígeno.
- **Lagunas aireadas de estabilización.** Ayuda a promover la DQO, para reducir el contenido de nitrógeno.
- **Lagunas anaerobias.** Retiene gran cantidad de sólidos suspendidos y remueve la fracción orgánica presente en la solución de los lixiviados.
- **Neutralización.** Permite la estabilización del pH entre 6.5 – 8.5, favoreciendo los procesos biológicos.<sup>133</sup>

❖ **Se recomiendan los siguientes tratamientos para la remoción de parámetros contaminantes en los lixiviados viejos.**

- **Coagulación-floculación.** Con esta técnica se busca la retención de partículas suspendidas, mediante la utilización de coagulantes como sales de Fe y Al; y posteriormente se emplean floculantes que aglutinan las partículas desestabilizadas y las hacen precipitar. Este tratamiento es eficiente para la eliminación de la DQO.
- **Oxidación química.** Permite una alta y rápida remoción de la fracción orgánica e inorgánica oxidable de los lixiviados.
- **Adsorción de carbón activo.** Esta técnica favorece la retención de partículas solubles en los lixiviados.
- **Filtración con membranas.** Estos procedimientos logran separar los sólidos en la solución de lixiviados, se reconoce una eficiencia del 90 al 99% para la técnica

---

<sup>133</sup> ARBELÁEZ MESA, Manuela y GARCÍA SIERRA, Juan Esteban. Estudio de las tecnologías empleadas para el manejo de lixiviados y su aplicabilidad en el medio. Tesis de grado. Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica. Medellín. 2010. p. 83.

de osmosis inversa, en la remoción de DQO, nitrógeno amoniacal, sustancias orgánicas halogenadas, y compuestos clorados.<sup>134</sup>

---

<sup>134</sup> *Ibíd.*, p. 84-85.

## 6. CONCLUSIONES

La separación en la fuente en los puntos generadores de residuos sólidos, se constituye en un factor importante ligado a la cultura del reciclaje, con lo cual se disminuirá el volumen de estos en los vertederos, y también el alto impacto que generan sobre el medio ambiente, todo ello direccionado a la futura desaparición de los rellenos sanitarios.

La generación, la cantidad y las características de los residuos sólidos que se producen en una población, dependen de ciertos factores como los climáticos, las épocas especiales, los demográficos y los socioeconómicos.

Las características físicas, químicas y biológicas de los diferentes tipos de residuos sólidos, permiten clasificar, identificar y proponer el mejor tratamiento para la aplicación de procesos de reutilización, manejo y disposición final de los mismos.

Se concluye que Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla con un valor de 40.7% son las ciudades de Colombia que representan la mayor generación de residuos sólidos en el país. Identificándose las principales clases generadas como los residuos higiénicos con un 77%, los residuos de comida y cenizas con un 59%, residuos de plástico con un 11%, los residuos de jardín y prados con un 6.6%, los residuos de vidrios y cerámicos con un 3.9%, los residuos de papel con un 3.8%, los residuos de cartón con un 2.4%, residuos textiles con un 1.9%, residuos de cauchos, cueros y metales con un 1% y residuos de madera con un 0.6%.

Las reacciones químicas, físicas y biológicas que se llevan a cabo en la fracción orgánica e inorgánica de los residuos sólidos, son muy importantes para el inicio del proceso de degradación de los mismos, y por ende para la generación del lixiviado.

El manejo integral de residuos sólidos, teniendo en cuenta la correcta aplicación de las diferentes actividades que lo componen, como la separación en la fuente y almacenamiento en los sitios de generación, la recolección y transporte por parte de empresas autorizadas y el aprovechamiento o disposición final de los mismos, se constituye en un elemento vital para la disminución de la cantidad de desechos que llegan a un vertedero, y también para la futura eliminación de estos sitios que se constituyen en grandes focos de contaminación para los recursos naturales.

La eliminación de los rellenos sanitarios en Colombia en base a la problemática ambiental que generan, por medio el establecimiento de empresas que promuevan la creación de nuevos productos a partir de los residuos aprovechables, permitirán su reconocimiento a nivel mundial como un país que promueve el cuidado del medio ambiente en base al desarrollo sostenible a partir una economía sólida.

La composición fisicoquímica de los lixiviados generados por la descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario, estará ligada al tipo, características y tiempo de descomposición de dichos desechos allí dispuestos, por ello se pueden generar lixiviados en base a materia orgánica, elementos macro inorgánicos, metales pesados, compuestos xenobióticos y otros componentes.

El volumen de lixiviados que se puede generar en un relleno sanitario, siempre estará ligado a ciertos factores internos propios del tipo de residuos solido dispuesto y también a factores externos en relación al área de disposición del vertedero.

La gran problemática que se presenta en Colombia, con la contaminación que generan los rellenos sanitarios sobre los diferentes recursos naturales, es debida a la ausencia de una cultura ambiental de reciclaje por parte de la población y a la poca inversión en la estructura e implementación de procesos más técnicos en estos sitios.

El desarrollo de la matriz Leopold permitió evaluar e identificar, que los aspectos ambientales relacionados con el recurso agua y que se afectan al contacto con el lixiviado de los rellenos sanitarios son los siguientes: Aumento en el valor de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, Aumento de pH, Alteración de las propiedades organolépticas, Contaminación por sustancias tóxicas y peligrosas, Aumento de la eutrofización, Disminución o muerte de las comunidades acuáticas, Inhibición del ciclo del agua, Bajo rendimiento de procesos biológicos, Deterioro del aspecto estético y cristalino, Alteración de las condiciones sanitarias del líquido, Formación de cieno, Alteración de la calidad respecto a la normatividad ambiental, Desequilibrio del sistema acuático.

Con la realización de la matriz Leopold se pudo corroborar que el lixiviado joven, es el que produce mayor afectación ambiental sobre el recurso agua, seguido del lixiviado intermedio y el viejo todos ellos inhibiendo y alterando una cantidad de procesos importantes en la misma.

Dentro de las acciones de mitigación para los impactos ambientales generados sobre el recurso agua, por los lixiviados de los rellenos sanitarios, se reconoce la importancia de la implementación de una cultura ambiental en las comunidades, en base al reciclaje de los diferentes residuos sólidos que pueden ser reutilizados en la elaboración de nuevos productos, lo cual reducirá el volumen de desechos que llegan a los vertederos disminuyendo los diferentes impactos ambientales que estos generan sobre el medio ambiente.

Aplicar la técnica de compostaje a la fracción orgánica que llega a los vertederos en un determinado lugar, es una acción de mitigación importante para frenar la cantidad o el volumen de lixiviados que se generan en estos sitios.

Para el tratamiento de lixiviados la técnica aerobia de humedales artificiales, se constituye en un procedimiento efectivo de remoción de carga contaminante, además de tener un bajo costo de implementación.

Los tratamientos fisicoquímicos siempre serán necesarios para la eficiencia y efectividad, de todo un sistema de tratamiento de aguas residuales o para este caso de lixiviados de un relleno sanitario, pero es importante analizar las mejores técnicas de acuerdo a sus altos costos, con el fin de aplicar la mejor estrategia que genere mayor remoción de contaminantes, beneficiando ante todo el medio ambiente que circunda estos lugares de disposición final.

El tratamiento de lixiviados por evaporación, se concluye como una técnica viable, ya que es sostenible y no requiere de abastecimiento de energía para equipos mecánicos. Pero presenta una desventaja la ubicación del vertedero debido a los olores ofensivos que emite.

## **7. RECOMENDACIONES.**

Se recomienda conocer el tipo de residuos sólidos que se generan en una determinada población, con el objetivo de aprovechar aquellos desechos que todavía tienen un valor importante, para la elaboración de nuevos productos y con ellos disminuir la cantidad depositada en los vertederos.

Una vez se genera el lixiviado debido a la degradación de los residuos sólidos en un relleno sanitario, es importante realizarle a este líquido un análisis fisicoquímico y microbiológico, con el fin de determinar cuál es el proceso más efectivo, al cual debe ser sometido para disminuir la carga de contaminación que este lleva.

Es importante conocer el tipo de compuestos y elementos presentes en un lixiviado, pues algunos de ellos, suele debilitar y romper la geomembrana que aísla los residuos con el suelo, y así llegar y contaminar también las aguas superficiales y subterráneas.

Para impedir los taponamientos de los sistemas internos de drenaje de lixiviados en las celdas, se recomienda inspeccionar y si es el caso realizar mantenimientos periódicos a los mismos.

Es necesario supervisar todos los aspectos relacionados a las celdas clausuradas en un vertedero, pues estos son focos silenciosos de contaminación.

No se recomienda utilizar el tratamiento por recirculación de lixiviados en zonas de alta pluviosidad, pues aumentaría la cantidad de dicho líquido a tratar, y a su vez los efectos negativos sobre la consistencia y estructura de los suelos.

## BIBLIOGRAFÍA.

Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría General. Basura Cero pretende eliminar rellenos sanitarios. [En línea]. Diciembre 17 de 2013. [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.bogota.gov.co/article/basura-cero-pretende-eliminar-rellenos-sanitarios>

AMOKRANE, *et al.* Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Res* 31 11 1997.p. 2775–2782.

ARBELÁEZ MESA, Manuela y GARCÍA SIERRA, Juan Esteban. Estudio de las tecnologías empleadas para el manejo de lixiviados y su aplicabilidad en el medio. Tesis de grado. Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica. Medellín. 2010. p. 83-85.

ARISMENDI, Alberto. En el Distrito Turístico de Verón-Punta Cana urge la construcción de un relleno sanitario. [Base de datos en línea]. Mayo 24 de 2018. *Revista Bavaronews*, año XIII, Edición 440. [Recuperado en 28 mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.bavaronews.com/semanal/index.php/impactos/el-reportaje/6867-en-el-distrito-turistico-de-veron-punta-cana-urge-la-construccion-de-un-relleno-sanitario>

ARRIETA, G. Aplicación de la metodología de diagnóstico ambiental para vertederos de residuos urbanos (EVIAVE) en el contexto de los rellenos sanitarios de Colombia. Memoria para la obtención del DEA. Universidad de Granada, España. 2007.

AZIZ, S.Q, *et al.* Leachate characterization in semiaerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. *J. Environ. Manag.* 2010. p. 2608-2614.

BELTRÁN, Y y J, L. Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: Revisión del estado del arte. *Umbaga*, 1(7). 2012.

CARBAJAL, Ángeles y GONZÁLEZ, María. Propiedades y funciones biológicas del agua. Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid. Capítulo 3. 2012. p. 63, 66-67.

CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda. a. Resolución No. 544 [En línea], 2008 [recuperado en 28 abril 2018]. Disponible en Internet: [www.carder.gov.co/documentos/2325\\_RS\\_544-15\\_Mayo-08.pdf](http://www.carder.gov.co/documentos/2325_RS_544-15_Mayo-08.pdf).

CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda. b. Proceso de gestión ambiental sectorial regulación y control a la demanda ambiental auto de inicio de investigación administrativa [En línea], 2008 [recuperado en 28 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.carder.gov.co/documentos/3461\\_AI679-17-dic-2008.pdf](http://www.carder.gov.co/documentos/3461_AI679-17-dic-2008.pdf).

CASTAÑO, Carlos. El 50% del agua en Colombia es de mala calidad. Colombia MINAMBIENTE. 2012.

CHÁVEZ MONTES, Wendy Margarita. Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Ciudad de Chihuahua, México. Tesis de grado. Centro de investigación en materiales avanzados. 2011. p. 17-18.

CHIO, Juan Carlos. “Nueva planta de lixiviados de El Carrasco es la más eficiente del país”: Emab. [En línea]. Marzo 8 de 2016. Periódico Vanguardia Liberal [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/350187-nueva-planta-de-lixiviados-de-el-carrasco-es-la-mas-eficiente->

CHUGH, S, *et al.* Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation. The Univ of Queensland, St Lucia, Australia. 1997.

COLOMBIA, MINAMBIENTE. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Título preliminar. Capítulo I. artículo 1, Definiciones.2002.

COLOMBIA, Ministerio de Vivienda. Guía de planeación estratégica para el manejo de residuos sólidos.2017. p.43.

COLLAZOS, Hector. Diseño y Operación de rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C 2005.p. 68-71

COLLAZOS, Héctor. Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. 2013. p. 71-76.

Comisión Nacional del Agua. Agua en el mundo. Gobierno federal. Capítulo 8, 2011. p. 115-116.

CONTE, Mariana y D'Elia, Vanesa. La política ambiental en América Latina y el Caribe. vol.39 n°.154 México. [En línea], 19 de mayo de 2008 [recuperado en 28 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362008000300006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362008000300006)

CONTRALORÍA DE BUCARAMANGA. Control de advertencia 121.42.6.13.00. [En línea], 2008 [recuperado en 27 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.contraloriabga.gov.co/portal/descargas/CONTROLES%20DE%20ADVERTENCIA%202008/control%20de%20advertencia%20No%206.pdf>.

CORDERO CAMACHO, Doris. PROCUENCAS, protección y recuperación de microcuencas para el abastecimiento de agua potable en la provincia de Heredia,

Costa Rica, [En línea], 2003 [recuperado en 15 junio 2018]. Disponible en Internet: [http://www.undp.org/cu/eventos/aprotegidas/pre-PSA\\_CRica-Procuencias\\_Heredia.pdf](http://www.undp.org/cu/eventos/aprotegidas/pre-PSA_CRica-Procuencias_Heredia.pdf).

CORENA LUNA, Mironel de Jesús. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Tesis de grado. Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. Sincelejo. 2008. p. 38-40.

COSSU, *et al.* "Biological Treatment, landfilling: process, technology and environmental impact". Edit. Academic Press. 1989.

CRISTANCHO MONTENEGRO, Diana Lucia. Estimación del efecto del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana sobre la calidad del agua del Río Tunjuelo y su posible tratamiento en la PTAR Canoas. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Bogotá, Colombia. 2013. p. 85, 91,104.

CRITES; TCHOBANOGLIOUS. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Editorial Mc Graw Hill. 2000.

DELLAVEDOVA, Maria. Gabriela. Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Arquitectura y Turismo. 2010. p. 13.

Di Nicola, Gabriel. Basura cero: la Ciudad aprende de San Francisco a reciclar los residuos. Medio ambiente. [Base de datos en línea]. Junio 2 de 2014. Periódico La Nación. [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <https://www.lanacion.com.ar/1696504-basura-cero-la-ciudad-aprende-de-san-francisco-a-reciclar-los-residuos>

Diseños y soluciones sostenibles DSS. S.A. Osmosis inversa. [En línea]. Julio de 2012. [Recuperado el en 23 junio de 2018]. Disponible en internet: [http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis\\_inversa.pdf](http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis_inversa.pdf)

EMAB, Empresa de Aseo de Bucaramanga. [En línea], 2009 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://emabesp.com/descargas/Disposicionfinal.pdf>.

Estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Producción. Guía para la elaboración e interpretación de la matriz Leopold, planta de reciclaje de envases de vidrio en la ciudad de Guayaquil. 2011. p. 8-9.

EWA, N; OKONIEWSKA, E y KACPRZAK, M. Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor. Desalination. 2005. p. 185, 357-362.

FÁTIMA, S, *et al.* Effect of depth and age on leachate characteristics of Achan Landfill, Srinagar, Jammu and Kashmir, India. J. Environ. Sci. Tox. Food Technol. 2. 2012. p. 4-11.

FERNÁNDEZ CIRELLI, Alicia. El agua: un recurso esencial Química Viva, Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina. Vol. 11, núm. 3. 2012. p. 149-150.

FOGARTY, A. M. y TUOVINEN, O. H. Microbial degradation of pesticides in yard waste composting. Microbiological Reviews, 55. 1991. p 225-233.

FORERO, Jorge. Análisis e implementación de la metodología EVIAVE (Evaluación del impacto ambiental de botaderos municipales – Estudio de caso en la jurisdicción de la CAR – Cundinamarca). Maestría en medio ambiente y desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Primera edición. Editorial Kimpres Ltda. 2011. p. 68,69.

FUENTES, Leonardo Arley y PALACIO VACA, Jhon Jairo. Evaluación del sistema alternativo de evaporación forzada de lixiviados para el relleno sanitario “Don

Juanito” de Villavicencio, Meta. Tesis de grado Ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, 2003. p. 109 -111.

Fundación Chile. Tecnologías de membrana nanofiltración. Tecnología convencional tipo físico. [En línea]. Noviembre de 2015. [Recuperado en 25 junio de 2018]. Disponible en internet: [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_23.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_23.pdf).

GÁLVEZ, Antonia. Tratamiento de Lixiviados de Vertederos de Residuos Urbanos. Editorial academia española. 2011. p. 45.

GARCÍA, Martha, *et al.* COLOMBIA, MINAMBIENTE, ENA. Estudio nacional de agua para apoyar el desarrollo sostenible del país. 2014.

GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. Universidad de los Andes. Revista de ingeniería. 2001. p. 44.

GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. Universidad de Los Andes. Revista de ingeniería. 2002.

GONZÁLEZ TORO, Carmen. RECICLAJE: PARA LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES. [En línea]. Septiembre de 2007. [Recuperado en 20 junio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.uprm.edu/taubetapi/library/docs/Presentacion%20Charla%20de%20Reciclaje.pdf>

GRUPO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y DOCUMENTAL. Procedimiento manejo de residuos sólidos. Proceso de gestión ambiental. Código 710.18.08-11 versión 1. [En línea], 16 de junio de 2015 [recuperado en 20 abril 2018]. Disponible en Internet: [https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/procesos\\_caracterizados/9.%20Procedimiento%20Manejo%20de%20Residuos%20Solidos%20v1.pdf](https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/procesos_caracterizados/9.%20Procedimiento%20Manejo%20de%20Residuos%20Solidos%20v1.pdf)

GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA. GTC 24. Gestión Ambiental Residuos Sólidos. Guía para la Separación en la Fuente. ICONTEC. 2009. p. 5-7.

HANS JÜRGEN, E. Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos. [En línea], (s.f.) [recuperado en 19 junio 2018]. Disponible en Internet: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/cantidad/cantidad.html>

HANS JURGEN, Ehrig. Physicochemical Treatment. ITW Ingenieurberatung GMBH, Erich – Norrenberg Strasse 5. D-5860 Iserlohn, West Germany. 1989.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0082. Versión: 02. Conductividad eléctrica en aguas por el método electrométrico. 2006. p. 2.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0087. Versión: 02. Demanda Bioquímica de Oxígeno – 5 días, incubación y electrometría. 2007. p. 2.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0432. Versión: 02. Determinación de metales pesados totales con digestión acida y solubles lectura directa por espectrofotometría de absorción atómica. 2004. p. 1-16.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo programa de fisicoquímica ambiental. Código: TP0096.

Versión: 02. Nitrógeno total en agua por el método semi-micro kjeldahl - electrodo de amoniaco. 2004. p. 2-9.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección de hidrología - Grupo laboratorio de calidad ambiental. Código: TP0436. Versión: 01. Sólidos totales secados a 103° - 105°C. 2007. p. 1-8.

ISRADE, I; BUENROSTRO, O. y CARRILLO, A. El tiradero de Morelia y sus lixiviados. Vinculación, núm. 6, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 1999. p. 35-43.

JARAMILLO, Jorge. Guía para el Diseño Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. [En línea], 20 de junio de 2002 [recuperado en 23 abril 2018]. Disponible en <http://ambiente.lapampa.gob.ar/images/stories/Imagenes/Archivos/Guia.pdf> Internet:

KANG, K, *et al.* 2002. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. *Water Res.* 36. 2002. p. 4023-4032.

KJELDSEN, P, *et al.* Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Crit. Rev. Env. Sci. Tec.*2002. p. 297-336.

KUCERA J. Reverse Osmosis. Design, Processes, and applications for Engineers. Co-published by John Wiley& Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scrivener Publishing LLC, Salem, Massachusetts. USA. 2010. p. 151.

KULIKOWSKA, D; KLIMIUK, E. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Biores. Technol.* 99. 2008. p.5981-5985.

KURNAIAWAN, T; LO W; y CHAN G., Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate, Journal of Hazardous Materials, Vol. B129. 2006. p. 80-100.

LECITRA, Micaela. Reducir, Reutilizar y Reciclar: El problema de los residuos sólidos urbanos. Grupo de Estudios Internacionales Contemporáneos. Derechos Humanos y Ambiente. 2010. p.10 -11

LEITE, M. Wilson y PEINADO, M.J. Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en ciudades de América Latina y el Caribe. Ed. IBAM-IDRC. Río de Janeiro. 2006. p.261.

LEON GOMEZ, Héctor, *et al.* Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Revista mexicana de ciencias geológicas. Versión On-line ISSN 2007-2902, versión impresa ISSN 1026-8774. vol.32, n.3. 2015. p. 514-526.

MALDONADO, Juan. Rellenos Sanitarios. Guía Ambiental. MINAMBIENTE. 2002. p. 16-17, 48-50.

MARTINEZ, D.E, *et al.* Hidrogeoquímica del área de disposición final de residuos de Mar del Plata, Argentina. XXXII Congreso de la AIH y VI de ALHSUD, CD trabajos completos. Mar del Plata, Argentina, 2002. p. 391-399.

MÉNDEZ NOVELO, Roger, *et al.* Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario Ingeniería, vol. 8, núm. 2. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México. 2004. p. 156.

MÉNDEZ, R, *et al.* Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. Revista Internacional de Contaminación ambiental, 25(3).2009. p. 133-145.

MINISTERIO DE VIVIENDA, Ciudad y Territorio. Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico República de Colombia. Resolución 1447 de 2005. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano. 2005. p.49-50.

MINISTERIO DE AMBIENTE, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto número 0838 del 23 de Marzo de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Capítulo I Definiciones Artículo 1°.2005. p.3.

MINAMBIENTE, Ministerio del Medio Ambiente, Colombia. [En línea], 3 de noviembre de 2010 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res\\_1529\\_060810.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res_1529_060810.pdf).

MINISTERIO AMBIENTE VIVIENDA y DESARROLLO SOSTENIBLE. Programa Colombia sin botaderos a cielo abierto. Documento presentación. Bogotá-Colombia. 2005. p.3.

Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución número 0631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 2015. P. 6-7.

MONGE I y ORTA de Velásquez. Removal and transformation of recalcitrant organic mater from stabilized landfill leachates by coagulation ozonation coupling process” Water Research. 2004.

MORCILLO, Gabriel. Diseño y construcción de una planta piloto para la purificación de salmueras de desalación, 1985. p.27.

OJEDA REINA, Rosalba. Evaluación preliminar del impacto sobre las aguas subterráneas y superficiales del área de influencia directa del vertedero de residuos sólidos del municipio de Arauca y propuesta de recuperación paisajística del mismo. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Arauca. Ingeniería ambiental. 2005. p. 142.

ORTEGA, Maria del Rosario. La tierra: Hidrología- hidrosfera. Estación regional del noroeste. Instituto de Geología. UNAM. 2008. p.15.

PABLOS, M.V, *et al.* Correlation between physicochemical and ecotoxicological approaches to estimate landfill leachates toxicity. Waste Manag. 31. 2011. p.1841-1847.

PAREDES, D; GUERRERO, J y CASTAÑO, J. M. Metodología para la evaluación de la calidad del agua. Scientia et technica, N° 5. 2001. p.113-119.

PASTOR, Jesús. *et al.* Vertederos controlados problemática de los lixiviados. En La naturaleza de los residuos y los lixiviados: Contribución a la educación ambiental: el problema de los residuos urbanos. Madrid, España. 1991. p. 56-63.

PERSONERÍA DE BOGOTÁ. Deficiencia en planta de lixiviados de Doña Juana. [En línea], 2006 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.personeriabogota.gov.co/?idcategoria=961>.

PINTO, Santiago. Metodologías para la valoración de impactos ambientales. División del medio ambiente, INERCO. Sevilla. 2007. p.3.

PINZÓN, Fabian Mauricio; HOYOS, Martha Cecilia y RAMÍREZ HENRÍQUEZ, Jaime Eduardo. Informe nacional generación y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia- año 2011. Subdirección de estudios ambientales – IDEAM. 2011. p18.

POLO, Mirna y GUEVARA, Edilberto. Contaminación de acuíferos por efecto de los lixiviados en el área adyacente al vertedero de desechos sólidos la Guásima, municipio libertador, estado Carabobo. Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Carabobo. [En línea], (s.f.) [recuperado en 19 junio 2018]. Disponible en Internet: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a8n2/8-2-1.pdf>

PROCURADURÍA GENERAL DE LA NACIÓN. PGN adelanta vigilancia preventiva ante deslizamiento en el dique ambiental sur del Relleno Sanitario “Doña Juana” [En línea], 2009 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: [http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias\\_2009/noticias\\_420.html](http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias_2009/noticias_420.html)

QARANI S, *et al.* Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study, *Journal of Environmental Management*. 2010.

QASIM RS y CHIANG W. Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment. Lancaster, Pennsylvania, Technomic Publ. 1994.

QUINTERO, P; GALVIS, A; MARMOLEJO, L.F y COLLAZOS, H. Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali. Informe grupo de investigación ambiental UNIVALLE, Santiago de Cali. 2006. p.17.

RAGLE, N, *et al.* Composition and Variability of Leachate from Recent and Aged Areas within a Municipal Landfill. *Water Environ. Res.* 67. 1995. p. 238-243.

RAMÍREZ SOSA, D.R, *et al.* Determination of organic compounds in landfill leachates treated by Fenton–Adsorption. *Waste Manag.* 2013. p. 390-395.

REDACCIÓN: EL TIEMPO. Colombia produce cada año 130.000 toneladas de basura electrónica. [En línea], 6 de junio de 2017 [recuperado en 17 febrero 2018].

Disponible en Internet: <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/basura-electronica-en-colombia-96280>

Redacción Periódico El Tiempo. Consorcio manejará la planta de lixiviados de antiguo basurero [En línea]. Julio 9 de 2018. [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/colombia/cali/consorcio-manejara-la-planta-de-lixiviados-de-antiguo-basurero-240430>

RENOU, S, *et al.* Landfill leachate treatment: Review and opportunity. J. Hazard Mat.150. 2008. p.468-493.

RGS, Red de Gestores Sociales. La ciudad seguirá obligada a recibir las basuras de cuarenta municipios. [En línea], 2007 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.rgs.gov.co/noticias.shtml?x=13670>.

RÖBEN, Eva. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. Loja, Ecuador. 2002. p. 36.

ROBLES MARTÍNEZ, F. Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Segunda Edición. Instituto Politécnico Nacional. Distrito Federal, México. 2008. p. 115.

Secretaría de planeación de Pereira. 2008. Plan de desarrollo municipio de Pereira 2008-2011. p.25

SHOULIANG, H, *et al.* Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill ages. J. Environ. Sci. 20. 2008. p. 492-498.

SILVA HERRERA, Javier. Cómo saca Holanda partido de la basura. [En línea]. Julio 11 de 2014. Periódico el Tiempo [Recuperado en 24 julio de 2018]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14238156>

SIRIANUNTAPIBOON, S. y HONGSRISUWAN, T. Removal of Ni and Pb by a sequencing batch reactor (SBR) system. *Bioresource Technology*. 2007. P. 98, 808-818.

SPONZA, D. T. y NURI, Un Da O. El impacto de la recirculación de lixiviados y recirculación de volumen en la estabilización de residuos sólidos municipales en simulaciones de biorreactores anaerobios. Sección de la Ingeniería Ambiental, La Dokuz Eylül Universidad, Buca Kaynaklar Campus. 2003.

SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. 2008. p. 24.

SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. [En línea], 2008 [recuperado en 25 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://emabesp.com/descargas/Disposicionfinal.pdf>.

TCHOBANOGLUS, G; THEISEN, H y VIGIL, S. En *Gestión Integral de los Residuos* (Vol. I). España: Mc Graw-Hill. 1996.

TCHOBANOGLUS, G; THEISEN, H y VIGIL, S. En *Gestión Integral de los Residuos* (Vol. I), Editorial Mc Graw-Hill. España. 1998.

TCHOBANOGLUS, G, *et al.* *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Vol. I, Ed. Mc Graw-Hill, España. 2006.

TORRES LOZADA, P, *et al.* Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 17 (1). 2014 p. 245 – 255.

USEPA. Composting. Engineering Bulletin, EPA/540/5-96/502. 1996.

VADILLO PÉREZ, Iñaki, *et al.* Contaminación por lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos en acuíferos carbonatados: vertedero de la Mina (provincia de Málaga). Departamento de Geología y Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 1998. p. 318.

VANGUARDIA LIBERAL. La crisis de los rellenos sanitarios. Redacción editorial. [En línea], 11 de diciembre de 2017 [recuperado en 23 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.vanguardia.com/opinion/editorial/418306-la-crisis-de-los-rellenos-sanitarios>

VAZQUEZ, Elías. Cuantificación y efectos de la producción de lixiviados en el Relleno Sanitario de Salinas Victoria, N. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 2001. p. 22-25

WILLIAMS, P. T. "Waste treatment and disposal" 1st edition. Wiley & Sons, England. 1998.

WILLIAMS, R. T; ZIEGENFUSS, P. S y SISK, W. E. Composting of explosives and propellant contaminated soils under thermophilic and mesophilic conditions. Journal of Industrial Microbiology, 9.1992. p 137-144.

WISZNIOWSKI, J, *et al.* Landfill leachate treatment methods: A review. Environ. Chem. Lett. 2006. p. 51-61

ZIYANG, L, *et al.* Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages. Sci. Total Environ. 407. 2009. p. 3385-3391