

# *Un método de gestión ambiental* para evaluar rellenos sanitarios

## *A method of environmental* management for landfill evaluation

Recibido para evaluación: 15 de febrero de 2012  
Aceptación: 19 de marzo de 2013  
Recibido versión final: 28 de junio de 2013

Andrés Felipe Zapata Muñoz<sup>1</sup>  
Carmen Elena Zapata Sánchez<sup>2</sup>

### RESUMEN

A partir de la descripción de actividades de operación del relleno sanitario y granja ambiental “Los Saltos”, y de la caracterización fisicoquímica de sus lixiviados, se propone un método de evaluación ambiental que incluye análisis de interacciones, como diagnóstico base para una matriz causa efecto, donde se identifican impactos sobre los componentes ambientales. Con esta información se hizo una matriz de importancia donde se clasificaron los impactos en críticos, severos, moderados e irrelevantes y luego la valoración cualitativa del impacto ambiental que permite identificar las actividades más impactantes y los factores más afectados. Como resultado se determinó que la operación del relleno sanitario impacta en mayor medida los componentes físico y biótico; en especial genera efectos como alteración de la calidad del aire, pérdida de especies de flora acuática y terrestre, alteración del ciclo hidrológico y disminución de la calidad de aguas superficiales y subterráneas.

**palabras clave:** Evaluación ambiental, relleno sanitario, lixiviados, componentes ambientales, matriz causa efecto, matriz de importancia, impacto ambiental, valoración cualitativa.

### ABSTRACT

From the description of the activities of the operation of the landfill and environmental farm “Los Saltos” and the physicochemical characterization of its leachate, a method of environmental assessment was proposed. It includes an analysis of interactions as a diagnostic tool for the development of a cause-effect matrix to identify the impacts on associated environmental components. With this information, it was developed a matrix of importance where impacts were classified as critical, severe, moderate and irrelevant. A qualitative assessment of environmental impact was then carried out to help identify the most impacting activities as well as the most affected parameters. As a result of this method, it was determined that the operation of a landfill has a greater impact on the physical and biotic components of the environment, producing effects such as impaired air quality, loss of aquatic species and terrestrial flora, alteration of the hydrological cycle, and deterioration of surface and groundwater quality.

**Keywords:** Environmental assessment, landfill, leachates, environmental components, cause and effect matrix, matrix of importance, environmental impact, qualitative assessment.

---

1. I. Biológico, M.Sc Medio Ambiente y Desarrollo. afzapata@unal.edu.co Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia – Estudiante de Maestría.

2. I. de Petroléos, M.Sc Environment Management. cezapata@unal.edu.co Profesora Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia

## 1. INTRODUCCIÓN

La inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos es un problema que persiste en Colombia; a medida que crecen las ciudades y la industria, aumenta la cantidad de residuos y desperdicios que, al ser manejados inadecuadamente, contribuyen a la contaminación ambiental. Actualmente la alternativa de disposición final de residuos más empleada son los rellenos sanitarios, debido a su fácil implementación y al manejo masivo de desperdicios, pero generan un impacto ambiental considerable sobre los diferentes medios (físico, biótico y social). Los lixiviados son un producto de la descomposición de los residuos depositados en los rellenos sanitarios; su composición depende de diferentes factores tales como el tipo de basuras, edad del relleno, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbiológica y química e interacción del lixiviado con el medio ambiente.

En el relleno sanitario y granja ambiental Los Saltos, en el municipio de Marinilla, no se habían empleado hasta ahora métodos adecuados de gestión de los lixiviados generados, por lo que se diseñó una alternativa viable para su tratamiento, basada en las características fisicoquímicas y microbiológicas encontradas en muestras del sitio.

Esta investigación comprende una evaluación de los impactos ambientales generados durante la etapa de construcción, operación y clausura del relleno sanitario; en el caso ideal, una adecuada gestión implica la reducción en generación de residuos, el reuso de materiales que todavía proporcionan servicios y el reciclaje para aquellos materiales que luego de una transformación pueden retornar como materias primas en las cadenas productivas.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Método de evaluación ambiental para la implementación del sistema biobarrera secuencial (BBS)

Con el propósito de evaluar los impactos ambientales generados por la operación del relleno y la inadecuada disposición de los lixiviados, se ha propuesto emplear la metodología de Conesa *et al.* (1997) modificada. Es necesario analizar en primera instancia el estado actual de la zona del relleno y la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados, así como las actividades propias de la operación del relleno sanitario, para evidenciar las principales interacciones entre actividades y componentes ambientales.

El proceso de evaluación de impactos ambientales parte de la identificación de estas interacciones, para posteriormente evaluar y clasificar los principales impactos ambientales; este proceso se realiza a partir de la cuantificación de la Importancia, medida en función de los siguientes atributos:

**Naturaleza (+ ó -).** El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-), de las actividades del relleno que actúan sobre las diferentes dimensiones ambientales.

**Intensidad (I).** Este término se refiere al grado de incidencia de la actividad del relleno sobre el componente ambiental, en el ámbito en que actúa. El atributo comprende el siguiente rango de valoración: bajo (1), medio (2), alto (4) y muy alto (8).

**Reversibilidad (RV).** Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor ambiental impactado por el relleno sanitario, es decir, de retornar a las condiciones iniciales por medios naturales, una vez se controle la inadecuada disposición de lixiviados. El atributo comprende el siguiente rango de valoración: corto plazo (1), mediano plazo (2) e irreversible (4).

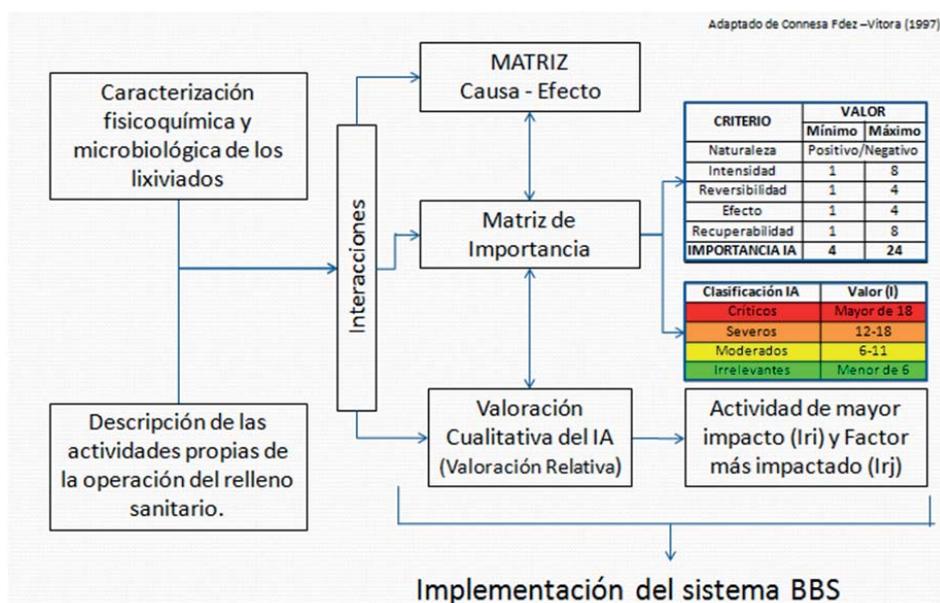
**Efecto (EF).** Este atributo se refiere a la relación causa- efecto, es decir, la forma de manifestación del impacto sobre un componente ambiental, como consecuencia de una actividad de operación del relleno. El atributo comprende el siguiente rango de valoración: indirecto (1) y directo (4).

**Recuperabilidad (MC).** Es la posibilidad de reconstrucción total o parcial del componente afectado como consecuencia de la actividad del relleno, es decir, retornar a las condiciones iniciales por

medio de intervención humana. El atributo comprende el siguiente rango de valoración: recuperación de manera inmediata (1), recuperación a medio plazo (2), mitigable (4) e irrecuperable (8).

Finalmente, por medio de la Matriz de Valoración de Importancia, se realizará una valoración relativa de la importancia de los impactos identificados; está permitirá priorizar las actividades y factores más impactados debido a la ejecución de las diferentes actividades del relleno sanitario, tomando en cuenta las unidades de importancia de ponderación de los factores ambientales.

En la Figura 1 se presenta la ruta metodológica planteada, conforme lo descrito en los párrafos anteriores.



**Figura 1.** Metodología de evaluación ambiental para la implementación del sistema biobarrera secuencial (BBS). Adaptado de Conessa et al. 1997.

La metodología para ponderar estos factores se basa en la evaluación ambiental de cada una de las dimensiones; de esta manera se le dio a cada componente un peso ponderal, expresado en unidades de importancia (UIP), y el valor asignado resulta de la distribución relativa de 1000 unidades asignada al total de los componentes ambientales siguiendo la propuesta de Estevan (1984). En este caso, se le asignaron 450 unidades al componente social, 350 unidades al componente físico y 200 unidades al componente biótico, para un total de 1000 unidades.

La matriz de importancia permite establecer cuáles son las actividades de la operación del relleno más impactantes o agresivas (altos valores negativos) y los componentes ambientales impactados en mayor o menor grado por las estas actividades. Finalmente, con la implementación de la biobarrera secuencial se busca minimizar el impacto ambiental generado por la inadecuada disposición de los lixiviados del relleno sanitario La Pradera.

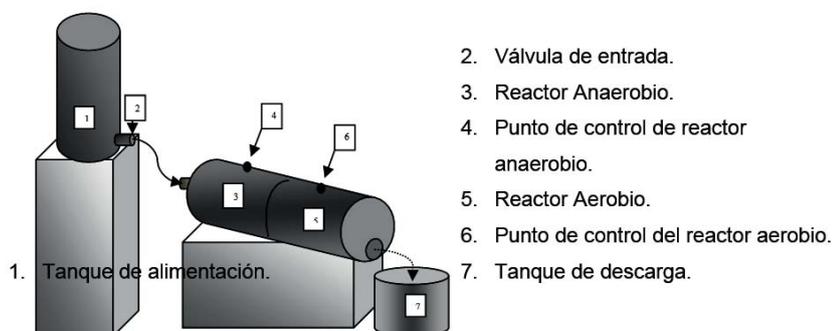
## 2.2. Descripción del sistema experimental

El sistema biobarrera secuencial es alimentado mediante un tanque, el cual se regula por medio de una válvula que determina el caudal de entrada del lixiviado al reactor anaerobio; posteriormente ingresa al reactor aerobio y finalmente llega al tanque de descarga. Luego de pasar por este proceso, el lixiviado es recirculado nuevamente al tanque de alimentación hasta que logre las características deseadas. En la Figura 2, se observa el sistema de tratamiento propuesto.

1. Tanque de alimentación.
2. Válvula de entrada.
3. Reactor Anaerobio.

4. Punto de control de reactor anaerobio.
5. Reactor Aerobio.
6. Punto de control del reactor aerobio.
7. Tanque de descarga.

**Figura 2.** Sistema biobarrera secuencial.



Tanto el reactor anaerobio como el aerobio están llenos de pequeños recortes irregulares de polietileno de alta densidad, el cual sirve como soporte para el desarrollo de la biopelícula, facilitando el proceso de adhesión de las bacterias y propiciando la formación de consorcios microbianos. La biobarrera secuencial, se construyó con un tubo de policloruro de vinilo (PVC), de 1.59 cm de largo y 6 pulgadas de ancho. En sus dos extremos se colocaron dos láminas de acrílico y los tapones en los puntos de muestra fueron de caucho. Se eligieron estos materiales, por sus propiedades químicas, ya que son inertes y no reaccionan con el lixiviado.

El sistema se puso en marcha con lixiviado crudo, con el propósito de que los microorganismos formaran colonias sobre el soporte y generen la biopelícula. El tiempo de operación del sistema fue de noventa días. El diseño de la biobarrera garantiza que a partir del día treinta se reporten cambios significativos en las características del lixiviado, del cual se extraen muestras cada cinco días para monitorear el proceso.

### 2.3. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados.

La caracterización fisicoquímica se realizó en cuatro puntos: el primero en la entrada a la planta, el segundo en la salida de la planta, el tercer punto antes de ingresar a la biobarrera secuencial (tanque de alimentación) y por último a la salida de la biobarrera (tanque de descarga).

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados.

Los protocolos de análisis de los parámetros reportados se realizaron de acuerdo con los recomendados por los métodos estándar (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>th</sup>), estandarizados y validados en el CENSA, laboratorio acreditado por el IDEAM según Resolución 0031 del 19 de Febrero de 2008.

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados

Entrada a la planta		
Parámetro	Valor medido	Método de Análisis
Temperatura (°C)	20,0	2250B - Temperature.
pH (Unidades de pH)	7,99	4500B - H <sup>+</sup> -pH Value. Electrometric Method.
Demanda química de oxígeno total (mg/L DQO-O <sub>2</sub> )	2392	5220D – Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.

<b>Entrada a la planta</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor medido</b>	<b>Método de Análisis</b>
Demanda Bioquímica de oxígeno total (mg/L DBO <sub>5</sub> )	305	5210B - Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Sólidos totales (mg/L)	6020	2540B – Total Solids Dried at 103 – 105°C.
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1222	2540D – Total Solids Suspended at 103 – 105°C.
Caudal del lixiviado (L/s)	0,025	Velocity Surface Method.
<b>Salida de la planta</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor medido</b>	<b>Método de Análisis</b>
Temperatura (°C)	21	2250B - Temperature.
pH (Unidades de pH)	8,07	4500B - H <sup>+</sup> -pH Value. Electrometric Method.
Demanda química de oxígeno total (mg/L DQO-O <sub>2</sub> )	977	5220D – Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
Demanda Bioquímica de oxígeno total (mg/L DBO <sub>5</sub> )	139	5210B - Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Sólidos totales (mg/L)	4663	2540B – Total Solids Dried at 103 – 105°C.
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	254	2540D – Total Solids Suspended at 103 – 105°C.
Caudal del lixiviado(L/s)	0,025	Velocity Surface Method.
Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> - N)	0,166	4500E-NO <sub>3</sub> -Nitrogen (Nitrate) – Cadmiun Reduction Method.
Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> - N)	0,944	4500B-NO <sub>2</sub> -Nitrogen (Nitrite) –Colorimetric Method.
Nitratos + Nitritos (mg/L - N)	1,16	4500E-NO <sub>3</sub> -Nitrogen (Nitrate) – Cadmiun Reduction Method. 4500B-NO <sub>2</sub> -Nitrogen (Nitrite) –Colorimetric Method.
<b>Análisis de metales pesados por polarografía</b>		
<b>Condiciones del análisis</b>		
<b>Equipo:</b>	Polarografo va processor 693 con va Stand 694. Metrohm	
<b>Electrodo de trabajo:</b>	HMED (Electrodo de mercurio de gota suspendida)	
<b>Potencial inicial:</b>	-1500 mV	
<b>Potencial final:</b>	150 mV	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor medido</b>	<b>Método de Análisis</b>
Cadmio (µg/L Cd)	4,63	3130B- Metals by Anodic Stripping Voltammetry. Determination of Lead, Cadmium and Zinc.
Cromo (µg/L Cr <sup>6+</sup> )	<0,146	3130- Metals by Anodic Stripping Voltammetry.
Zinc (µg/L Zn)	16,0	3130B- Metals by Anodic Stripping Voltammetry. Determination of Lead, Cadmium and Zinc.
Plomo (µg/L Pb)	105,3	3130B- Metals by Anodic Stripping Voltammetry. Determination of Lead, Cadmium and Zinc.
Niquel (µg/L Ni)	<0,127	3130- Metals by Anodic Stripping Voltammetry.

### 3.2. Interacciones entre las actividades propias de la operación del relleno y la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lixiviados.

Existe una relación directa entre las actividades propias de la operación del relleno sanitario y la calidad de los lixiviados, debido a que estos son el producto de la descomposición del material depositado. Por tratarse de un relleno sanitario rural, y apoyados en la caracterización que se le realizó a los residuos sólidos recolectados, se ha estimado que un 75% de estos corresponde a residuos orgánicos fácilmente biodegradables, como son: residuos de alimentos, desperdicios del sector agrícola, residuos de poda de árboles y maderas; el 10% corresponde a material reciclable como: bolsas plásticas, papel, cartón, vidrio, latas, empaques metalizados, papel aluminio y caucho; el 15% restante está constituido por materiales no reciclables como: residuos higiénicos, residuos hospitalarios, baterías, residuos tecnológicos e industriales.

De la anterior caracterización se pueden desarrollar varias estrategias para mejorar la calidad de los lixiviados y aumentar la vida útil del relleno sanitario, como son:

1. Sensibilizar a la población sobre los beneficios de la separación de los residuos sólidos mediante campañas socioambientales, e iniciar su separación en tres grupos: orgánicos, reciclables y no reciclables.
2. Realizar semanalmente una ruta de recolección de material reciclable por el municipio y establecer dentro de la granja ambiental un acopio que permita devolver parte de este a las cadenas productivas.
3. Crear en el municipio de Marinilla un sitio para recolección de pilas usadas, ya que los materiales de desecho generados por estas son altamente tóxicos.
4. Crear incentivos en las tasas retributivas de aseo para las comunidades rurales que implementen el compostaje y disminuyan la producción de residuos sólidos orgánicos.
5. Disponer adecuadamente los residuos peligrosos provenientes de la industria o de hospitales, evitando su mezcla con los demás residuos.

### 3.3. Matriz Causa-Efecto

**Figura 3.** Matriz de identificación de los componentes ambientales que pueden ser afectados por el proyecto. (\*Fuente: Estudio de Impacto Ambiental – SANEAR S.A, 2006)

Etapas del proyecto		MEDIO													
		FÍSICO						BIÓTICO				SOCIAL			
Actividades	Geomorfológico	Suelo	Paisaje	Hidroológico (Calidad de agua)	Hidrogeológico	Geotécnico	Atmosférico (Calidad de aire y ruido)	Flora terrestre	Fauna	Fauna Acuática	Macroinvertebrados acuáticos	Demográfico	Cultural	Económico	Político
Construcción y operación	1. Mantenimiento y construcción de nuevas vías de acceso.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2. Excavaciones y disposición de suelo.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
	3. Construcción del sistema de drenaje.		x		x	x	x	x			x	x		x	x
	4. Establecimiento de zonas de protección y distancia de retiros.	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x			
	5. Adecuación de zonas de disposición de residuos.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			

		MEDIO														
		FÍSICO						BIÓTICO				SOCIAL				
Etapas del proyecto	Actividades	Geomorfológico	Suelo	Paisaje	Hidrológico (Calidad de agua)	Hidrogeológico	Geotécnico	Atmosférico (Calidad de aire y ruido)	Flora terrestre	Fauna	Fauna Acuática	Macroinvertebrados acuáticos	Demográfico	Cultural	Económico	Político
Construcción y operación	1. Construcción del filtro recolector de lixiviados.				x	x	x		x	x	x	x				
	2. Construcción de chimeneas de gases.			x			x	x						x	x	
	3. Disposición de residuos sólidos.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
	4. Construcción y adecuación de celdas.	x		x			x	x								
	5. Manejo de material de cobertura en llenos.		x	x	x		x	x								
	6. Manejo y tratamiento de residuos líquidos.				x	x	x		x	x	x	x				
	7. Operación y mantenimiento de maquinaria y equipos		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x			
	8. Funcionamiento de la granja ambiental y el relleno.														x	x
Clausura	1. Cierre del relleno			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	2. Programas de monitoreo y control de gases, aguas y lixiviados.				x	x	x	x								
	3. Funcionamiento de granja ambiental												x	x	x	x

### 3.4. Valoración cualitativa del impacto ambiental.

La matriz de valoración cualitativa entrega resultados en sentido vertical y horizontal; al final de cada fila encontramos el resultado de cada factor ambiental permitiendo identificar el componente más afectado (I<sub>rj</sub>: Importancia relativa fila). Del mismo modo, al realizar la sumatoria de cada columna se evidencia la actividad más impactante (I<sub>ri</sub>: Importancia relativa columna).

COMPONENTE	Factor Ambiental	UIP	Construcción y operación											Clausura		Importancia Relativa (kj)			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14	15	16
GEOMORFOLÓGICO	Activación de procesos erosivos	30	22	24					14										22
	Cambio en las geoforamas	50	24	24				16						14	16				47
	Conservación de las geoforamas y de las condiciones hidrologicas e hidrogeológicas.	20				12													2
SUELO	Pérdida de las capas del suelo	30	24	24	12	20			12										126
	Alteración del paisaje	30	24	18		14			14										79
PAISAJE	Restricción del paisaje	20			8														11
	Disminución de la calidad de aguas superficiales y subterráneas	40	7	7		7			6										85
HIDROGEOLOGICO	Alteración del ciclo hidrologico	30	9	11		7			9					14					93
	Establecimiento de condiciones geotécnicas favorables	30				14			12										27
GEOTÉCNICO	Deterioro de las condiciones geotécnicas	30	24	24		14			14					14					76
	Alteración de la calidad del aire	40	14	18				18						9	12				129
ATMOSFÉRICO (CALIDAD DE AIRE Y RUIDO)																			

Figura 4. Matriz de valoración relativa del impacto ambiental.



Figura 4. Matriz de valoración relativa del impacto ambiental.

COMPONENTE	Factor Ambiental	UIP	Construcción y operación												Clausura		Importancia Relativa (I <sub>r</sub> )	Importancia Relativa (I <sub>r</sub> )						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15	16				
ECONÓMICO	Cambios en la dinámica económica	15	7		5							12											5	-5
	Desvalorización de la tierra	50	18									18											20	-20
	Generación de expectativas	50	13									13											13	-13
	Activación de áreas productivas asociadas al proyecto	30																				16	7	7
CULTURAL	Cambio del entorno por modificación del paisaje	50	24									18											54	-54
	Mejoramiento de la infraestructura comunitaria	10	15																				4	4
	Rompiendo de lazos interpersonales e intergrupales	10	11																				2	-2
	Mejoramiento de la proyección social y cultural	30																					20	10
POLÍTICO - ORGANIZATIVO	Cambio en las condiciones de movilidad y accesibilidad para la población.	10	18																				2	-2
	Competencias intra comunitarias negativas	10																					1	-1
POLÍTICO - ORGANIZATIVO	Modificación de los planes de ordenamiento territorial	40																					24	24
	Cambios en el desarrollo local y regional	40										24											24	24

### 3.5 . Actividades más impactantes y factores más afectados

A partir de los resultados de la matriz de valoración relativa del impacto ambiental, se identificaron las actividades más impactantes y los factores más afectados. En la Tabla 3.2,

encontramos las actividades más impactante organizadas de mayor a menor, tanto para la etapa de construcción y operación, como para la etapa de clausura.

ACTIVIDADES MÁS IMPACTANTES	
Construcción y operación	Iri
Mantenimiento y construcción de nuevas vías de acceso	10
Disposición de residuos sólidos	8
Excavaciones y disposición del suelo	7
Adecuación de zonas de disposición de residuos	5
Funcionamiento de la granja ambiental y del relleno	5
Construcción del sistema de drenaje	4
Construcción del filtro recolector de lixiviados	3
Construcción de chimeneas de gases	3
Manejo y tratamiento de residuos líquidos	3
Operación y mantenimiento de maquinaria y equipos	3
Construcción y adecuación de celdas	2
Manejo de material de cobertura en llenos	2
Establecimiento de zonas de protección y distancia de retiros	1
Clausura	
Cierre del relleno	4
Funcionamiento de la granja ambiental	4
Programas de monitoreo y control de gases, aguas y lixiviados	1

Tabla 2. Actividades más impactantes.

Como se puede observar en la Tabla 2, en la etapa de construcción y operación existen cinco actividades que generan un gran impacto sobre los componentes ambientales:

- a) **Mantenimiento y construcción de nuevas vías de acceso (10):** Luego de hacer el análisis fue considerada como la actividad más impactante, debido a que influye de manera directa sobre todos los factores ambientales de los medios físico y biótico y social, exceptuando el factor político – organizativo. El mantenimiento de las vías y la apertura de nuevos caminos, activa procesos erosivos, altera de forma permanente el paisaje y cambia las características del entorno.
- b) **Disposición de los residuos sólidos (8):** Esta actividad es crucial no solo por que impacta todos los factores ambientales, sino porque de ella dependen las características del lixiviado y de los gases generados. Es una actividad en la cual se debe tener rigurosidad, ya que los residuos se deben separar según sus características (orgánicos, reciclables y no reciclables), evitando la mezcla de contaminantes y posterior impacto sobre la comunidad. La inadecuada disposición de los residuos sólidos en el relleno, puede traer consecuencias negativas para los ecosistemas y la población que rodea el relleno.
- c) **Excavaciones y disposición de suelo (7):** Esta actividad trae cambios drásticos principalmente en el medio físico y biótico, debido a que rompe las líneas de flujo de agua subterránea, alterando el ciclo hidrológico. También tiende a perderse la protección superficial del suelo, variando la humedad del mismo. En general los movimientos de tierra alteran las unidades de paisaje y deterioran las condiciones geotécnicas del terreno.
- d) **Adecuación de zonas de disposición de residuos (5):** Esta actividad genera fuertes impactos sobre todos los factores ambientales de los medios físico y biótico, ya que este proceso comprende la impermeabilización del área de disposición, donde se dispone una capa de arcilla de 0,3m sobre todo el terreno. Esto genera un efecto negativo en el paisaje, deteriora las condiciones geotécnicas e impide el paso de agua al interior del suelo.
- e) **Funcionamiento de la granja ambiental y del relleno (5):** Este impacto toca de manera profunda el medio social, ya que se lleva a cabo el proceso de convocatoria, selección y vinculación de

personal idóneo para las diversas actividades de operación del relleno. Además comprende actividades para informar y negociar con la comunidad, en los procesos de participación y resolución de conflictos.

Durante la etapa de clausura se presentaron dos actividades, con mayor impacto sobre los componentes ambientales:

**a. Cierre del relleno (4):** Esta actividad repercute sobre los tres medios (físico, biótico y social), debido a que luego del cierre, se seguirán presentando procesos de descomposición de materia, los cuales continuaran generando cambios en el entorno. El proceso de revegetalización de la zona es complejo, debido a que se ha perdido la estructura del suelo y el ecosistema tardará en reponerse del impacto que ha sufrido. Por otro lado, hay que comunicar a la comunidad sobre el cierre y el cuidado que deben tener permanentemente en la zona.

**b. Funcionamiento de la granja ambiental (4):** Esta actividad tiene efectos principalmente en el medio social, ya que requiere la asignación de los recursos económicos para desarrollar los programas pertinentes para ejecutar las actividades y obras de la granja.

En la Tabla 3 se muestran los factores ambientales más impactantes con la valoración obtenida, organizados según su naturaleza desde el impacto más negativo hasta el más positivo.

FACTORES AMBIENTALES MÁS AFECTADOS	
FACTORES AMBIENTALES	Irj
Alteración de la calidad del aire	-129
Pérdida de las capas del suelo	-126
Pérdida de especies de la flora acuática	-102
Cambio en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos	-102
Alteración del ciclo hidrológico	-93
Perturbación de la flora terrestre	-92
Disminución de la población de fauna	-92
Disminución de la calidad de aguas superficiales y subterráneas	-85
Alteración del paisaje	-79
Deterioro de las condiciones geotécnicas	-76
Cambio del entorno por modificación del paisaje	-54
Cambio en las geoformas	-47
Activación de procesos erosivos	-22
Presencia de enfermedades en la población	-22
Desvalorización de la tierra	-20
Generación de expectativas	-13
Cambios en la dinámica económica	-5
Perdida del acceso al recurso agua	-5
Migración no planificada	-3
Emigración de la población	-2
Rompimiento de lazos comunitarios e interpersonales	-2
Cambio en las condiciones de movilización y accesibilidad para la población	-2
Competencias intracomunitarias negativas	-1
Conservación de las geoformas y de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas.	2
Mejoramiento de la infraestructura comunitaria	4

**Tabla 3.** Factores ambientales más Afectados.

Activación de áreas productivas asociadas al proyecto	10
Restitución del paisaje	11
Modificación de los planes de ordenamiento territorial	24
Cambios en el desarrollo local y regional	24
Establecimiento de condiciones geotécnicas favorables	27

En el medio físico, los componentes aire, suelo, hidrológico, hidrogeológico y paisaje, en su respectivo orden, son quienes sufren mayores consecuencias con la operación del proyecto. Aunque hay impactos que afectan en momentos específicos, como el mantenimiento y construcción de vías, durante el primer año. Existen otros, como el manejo y tratamiento de residuos líquidos que afectan durante todo el tiempo de la operación del relleno los diferentes componentes. A la hora de realizar el plan de manejo ambiental se debe priorizar la atención y realizar una evaluación exhaustiva a estos componentes, ya que por tratarse de un proyecto concentrado la sinergia de actividades puede aumentar el efecto del impacto sobre este medio.

En el caso de medio biótico, sus cuatro componentes se ven muy comprometidos con la operación del relleno, en especial la flora y los macroinvertebrados acuáticos, los cuales requieren determinados niveles de oxígeno disuelto para sobrevivir; debe tenerse en cuenta que, de la eficiencia del tratamiento realizado en la planta, dependen comunidades con organismos que pueden desaparecer por los vertimientos con exceso de materia orgánica en descomposición o con niveles altos de nutrientes.

Los impactos positivos en su mayoría están concentrados en los medios social y físico. En el medio social el proyecto puede ser visto como una alternativa de desarrollo a nivel político organizativo, ya que es una solución al problema de los residuos sólidos generados en el municipio, lo que genera una modificación en el plan de ordenamiento territorial y conlleva a cambios en el desarrollo local y regional. Por otra parte la apertura de vías y la sede comunitaria que brinda el proyecto, mejora la infraestructura comunitaria de la zona, y se pretende dinamizar otras actividades que le generen ingresos a la comunidad.

En el medio físico, las acciones preventivas, como el establecimiento de zonas de protección y distancia de retiros, generan impactos positivos, como son la conservación de las geoformas y de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del terreno. Además, la construcción del sistema de drenaje, permite tener unas condiciones geotécnicas favorables. Por último, en la etapa del cierre del relleno sanitario, se pretende restituir la mayor parte del paisaje, aunque para alcanzar este propósito, hay que desarrollar el plan de manejo con rigurosidad.

#### 4. CONCLUSIONES

Durante la presente investigación se resalta que el grado de dificultad del tratamiento de lixiviados se incrementa, debido a la mezcla de los residuos sólidos recolectados; tal vez, la solución final y racional, consista en no producir lixiviados con esas características, disminuyendo su impacto contaminante sobre el medio ambiente. Sin embargo, esta solución se podrá dar cuando se analice de forma global el flujo de materiales y se tenga una conciencia sobre los costos ambientales generados en la cadena productiva de los materiales, desde su concepción hasta su disposición final. Mientras tanto, el problema continuará siendo apremiante para la sociedad.

El área donde se construyó el relleno sanitario “Los Saltos”, por ser una montaña poco intervenida, daba lugar a un cuerpo de agua totalmente sano, con especies de macroinvertebrados y calidad fisicoquímica y biológica característica de un ambiente acuático limpio, en término de contaminantes, y aerobio por naturaleza. Por esta razón, el plan de manejo ambiental para los lixiviados es el más importante y complejo en cuanto a cuidado de las aguas; dicho plan se contempla desde el diseño mismo del relleno, y debe ser pensado para cada una de sus etapas: producción, recolección, transporte, almacenamiento y tratamiento posterior.

Como resultado del proceso de evaluación ambiental se obtuvo que las actividades más impactantes durante la construcción y operación del relleno sanitario, en su respectivo orden fueron:

mantenimiento y construcción de nuevas vías de acceso (10), disposición de los residuos sólidos (8), excavaciones y disposición de suelo (7), adecuación de zonas de disposición de residuos (5) y funcionamiento de la granja ambiental y del relleno (5).

Durante la etapa de clausura del relleno sanitario, se identificaron dos actividades que generaban mayor impacto: cierre del relleno (4) y el funcionamiento de la granja ambiental (4). Como se observa en la Tabla 3, los factores más impactados de forma negativa corresponden principalmente a los medios físico y biótico.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, A.; SUÁREZ J., 2006. *Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta*. Ingeniería & Desarrollo N°20 ISSN: 0122-3461 Julio - Diciembre 2006.
- BODZEK M.; LOBOS E.; ZAMOROWSKA M., 2006. Removal of organic compounds from municipal landfill leachate in a membrane bioreactor. *Desalination* 198: pp. 16–23.
- CHANTAL CENENS, I. Y.; SMETS, V. G.; RYCKAERT, J. F. & VAN, I., 2000. *Modeling the competition between floc-forming and filamentous bacteria in activated sludge waste water treatment systems di. evaluation of mathematical models based on kinetic selection theory*. *Waterresearch* Vol. 34, No. 9: pp. 2525-2534.
- CHAVARRO, M., 2006. *Evaluación de la tratabilidad de los lixiviados en el relleno sanitario de pereira mediante filtros anaerobios de flujoascendente a escala piloto [Journal]*. Vol: 30 pp. 399-304. Scientia et Technica Año XII.
- CHEN, S.; SUN, D. C.; JONG, S., 2007. *Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic-aerobic moving-bed biofilm reactor system [Journal]*. *Waste Management* 28: pp. 339-346.
- CHEUNG, K. C, CHU, L. M. & WONG, M. H, 1997. *Ammonia stripping as a pretreatment for landfill leachate [journal]*. Vol 94: pp. 209–221. *Water, Air, and Soil Pollution*.
- CONESA FERNANDEZ –VITORA, V., 1997. *Guía metodologica para la evaluación del impacto ambiental*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- CORNARE, 2010. Informe de resultados – Análisis de calidad de aguas, relleno sanitario y granja ambiental "Los Saltos". Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales, 2006. Contrato N° 006 Empresa de servicios públicos de aseo San José de la Marinilla- SANEAR S.A.
- ESTEVAN, M., 1984. *Evaluación del impacto ambiental*. Editor MAPFRE, 609 P.
- GÁLVEZ, A., GIUSTI, L., ZAMORANO, M., RAMOS, A., 2009. *Stability and efficiency of biofilms for landfill leachate treatment*. *Bioresource Technology* 100: pp. 4895–4898.
- GIRALDO, E., 2001. *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes [Journal] // Revista Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes* 14: pp. 44-55.
- GU, Q.B., 2006. *Preparation and Performance of Inorganic Coagulant for Landfill Leachate Pretreatment [Journal]*. Vol: 76:98–104. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*
- HARRY FUTSELAAR, HENK SCHONEWILLE, DICK DE VENTE, LUTE BROENS, 2007. *NORIT Air Lift MBR: side-stream system for municipal waste water treatment*. *Desalination* 204: pp. 1–7.
- HEKMAT, D., Y OTROS, 2006. *Modelling of multispecies biofilm population dynamics in a trickle-bed bioreactor used for waste gas treatment [Publicación periódica] // Process Biochemistry* 41: pp. 1409–1416.
- HUO, L., SHAO, Z., YAN, S., PING, F., JING, L., 2009. *Advanced treatment of landfill leachate by a new combination process in a full-scale plant*. *Journal of Hazardous Materials* 172: 408–415.
- KARGI, FIKRET & PAMUKOGLU, M. Y., 2003. *Powdered activated carbon added biological treatment of pre-treated landfill leachate in a fed-batch reactor [Journal]*. Vol: 25: pp. 695–699. *Biotechnology Letters*.

- LOUKIDOU, M.X. & ZOUBOULIS A.I, 2001. *Comparison of two biological treatment processes using attached growth biomass for sanitary landfill leachate treatment* [Journal]. Environmental Pollution 111: pp. 273-281.
- MADIGAN, M.; MARTINKO, J. & PARKER, J., 2004. *Biología de los Microorganismos* [Book]. - cuidad : Prentice Hall, 2004. Décima Edición.
- MEHMOOD M, ADETUTU E, NEDWELL D, BALLA, 2009. *In situ microbial treatment of landfill leachate using aerated lagoons*. Bioresource Technology 100: pp. 2741-2744.
- NIVALA J, HOOS M, CROSS C, WALLACE S, PARKIN G, 2007. *Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland*. Science of the Total Environment 380: pp. 19-27.
- RENOU S, GIVAUDAN J, POULAIN S, DIRASSOUYAN F, MOULIN P, 2008. *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. Journal of Hazardous Materials 150: pp. 468-493.
- RITTMANN B. E, STILWELLA D, OHASHIB A, 2006. *The transient-state, multiple-species biofilm model for biofiltration processes* [Publicación periódica] // Water Research 36: pp. 2342-2356.
- SALEM Z, HAMOURI K, DJEMAA R, ALLIA K, 2008. *Evaluation of landfill leachate pollution and treatment*. Desalination 220: pp. 108-114.
- SARAVANAN V. Y SREEKRISHNAN T.R, 2006. *Modelling anaerobic biofilm reactors—A review* [Publicación periódica] // Journal of Environmental Management 81: pp. 1-18.
- SAWAITTAYOTHIN V, POLPRASERT C, 2007. *Nitrogen mass balance and microbial analysis of constructed wetlands treating municipal landfill leachate*. Bioresource Technology 98: pp. 565-570.
- SMAKA-KINCL V, STEGNAR P, LOVKA M, TOMAN M, 1996. *The evaluation of waste, surface and ground water quality using the Allium test procedure*. Mutation Research 368: pp. 171-179.
- SUÁREZ E, CARDONA S, 2009. *Modelación Fenomenológica de una Biopelícula Anaerobia en un Sistema de Barrera Reactiva Permeable para el Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios*. Artículo sometido revista DYNA.
- TANAKAN, TOJO Y, MATSUTO T, 2005. *Past, present, and future of MSW landfills in Japan* [Publicación periódica] // J Mater Cycles Waste Manag. Vol 7: pp. 104-111.
- TRABELSI I, SELLAMI I, DHIFALLAH T, MEDHIOUB K, BOUSSELMI L, GHRABI A, 2009. *Coupling of anoxic and aerobic biological treatment of landfill leachate*. Desalination 246: pp. 506-513.
- TSILOGEORGIS J, ZOUBOULIS A, SAMARAS P, ZAMBOULIS D, 2008. *Application of a membrane sequencing batch reactor for landfill leachate treatment*. Desalination 221: pp. 483-493.
- WEILAND, P y Rozzi, A. (1991). "The star -up operation and monitoring of high -rate anaerobic treatment systems. Discessers reports". Water Science Technology, 24(8): pp. 252-257.
- WEIMIN W, JIWI H y XIASHENG G, 1986. "Effect of granulation of sludges in the upflow reactor in solid-liquid separation". Uanjing Kexue Xuebae, 6 (1): pp. 86-95.
- WELANDER L. U., HENRYSSOW T. AND WELANDER T, 1997. *Nitrification of landfill leachate using suspended-carrier biofilm technology* [Journal]. No. 9, Vol: 31: pp. 2351-2355. . War. Res.
- WISZNIOWSKI, J., ROBERT, D. SURMACZ-GORSKA J, 2006. *Landfill leachate treatment methods: A review*. Environ. Chem. Lett. Vol: 4: pp. 51-61.
- WU L, PENG Y, ZHANG S, PENG Y, 2009. *Nitrogen removal via nitrite from municipal landfill leachate*. Journal of Environmental Sciences 21: pp. 1480-1485.
- XU Y, ZHOU Y, WANG D, CHEN S, 2008. *Occurrence and removal of organic micropollutants in the treatment of landfill leachate by combined anaerobic-membrane bioreactor technology*. Journal of Environmental Sciences 20: pp. 1281-1287.
- YANG Z, ZHOU S, 2008. *The biological treatment of landfill leachate using a simultaneous aerobic and anaerobic (SAA) bio-reactor system*. Chemosphere 72: pp. 1751-1756.
- ZIYANG L, YOUCAI Z, TAO Y, YU S, HUILI C, NANWEN Z, RENHUA H, 2009. *Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages*. Science of the Total Environment 407: pp. 3385-3391.

