

Monografía

**IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES REPORTADOS DURANTE
LA OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS EN COLOMBIA**

Estudiante:

FERNANDO ÁLVAREZ HERNÁNDEZ

Asesor:

OMAR JAVIER RAMIREZ



Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Bogotá

2019

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por mantenerme con vida, por permitirme disfrutar de la compañía de mis padres, hijos, esposa y hermanos. Por darme cada segundo de vida y permitirme alcanzar una meta más, que será una herramienta invaluable en la búsqueda de lograr muchos más.

A mis padres Fernando Álvarez y María Helena Hernández por su apoyo constante, a mis hermanos Rosa y Sergio Álvarez, por cada voz de aliento. De igual forma a Nelly Huesa, mi esposa, por su compañía, apoyo incondicional y su ánimo en momentos difíciles para no desfallecer, pero sobre todo en tenerme paciencia en la búsqueda de este objetivo.

Le agradezco al Ingeniero Omar Ramírez, mi director por asesorarme y guiarme con sus conocimientos en el desarrollo de esta tesis, gracias por el tiempo invertido en esta monografía.

Mi profundo y sincero agradecimiento a la profesora Andrea Yate quien fue la promotora inicial de este trabajo, por su disposición en brindarme orientación y regalarme su valioso tiempo en aclararme diferentes inquietudes.

Agradezco a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por darme la oportunidad de realizar mis estudios de pregrado, a los compañeros que tuve la oportunidad de conocer a lo largo de este proceso que de una u otra manera han contribuido en la culminación de esta etapa.

A todos muchas gracias

Tabla de contenido

Agradecimientos	ii
Tabla de contenido.....	iii
Lista de figuras	v
Lista de tablas	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
Introducción.....	1
Justificación.....	6
Objetivos	10
General	10
Específicos.....	10
1. Generalidades	11
1.1. Rellenos sanitarios.....	11
1.1.1. <i>Definición y contexto</i>	11
1.1.2. <i>Tipos de rellenos sanitarios</i>	11
1.1.3. <i>Etapas de los rellenos sanitarios</i>	12
1.2. Impactos ambientales	15
1.2.1. <i>Definición de impacto ambiental</i>	15
1.2.2. <i>Tipos de impactos ambientales</i>	15
1.2.3. <i>Metodologías de evaluación de impacto ambiental</i>	15
1.3. Marco normativo.....	19
2. Descripción del área de estudio	21
2.1 Características generales de Colombia	21
2.2 Generación de residuos sólidos en Colombia	21
3. Principales rellenos sanitarios de Colombia	27
3.1 Relleno sanitario Doña Juana.....	28
3.2 Relleno sanitario la Pradera	31
3.3 Relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos	32
3.4 Relleno sanitario Regional Presidente	30
3.5 Relleno sanitario Parque Ambiental Loma de los Cocos.....	37
4. Impactos ambientales de la operación de rellenos sanitarios.....	38

4.1. Impactos sobre el recurso hídrico.....	38
4.2. Impactos sobre el recurso aire.....	41
4.3. Impactos sobre el recurso suelo	42
4.4. Impactos sobre fauna y flora.....	43
4.5. Impactos sobre el paisaje	44
4.6. Impactos socioeconómicos	45
4.7. Otros tipos de impactos documentados	47
5. Recomendaciones para el manejo de impactos ambientales identificados	50
Conclusiones	52
Bibliografía.....	55

Lista de figuras

FIGURA 1. TASA DE RESIDUO EN LA UNIÓN EUROPEA -----	1
FIGURA 2. RESIDUOS ORGÁNICOS PRINCIPALES CIUDADES COLOMBIA -----	7
FIGURA 3. GENERACIÓN ANUAL DE RESIDUOS EN COLOMBIA -----	8
FIGURA 4. CANTIDAD DIARIA DE RESIDUOS DISPUESTOS EN COLOMBIA -----	22
FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DE RESIDUOS DEPOSITADOS EN COLOMBIA POR DEPARTAMENTO -----	23
FIGURA 6. PORCENTAJE RESIDUOS PRINCIPALES CIUDADES -----	24
FIGURA 7. PROCESO OPERACIONAL BOGOTÁ -----	29
FIGURA 8. RESULTADOS DE MONITOREO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA -----	30
FIGURA 9. OPERACIÓN RELLENO SANITARIO LA PRADERA -----	31
FIGURA 10. OPERACIÓN RELLENO SANITARIO LOS POCITOS -----	34

Lista de tablas

TABLA 1. SISTEMA DISPOSICIÓN FINAL COLOMBIA (2017) -----	4
TABLA 2. CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS -----	16
TABLA 3. NORMATIVA RESIDUOS SÓLIDOS COLOMBIA -----	19
TABLA 4. VALORES CARACTERÍSTICOS DE PPC SEGÚN ESTRATO EN COLOMBIA---	21
TABLA 5. PORCENTAJE COMPOSICIÓN GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS -----	25
TABLA 6. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN ORIGEN COMERCIAL O RESIDENCIAL-----	25
TABLA 7. INFORME GENERACIÓN DE RESIDUOS POR TIPO DE RESIDUO-----	25
TABLA 8. GENERACIÓN DE PRODUCTOS RESIDUALES-----	26
TABLA 9. PROYECCIÓN DE RECEPCIÓN DEL RELLENO SANITARIO PARQUE AMBIENTAL LOS POCITOS-----	33

Resumen

Durante los últimos años en Colombia, se ha podido observar la problemática generada en torno al impacto ambiental concebido por el manejo operativo y la infraestructura que se le ha dado al manejo y la eliminación de residuos sólidos urbanos (RSU). Este fenómeno se ha convertido en una situación crítica en las principales áreas urbanas de Colombia, en donde por lo general, el destino final de estos residuos es la disposición en rellenos sanitarios. La presente revisión bibliográfica ha tenido como objetivo adquirir información del impacto ambiental de estos proyectos, teniendo en cuenta las condiciones generales de operación de estos sitios en las principales ciudades del país. Como es de conocimiento público, las características de los rellenos sanitarios contienen una diversidad de problemas operativos, lo que se ha evidenciado en la búsqueda documental, incluyendo un inadecuado tratamiento de los lixiviados, el surgimiento de emisión de olores desagradables, generación de contaminantes y un manejo pobre de la cobertura de los residuos sólidos. Esto invita a reflexionar sobre la necesidad de mejorar la operación y mantenimiento de estos sistemas, pero también a aumentar el compromiso de las principales autoridades ambientales y sanitarias para proporcionar programas que permitan minimizar la producción de RSU, promoviéndose una perspectiva sostenible de aquellos residuos con valor económico. Por otro lado, esta monografía tiene como objetivo recopilar información relevante que sirva como insumo para reducir y mejorar las condiciones a que se encuentran sometidos actualmente los rellenos sanitarios en Colombia, lo que podría repercutir de manera significativa en la calidad de vida de las personas, familias y colectividades cercanas a estos sitios. Para esto, fue necesario revisar estudios previos del tema, tanto a nivel nacional como internacional, a fin de comprender el contexto sobre qué prácticas han tenido buenos resultados y cuáles representan un riesgo inminente. Seguido de esto, se realizó una búsqueda de impactos ambientales asociados con rellenos sanitarios en el país, incluyendo afectaciones de la calidad del agua, aire, suelo, fauna y flora, paisaje y aspectos socioeconómico. Finalmente, con esta información se propusieron recomendaciones para mitigar el daño, particularmente a corto plazo, con el propósito de darle un uso más sostenible a los rellenos sanitarios.

Palabras claves: residuos sólidos, gestión ambiental, lixiviados, disposición final.

Abstract

During the last years in Colombia, it has been possible to observe the problems generated around the environmental impact generated by the operational and infrastructure management that has been given to the handling and disposal of solid domestic waste. This phenomenon has become critical situations in the main urban areas of Colombia, where in general, the final destination of this waste is its disposal in landfills. The objective of this bibliographical review was to acquire information on the environmental impact of these projects, taking into account the general operating conditions of these sites in the main cities of the country. As is public knowledge, the characteristics of sanitary landfills contain a diversity of operational problems, which has been evidenced in the documental search, including an inadequate treatment of leachates, the emergence of emission of unpleasant odors, generation of pollutants and a poor management of solid waste coverage. This invites us to reflect on the need to improve the operation and maintenance of these systems, but also to increase the commitment of the main environmental and health authorities to provide programs that minimize waste production, promoting a sustainable perspective of those waste with value economic. On the other hand, this monograph aims to collect relevant information that serves as an input to reduce and improve the conditions currently facing landfills in Colombia, which could have a significant impact on the quality of life of people, families and communities near these sites. In this way, measures related to the information obtained are proposed to achieve a reduction of the current negative impacts. For this, it was necessary to review previous studies on the subject, both nationally and internationally, in order to understand the context on which practices have had good results and which represent an imminent risk. Following this, a search was made of environmental impacts associated with sanitary landfills in the country, including impacts on the quality of water, air, soil, fauna and flora, landscape and socioeconomic aspects. Finally, with this information recommendation were proposed to mitigate the damage, particularly in the short term, with the purpose of giving a more sustainable use to landfills.

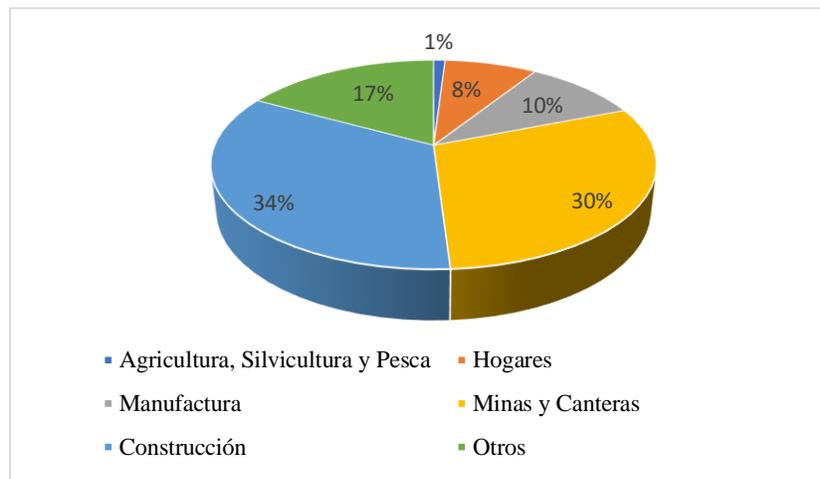
Keywords: waste, environmental management, leachate, final disposal.

Introducción

El problema relacionado con los residuos sólidos es de tipo global y no corresponde a una problemática exclusivamente de Colombia. Según investigadores del Banco Mundial (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012), para el año 2025 se espera que la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) tienda a duplicarse debido a que la producción per cápita pasará de 1,300 millones t/año a 2,200 millones t/año. Entre las causas de este incremento, se mencionan el alto crecimiento poblacional, los hábitos de consumo en países industrializados, así como los cambios en las costumbres de consumidores que habitan los países en vía de desarrollo.

La cantidad total de RSU que se recoge es cada vez mayor en un gran número de países. Según el Parlamento Europeo (2018), la Unión Europea generó aproximadamente 2,500 millones t/año de residuos en 2014. El 1% provenía del sector agricultura, silvicultura y pesca, el 8% de hogares, el 10% de manufactura, el 30% de minas y canteras, el 34% de actividades de construcción, y el 17% restante de otras actividades (Figura 1).

Figura 1. Tasa de residuo en la Unión Europea



Fuente: Elaboración propia a partir de Parlamento Europeo (2018).

Es importante mencionar lo que tiene que ver con el procesamiento de residuos en las actividades relacionados con compostaje e incineración. Según Sáez y Urdaneta (2014), tan solo el 0.6 % de los residuos orgánicos son transformados en abono, y los residuos

incinerados representan tan solo el 1%. Para América Latina y el Caribe, tan solo el 2.2 % de los materiales aprovechables se recupera de los productos orgánicos (restos de alimentos y de jardín).

De manera gradual, los conceptos basura y RSU se han utilizado de forma indiferente. Sin embargo, los RSU podrían considerarse como los materiales de un proceso, normalmente industrial o domiciliario, que después de haber sido sometidos al uso por necesidades comunes o propias, han quedado como residuos del mismo, pero son susceptibles de reintroducción al ciclo productivo (Jaramillo, 2002). Por el contrario, entiende por basura todo residuo sólido o semisólido —con excepción de excretas de origen humano o animal— que carece de valor para el que la genera o para su inmediato poseedor. Están comprendidos en la misma definición los desechos, cenizas, elementos de barrido de calles, residuos industriales, de hospitales y de mercados, entre otros. Es sinónimo de desechos o residuos sólidos, por lo que su única opción es el tratamiento técnico y respectiva disposición final (en un relleno sanitario, por ejemplo) para disminuir su impacto ambiental negativo (Jaramillo, 2002).

Entre los problemas que se presentan a nivel mundial por el inadecuado manejo de los RSU, se destacan los grandes inconvenientes relacionados con la disposición final, ya que el crecimiento demográfico e industrial, como se ha mencionado, hace que diariamente se manipulen y dispongan millones de toneladas en superficies terrestres, generando impactos ambientales sobre diversos componentes (Makarenko y Budak, 2017).

En Colombia, la problemática ambiental de los residuos ha tenido un gran impulso en la última década, permitiéndose la reglamentación frente a la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los RSU. No obstante, la problemática se ha agudizado en los últimos años, ya que diversos informes han documentado los impactos ambientales asociados con estos proyectos (Caraballo, 2014; Zapata y Zapata, 2013). De hecho, la misma población ha reconocido el manejo de RSU como una importante fuente de contaminación del ambiente en el país (Ramírez, 2015).

En los últimos años, el servicio público de aseo en las principales ciudades de Colombia ha estado orientado prioritariamente hacia el transporte y el enterramiento de basuras en lugares direccionados estratégicamente (relleno sanitario), donde se disponen diariamente miles de

toneladas de residuos sólidos. La problemática que se deriva de esta situación se relaciona, principalmente, con lo que sucede en el entorno en donde se encuentran ubicados estos espacios, incluyendo a los habitantes cercanos a ellos.

Es por esto que, en Colombia, se debería identificar y analizar con mayor rigurosidad las problemáticas ambientales relacionadas con cada una de las etapas de la gestión integral de RSU, incluyendo la operación durante la disposición final de los residuos. Esto permitirá formular mecanismos de prevención y minimización de los impactos ambientales, respondiendo al cumplimiento de los niveles aceptables técnicos y normativos del país, teniendo en cuenta los niveles de vulnerabilidad ecológico y social de cada contexto. Esto resulta fundamental para llevar a cabo una gestión ambiental efectiva y, con ello, entender el desarrollo sostenible más allá de una simple enunciación discursiva (Ramírez, 2007).

El país enfrenta un incremento constante de la población, lo que se traduce en un aumento de la demanda de bienes y servicios, ofertados a partir de lo que se transforma de los recursos naturales. De acuerdo con la Superservicios (2017), en el país se dispuso alrededor de 30,081 toneladas de residuos por día. El sistema de disposición final predominante en el país es el relleno sanitario, atendiendo el 78% de los municipios y el 97% de las toneladas de residuos provenientes del servicio público domiciliario de aseo de Colombia. El 53% del total de toneladas dispuestas se concentran en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Atlántico y el Distrito Capital, y de los 158 sitios de disposición final con información sobre vida útil, el 35% tienen una vida útil vencida o próxima a vencer (entre 0 a 3 años). Lo anterior, se ha considerado como una alerta porque puede que la prestación del servicio de aseo se vea afectada, en términos de continuidad y calidad, por la pérdida de capacidad de estos sitios.

Los datos consolidados por la Superservicios también permiten suponer que parte del aumento en el volumen de RSU se ha debido a las acciones de vigilancia y control para registro de la información municipal sobre el tema. Sin embargo, las estadísticas presentadas varían en un amplio margen de error como consecuencia del carácter reciente que las ampara y la falta de concordancia en las metodologías para obtenerla. En la Tabla 1 se presenta la cantidad (toneladas) de RSU dispuesta en Colombia.

Tabla 1. Sistema disposición final Colombia (2017)

Sitio de disposición	Promedio toneladas dispuestas por día y porcentaje	% municipios que disponen del sitio
Relleno sanitario	28,937 – 96.2%	76.1
Celdas transitorias	212 – 0.7 %	1.5
Botadero a cielo abierto	727 – 2.4 %	3.4
Planta integral	40 – 0.1 %	1.3
Celdas de contingencia	139 – 0.5 %	0.8
Enterramiento	25 – 0.1 %	0.2
Sin información		16.6

Fuente: Elaboración propia a partir Superservicios, 2017.

Frente a la construcción de la base de datos, Superservicios (2017) aclara que es importante resaltar que no se utilizó ningún método de imputación de datos para completar la información faltante. Por lo tanto, existen vacíos de información de los municipios que no reportaron ningún dato o que reportaron de manera parcial. Es fundamental precisar y señalar que es obligación de los prestadores del servicio público de aseo, registrar las toneladas dispuestas en sus áreas de prestación al Sistema Único de Información - SUI, con el fin de que este informe sirva como insumo para revisar el estado de avance de las metas planteadas para el país de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo.

Importante tener en cuenta que el manejo inadecuado de los residuos es el principal factor que determina su impacto ambiental y social negativo. Algunos impactos asociados con los rellenos sanitarios incluyen enfermedades provocadas por vectores sanitarios, contaminación atmosférica, contaminación de suelos, problemas paisajísticos, además del riesgo de explosión y de derrumbes, dada la producción de gases durante la descomposición de los residuos (AMVA, 2007).

En el caso de Colombia, la separación en la fuente ha buscado usos alternativos benéficos para el entorno, como es el proceso de reciclaje para la transformación de los residuos sólidos en materia prima, el diseño e implementación de nuevas políticas tendientes a la gestión integral de los residuos sólidos (GIRS). Estas iniciativas se pueden materializar mediante el seguimiento estricto de la normatividad ambiental vigente, a saber: Ley 142 de 1994, Resolución 0754 de 25 de noviembre de 2014, Decreto 1076 de 26 de mayo de 2015, Decreto 1077 de 26 de mayo de 2015, Decreto 596 del 11 de abril de 2016, Decreto 0276 del 29 de abril de 2016, Ordenanza 10 del 22 de abril de 2016, Norma Técnica Sectorial Colombiana NTS-TS 002. No implementar estas estrategias implica restarle la vida útil al relleno sanitario

y es aquí en donde las condiciones de operación deben mejorar, de tal forma que los rellenos sanitarios puedan cumplir con su objetivo de mitigar impactos generados por los RSU.

Por lo anterior, la presente monografía se sustentó en una consulta bibliográfica de los impactos ambientales negativos asociados con la operación de rellenos sanitarios en el país, especialmente aquellos que experimentan poblaciones aledañas.

Justificación

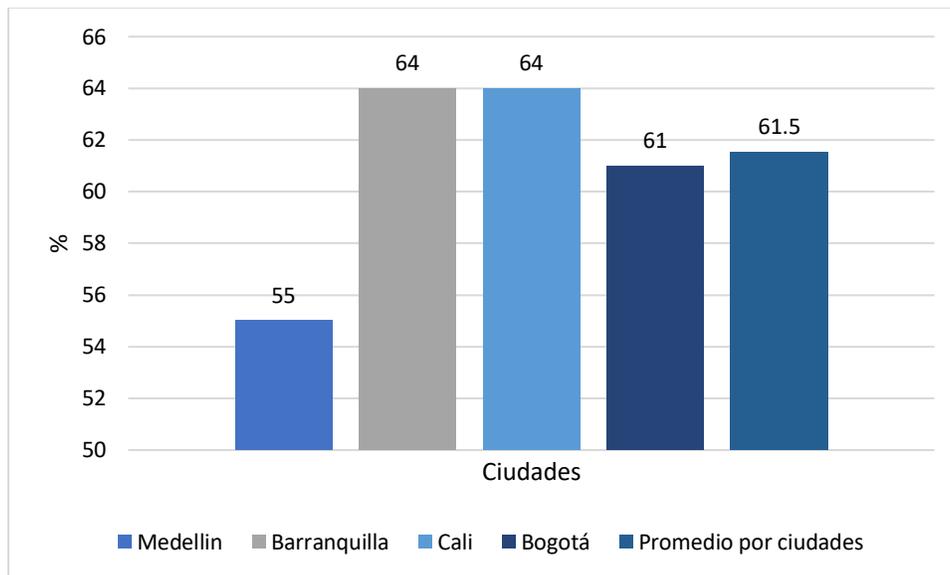
Los impactos ambientales generados en la disposición final de residuos, puntualmente en la etapa de operación de los rellenos sanitarios, son delicados y ameritan que se les preste la debida atención. Según Caraballo (2014), la relación existente entre contaminantes ambientales y salud humana es un proceso complejo. Las exposiciones son excesivamente bajas y los efectos y/o consecuencias se ven después de mucho tiempo de exposición, por lo que dicha asociación directa es difícil de establecer. Sin embargo, en lo que respecta a la salud humana, las consecuencias que se evidencian de una mala disposición de RSU están relacionadas con (Environment Agency, 2003; OPS, 2010; Christensen et al., 2011; Hoornweg y Bhada-Tata, 2012; Wilson et al., 2015):

- Daños en el sistema respiratorio a causa del material particulado y compuestos orgánicos que se produce por la quema de residuos.
- Propagación de enfermedades en los habitantes del área de influencia. Una de las principales causas de las alteraciones en la salud de personas en las proximidades del sitio es la presencia de vectores transmisores de enfermedades (ejemplo, cólera y dengue).
- Enfermedades ocupacionales de los trabajadores de los sitios de disposición final por manipulación de los residuos.
- El biogás del sitio puede ser tóxico, explosivo y reducir el contenido de O₂ en la zona respirable. En ese sentido, se pueden generar lesiones humanas por quemaduras, asfixia y cuadros toxicológicos.

De acuerdo con el documento CONPES 3874 Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (DNP, 2016), la composición de residuos que se generan en el país presenta una alta existencia de residuos orgánicos, que al ser llevados y dispuestos en rellenos sanitarios se convierten en una importante fuente de gases de efecto invernadero. Teniendo en cuenta las crecientes proyecciones de generación de residuos, que están asociadas con el aumento demográfico y con el crecimiento económico del país, el sector de residuos sólidos tiene un papel significativo en el escenario de mitigación y adaptación al cambio climático (Lee et al., 2017).

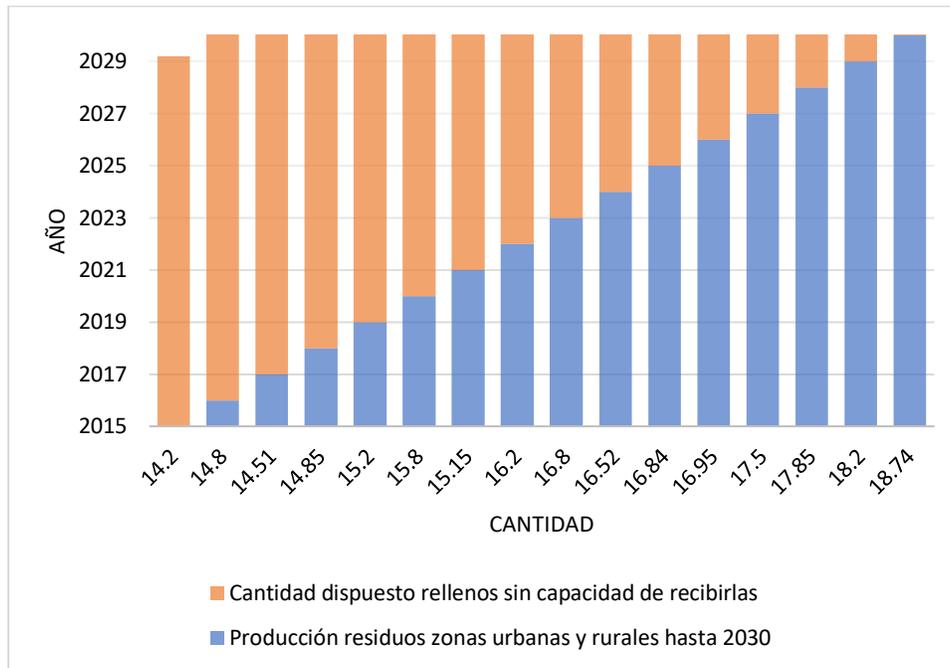
Adicionalmente, en el mismo documento CONPES 3874 (pág. 34) se informa que, considerando la composición y tipificación de la generación de residuos sólidos, en las grandes ciudades del país los residuos orgánicos corresponden, en promedio, al 61.5% de los residuos generados (Figura 2). Dentro de la categoría de residuos orgánicos aparecen con gran importancia los residuos generados por los alimentos en sus diferentes etapas de producción.

Figura 2. Residuos Orgánicos principales ciudades Colombia



Fuente: Elaboración propia a partir de CONPES 3874 (DNP, 2016).

Según cálculos realizados en el Documento CONPES 3819 Política Nacional para consolidar el Sistema de Ciudades en Colombia (DNP, 2014), Colombia tendrá 64 ciudades con más de 100,000 habitantes en 2035. Así mismo, en la situación actual, la tasa anual de generación de residuos en las zonas urbanas y rurales podría alcanzar 18.7 millones de toneladas. El mismo documento registra que 14.2 millones de toneladas anuales de residuos deberán ser dispuestos en rellenos sanitarios que no cuentan con la suficiente capacidad para recibirlos, tal como se observa en la Figura 3.

Figura 3. Generación anual de residuos en Colombia


Fuente: Elaboración propia a partir de CONPES 3874 (DNP, 2014).

Según Superservicios (2016), el país cuenta con 275 sitios de disposición final entre adecuados e inadecuados, siendo los más numerosos los rellenos sanitarios (158 sitios), los botaderos a cielo abierto (54 sitios) y las celdas transitorias (34 sitios). De otro lado, frente a la situación de disposición final a nivel municipal, cabe resaltar que 105 municipios son atendidos por sistemas inadecuados, mientras 915 municipios son atendidos por sistemas adecuados. Es decir, el 89.7% de los municipios utilizan un sistema de disposición final avalado para su operación por la autoridad ambiental. Adicionalmente, en el año 2016 se dispusieron alrededor de 11,301,000 toneladas en todo el territorio nacional, un aproximado de 31,000 toneladas al día fueron llevadas a los 277 sitios de disposición final.

La estimación de la cantidad de residuos sólidos dispuesta por los municipios que no reportaron información arrojó que dichos municipios disponen aproximadamente 175,420 t/año, lo que representa el 1.55% de las toneladas totales anuales para la vigencia 2016. Por lo tanto, el faltante de información de los 81 municipios, no impacta significativamente las toneladas dispuestas a nivel nacional.

Según el CONPES 3874 (DNP, 2016:36), las condiciones de operación de algunos sitios podrían parecerse más a vertederos controlados que a rellenos sanitario, toda vez que presentan deficiencias en su operación y tan solo un porcentaje reducido de dichas instalaciones cuenta con sistemas de tratamiento de lixiviados, primando como proceso generalizado la recirculación. Por otro lado, no cuentan con sistemas de tratamiento de biogás que disminuyan la contaminación y ayuden a mitigar el cambio climático, pese a que el biogás ha sido identificado como una importante fuente de generación de energía (Villanueva-Estrada et al., 2019).

Por lo anterior, el panorama de tratamiento y disposición final, en su etapa de operación, es crítico. Se considera conveniente la elaboración del presente documento, el cual se centra en el reconocimiento de los impactos ambientales negativos reportados por los rellenos sanitarios de Colombia durante la etapa de operación. Este podría actuar como un insumo de apoyo para comprender el contexto de disposición de los residuos, y en lo posible avanzar en la búsqueda de posibles soluciones o estrategias de gestión.

Objetivos

General

Identificar los impactos ambientales documentados durante la fase de operación de rellenos sanitarios en Colombia.

Específicos

- ✓ Identificar los recursos naturales y los aspectos sociales susceptibles de ser impactados por este tipo de proyectos.
- ✓ Identificar las actividades de la etapa de operación de rellenos sanitarios responsables de impactos ambientales.
- ✓ Proponer medidas técnicas para prevenir y corregir los impactos ambientales más significativos.

1. Generalidades

1.1. Rellenos sanitarios

1.1.1. Definición y contexto

El relleno sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo y cubriendo la basura allí depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria al fin de cada jornada (Meléndez, 2004).

Otro concepto nos lo da Pineda en su libro Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos (1998): “es el enterramiento tecnificado de los residuos mediante la implementación de capas sucesivas apisonadas y cubiertas con tierra, la cual también es compactada sobre cada capa; el último material de cobertura tiene un espesor mayor por razones de aislamiento e impermeabilización y posterior acondicionamiento por revegetalización”.

A pesar de las anteriores definiciones, el manejo de los residuos en la mayor parte de los grandes centros urbanos en Colombia está lejos de cumplir las políticas de gestión ambiental formuladas hace más de una década, ya que existe alta generación de residuos, precaria separación de basuras, poco aprovechamiento y tratamiento, así como un manejo inadecuado. A esto se suma que la disposición final se hace sin tener en cuenta asuntos técnicos que pueden generar impactos negativos en el medio ambiente y en la salud, malos olores y propagación de plagas (El Tiempo, 2018).

1.1.2. Tipos de rellenos sanitarios

➤ Relleno sanitario manual: Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen (< 15 t/día), además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado por sus altos costos de operación y mantenimiento. El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutada con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas (OPS, 2007).

- Relleno sanitario mecanizado: es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan > 40 t/d. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, como resultado de la cantidad y tipo de residuo, planificación y especificaciones del sitio, e infraestructura requerida, lo que repercute en los gastos de operación y mantenimiento. Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere maquinaria, como tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquetas, entre otros equipos (OPS, 2007).
- Relleno sanitario semi-mecanizado: Es un nivel intermedio entre los dos tipos anteriores, es decir, para cantidades de residuos entre 16 y 40 t/d. Requiere el uso de maquinaria y apoyo de trabajo manual. El tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este tipo de rellenos (OPS, 2007).

1.1.3. Etapas de los rellenos sanitarios

- Construcción: Una vez realizado el diseño del relleno sanitario, sigue la ejecución del proyecto. De hecho, un buen diseño no es suficiente si no existe la voluntad político-administrativa para destinar los recursos necesarios a fin de que sea ejecutado debidamente. La buena construcción de un relleno sanitario es de vital importancia en comparación con la de otras obras públicas, debido a la duración de su ejecución y al permanente mantenimiento que requiere. Para planificar la construcción y el avance del relleno sanitario es conveniente contar con una serie de planos, a saber: el del diseño del proyecto, el de la planta general de localización de las obras, el de las modificaciones del terreno (configuración inicial del sitio) y el de los detalles de las obras de infraestructura. También se requieren los de la planta y los perfiles de las zanjas o terraplenes, que indican la forma de excavación de las primeras y la configuración del relleno de las segundas; estos permitirán orientar las configuraciones parcial y final de la obra. Todos estos planos indican la forma de programar el frente de trabajo y su avance, calculando los volúmenes ocupados y las alturas de acuerdo con el diseño (Jaramillo, 2002).
- Operación: Incluye el cubrimiento diario de los residuos y la cobertura final del relleno sanitario con tierra. Para Jaramillo (2002), esta etapa es de vital importancia para el éxito de esta obra y debe incluir lo siguiente:

- Minimizar la presencia y proliferación de moscas y aves.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humos.
- Reducir malos olores.
- Disminuir la entrada de agua de lluvia a la basura.
- Orientar los gases hacia los drenajes para evacuarlos del relleno sanitario.
- Darle al relleno sanitario una apariencia estética aceptable.
- Servir como base para las vías de acceso internas y permitir el crecimiento de vegetación.

Según Jaramillo (2002), los siguientes son los pasos para la conformación de las primeras celdas diarias:

- Señalar en el terreno el área que ocupará la primera celda con la basura del día, de acuerdo con las dimensiones estimadas que se basan en el volumen de ingreso esperado y en el grado de compactación que se obtendrá.
- Descargar la basura en el frente de trabajo, a fin de mantener una sola y estrecha área descubierta durante la jornada y evitar el acarreo a grandes distancias.
- Esparcir la basura en capas delgadas de 0.2 a 0.3 metros y compactarla manualmente hasta obtener una altura de celda que mida entre 1.0 y 1.5 metros, procurando una pendiente suave en los taludes exteriores (por cada metro vertical se avanza horizontalmente 2 o 3 metros).
- Cubrir por completo la basura compactada con una capa de tierra de 0.10 a 0.15 metros de espesor cuando la celda haya alcanzado la altura máxima.
- Compactar la celda hasta obtener una superficie uniforme al final de la jornada. Una vez completada la primera celda, la segunda podrá ser construida de inmediato al lado o sobre la primera, siguiendo siempre el plan de construcción del relleno sanitario.

En los periodos secos se recomienda que los vehículos transiten por encima de las celdas terminadas para darles una mayor compactación.

En época de lluvias se pueden presentar problemas de operación en actividades relacionadas con el transporte de material, extracción y manipulación de cobertura, y mayor nivel de lixiviación, por lo tanto, se considera pertinente seguir las siguientes acciones (OPS, 2007):

- Cubrir total o parcialmente la superficie del relleno sanitario, prevalece el área de disposición actual.
- Reservar algunas áreas en los lugares menos afectados por las lluvias, con accesos conservados para poder operar en las peores condiciones.
- Construir una vía o camino artificial empleando troncos de madera o pequeños residuos de la construcción (escombros).
- Programar el movimiento de tierra para los periodos secos, tanto para la extracción del material de cobertura como para la apertura de trincheras, dejando para la época de lluvias solo el enterramiento de la basura.
- A manera de rutina, se debe cubrir las celdas con material plástico a fin de impedir que el agua de las lluvias se infiltre a través de la basura.

Para el caso colombiano, el decreto 0838 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT, 2005) dicta lineamientos a cerca del área del relleno sanitario, sus especificaciones y compatibilidad entre la vida útil del relleno y la producción proyectada de residuos sólidos.

➤ **Clausura:** Esta etapa busca construir una separación física entre los residuos y la atmósfera, de manera que los impactos ambientales de estos estén controlados. Esto incluye la cobertura final del vaso con o sin impermeabilización y la conexión de todas las chimeneas de biogás con un colector final. La impermeabilización de la capa final evitará emisiones difusas de biogás. La clausura debe contar con una capa de drenaje de gases, una capa impermeable que suele ser mediante lámina impermeable o arcilla y una capa de drenaje del agua de lluvia. Para integrar visual y ambientalmente, se aplica una capa de tierra vegetal (Altabella et al., 2013).

1.2. Impactos ambientales

1.2.1. Definición de impacto ambiental

Hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales. Hay que hacer constar que el término impacto no implica negatividad ya que éstos pueden ser tanto positivos como negativos. El impacto de un proyecto sobre el medio ambiente es la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro modificado, tal y como se manifestaría como consecuencia de la realización del proyecto, y la situación del medio ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación, es decir, la alteración neta positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano (Zúñiga, 2009).

1.2.2. Tipos de impactos ambientales

Existen diferentes tipos de impacto ambiental y en la práctica un mismo impacto puede ser catalogado en diferentes clases o categorías. Se pueden clasificar por variación de la calidad ambiental, por el grado de destrucción, por la extensión, por el momento de manifestarse, por su persistencia, por su capacidad de recuperación, por la relación causa - efecto, por la interrelación de acciones, por su periodicidad y por la necesidad de aplicación de medidas correctoras (Zúñiga, 2009). Así mismo se tendrán en cuenta por intensidad los impactos muy alto, alto, medio y bajo y, por su capacidad de recuperación, los impactos reversible, irreversible, recuperable, mitigable e irrecuperable. En la Tabla 2 se evidencia un pequeño resumen de la categorización de los impactos.

1.2.3. Metodologías de evaluación de impacto ambiental

El estudio de Impacto Ambiental (EIA) es un proceso técnico - administrativo utilizado para evaluar los impactos ambientales de proyectos, obras o actividades del Plan de Operativo Anual (POA) e informar a la comunidad de manera previa, de modo que ésta pueda intervenir en la toma de decisiones. En ese sentido, EIA puede considerarse una herramienta de

prevención y control en el contexto del sistema nacional ambiental de Colombia (Toro et al., 2010).

Tabla 2. Categorización de los impactos

Categoría	Ejemplos
Altamente significativos: corresponden a las afecciones de elevada incidencia sobre el factor ambiental, difícil de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de la capa vegetal. Comprende el levantamiento de la capa vegetal, a fin de permitir el replanteo y construcción de las celdas. - Movimiento de tierras. Comprende todo el trabajo de remoción y excavación de tierras para la construcción de las celdas y vías de acceso.
Significativos: cuyo valor del impacto es menor pero cuyas características son factibles de corrección, de extensión local y duración temporal.	<ul style="list-style-type: none"> - Acopio de material de cobertura: Consiste en el almacenamiento del material de cobertura requerido para cubrir posteriormente los residuos.
Despreciables: con valor del impacto menor, pertenecen a esta categoría los impactos capaces plenamente de corrección y por ende compensados durante la ejecución del Plan de Manejo Ambiental. Son reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual.	<ul style="list-style-type: none"> - Generación y tratamiento de lixiviados: Consiste en el proceso de recolección, almacenamiento y tratamiento de los líquidos lixiviados producidos en el relleno sanitario. - Generación de gases: Se refiere a la recolección y ventilación de los gases producidos por la descomposición de los desechos.
Benéficos: de carácter positivo que son benéficos para el proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> - Pantalla protectora del perímetro: Se refiere a la plantación de especies de árboles en todo el perímetro, las mismas que tienen la función de evitar las acciones que el viento acarrea sobre los desechos y sus subproductos (gases y malos olores).

Fuente: Elaboración propia a partir de UNAN, 2004.

La elección y el uso del método de evaluación de impactos, es el principal factor determinante de la eficiencia del proceso EIA y de la correcta escogencia de las acciones correctivas (Toro et al., 2010, 2012). El contenido del EIA para cada POA que requiere EIA, está definido en instrucciones oficiales estandarizadas denominadas Términos de Referencia (TR), y la forma de presentación (resolución 1503) debe hacerse de acuerdo con la metodología general para la presentación de estudios ambientales, que entró en vigor mediante la anterior resolución (MAVDT, 2010).

A grandes rasgos, las principales metodologías de evaluación de impactos se enlistan a continuación (García, 2004):

- Listas de chequeo
- Matriz de Leopold

- Sistema de evaluación ambiental Batelle-Columbus
- Método de transparencias (Mc Harg)
- Análisis costes-beneficios
- Modelos de simulación
- Sistemas basados en un soporte informatizado del territorio

A continuación, se detallan algunos de estos métodos:

- Listas de chequeo: la fase de identificación de impactos es muy importante porque una vez se conozcan los efectos se pueden valorar las consecuencias. Para evitar omitir algún aspecto importante, es necesario elaborar una lista de control lo más amplia posible, tanto de factores ambientales como de actividades del proyecto. La principal función de esta lista es de servir en las primeras etapas para identificar los impactos ambientales, su contenido cambia según el tipo de proyecto y el medio de actuación. Existen dos tipos de componentes a conocer, unos ambientales en los que se incluyen elementos de naturaleza física, biológica y humana y otros que serían los componentes del proyecto en el que se incluyen las actuaciones realizadas en las etapas de preconstrucción, construcción y explotación.
- Método matriz de Leopold: desarrollado por el Servicio Geológico del Departamento del Interior de Estados Unidos, inicialmente fue diseñado para evaluar los impactos asociados con proyectos mineros y posteriormente ha resultado útil en proyectos de construcción de obras. Se desarrolla una matriz al objeto de establecer relaciones causa-efecto de acuerdo con las características particulares de cada proyecto, a partir de dos listas de chequeo que contienen 100 posibles acciones proyectadas y 88 factores ambientales susceptibles de verse modificados por el proyecto.

Realmente, no es un sistema de evaluación ambiental, es esencialmente un método de identificación y puede ser usado como un método de resumen para la comunicación de resultados.

Para la utilización de la Matriz de Leopold, el primer paso consiste en la identificación de las interacciones existentes, para lo cual, se deben de tomar en

cuenta todas las actividades que pueden tener lugar debido al proyecto. Se recomienda operar con una matriz reducida, excluyendo las filas y las columnas que no tienen relación con el proyecto. Posteriormente y para cada acción, se consideran todos los factores ambientales que puedan ser afectados significativamente, trazando una diagonal en las cuadrículas donde se interceptan con la acción.

- Método Battelle-Columbus: fue elaborado para la planificación y gestión de recursos hídricos en Estados Unidos. Al aplicarlo a otros proyectos, sirve la metodología, pero hay que revisar los valores asignados a los índices ponderales e incluso modificar sus componentes.

Se puede usar con dos fines: medir el impacto ambiental sobre el medio de diferentes proyectos de uso de recurso hídrico (análisis de proyectos, escala micro), y planificar a medio y largo plazo proyectos con un mínimo impacto ambiental posible (evaluación ambiental estratégica de planes y programas, escala macro).

Se basa en una lista de *indicadores de impacto*, con 78 *parámetros o factores ambientales*, que representan una unidad o un aspecto del medio ambiente que merece considerarse por separado y cuya evaluación es representativa del impacto ambiental derivado de las acciones o proyectos.

- Método de transparencias: método propuesto por Mc Harg en 1969. Se ha utilizado para evaluar proyectos como el trazado de una autopista, carretera, ferrocarril, líneas eléctricas de alta tensión, oleoductos y gasoductos, aeropuertos, canales y algunos otros enfocados a la localización de usos en el territorio, para distintas actividades sociales y económicas. Se utiliza porque tiene en cuenta las características del territorio, sin llegar a una evaluación profunda de los impactos, pero haciendo una identificación e inventariado de los recursos para la integración del proyecto al entorno, de la forma más armoniosa posible, dejando íntegras las zonas de gran valor social, con el costo mínimo y la obtención de plusvalía.

El procedimiento comienza en la elaboración de un inventario, que se representa en mapas con los siguientes factores de forma aislada: clima, geología, fisiografía, hidrología, suelos, flora, fauna y uso actual del suelo. En el inventario se tiene en cuenta la causalidad de los factores citados, que considera como indicadores de los

procesos naturales, requiriéndose así la comprensión de la naturaleza como un proceso. El clima y la geología hacen posible interpretar la fisiografía que, a su vez, determina la hidrología y todo ello permite comprender la formación del recurso suelo. La distribución de la vegetación es el resultado de la interacción entre los factores citados, y la fauna está íntimamente ligada a ella. Por último, los usos del suelo, al menos hasta épocas recientes, han estado estrechamente relacionados con las características del medio.

1.3. Marco normativo

Otro aspecto que quien va a diseñar un relleno sanitario no debe pasar por alto es la consulta de las normas vigentes, tanto para el diseño y la construcción del relleno y de las obras de infraestructura como para tener en cuenta las obligaciones con la autoridad ambiental en relación con las condiciones y restricciones que debe tener el proyecto a fin de evitar o mitigar posibles efectos negativos debidos a la construcción y operación de la obra. Hay que advertir, no obstante, que en estos casos las autoridades locales, ambientales y de salud deben tener presente que se trata o no de un pequeño proyecto de saneamiento y no de una obra de gran envergadura destinada a una ciudad. En la Región viene ocurriendo que los funcionarios de estas dependencias de vigilancia y control —los cuales ignoran o no tienen en cuenta las enormes diferencias entre ambos tipos de proyectos— se limitan a entregar al consultor o al técnico encargado de los estudios y diseños los mismos términos de referencia que ya tienen preparados para los rellenos sanitarios de los grandes conglomerados urbanos. Con esto, simplemente se paraliza la ejecución del relleno sanitario manual por ejemplo debido a la falta de recursos e incluso de información. En la Tabla 3 se relaciona la normativa vigente para residuos sólidos en Colombia.

Tabla 3. Normativa residuos sólidos Colombia

Antecedentes jurídicos	
<i>Norma</i>	<i>Aplicación</i>
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional
Decreto-Ley 2811 de 1974	Código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente
Constitución Política de Colombia (1991)	Derechos Fundamentales (Art. 25), Derechos colectivos y del Ambiente (Art.79 Y 80)
<i>Políticas y Documentos CONPES</i>	

Política para la Gestión Integral de Residuos. 1998.	
Política Nacional de Producción Más Limpia, Ministerio de Medio Ambiente, 1998.	
Política de Gestión Ambiental Urbana. 2008.	
Política Nacional de Producción y Consumo. 2010.	
CONPES 3031	Plan para el sector de agua potable y saneamiento básico.
CONPES 3530	Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos.
Residuos sólidos – generales	
Resolución 1045 de 2003 MVCT	Esta resolución adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS. Se encuentra en proceso de actualización como parte del Decreto 2981 de 2013.
Decreto 2981 de 2013 El cual deroga los Decretos 1713 de 2002, 1140 de 2003 y 1505 de 2003 y el Capítulo I del Título IV del Decreto 605 de 1996	Establece el Programa para la Prestación del Servicio de Aseo y ajusta las actividades del servicio público de aseo en (1) la Recolección, (2) el Transporte, (3) el Barrido, limpieza de vías y áreas públicas, (4) Corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas, (5) Transferencia, (6) Tratamiento, (7) Aprovechamiento, (8) Disposición final, y (9) Lavado de áreas públicas.
Disposición final de residuos sólidos	
Decreto 838 de 2005	Establece los procedimientos para la planeación, construcción y operación de los sistemas de disposición final de residuos, con tecnología de relleno sanitario, como actividad complementaria del servicio público de aseo. Estableció la relación con el ordenamiento territorial para definir las áreas factibles para la ubicación de rellenos sanitarios, los criterios, metodología y restricciones específicos para identificar y evaluar dichas áreas; así como determina los instrumentos de control y monitoreo técnicos para la operación de los rellenos sanitarios.
Resolución 1390 del 2005. Resoluciones 1684 de 2008, 1822 de 2009, 1529 de 2010. Resolución 1890 de 2011	Establece directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios y se fortalecen medidas de control sobre formas no adecuadas de disposición final.
Decreto 2436 de 2008	Promueve la regionalización de los rellenos sanitarios y determino que las autoridades ambientales, las personas prestadoras del servicio público de aseo y de la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos o las entidades territoriales, según el caso, no podrán imponer restricciones injustificadas para el acceso a los rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia de residuos sólidos.
Resolución 754 de 2014	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 (PGIRS).

Fuente: Elaboración propia a partir de Villarreal, 2015.

2. Descripción del área de estudio

2.1 Características generales de Colombia

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en Colombia se registran 45.5 millones de personas, impactando de manera directa en el hábito de consumo, cantidad y calidad de los residuos generados, y en la posibilidad de reutilización y reciclaje (Dinero, 2018).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el clima de Colombia, que ofrece la ventaja de contar con todos los pisos térmicos, desde el cálido hasta el glacial. El cálido que está presente hasta los 1,000 msnm en el 80% del país, su promedio de temperatura supera los 24 °C. Templado/medio que va desde los 1,000 a los 2,000 msnm y la temperatura oscila entre 17 °C y 24 °C, hacen parte del 10% del país. Frío, este clima tiene una temperatura promedio entre 12 °C y 17 °C, es característico de zonas altas de montaña que van de los 2,000 a los 3,000 msnm. Páramo ubicadas entre los 3,000 y 4,000 msnm. Este clima, cuya temperatura promedio varía entre 6 °C y 12 °C, es típico de partes superiores de las montañas, donde hay vientos helados, lluvias escasas y nevadas frecuentes, y hace parte del 2% del territorio de Colombia que tiene este tipo de climas.

2.2 Generación de residuos sólidos en Colombia

Para proceder a valorar técnicamente la producción de RSU de un país, se empieza por determinar parámetros indispensables: la cantidad de RSU que produce y su composición (Medina y Jiménez, 2001). Para ello es importante tener en cuenta que la generación per cápita (PPC) de RSU “es un parámetro que se obtiene con base en el promedio de generación de los RSU por habitante, expresado en kg/hab/día, de cada uno de los estratos socioeconómicos y por la fuente generadora” (Medina y Jiménez, 2001) (Tabla 4).

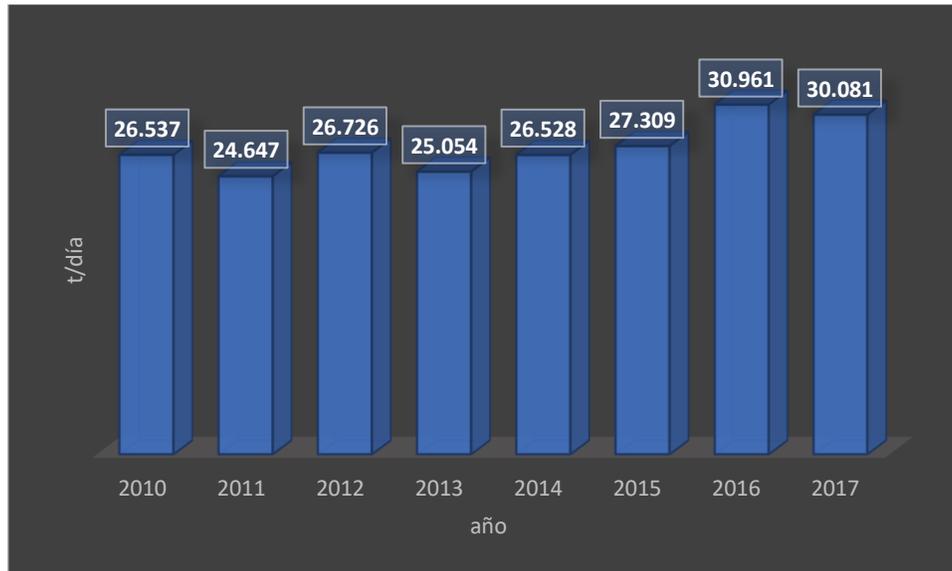
Tabla 4. Valores característicos de PPC según estrato en Colombia

Estrato	1-2	3-4	5-6
PPC (kg/[habitante*día])	0.40	0.60	1.10

Fuente: Elaboración propia a partir de Zafra (2009).

Según informe de Superservicios (2017), se tiene que en Colombia se dispuso alrededor de 30,081 t/día de RSU. En la Figura 4 se muestra el promedio diario de residuos sólidos dispuestos en los últimos ocho años.

Figura 4. Cantidad diaria de residuos dispuestos en Colombia



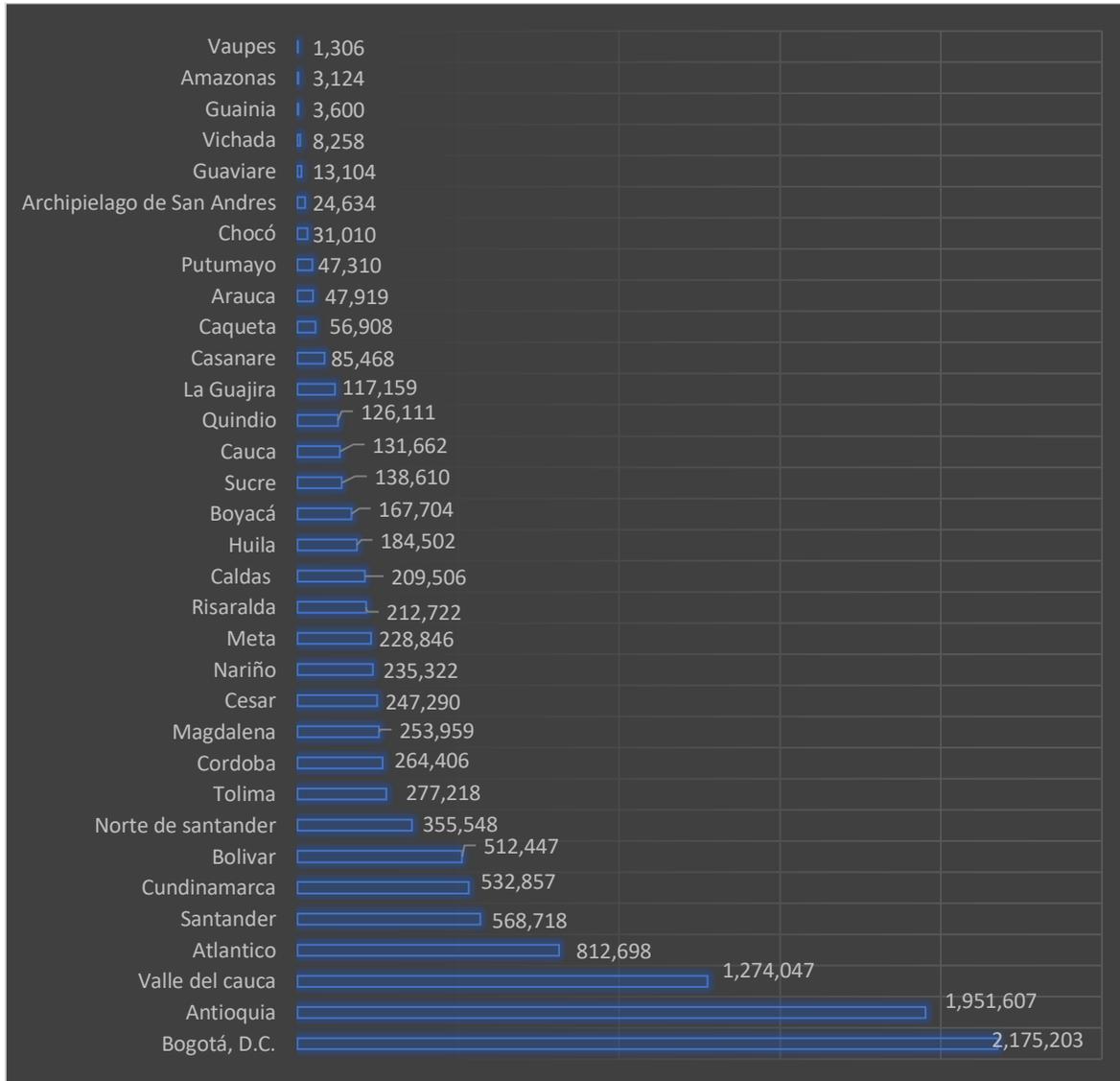
Fuente: Elaboración propia a partir de Superservicios (2017).

De acuerdo con los datos anteriores, se puede evidenciar una tendencia creciente en el país con algunas variaciones temporales. La tendencia irregular de la disposición de residuos sólidos en Colombia puede obedecer a diferentes factores, tales como:

- Metodologías utilizadas en los informes sectoriales de los años anteriores que se basaban en las proyecciones de datos donde no existía reporte de información.
- Las mejoras en los procesos de medición por parte de los prestadores en los sitios de disposición final.
- El porcentaje de información reportada al Sistema Único de Información (SUI), por parte de los prestadores de servicios públicos.
- Las mejoras en la separación en la fuente incentivadas por las políticas públicas implementadas y el aumento de prestadores públicos de la actividad de aprovechamiento en varios municipios del país.

Al analizar la distribución departamental de la disposición final en Colombia, según cifras (Superservicios, 2016), se encuentra que el 55% de las toneladas de residuos dispuestas en Colombia se concentran en: Bogotá, D.C. (2,175,203 t/año, 19.3%), Antioquia (1,951,607 t/año, 17.3%), Valle del Cauca (1,274,047 t/año, 11.3%) y Atlántico (812,698 t/año, 7.2%) (Figura 5).

Figura 5. Distribución de residuos depositados en Colombia por departamento

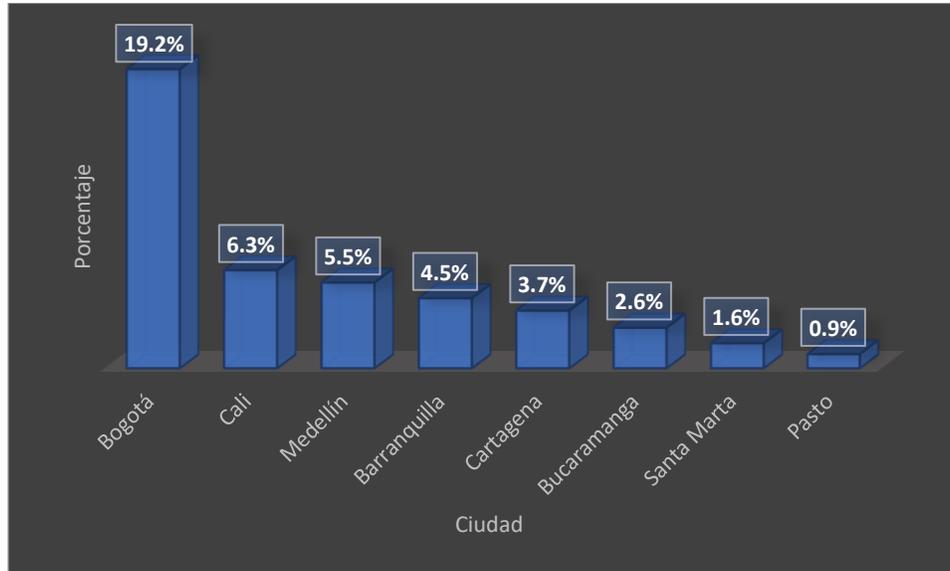


Fuente: Elaboración a partir de Superservicios (2016).

En las principales ciudades del país se dispone el 44.5% de los residuos sólidos a nivel nacional, siendo Bogotá, D.C. la que más RSU dispone y Pasto la que menos. En la Figura 6

se puede observar las principales ciudades que disponen RSU, incluyendo en orden descendente a: Bogotá (2,175,203 t/año, 19.2%) > Cali (713,844 t/año, 6.3%) > Medellín (625,257 t/año, 5.5%) > Barranquilla (513,613 t/año, 4.5%) > Cartagena de Indias (419,272 t/año, 3.7%) > Bucaramanga (290,692 t/año, 2.6%) > Santa Marta (180,082 t/año, 1.6%) > San Juan de Pasto (107,280 t/año, 0.9%).

Figura 6. Porcentaje de disposición de residuos en las principales ciudades del país



Fuente: Elaboración propia a partir de Superservicios (2016).

La composición general de los residuos sólidos de las tres principales ciudades del país se identifica teniendo en cuenta su naturaleza orgánica e inorgánica de estos (Tabla 5).

El informe DANE (2018) evidencia los siguientes valores en cuanto a generación de residuos sólidos por tipo económico como se evidencia en la Tabla 6.

La misma fuente indica que para el año 2016, la generación de residuos sólidos ascendió a 19.9 millones de toneladas, presentando un incremento de 2.1% con respecto al año anterior (DANE, 2018). Los residuos de mayor contribución fueron los residuos mixtos y comerciales con 4.5 puntos porcentuales, seguidos de los residuos metálicos con 0.1 puntos porcentuales, información que se evidencia en la Tabla 7.

Tabla 5. Porcentaje composición general de residuos sólidos

COMPONENTES	Bogotá	Cali	Medellín
Orgánicos (%)			
Residuos de comida	64	82	59
Papel y cartón	8.2	7.9	12
Plásticos y caucho	19	2.6	11
Textiles	4.0	0.8	1.9
Cuero	0.3	--	0.3
Madera	0.6	1.4	--
Inorgánicos (%)			
Vidrio	1.0	1.6	2.7
Metales	0.8	0.1	1.3
Suciedad, cenizas	2.1	3.2	3.0

Fuente: Elaboración propia a partir de Zafra (2009).

Tabla 6. Generación de residuos sólidos según origen comercial o residencial

Generación de residuos sólidos y productos residuales	Toneladas		Variación anual	Contribución a
	2015	2016	2016/2015 (%)	variación anual (pp)
Residuos generados por actividades económicas	11,703,590	11,514,414	1.6	0.9
Residuos generados por consumo final en los hogares	9,574,086	10,419,015	8.8	4.0
Oferta total de residuos y productos residuales	21,277,677	21,933,429	3.1	3.1

Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (2018). pp: cifra provisional

Tabla 7. Informe generación de residuos por tipo de residuo

Generación de residuos	Toneladas		Variación anual (%)
	2015	2016	2016/2015
Químicos sanitarios	356,219	240,044	33
Radiactivos	--	--	--
Metálicos	54,951	72,635	32
No metálicos reciclables	238,805	150,542	37
Vehículos y equipos descartados	4,145	11,909	187
Animales y vegetales	7,652,557	7,549,093	1.4
Mixtos y comerciales	10,426,048	11,301,819	8.4
Minerales y tierra	12,951	11,196	14
De la combustión	156	147	5.7
Otros residuos	752,019	564,256	25
Oferta total de residuos	19,497,852	19,901,642	2.1

Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (2018).

Por último, la generación de productos residuales ascendió a 2 millones de toneladas, presentando un incremento del 14% con respecto al anterior año. Los productos residuales que más contribuyeron a la variación fueron los residuos no metálicos reciclables con 12%, metálicos (6%) y los residuos animales y vegetales (5.6%) (Tabla 8).

Tabla 8. Generación de productos residuales

Generación de residuos	Variación anual 2016/2015 (%)	Contribución a variación anual (pp)
Químicos sanitarios	73	--
Radiactivos	--	--
Metálicos	25	6,4
No metálicos reciclables	58	12
Vehículos y equipos descartados	100	1,1
Animales y vegetales	12	5,6
Mixtos y comerciales	--	--
Minerales y tierra	--	--
De la combustión	--	--
Otros residuos	71	4,1
Oferta total de residuos	14	14

Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (2018). pp: cifra provisional

Los datos de la Superservicios también permiten interpretar que dicho aumento en el volumen de los RSU se debe a las acciones de control para el registro de la información en lo relacionado con los municipios, pero las estadísticas fluctúan en un margen de error amplio como consecuencia de la falta de concordancia entre las distintas metodologías que se siguen para la obtención de los resultados.

3. Principales rellenos sanitarios de Colombia

En América Latina la gestión territorial se ha realizado en las últimas siete décadas mediante políticas de desarrollo regional, ordenamiento territorial, descentralización y desarrollo territorial, siendo la más predominante la planificación territorial mediante el uso de instrumentos tales como los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) (Massiris, 2012).

El sistema de disposición final más utilizado en el mundo entero es el relleno sanitario, pero el primer efecto medioambiental negativo es la generación de lixiviados. En nuestro país, como en el resto de la región, los gobiernos locales presentan una débil gestión ambiental, debido a las precarias herramientas institucionales que tienen para adelantar acciones concretas. Mejorar la capacidad que tiene un municipio “medio” para poder formular e instrumentar una política ambiental implica desafíos en lo político, técnico, económico y administrativo.

En Colombia, las políticas ambientales, se consideran, como un conjunto de reglas establecidas para abordar las interacciones entre la sociedad civil, la empresa privada y el estado en relación con el uso, conservación y restauración del medio ambiente. Sus objetivos se orientan a prever o mitigar los impactos sobre los recursos naturales y asegurar su conservación, con el precepto del mantenimiento de estos para el futuro y asegurar su uso en las generaciones venideras (Villarreal, 2015).

La ubicación de los rellenos sanitarios debe ser el resultado de un ejercicio de gestión territorial (Massiris, 2015). Por tanto, es función de los POT analizar la aptitud de los territorios para albergar estas infraestructuras, no solo desde la perspectiva física, sino desde una visión integral. La gestión territorial se refiere al proceso de control, manejo y poder de decisión sobre el uso de los recursos presentes en un determinado espacio, por parte de los agentes que inciden sobre él. De igual manera, es también la posibilidad de enfrentar los conflictos derivados a partir de las diferentes visiones que se tienen de un territorio (Massiris, 2015).

En Colombia, el marco normativo para la gestión territorial incluye temas de organización y funcionamiento, la distribución de competencias y recursos, la planeación y el ordenamiento territorial, así como temas presupuestales y de responsabilidad fiscal (DNP, 2016). La planificación ambiental apareció en los años noventa, el tema de localización de los rellenos sanitarios no era un tema prioritario para el país, en especial porque Doña Juana, el principal relleno en ese entonces, solo aparece en el escenario nacional a finales de la década de los años ochenta, y su ubicación obedeció particularmente a intereses privados y a una planificación de índole económica. Precisamente, respecto al medioambiente, la constitución política establece que es responsabilidad tanto de los agentes públicos como de los privados su preservación. Sin embargo, son las autoridades las que hacen posible mediante el ejercicio de sus competencias (tales como la planificación del territorio), la coexistencia de los intereses que una y otra parte representan (Rincón, 2012).

De acuerdo con Superservicios (2017), los siguientes son los rellenos sanitarios que atienden a las principales ciudades de Colombia.

3.1 Relleno sanitario Doña Juana

Departamento: Cundinamarca.

Ubicación: Bogotá D.C.

Operador: Centro de Gerenciamiento de Residuos Doña Juana S.A. E.S.P.

Municipios atendidos: Bogotá D.C., Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fosca, Gutiérrez, Ubaque, Une.

Toneladas mensuales: 188,384.

Inicio de actividades: El aumento de la población, el desarrollo de la industria y la tecnología en Bogotá y su consolidación como ciudad capital, trajo consigo una mayor generación de RSU que ha originado grandes problemas ambientales, por lo cual fue necesario en la década de los 80, identificar una alternativa viable para su disposición final. Después de estudios sobre la ubicación y diseño de un relleno sanitario que contrató la Corporación Autónoma

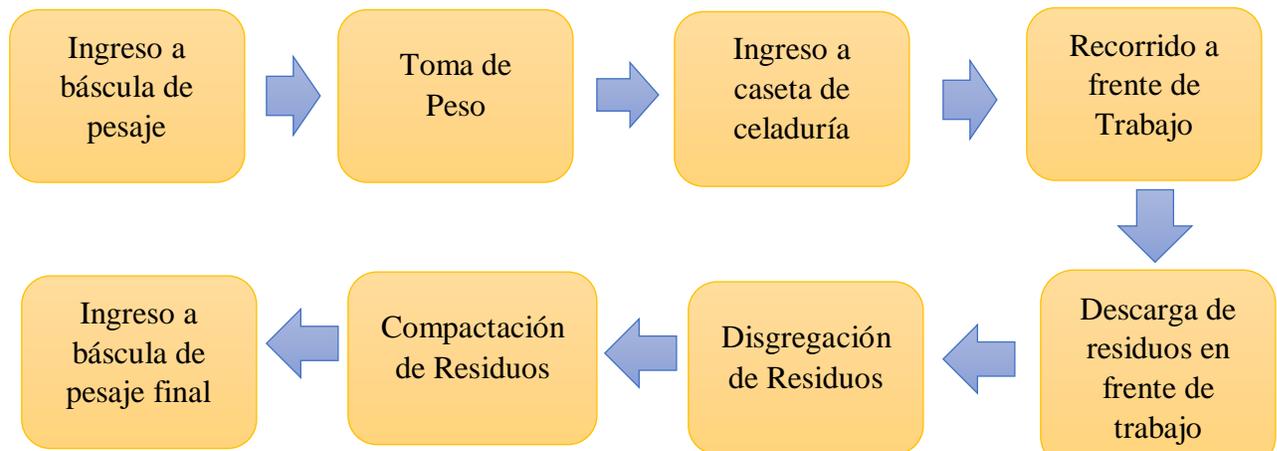
Regional de Cundinamarca, el 01 de noviembre de 1988 se inició la operación del relleno sanitario, en celdas con cubrimiento diario, manejo de los gases por medio de chimeneas y recolección de los lixiviados, siendo este el factor más preocupante en el funcionamiento, porque la planta de tratamiento no se construyó desde un comienzo (Coronado et al., 2011).

Vida útil: 31/03/2022.

Proceso Operacional: Actualmente están en funcionamiento dos áreas en el relleno, la zona VIII y la fase de optimización I. Es importante anotar que, para la operación de la zona de optimización, se utilizaron los mismos procesos constructivos, procedimiento operativo y controles establecidos en la licencia ambiental de la zona VIII. El manejo de gases y el tipo de operación son iguales en las dos áreas (Bucheli y Vera, 2014).

A continuación, se muestra en la Figura 7 el esquema de operación del relleno.

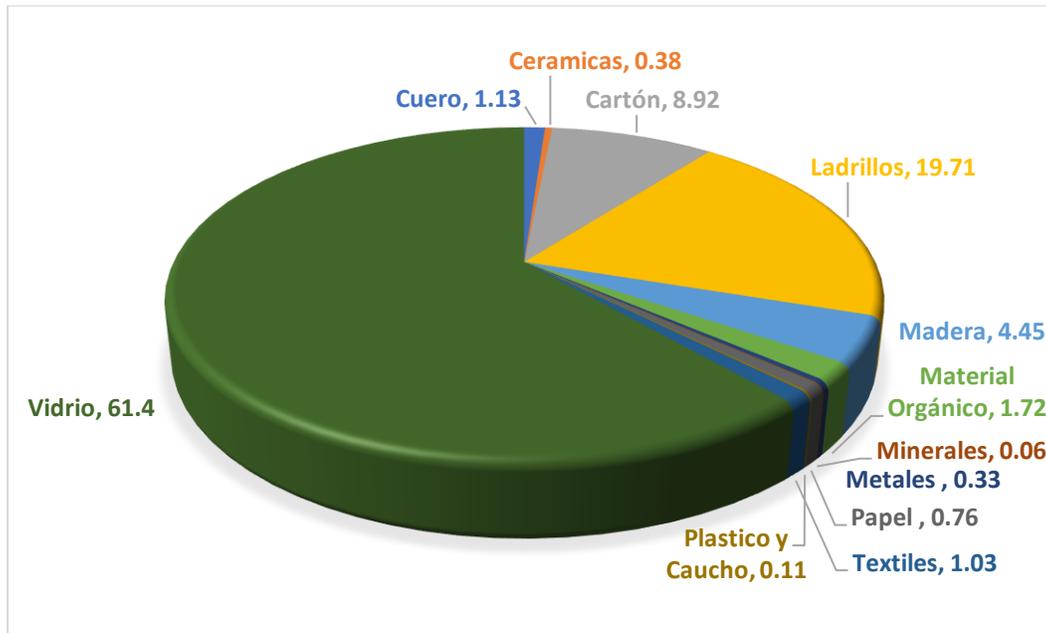
Figura 7. Proceso Operacional relleno sanitario Doña Juana



Fuente: Elaboración propia a partir Bucheli y Vera (2014).

Tipo de residuos recibidos: Residuos sólidos urbanos. Importante anotar que el operador del relleno realiza un monitoreo de residuos mensualmente, en el frente de disposición, usando el método de cuarteo, cuando se escogen al azar, cuatro vehículos recolectores, se mezcla su contenido y de ahí se extraen cinco bolsas para hacer el análisis fisicoquímico y la caracterización de los RSU, que arroja los resultados que se muestran en la Figura 8.

Figura 8. Resultados de monitoreo de residuos sólidos del relleno sanitario Doña Juana



Fuente: Elaboración propia a partir de Coronado et al. (2011).

3.2 Relleno sanitario Regional Presidente

Departamento: Valle del Cauca.

Ubicación: San Pedro.

Operador: Es manejado por el Grupo Proactiva y dentro de este por la empresa Bugueña de Aseo S.A. E.S.P.

Municipios atendidos: Villa Rica, Andalucía, Bolívar, Bugalagrande, Cali, Calima, Candelaria, Cartago, El Cerrito, Ginebra, Guacarí, Guadalajara de Buga, La Unión, La Victoria, Palmira, Pradera, Riofrío, Roldanillo, San Pedro, Trujillo, Tuluá, Vijes, Yotoco, Yumbo, Zarzal.

Toneladas mensuales: 223,413.

Inicio de actividades: El relleno empezó actividades en el año 1997 (Quinchoa, 2011).

Tipo de residuos recibidos: Residuos sólidos domiciliarios e industriales no peligrosos.

Vida útil: 28/01/2046

3.3 Relleno sanitario la Pradera

Departamento: Antioquia.

Ubicación: Don Matías.

Operador: Empresas Varias de Medellín S.A. E.S. P. - EMVARIAS

Municipios atendidos: Barbosa, Bello, Betulia, Buritica, Cisneros, Copacabana, Ebéjico, Entrerriós, Envigado, Fredonia, Girardota, Gómez Plata, Guarne, Itaguí, Jerico, La Estrella, Medellín, Pueblorrico, Retiro, Rio.

Toneladas mensuales: 79,469.3

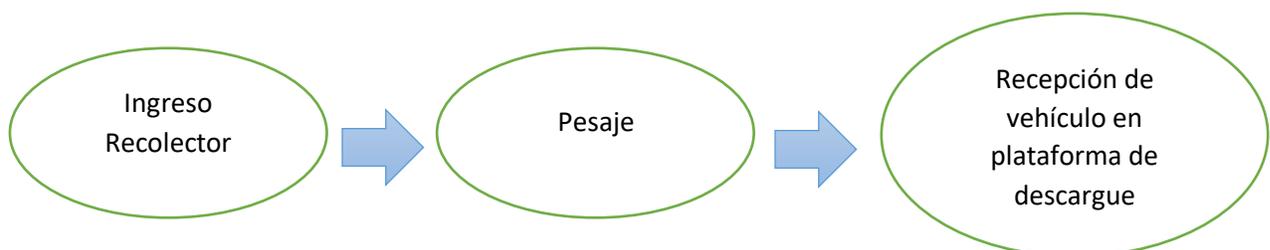
Inicio de actividades: La Pradera inicio su operación en 2003, durante estos años ya se han utilizado los vasos Carrilera y Música y actualmente los desechos llegan al vaso Altaír, al cual le quedan 5 años de vida útil debido a su capacidad. Esto ha hecho que EMVARIAS comience a tomar acciones para poder usar este relleno por varios años más.

Tipo de residuos recibidos: residuos sólidos urbanos provenientes de actividades comerciales, domésticas y agropecuarias.

Vida útil: 12/09/2027.

En la Figura 9 se presenta un esquema a manera de resumen de la operación para la disposición de residuos.

Figura 9. Proceso operacional relleno sanitario La Pradera



3.4 Relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos

Departamento: Atlántico.

Ubicación: Galapa.

Operador: Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P.

Municipios atendidos: Barranquilla, Galapa, Puerto Colombia, Sabanalarga.

Toneladas mensuales: 47,432.

Inicio de actividades: La empresa Triple A implementó un nuevo relleno sanitario que inició operación el 2 de marzo de 2009 (Ramírez, 2009).

Tipo de residuos recibidos: en la Tabla 9 se muestra una proyección a 30 años de los residuos sólidos que recibiría el relleno sanitario.

Vida útil: 01/05/2039.

Tabla 9. Proyección de recepción del relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos

Año	Población (hab)	PPC (kg/hab/día)	Generación de residuos (t)		Residuos Compactados + capa de cobertura (m ³)	
			Anual	Acumulada	Anual	Acumulada
2006	1,925,149	0,80	562,144	562,144	579,529	579,529
2007	1,966,709	0,80	574,279	1,136,423	592,04	1,171,570
2008	2,008,874	0,80	586,591	1,723,014	604,733	1,776,303
2009	2,051,643	0,80	599,08	2,322,093	617,608	2,393,911
2010	2,095,018	0,80	611,745	2,933,839	630,665	3,024,576
2011	2,138,998	0,80	624,587	3,558,426	643,905	3,668,481
2012	2,183,582	0,80	637,606	4,196,032	657,326	4,325,806
2013	2,228,770	0,80	650,801	4,846,833	670,929	4,996,735
2014	2,274,559	0,80	664,171	5,511,004	684,713	5,681,448
2015	2,320,949	0,80	677,717	6,188,721	698,678	6,380,125
2016	2,367,938	0,80	691,438	6,880,159	712,823	7,820,095
2017	2,415,524	0,80	705,333	7,585,492	727,147	7,820,095
2018	2,463,703	0,80	719,401	8,304,894	741,651	8,561,746
2019	2,512,473	0,80	733,642	9,038,536	756,332	9,318,078
2020	2,561,832	0,80	748,055	9,786,591	771,191	10,875,493
2021	2,611,774	0,80	762,638	10,549,229	786,225	10,875,493
2022	2,662,297	0,80	777,391	11,326,620	801,434	11,676,927
2023	2,713,397	0,80	792,312	12,118,931	816,816	12,493,744
2024	2,765,067	0,80	807,400	12,926,331	832,371	13,326,114
2025	2,817,304	0,80	822,653	13,748,984	848,096	14,174,210
2026	2,870,102	0,80	838,070	14,587,054	863,99	15,038,200
2027	2,923,455	0,80	853,649	15,440,703	880,05	15,918,250
2028	2,977,358	0,80	869,388	16,310,091	896,277	16,814,527
2029	3,031,802	0,80	885,286	17,195,337	912,666	17,727,193
2030	3,086,782	0,80	901,340	18,096,718	929,217	18,656,410
2031	3,142,917	0,80	917,732	19,014,450	946,115	19,602,525
2032	3,199,274	0,80	934,188	19,948,637	963,08	20,565,606
2033	3,256,217	0,80	950,815	20,899,453	980,222	21,545,828
2034	3,313,748	0,80	967,614	21,867,067	997,541	22,543,368
2035	3,371,866	0,80	984,585	22,851,652	1,015,036	23,558,404

Fuente: Elaboración propia a partir de Ramírez (2009).

El relleno sanitario está ubicado en el municipio de Galapa en el kilómetro 11 en la vía Barranquilla-Tubara y presta su servicio de disposición final a residuos sólidos generados en actividades domiciliarias, comerciales e institucionales a los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia, Malambo y Galapa para un total de 1400 t/día por un periodo de vida útil de 30 años (Peralta, 2010).

El relleno sanitario está diseñado y construido bajo los parámetros técnicos y ambientales que rigen actualmente la normatividad colombiana, cuenta con 135 hectáreas de las cuales 75 ha están dispuestas para la operación y el resto son distribuidas en las edificaciones, sistema de tratamiento de lixiviados y áreas de protección ambiental (Peralta, 2010).

Figura 10. Proceso operacional relleno sanitario Los Pocitos



Fuente: Elaboración propia a partir de (Peralta, 2010).

1. Control de ingreso: Se cuenta con personal de seguridad que permite controlar la entrada de los vehículos, las empresas que ingresan los residuos al relleno deben solicitar formalmente el ingreso para saber qué clase de residuos serían los dispuestos y posteriormente después de analizar dichas solicitudes basados en la licencia ambiental se les permite la disposición; además de controlar la entrada de vehículos y personas también se asegura siempre por el uso de los elementos de protección personal (cascos de seguridad, mascarillas, entre otros) que se requieren para el ingreso al relleno por el tipo de actividad que se maneja.

2. Registro y pesaje: El área está compuesta por dos básculas electrónicas con capacidad de 60 toneladas cada una y una oficina con personal idóneo para el pesaje de cada uno de los vehículos que ingresan. El registro se lleva en un software diseñado por la empresa donde se cuenta con una base de datos de los pesajes diarios discriminados por rutas, servicios, horas, empresas, entre otros. Los vehículos ingresan a la báscula de entrada y son pesados en su totalidad, se trasladan a la zona de descarga de lixiviados o la celda de operación para disponer los residuos y posteriormente ingresan a la báscula de salida donde son pesados vacíos y la diferencia de estos genera el peso del residuo que traen para disponer. Estos

registros son analizados por la ingeniera a cargo del área de pesaje para evaluar el avance de las celdas de operación y la construcción de nuevas áreas.

3. Celda de operación: En esta zona del relleno se desprenden diversas actividades para el funcionamiento correcto en la disposición de los residuos, se tiene una zona para la descarga del lixiviado que almacenan los vehículos compactadores, el líquido es descargado por los conductores de los vehículos antes de ingresar a la celda de operación diaria. Los vehículos ingresan a la celda de operación y descargan sus residuos los cuales son esparcidos por un Bulldozer y compactados por una compactadora de residuos.

Dentro del vaso de disposición de los residuos se configuran celdas diarias con la comisión topográfica vigilando los niveles, las pendientes y la forma de llenado de dichas celdas para poder mantener una adecuada disposición y las pendientes óptimas para el manejo de las aguas de escorrentía, al llegar a los niveles dispuestos topográficamente se procede a cubrir con material terreo los residuos compactados diariamente con la maquinaria adecuada (volquetas, cargador, retroexcavadora y motoniveladora), en el momento en que no se pueda cubrir por que la celda no ha llegado a su nivel se realizan coberturas temporales con material sintético (cobertura negro-verde), así se garantiza el cubrimiento diario de estos residuos para evitar molestias y la proliferación de vectores.

4. Sistema de tratamiento de lixiviados: Posee un sistema de tratamiento de lixiviados que se divide en tres fases. La primera fase está compuesta por un desarenador que cumple la función de retener la mayor cantidad de sólidos (arenas) que contenga el lixiviado, una trampa de grasas y una estructura de aforo para la toma de muestras y medición de caudal de ingreso al sistema.

La segunda fase son dos lagunas de sedimentación de lixiviados construidas con las especificaciones técnicas adecuadas para el almacenamiento del lixiviado, estas tienen una impermeabilización sintética con geomembrana y geotextil, cuentan con una red de filtros internos con desfuegos en tubería que garantizan la evacuación de los gases que se puedan producir del subsuelo en los cambios de temperatura, y estructuras en concreto para el traslado de una laguna a otra de lixiviado.

La tercera fase del sistema se distribuye en el tratamiento biológico del lixiviado y fisicoquímico del lixiviado con tanque de homogenización, reactor UASB, filtro percolador, clarificador, espesador de lodos, lechos de secado, filtros, entre otras estructuras que garanticen el tratamiento eficaz de este líquido para ser vertido o que pueda ser reutilizado sin causar impacto al ambiente.

Para realizar un correcto seguimiento de este tratamiento se construyó un laboratorio para el análisis de los parámetros diarios como pH, DQO, sólidos suspendidos, DBO, temperatura, entre otros y controlar los parámetros para el buen funcionamiento del sistema, además de la zona de almacenamiento de químicos e insumos y el cuarto de bombas para la circulación del lixiviado por todo el sistema, todo esto teniendo en cuenta las normas de seguridad y el uso de los elementos de protección personal necesarios.

5. Instalaciones-Maquinaria y equipos: Para poder garantizar el funcionamiento las 24 horas del relleno, en la recepción y el manejo adecuado de los residuos dispuestos se apoya en la zona de taller, la zona de tanqueo y lavado para el mantenimiento, limpieza y cargue de combustible de la maquinaria pesada y los equipos que trabajan diariamente.

6. Seguimiento y monitoreo ambiental: La operación del relleno sanitario por el tipo de producto que maneja (residuos sólidos) genera una serie subproductos como el lixiviado, el biogás, los livianos (bolsas, papeles) entre otros y éstos deben ser controlados para no afectar el medio ambiente y la salud humana por ello se desarrollan diversos seguimientos como el control de vectores (moscas y gallinazos), control de molestias (olores), manejo paisajístico, monitoreo de biogás, a la calidad del aire (ruido y partículas aerotransportables), a la calidad del agua (superficial y subterránea), estudios hidrobiológicos, monitoreos a los lixiviados, geotécnicos y de estabilidad de la masa de residuos dispuestos, calibración y mantenimiento de la maquinaria y equipos utilizados, seguimiento meteorológico, seguimiento topográfico y gestión social y educación ambiental, cada una de estas actividades se encamina a tener una operación del relleno sanitario amigable con el medio ambiente, cuidando los recursos naturales que están alrededor del proyecto (suelo, vegetación, fauna, flora entre otros) y siendo responsables con la ciudadanía controlando los impactos y mitigando con la tecnología y los conocimientos adecuados cada uno de estos.

3.5 Relleno sanitario Parque Ambiental Loma de los Cocos

Departamento: Bolívar.

Ubicación: Cartagena.

Operador: Caribe Verde S. A. E. S. P.

Municipios atendidos: Luruaco, Arjona, Calamar, Cartagena, Clemencia, Magangué, Santa Catalina, Santa Rosa, Turbaco, Turbaná, Villanueva.

Toneladas mensuales: 45,106.

Inicio de actividades: El distrito de Cartagena ha destinado desde el año 2006 el relleno sanitario Loma de los Cocos ubicado a 14 km del casco urbano de la ciudad, para el vertimiento de los RSU (Lambis, 2015).

Tipo de residuos recibidos: Cartagena está entre las 5 ciudades que más producen desechos en el país, con unas alarmantes 1,262 toneladas diarias de residuos domésticos.

Vida útil: 01/02/2025

4. Impactos ambientales durante la operación de rellenos sanitarios

Posterior a la revisión bibliográfica se puede evidenciar sin duda que los recursos que sí se ven afectados de manera negativa por la operación de un relleno sanitario son los recursos: agua, aire, suelo entre otros. A continuación, se identifican algunos de ellos que son causados en la fase de operación de los principales rellenos en Colombia.

4.1. Impactos sobre el recurso hídrico

En el proceso de descomposición de las basuras y por la misma reacción química se generan los lixiviados; la producción es variable dependiendo de la cantidad y tipo de residuos que se descomponen, la humedad de estos, la temperatura, el contenido de agua, el oxígeno y el régimen de lluvia de la zona en donde se encuentra ubicado el relleno sanitario (Bolaño, 2008).

Algunos estudios y proyectos han proporcionado información sobre los cuerpos hídricos, y la calidad del agua que tiene algún tipo de contacto con el área de influencia de un relleno sanitario, para citar un caso, se encuentra el río Tunjuelo en Bogotá.

Por otra parte, las altas concentraciones de nitrógeno total y coliformes fecales (parámetros importantes de calidad de agua) no cumplían con los objetivos de calidad y pueden atribuirse de nuevo a los vertimientos desde el relleno sanitario. Dicho estudio evidencia, además, presencia de metales y cianuros por fuera de la norma establecida por la CAR al paso de la estación.

Adicional con respecto a la calidad de agua superficial existe un impacto generado a los cuerpos de agua ubicados dentro del área de influencia del relleno sanitario Doña Juana debido a la operación del mismo, específicamente en las quebradas El Botello, Yerbabuena y en el Río Tunjuelo. Esto se evidencia por las altas concentraciones de DBO las cuales presentan valores altos superando el valor establecido en el acuerdo 43 clase II CAR de 2006. Las altas concentraciones de sólidos suspendidos presentan valores desde 24 mg/L hasta 7,880 mg/L en promedio en los tres cuerpos de agua y superan los valores establecidos en la normatividad (Acuerdo 43 clase II CAR de 2006), los cuales son de 10mg/L. Por lo anterior,

se puede decir que los cuerpos de agua más representativos en el área de influencia se ven directamente afectados por la contaminación por lixiviados provenientes tanto del sistema de conducción y la planta de tratamiento del sistema de tratamiento de lixiviados, ya que las concentraciones de DBO y SST son superadas en un 86% y 100%, en las tres fuentes de agua superficial (Bucheli y Vera, 2014).

Por lo anterior, se identificó una afectación a los cuerpos de agua superficial ubicados en el área de influencia del relleno sanitario Doña Juana, debido a los vertimientos de lixiviados generados por la operación del relleno. Estos vertimientos generan contaminación especialmente en la quebrada el Botello y en el Río Tunjuelo, ya que se observó que los parámetros de calidad establecidos por el decreto 1594 de 1984 y el acuerdo 43 del 2006 son superados.

Por otro lado, el relleno sanitario la pradera en Medellín presenta múltiples problemas de impacto ambiental, entre ellos la no existencia de un sistema de tratamiento para los lixiviados. En la actualidad cuenta con una laguna de estabilización como sistema de pre-tratamiento, el cual viene funcionando desde el año 2003. Los vertimientos tienen caudales generando contaminación de recursos hídricos cercanos como el Río Porce y las quebradas afluentes La Música, La Jagua y La Piñuela, pues en su composición se encuentran materiales persistentes y sustancias tóxicas (Corantioquia, 2006), las cuales han degradado la calidad de las aguas y de ecosistemas hídricos, en los que habitan especies que deben ser protegidas (Contraloría General de Antioquia, 2005). Las entidades de control han encontrado la intervención no autorizada de cauces naturales como la quebrada La Pinuela, lo cual ha generado una alteración negativa sobre la dinámica poblacional de las especies animales y vegetales que habitan la cuenca de la quebrada (Contraloría General de Antioquia, 2005).

Otro registro bibliográfico de impacto que afecta el recurso hídrico es el del relleno sanitario Los Pocitos en el departamento del Atlántico. De manera puntual consiste en el aporte de sustancias deletéreas, lo cual se puede ver de manera clara en el lote cuatro Bocas pues en él existe un nacimiento de agua (Ramírez, 2009).

Otro impacto con afectaciones al recurso hídrico lo provoca el relleno sanitario El Carrasco en la ciudad de Bucaramanga. El volumen estimado de lixiviados generados en el vertedero de residuos es de 129,996 m³/año, los cuales representan una fuente puntual de contaminación al acuífero subyacente a la zona de estudio. El empleo de metodologías combinadas como geofísica, geología, hidrogeología y geoquímica aplicadas en el estudio permitió identificar dos zonas en el área de influencia directa e indirecta de El Carrasco, una de ellas con resistividades bajas. Esta se encuentra asociada a la anomalía generada por los lixiviados, observada especialmente en la celda actual de disposición, en donde se evidencian zonas totalmente saturadas por los lixiviados que no fueron manejados de manera adecuada en el sitio de disposición. Esto sucede porque desde el inicio de operación, el sitio no contó con las condiciones técnicas, que minimizaran las afectaciones al recurso hídrico subterráneo por la alta carga contaminante presente en los lixiviados, flujo que se mueve verticalmente en dirección al acuífero profundo de Bucaramanga, situación tolerada por las condiciones de permeabilidad (Gómez, 2008).

Otro impacto se evidencia en el basurero de Navarro en Cali (ya clausurado) pero con consecuencias de impacto negativos a los cuerpos de agua. A manera de insumo se incluye las conclusiones de un estudio hecho por León (1998) en donde se entrega las siguientes conclusiones:

- Los lixiviados del Depósito de Navarro están penetrando al sistema acuífero. Uno de los puntos de infiltración de lixiviados al acuífero está determinado por el sector del meandro que se haya cubierto por el basurero.
- Los resultados indican que el material de relleno del meandro constituye un camino preferencial para el paso de lixiviados hacia el acuífero.
- Se definieron tres sectores del acuífero, cuya probabilidad de estar impactados por los lixiviados es muy alta: uno hacia el sur del depósito, aparentemente inducido por el bombeo de los pozos ubicados en dicho sector; otro hacia el este del depósito, ocasionado posiblemente, por el flujo preferencial de lixiviados a través del material de relleno del meandro.
- Otro sector ubicado a aproximadamente 1 km de distancia hacia el noreste del depósito, donde la infiltración de lixiviados se ve facilitada, aparentemente, por el estancamiento en este sitio, de los lixiviados diluidos por agua lluvia, que llegan hasta

allí.

4.2. Impactos sobre el recurso aire

La mayoría de los sitios de disposición de residuos se ubican en terrenos grandes y planos, carentes de vegetación. En tiempos de sequía, los vientos levantan una gran cantidad de polvo que es transportado por el viento, contaminando el agua de ríos, lagos, pozos, alimentos, poblaciones cercanas, etc. Estas partículas permanecen suspendidas. También se emiten gases efecto invernadero, como el metano.

Con respecto a la generación de gases, un relleno sanitario se comporta como un digestor anaerobio. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los RSU, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia (Jaramillo, 2002).

La aerobia es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente. La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos. El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo. Los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir. Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión.

Durante el proceso de estabilización de los residuos, la descomposición orgánica genera gases que son emitidos a la atmósfera y afectan la calidad del aire respirable (inmisión) (Gómez et al., 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, en el relleno sanitario Doña Juana en Bogotá los resultados arrojados en cuanto a la calidad del aire ha disminuido notoriamente desde el año 2000 hasta

el año 2012, ya que en los casos evaluados, se observó que para PST se supera el límite máximo anual permisible en un 11.5% y para PM₁₀ en un 25%, demostrando así que el desempeño ambiental del operador del relleno no refleja una gestión efectiva que permita mitigar el impacto generado por las actividades propias del relleno. Igualmente, al observar la calidad de olores que se presenta en la zona, se evidencia que las actividades como el cubrimiento diario de los residuos sólidos y la utilización de barreras vivas para el control de la proliferación de olores, no son suficientes para mejorar la calidad del entorno (Bucheli y Vera, 2014).

El relleno sanitario La Pradera en Medellín igualmente genera olores ofensivos y es frecuente la presencia de vectores por ausencia de cobertura diaria de residuos sólidos en los vasos de La Carrilera y La Música, sumado a la ausencia de barreras vivas (Corantioquia, 2006).

El relleno sanitario Los Pocitos en Atlántico, a junio de 2009, se encontraba operando sin planta para el tratamiento de lixiviados, generando malos olores, vertimiento de basuras en las vías por sobre carga de carros colectores y destrucción de las vías terrestres aledañas al relleno (Gobernación del Atlántico, 2005).

4.3. Impactos sobre el recurso suelo

Dentro de los contaminantes presentes en los botaderos y rellenos sanitarios se encuentran los metales pesados, elementos metálicos con densidad mayor a 6 g/cm³, ampliamente reconocidos por sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud de la población (Sánchez, 2010). Los metales pesados contaminan las fuentes de agua y los suelos entre otros componentes del ambiente, se transfieren a las plantas y animales y por consiguiente entran y se acumulan en la red alimenticia. La transferencia de metales pesados a la flora y la fauna y por tanto el grado de contaminación de un sitio, puede medirse a través de la determinación de esos metales en especies bioindicadoras (WHO, 2007).

De otro lado según investigaciones de Quintero et al., 2017, se realizó lo pertinente mediante una campaña de ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades físicas, químicas, estructurales, mecánicas y mineralógicas de los suelos. Los resultados permitieron establecer

que la exposición de la muestra contaminada a los lixiviados genera cambios significativos en sus propiedades físicas, químicas, estructurales, hidro-mecánicas y mineralógicas. Por lo anterior, se presenta una degradación del comportamiento geotécnico de los suelos expuestos a contaminantes.

Además, los desechos sólidos depositados en un botadero a cielo abierto o en un relleno sanitario, contamina el suelo con microorganismos patógenos, metales pesados, sustancias tóxicas e hidrocarburos que están presentes en el lixiviado de los desechos También tenemos otro concepto por (Vallejo, 2016).

En el relleno sanitario El Carrasco en la ciudad de Bucaramanga, evidencia los siguientes impactos al suelo Contreras Manzano, L. E. (2015).

- Cambios en la geomorfología del suelo por llenado disgregación y compactación de los residuos.
- Inestabilidad del terreno y erosión por la construcción de chimeneas.
- Sufre cambios en la morfología del terreno debido a la cobertura intermedia de los residuos.
- Inestabilidad del suelo por la construcción de taludes, ya que se realizan cortes o perfilado donde se pretende implantar la terraza para que éste se encuentre nivelado y estable para impermeabilizar y disponer cada vez que se necesite.
- Variación del nivel de compactación, por el paso de vehículos pesados.

4.4. Impactos sobre fauna y flora

Las plantas que crecen en un relleno y tiraderos a cielo abierto están expuestas a distintas concentraciones de biogás derivado de la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los RSU, que está compuesto por metano en un 50-60%, CO₂ en 40-55%, además de cantidades menores de otros gases y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV) 0.01-0.6% (Tchobanoglous y Kreith, 2005).

En la etapa de operación del relleno sanitario entre los varios componentes que son afectados de manera muy negativa, está 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 (Zapata y Zapata, 2013).

En el relleno sanitario La Pradera en Medellín, se ha presentado afectaciones de tipo abiótico por la falta de desarrollo de medidas compensatorias en materia forestal, pues la capacidad de erodabilidad de los suelos ha incrementado con la consecuente reducción de hábitats, alteración de la supervivencia de flora y fauna nativa de la zona, y alteraciones en el tránsito, permanencia y reproducción de las especies (Corantioquia, 2006).

No hay muchos estudios que señalen de manera puntual impactos sobre este recurso, pero de manera general este impacto se da únicamente en el área del relleno, ya que, por su operación, el área es desprovista completamente de material vegetal sin embargo se debe procurar la conservación de especies nativas a su alrededor en especial cuando termine su vida útil. Granda, L. (2014)

4.5. Impactos sobre el paisaje

El valor de las propiedades aledañas al relleno sanitario también se ve afectado por el impacto negativo al paisaje, debido a la presencia de procesos erosivos, olores ofensivos y por la proliferación de vectores en la zona. Además, se puede evidenciar cambio en la morfología del paisaje, de los colores y la vegetación en el área (Vallejo, 2016).

Otro impacto paisajístico puntual lo causa el relleno sanitario Los Pocitos de Barranquilla: Antropización en mosaico. Este se evidencia en el lote Tubará, situado a orilla de la carretera y en el lote de Barranquilla localizado al pie del cerro Pan de Azúcar. Se puede observar de todas maneras un deterioro de la imagen de su paisaje. El impacto visual negativo que ocasiona la presencia de los residuos sólidos en un relleno sanitario y su dispersión en su entorno influye directamente en el rechazo de la población. Además de la presencia de residuos, se suma el deterioro del paisaje por la presencia de polvos, humos, materiales ligeros suspendidos por los vientos, así como por la existencia de animales domésticos, los

cuales contribuyen de forma directa al desorden del lugar. El deterioro del paisaje no sólo se limita únicamente al área que ocupa el relleno sanitario (Ramírez, 2009).

En el relleno sanitario de Remedios en el departamento de Antioquia se evidencia un impacto en el paisaje debido a las excavaciones desde la construcción, la operación del relleno, la descarga de desechos, las celdas sin engranaje y la presencia de infraestructura como chimeneas que alteran el paisaje natural de la zona. Se presen modificaciones en la estructura del hábitat de la fauna propia del sector, puesto que la zona está desprovista de material vegetal. Además, se han apropiado del sector especies como los gallinazos que cuando se proliferan generan alteraciones faunísticas y aparición de mosquitos infecciosos puesto que la basura los atrae y al cruzar a pie o en bicicleta por la vía que comunica a la cabecera municipal genera molestias visuales (Granda, 2014).

4.6. Impactos socioeconómicos

La degradación del ecosistema acarrea costos sociales y económicos como la devaluación de propiedades, pérdida de turismo y otros costos asociados como lo son la salud de los trabajadores y de sus dependientes (Vallejo, 2016). Los impactos positivos pueden ser la generación de empleos en la etapa de operación, concienciación del papel que tienen los productores en este proceso, el desarrollo de técnicas autóctonas, de mercados para reciclables y materiales de reuso.

Dentro de los impactos en esta categoría están las actividades que impliquen la interrupción del tránsito vial y en general todas las actividades del proyecto.

También se puede observar que la percepción de la comunidad es mala frente el tipo de proyecto, debido a generación de olores ofensivos y la proliferación de vectores y roedores por la operación de la planta. La comunidad aduce que sus predios han sufrido una desvalorización económica fuerte y los habitantes del área de influencia ven como única opción la venta de sus predios para dar solución a la problemática ambiental que vive la zona, y poder mejorar la calidad de vida (Agudelo y Sánchez, 2014).

El relleno sanitario Doña Juana en Bogotá presenta un bajo cumplimiento de las actividades propuestas para mitigar los impactos sobre la comunidad, que indudablemente ha llevado a generar mucha inconformidad por parte de los habitantes, debido a los problemas a los que a diario se ven sometidos. En el caso puntual, el área de influencia directa e indirecta para el componente social, corresponden a aquella comunidad que se encuentre a 3 km a la redonda, desde el punto de disposición actual, dejando así a barrios como Mochuelo Alto y Mochuelo Bajo como parte del área de influencia directa. Según la información reportada por el operador, no se presentan asentamientos humanos dentro de su área de influencia directa. Ahora bien, aunque legalmente el operador definió su área de influencia directa, se evidencia una deficiencia a la hora de establecer dicho aspecto, puesto que actualmente se encuentran comunidades que presentan de alguna u otra manera afectaciones.

De igual manera, se observa que las afectaciones sobre el componente social se asocian con el área de afectación por el componente atmosférico. Esto se debe a que las comunidades de esta área son afectadas por la proliferación de vectores y malos olores, dejando así una misma área para estos dos componentes.

En casos puntuales, se presentan quejas de afectación por proliferación de vectores y olores ofensivos de barrios como Tenerife, que se encuentra a 2.1 km del relleno, Aurora 1 y 2 a una distancia de aproximadamente de 6.5 km, Las Quintas Plan Social a 6.1 km, Villa Isabel a 5.2 Km, San Andrés de los Altos a 4.5 Km, Marichuela a 3.2 Km, Valle Cafam a 3.1 Km, La Regadera a 17.6 Km, Santa Marta a 5.8 Km entre otros barrios que se encuentran a una distancia similar a los anteriores. Con esto, no solo se demuestra que se presenta una falencia en el aspecto técnico por parte del operador, a la hora de definir el área de influencia para el componente social e imponer medidas para el control de vectores y olores, sino que además no se cuenta con una normatividad o documento técnico que permita establecer este aspecto de forma que se contemple a todos los afectados por la operación (Bucheli y Vera, 2014).

El relleno sanitario Los Pocitos (Atlántico) presenta indiscutiblemente una incomodidad, particularmente para los predios de Tubará y Cuatro Bocas, incrementando las molestias por el paso constante de vehículos por el corregimiento de Cuatro Bocas (Ramírez, 2009). Igualmente, el aumento de accidentalidad es mayor para este último, por cuanto la carretera presenta muchas curvas y fuertes pendientes.

4.7. Otros tipos de impactos documentados

Caraballo (2014) relaciona algunos impactos ambientales que generan los rellenos sanitarios con las emisiones de COV tienen efectos directos e indirectos importantes sobre la salud humana, los directos se clasifican en poder de penetración cutánea, poder irritante, poder narcótico y toxicidad específica como medula ósea (cancerígeno) y los indirectos por la formación de O₃, ya que su poder oxidante actúa como irritante de los ojos y del aparato respiratorio. También se ha descubierto la generación de otros productos por la actividad microbiana anaerobia, entre ellos gases o biogás (CH₄, CO₂, NH₃) y lixiviados, los cuales constituyen otros problemas de contaminación que necesitan solución.

En la ciudad de Neiva se dispone los residuos en el relleno sanitario regional Los Ángeles, ubicado en la vereda La Jagua, al nororiente de la zona urbana de la ciudad. De acuerdo con el más reciente informe ambiental de la contraloría municipal de Neiva, el manejo ambiental del relleno sanitario ha mejorado, aunque en la actualidad presenta algunos problemas. En la nueva celda en donde se están disponiendo los residuos, la piscina de lixiviados funciona sin la construcción de cunetas perimetrales que eviten la sedimentación de aguas de escorrentías en la piscina. Además, no cuenta con las obras ambientales de protección que buscan garantizar la estabilidad de las obras de infraestructura, evitando que colapsen en épocas de invierno por efecto de la fuerza del agua. Presenta, además, fatiga en algunos árboles por falta de riego y algunos lotes no están cercados por lo cual animales de pastoreo entran y los consumen (Contraloría de Neiva, 2008).

En la ciudad de Pereira – Risaralda, los problemas que muestra el relleno sanitario regional La Glorita y que son preocupantes en materia de impacto ambiental según reportados por la CARDER, son variados y están relacionados con derrumbes de material de cobertura después de ciclos de lluvia, deterioro del terreno por escorrentía descontrolada de aguas lluvias, vertimiento sin tratamiento del agua generada por lavado de maquinarias e inexistencia de verificación del tipo de residuos sólidos que ingresan al relleno (CARDER, 2008).

En materia de lixiviados se tienen problemas como la ausencia de filtros para el transporte de lixiviados en algunos vasos, afloramiento de lixiviados en diferentes puntos del relleno,

falta de material de cobertura en la cantidad que permita establecer el sello hidráulico evidenciando que la infraestructura para evacuación de lixiviados no es la requerida (CARDER, 2008). Esto se traduce en la contaminación de la quebrada La Suecia, la cual desemboca en el río Otún, única fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Pereira (Minambiente, 2002). Las sustancias presentes en los lixiviados son muy difíciles de depurar naturalmente por el río, lo que representa una grave afectación para la flora y la fauna del sitio (CARDER, 2008 a).

En Bucaramanga – Santander, el relleno sanitario El Carrasco reporta la presencia de gallinazos en el sitio de disposición final, así como la presencia de material orgánico en descomposición en la parte superficial del relleno, incumpliendo así con el programa de control de gallinazos del plan de manejo ambiental. Así mismo existe incumplimiento en el programa de manejo de residuos peligrosos, los cuales son depositados por los operarios sin ningún tipo de revisión y verificación del tipo de residuo incorporado en el relleno (Contraloría de Bucaramanga, 2008).

Con respecto a Bogotá, en el componente de calidad de ruido ambiental, se observa que en el relleno y las zonas aledañas se supera los límites máximos permisibles en un 25% para los días laborales y en un 37.5% para los días festivos. Esto refleja que actividades como la no utilización de bocinas dentro del relleno y las barreras vivas no son efectivas a la hora de verificar el cumplimiento de la normatividad nacional (Bucheli y Vera, 2014).

Las principales actividades antropogénicas generadoras de bioaerosoles fungí y consideradas potenciales fuentes de emisión, por liberar una gran cantidad de microorganismos a la atmósfera, se encuentran asociadas a sistemas de tratamiento de aguas residuales, plantas de tratamiento de residuos orgánicos, compostaje o disposición en rellenos sanitarios.

Según un estudio de impactos del relleno sanitario Palangana de Santa Marta (Vélez-Pereira y Camargo, 2011), se evaluó la concentración de hongos asociados a procesos operativos. Se realizaron seis campañas de monitoreo en dos jornadas (mañana y tarde) en seis estaciones: tres ubicadas en las unidades de proceso del relleno sanitario, sobre el trazado del eje imaginario en dirección del viento (celda activa, celda pasiva y piscinas de lixiviados), y tres en las comunidades aledañas (Fundadores, Bastidas y Altos de Bahía Concha). Las muestras se colectaron en Agar Saboreaud-Dextrosa por un impactador de cascada de dos etapas

ubicado a 1.5m de altura y operado a 28.3 l/min durante tres minutos. La máxima concentración reportada es del orden de 3×10^3 UFC/m³ identificándose diecinueve géneros, con predominancia de *Aspergillus* spp. (45%), *Penicillium* spp. (23%) y *Geotrichum* spp. (18%). Además, se reportó alta concentración de hongos respirables resultando perjudicial a la salud por el tamaño que les permite viajar rápidamente por acción del viento, ser inhalados y llegar a los alvéolos pulmonares, afectando principalmente al personal que labora en el relleno sanitario.

5. Recomendaciones para el manejo de impactos ambientales identificados

Es importante que los municipios, que son los garantes de la prestación del servicio público de recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, planifiquen la disposición final de manera adecuada y eficiente, teniendo en cuenta siempre la vida útil del relleno sanitario, el tamaño y la proyección de crecimiento poblacional de los municipios, de tal manera que se genere un servicio sostenible. Esto es prioritario para prevenir y mitigar los posibles impactos ambientales.

Por otro lado, es necesario que la autoridad ambiental evalúe el desempeño ambiental de la operación de los rellenos sanitarios. Esto para que a su vez pueda exigir nuevas medidas para el control y mitigación de los impactos generados por la operación de los mismos. Es importante que se les exija a los operadores la utilización de nuevas tecnologías para la disposición final de los residuos y así lograr una disminución de los impactos identificados.

Es fundamental que las autoridades ambientales con jurisdicción en las áreas de influencia de los rellenos sanitarios realicen un seguimiento y control exhaustivo de las zonas aledañas a estos proyectos. Esto para descartar posibles afectaciones de cuerpos de agua por filtración o vertimiento de lixiviados. También es necesario que se optimice el sistema de tratamiento de lixiviados, puesto que un funcionamiento eficaz del sistema de tratamiento se traduce en una mejora de la calidad del cuerpo de agua que se encuentran en el área de influencia.

A los operadores de los rellenos, en pro de cumplir y aplicar las medidas que se establecen en sus respectivos planes de manejo ambiental, es muy valioso que se realizaran capacitaciones periódicas a los empleados y operarios en cuanto a la operación de los residuos en el relleno. Esto permitiría disponer de manera adecuada los residuos y facilitar la apropiación de los procedimientos.

Se ha podido constatar de manera general, de acuerdo con la información obtenida en este trabajo, que los impactos ambientales generados se relacionan, principalmente, con la falta de un estricto cumplimiento de los procedimientos técnicos definidos para la disposición final de los residuos. Esto incluye fallas técnico-operativas en el sitio, lo que implica el no cumplimiento de la totalidad del reglamento operativo de las actividades desde el momento de la llegada de los residuos al relleno, hasta la cobertura final. Otras actividades paralelas

que se deberían llevar a cabo no se hacen con el rigor que amerita, por ejemplo, el control y manejo de: vectores, lixiviado, gases, estabilidad de la masa de residuos sólidos, aguas de infiltración y esorrentía.

Lo anterior se puede complementar con algunos procedimientos muy importantes como lo son:

- Realizar el mantenimiento de equipos en los tiempos establecidos.
- Realizar la cobertura diaria de los residuos que lleguen al relleno y a su vez compactarlos
- Evitar uso de geomembrana rota.
- Descargar siempre residuos en áreas con geomembrana.
- Contar con un pozo de monitoreo de agua subterránea.
- Asegurarse de que el área en donde se descargue los residuos no esté expuesta a inundaciones.
- Contar con un sistema óptimo para drenajes de aguas superficiales.
- Tener implementado sistema de control de gases.
- Establecer un plan anual de mantenimiento de las vías de acceso al relleno con énfasis en la época de lluvia.
- Elaborar un plan de eliminación de llantas y chatarra, considerando el lugar adecuado y con supervisión idónea.
- Dar seguimiento a la guía práctica y al plan de manejo del relleno sanitario, y actualizarlo eventualmente.
- Para efectos de seguimiento técnico se hace indispensable el que un especialista en residuos sólidos periódicamente visite el relleno, con el fin de orientar y supervisar adecuadamente los procesos.

Conclusiones

En Colombia, los rellenos sanitarios son la opción más práctica y económica para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. Sin embargo, la operación de los rellenos constituye un elemento crítico para la sostenibilidad ambiental, puesto que un buen número de rellenos sanitarios presenta problemas muy recurrentes que se asocian con diferentes aspectos técnicos del manejo que se dan dentro de la operación. Algunos de estos aspectos son el tratamiento de lixiviados, manejo de gases generados en estos sitios, cobertura diaria del material que se deposita, ya que se refleja ausencia del mismo y esto en algún momento podría generar derrumbe del material después de ciclos de lluvia generalmente. Estos inconvenientes podrían ser atendidos y solucionados en el tiempo de manera eficiente si existiera una mejor gestión del operador y un óptimo monitoreo y seguimiento por parte de alcaldías, gobernaciones y autoridades ambientales locales, regionales y nacionales. A manera de resumen se puede concluir lo siguiente:

Con el trabajo de recopilación realizado sobre los impactos ambientales de los principales rellenos sanitarios en Colombia, en su fase de operación, se pudo identificar las principales actividades por las cuales son afectados los diferentes recursos que se encuentran en el área de influencia, así como sus consecuencias.

Conforme a la información obtenida, se pudo evidenciar que el impacto al aire, específicamente por olores ofensivos expedidos por los rellenos sanitarios, resultado de procesos de descomposición, generan molestias en la población, la exposición a dichas emisiones gaseosas causa enfermedades graves que no son detectadas inicialmente, pero con el tiempo afectan la salud humana. La contaminación visual también es evidente desde la intervención paisajística, la erosión del suelo por la degradación de la cobertura vegetal, aspecto social por la devaluación de los predios cercanos al relleno. Pero el recurso más susceptible a ser impactado es el hídrico ya que se ha evidenciado que algunos rellenos sanitarios poseen fallas en el sistema de tratamiento de lixiviados o simplemente no cuentan con él, esto ha permitido el vertimiento de lixiviados en los cuerpos de agua cercanos a un relleno y se evidencia según estudios correspondientes citados en este documento, la presencia de metales, cianuro, altas concentraciones de sólidos suspendidos entre otros por

encima de la norma establecida; incluso se han encontrado zonas totalmente saturados por los lixiviados.

Teniendo en cuenta los hallazgos bibliográficos se puede concluir que los rellenos sanitarios emiten contaminantes por encima de la norma establecida en general, o presentan casos de emergencia en la parte operacional puntualmente en el manejo de los RSU posterior al depósito que hacen los vehículos recolectores en los vasos correspondientes; es allí en donde se debe optimizar el manejo implementado un sistema idóneo de tratamiento de los lixiviados para evitar la fuga de los mismos y complementar con una óptima cobertura diaria de los residuos, siendo con frecuencia mitigados o corregidos, pero esto no garantiza que no se presenten de nuevo durante la etapa de operación o funcionamiento de los rellenos sanitarios, es por ello que tiene que ser constante su aplicación.

Recomendaciones

En la presente investigación se obtuvieron resultados de los impactos considerados negativos asociados con la operación de rellenos sanitarios, por tanto, a fin de tomar decisiones más asertivas respecto a la disposición de los residuos, se recomienda que los operadores actualicen constantemente los datos relacionados de cada una de las actividades realizadas en la fase operativa de los rellenos. Esto con el propósito de que sean objeto de control y seguimiento por parte de las entidades encargadas de ejercer dicha función.

Así mismo, se recomienda ejercer la continua veeduría por parte de la ciudadanía, particularmente la población susceptible a ser afectada por la operación del relleno sanitario, para que los operadores cumplan el plan de manejo ambiental formulado para el proyecto.

Bibliografía

Agudelo, D., Sánchez, J. (2014). Valoración económica de los impactos ambientales generados por la operación de la planta integral de residuos sólidos urbanos municipio de Garagoa. Bogotá: Universidad Libre de Colombia.

Altabella, J., Mendoza, F., Gallardo, A., Alberolaa, M. (2013). Aprovechamiento de residuos inertes para la construcción, explotación y clausura de rellenos sanitarios. Recuperado de: <http://www.redisa.net/doc/artSim2013/TratamientoYValorizacionDeResiduos/Aprovechamiento%20de%20RCD%20en%20Construccion%20Explotacion%20y%20Clausura%20Vertederos.pdf>

AMVA - Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2007). Diseño de instrumentos económicos para la implementación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional. Universidad de Antioquia. Medellín.

Bolaño, F. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de las quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello y Yerbabuena en su paso por el relleno sanitario Doña Juana. Bogotá: Universidad El Bosque.

Bucheli, L., Vera, T. (2014). Evaluación de las causas y efectos ambientales de la operación actual del relleno sanitario doña Juana para la determinación de los impactos generados por la localización del mismo. Bogotá: Universidad de la Salle.

Caraballo, A. (2014). Impactos sociales y ambientales generados por la operación del relleno sanitario de Tunja sobre el municipio de Oicata-Boyacá. Universidad de Manizales.

CARDER (2008). Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Resolución No. 544 www.carder.gov.co/documentos/2325_RS_544-15_Mayo-08.pdf.

Christensen, T., Manfredi, S., Kjeldsen, P. (2011). Landfilling: Environmental Issues. En: Christensen, T. (Ed.). Solid Waste Technology and Management, 695-708.

Contraloría General de Antioquia (2005). Gestión para el control fiscal ambiental. http://www.contraloriagdeant.gov.co/docs/mambiente/2005/cap5_portada.htm.

Contraloría de Bucaramanga (2008). Control de advertencia 121.42.6.13.00 <http://www.contraloriabga.gov.co/portal/descargas/CONTROLES%20DE%20ADVERTENCIA%202008/control%20de%20advertencia%20No%206.pdf>.

Contraloría municipal de Neiva. (2008). Informe de la gestión fiscal medio ambiente y de los recursos naturales al municipio de Neiva y entidades descentralizadas. <http://www.contralorianeiva.gov.co/portal/UserFiles/INFORME%20MEDIO%20AMBIENTE%20GESTION%20VIGENCIA%202007.pdf>

Contreras, L. (2015). Evaluación ambiental ex-post del sitio de disposición final de residuos sólido el carrasco en el municipio de Bucaramanga-Santander (Doctoral dissertation).

Corantioquia. (2006). Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos regional del Valle de Aburrá – PGIRS regional” marzo 2006. Universidad de Antioquia. Convenio No. 325 de 2004. 106.

Coronado, O., Sotelo, H., Chávez, A. (2011). Diseño y proyección logística de un centro de acopio y manejo de residuos sólidos para el relleno sanitario Doña Juana. Revista gestión integral en ingeniería neogranadina 3(1), 1-14.

Cristancho, D. (2013). 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. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). Boletín técnico – Cuenta Ambiental y Económica de Flujo de Materiales – Residuos Sólidos 2012 – 2016 provisional. Bogotá, junio 18 de 2018. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuenta-s-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2016p.pdf

Dinero (2018). “Descache” del Dane: somos 45,5 millones de habitantes. Recuperado de: <https://www.dinero.com/pais/articulo/numero-de-habitantes-en-colombia-segun-censo-2018/263907>. Noviembre 6 de 2018.

DNP - Departamento Nacional de Planeación (2014). Documento CONPES 3819. Bogotá, D.C.

DNP - Departamento Nacional de Planeación (2016). Documento CONPES 3874. Bogotá, D.C.

El Tiempo (2018). Los cuatro rellenos en crisis que pueden causar emergencias sanitarias. <https://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/colombia-no-tiene-rellenos-sanitarios-y-mantiene-un-mal-manejo-de-basuras-279956>. Octubre 13 de 2018.

Emvarias - Empresas Varias de Medellín S.A. E.S.P. Reglamento Operativo Relleno Sanitario La Pradera. Junio 2017. Disponible en: https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/Contratos_Emvarias/ANEXO_8_REGLAMENTO_R_S_PRADERA.pdf

Environment Agency (2003). Guidance on the management of landfill gas. Bristol, Reino Unido.

García, L. (2004). Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales. Tesis doctoral, UPC, Departament de Projectes d'Enginyeria. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/94140>.

Gobernación del Atlántico. 2005. Boletín de prensa No. 872. http://www.atlantico.gov.co/prensa/ver_bol.asp?prof=1625.

Gómez, S. (2008). Interacción entre los sistemas hidrogeológicos en el macizo de Santander para el estudio de la recarga e identificación de acuíferos. Proyecto COLCIENCIAS.

Gómez, R., Filigrana, P., Méndez, F. (2008). Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Colombia Médica*, 39(3), 245-252.

Granda, L. (2014). Propuesta de Mejora a la disposición Final de basuras del municipio de Remedios - Antioquia. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada

Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste. A global review of solid waste management*. Washington: World Bank.

Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Medellín: Universidad de Antioquia.

Jaramillo, L. (2018). “Al relleno Sanitario La Pradera le queda una vida útil de 5 años”. 06 de noviembre de 2018. Telemedellin. Recuperado de: <https://telemedellin.tv/relleno-sanitario-la-pradera-vida-util/292541/>.

Lambis, M. (2015). Tratamiento de lixiviados mediante el uso de la quitina como coagulante natural. Caso de estudio: Parque ambiental Loma de los Cocos de la ciudad de Cartagena de Indias. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Lee, U., Han, J., Wang, M. (2017). Evaluation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways. *Journal of Cleaner Production* 166, 335-342.

León, J. (1998). Impacto del basurero de Navarro sobre las aguas subterráneas en Cali, Colombia. *Revista Geológica de América Central* 21, 111-114.

Makarenko, N., Budak, O. (2017). Waste management in Ukraine: Municipal solid waste landfills and their impact on rural areas. *Annals of Agrarian Science* 15, 80-87.

Massiris, A. (2012). *Gestión territorial y desarrollo: hacia una política de desarrollo territorial sostenible en América Latina*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Massiris, A. (2015). *Gestión del Territorio para Usos Agropecuarios*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Minambiente, Ministerio del Medio Ambiente Colombia. 2002. *Agenda Ambiental Municipio de Pereira*. <http://www.unal.edu.co/idea/proyectos/sigam/per.pdf>

MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005). Decreto No. 0838. Bogotá, Colombia, 23 de marzo de 2005.

MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Resolución No. 1503, Bogotá, Colombia, 4 de agosto de 2010.

Medina, J., Jiménez, I. (2001). *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*. México D.F: Semarnat.

Meléndez, C. (2004). *Guía práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos PROARCA*. http://www.ccad.ws/proarca/p_proarca/pdf_sigma/Guia_Celdas_Rellenos_Final_web.pdf.

Niño Carvajal, Lissette Ximena, Ramón Valencia, Jacipt Alexander, & Ramón Valencia, Jairo Lenin. (2016). *Contaminación fisicoquímica de acuíferos por los lixiviados generados*

del relleno sanitario El Carrasco, de Bucaramanga. *Producción + Limpia*, 11(1), 66-74. Retrieved February 18, 2019, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000100007&lng=en&tlng=es.

OPS - Organización Panamericana de la Salud (2007). Diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad3.html.

OPS - Organización Panamericana de la Salud (2010). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. BID, AIDIS, OPS.

Parlamento europeo (2018). Gestión de residuos en la UE: hechos y cifras (Infografía). (2018, abril 06). Recuperado de <http://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180328STO00751/gestion-de-residuos-en-la-ue-hechos-y-cifras-infografia>.

Peralta, M. (2010). Proceso Operacional del Relleno Sanitario “Parque Ambiental Los Pocitos” Triple A SAESP Ciudad de Barranquilla. Barranquilla: AAA. Recuperado de: http://www.redisa.net/doc/artSim2009/Eliminacion/Proceso%20operacional%20del%20relleno%20sanitario_Parque%20ambiental%20los%20Pocitos.pdf.

Pineda, S. (1998). Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Bogotá: ACODAL.

PROCOLOMBIA, exportaciones turismo inversión marca país, Bogotá Colombia., Recuperado de: <http://www.colombia.travel/es/informacion-practica/clima>

Quinchoa, W. (2011). “El olor nos lleva”: identidades ecológicas como un proceso de reconocimiento social y cultural de los “recuperadores” en el Relleno Sanitario Regional de Presidente, municipio de San Pedro, departamento del Valle. *Revista de Estudios Sociales*, (39), 55-69.

Quintero, A., Valencia, Y., Lara, L. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. *Dyna* 84(203), 283-290 Recuperado de: <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2444/10.15446/dyna.v84n203.63875>.

Ramírez, A. (2009). Parque Ambiental Los Pocitos - Trámite de licenciamiento y puesta en marcha. En II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla. Recuperado de: http://www.redisa.net/doc/artSim2009/GestionYPoliticaAmbiental/Parque%20ambiental%20los%20Pocitos_Tr%C3%A1mite%20de%20licenciamiento%20y%20puesta%20en%20marcha.pdf.

Ramírez, O. (2007). El espejo invertido de la realidad: del discurso del desarrollo a la apología de la gestión ambiental. *Avá* 10, 66-77.

Ramírez, O. (2015). Identificación de problemáticas ambientales en Colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país. *Rev. Int. Contam. Ambient* 31(3), 293-310.

Rincón, J. (2012). Planes de ordenamiento territorial, propiedad y medio ambiente (No. 6). Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

Sáez, A., y Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135.

Sánchez, M. (2010). Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de Moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y evaluación del potencial fitorremediador de especies nativas e introducidas. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Superservicios - Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2017). Informe de disposición final de residuos sólidos-2017. Bogotá: Superservicios.

Superservicios (2016). Disposición final de residuos sólidos - Informe Nacional 2016. Bogotá: Superservicios.

Tchobanoglous, G., Kreith. F. (2005) Manual de manejo de residuos sólidos. Nueva York: McGraw-Hill.

Toro, J., Duarte, O., Requena, I. & Zamorano, M. (2102). Determinning Vulnerability Importance in Environmental Impact Assessment. The case of Colombia. Environ Impact Asses Rev., 32(1), 107-117.

Toro, J., Requena, I., Zamorano, M. (2010). Environmental impact assessment in Colombia: critical analysis and proposals for improvement. Environ Impact Asses Rev., 30(4), 247-261.

UNAN - Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (2004). Evaluación de Impacto Ambiental. Centro Universitario Regional del Norte (CURN). Managua.

Vallejo, U. (2016). Análisis del impacto social y ambiental de la gestión integral de los residuos sólidos en el municipio de Aguadas, Caldas. Manizales: Universidad de Manizales.

Vélez-Pereira, A., & Camargo, Y. (2011). Evaluación de la concentración de bioaerosoles fungí asociados al relleno sanitario palangana. Santa Marta.

Villanueva-Estrada. R., Rocha-Millera, R., Arvizu-Fernández, J., Castro, A. (2019). Energy production from biogas in a closed landfill: A case study of Prados de la Montaña, Mexico City. Sustainable Energy Technologies and Assessments 31, 236-244.

Villarreal, N. (2015). Evaluación de los impactos ambientales generados por la construcción y operación de la primera fase de un relleno sanitario regional en el departamento de Sucre.

Manizales: Universidad de Manizales.

WHO - World Health Organization (2007). Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution [Internet]. Copenhagen, Denmark: WHO. Regional Office for Europe. 2007

Wilson, D., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero, A., Velis, C., Lyer, M., Simonett, O. (2015). Global Waste Management Outlook. Vienna: International Solid Waste Association General Secretariat.

Zafra, C. (2009). Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistemas de caja fija (SCF). Ingeniería e Investigación 29(2), 119-126.

Zapata, A., Zapata, C. (2013). Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios. Gestión y Ambiente, 16(2), 105-120R.

Zúñiga, H. (2009). Elaboremos un estudio de impacto ambiental. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas:
http://comunidad.udistrital.edu.co/hzuniga/files/2012/06/elaboremos_un_estudio_de_impacto_ambiental.pdf Último acceso: 22 de agosto de 2014.