

Evaluación de la calidad del aire del relleno sanitario de la vereda Pirgua en la ciudad de Tunja (Boyacá)

Evaluation of the air quality of the sanitary landfill of the Pirgua rural division belonging to the city of Tunja (Boyacá)

Gina Gabriela Carreño Gil¹, Lina María Cipamocha Becerra²,
Lyda Yiced Machuca Rojas³, Iván Gustavo Pirazan Cuervo⁴

Recibido: 28 mayo de 2019 Aprobado: 26 noviembre de 2019

Resumen. En este artículo se presenta una evaluación de la calidad del aire del relleno sanitario localizado en la vereda Pirgua, zona oriental de la ciudad de Tunja. El objetivo es conocer e identificar los efectos negativos causados por las emisiones que genera el relleno y evaluar la calidad de aire, tanto en el relleno como en la vereda, por medio de una cuantificación de impactos la cual se realiza con una matriz. El tipo de metodología empleada es descriptiva, en ella se utilizan diferentes fuentes por medio de revisión bibliográfica de artículos, bases de datos y documentos confiables. Los resultados arrojan que diferentes aspectos, como las condiciones climatológicas y geomorfológicas, repercuten en la operación del relleno sanitario, afectan los componentes ambientales y deterioran la calidad de vida. Por ello, en este artículo se

muestra la importancia del cuidado del medio ambiente, mediante la puesta en práctica de estrategias que ayuden a la recuperación de la calidad de vida de los habitantes de este sector.

Palabras clave: calidad del aire, relleno sanitario, impacto ambiental.

Abstract: This paper presents an evaluation of the air quality of the landfill located in the eastern countryside of the city of Tunja. The objective is to know and identify the negative effects caused by the emissions generated by the landfill and evaluate the air quality of both, the landfill and the sidewalk, through a quantification of impacts, which is done with a matrix. The type of methodology used is descriptive, where different sources are

1 Autor correspondiente: Ingeniera ambiental, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. Colombia, Tunja. gina.carreno@usantoto.edu.co. ORCID: 0000-0002-2290-9931

2 Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. Colombia, Tunja. lina.cipamocha@usantoto.edu.co. ORCID: 0000-0003-2058-9599

3 Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. Colombia, Tunja. Lyda.machuca@usantoto.edu.co. ORCID: 0000-0001-7949-8689

4 Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. Colombia, Tunja. ivan.pirazan@usantoto.edu.co. ORCID: 0000-0002-6250-4162

used through bibliographic review of reliable articles, databases and documents. The results show that different aspects such as climatological and geomorphological conditions have an impact on the landfill operation, affect the environment and deteriorate the quality of life. Therefore, this paper presents the importance of caring for the environment through the implementation of mechanisms for the recovery of the quality of life of the inhabitants of this sector.

Keywords: air quality, sanitary landfill, environment impact.

Introducción

En este artículo se evalúa la calidad del aire en la vereda Pirgua de la ciudad de Tunja (Boyacá) para conocer y determinar las afectaciones generadas por las emisiones del relleno sanitario mediante la cuantificación de los impactos, con el fin de proponer nuevas estrategias para mitigar los daños causados y mejorar la calidad de vida de las personas. El análisis de la calidad del aire es de vital importancia porque permite conocer el deterioro que causan las diferentes acciones antropogénicas. Así, se estudia cómo la presencia de diferentes sectores económicos en la vereda Pirgua de la ciudad de Tunja (Boyacá) y su operación a lo largo del tiempo, así como las diferentes actividades que se realizan dentro del relleno sanitario, han generado impactos ambientales que afectan la salud de la población aledaña, la flora y fauna nativas y la calidad del aire, todo lo cual disminuye la calidad de vida.

En primer lugar, es necesario definir que un relleno sanitario es el lugar donde se llevan los residuos no aprovechables con el fin de darles una correcta disposición final; la operación de un relleno sanitario produce sensaciones positivas y negativas. En relación con los aspectos positivos, se puede argumentar que los rellenos contribuyen a una gestión integral de los residuos y, por ende, a evitar problemas de salud pública. En los aspectos negativos se encuentra la operación y descomposición de los residuos, que generan olores, emisión de gases contaminantes a la atmósfera, y consecuencias relacionadas con la

afectación a la salud humana y al medio ambiente. Con el objetivo de prevenir los impactos negativos, se debe hacer monitoreo de la emisión de gases para conocer su concentración e implementar medidas que contrarresten su afectación a la salud y el ambiente [1].

Por otro lado, se resalta que la calidad de vida es un factor económico y social importante, cuando se potencian distintos ámbitos como el comercial, empresarial, industrial y, primordialmente, el educativo, se generan oportunidades de empleo y se mejora la calidad de vida. Los sistemas económicos de un sitio se refieren a los bienes o servicios que se producen y en el que se pueden identificar y analizar sistemas productivos que se constituyen en la fuente del sector [2].

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta el marco teórico; en la sección 3, la metodología de investigación; en la sección 4, los resultados; en la sección 5, las conclusiones y, finalmente, en la sección 6 se presenta el trabajo futuro.

Marco teórico

El municipio de Tunja se encuentra ubicado sobre la cordillera Oriental, en la parte central del departamento de Boyacá, localizado a 05°32'7" de latitud norte y 37°22'04" de longitud oeste, con alturas desde los 2.700 m.s.n.m. hasta 3.150 m.s.n.m. en la parte más elevada, con una extensión de 121,4 km² y una temperatura de 13° C [2]. El municipio de Tunja Limita por el norte con los municipios de Motavita y Cómbita, al oriente con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá, por el sur con Ventaquemada y por el occidente con Samacá, Cucaita y Sora [2]. La zona se caracteriza por presentar periodos de lluvias bimodales con dos periodos húmedos y dos periodos secos. El primer periodo húmedo ocurre en los meses de marzo a mayo y el segundo, en los meses de octubre a diciembre, con un valor promedio de 702,9 mm anuales. Los periodos secos comprenden los meses de junio a agosto y los meses de diciembre y marzo, siendo este último más pronunciado. La temperatura media anual se encuentra entre los 12,3° C y 13,8° C, con temperaturas más altas durante los periodos secos [2].

Uno de los métodos que existen en diferentes partes del mundo para la disposición final de los residuos sólidos que se generan a diario en las ciudades son los rellenos sanitarios. Es importante tener en cuenta que la zona donde son ubicados debe ser permeabilizada para evitar la contaminación del suelo y los acuíferos presentes en la zona por la

descomposición de los residuos compactados [1]. El relleno sanitario que se estudia se encuentra ubicado en la zona nororiental de la ciudad de Tunja, más exactamente en la vereda Pírgua, caracterizada por un ambiente geomorfológico con una leve pendiente y una planicie aluvial.



Figura 1. Geomorfología de Pírgua.

Fuente: Fotografía de los autores

Cuando los rellenos sanitarios se encuentran mal ubicados o su construcción no es adecuada generan afectaciones negativas en el medio ambiente y la salud pública y ocupacional de los trabajadores y habitantes de la zona. Las emisiones que se producen a diario afectan la calidad del aire porque se genera un aumento significativo en las concentraciones de gases propios de la atmósfera como los gases de efecto invernadero, metano, ozono, helio, entre otros [3] (Noguera, 2015).

Metodología

La metodología de investigación que se plantea es de tipo descriptivo, para conocer y determinar las causas de la contaminación que se presenta en la vereda Pírgua y los impactos ocasionados por ella, por la emisión de fuentes fijas y móviles presentes en la zona. Para la obtención de la información se utilizaron diferentes fuentes provenientes de una revisión bibliográfica de artículos científicos, bases

de datos y documentos confiables. Además, se realiza un trabajo de campo con los habitantes de la zona con el fin de poder cuantificar en qué áreas ocurre una repercusión negativa en cada uno de los factores analizados.

Determinación de impactos ambientales por las emisiones atmosféricas del relleno sanitario

Se realiza un reconocimiento de la zona de estudio donde se identifican las diferentes afectaciones a los habitantes y a la flora y fauna endémicas. Con esta información se cuantifica cada impacto ambiental, asociado al tráfico de vehículos y generación de gases por la descomposición de los residuos según los aspectos analizados por medio de la metodología de *Batelle Columbus*. Este método consiste en asignar una escala de calificación de 1 para aquellos impactos que no repercuten o su relevancia es baja y de 0 cuando su afectación es muy alta, los aspectos que tengan

una mayor sumatoria en cada uno de los factores indican que su repercusión en el medio es menor, y cuando la sumatoria es menor es que tienen mayor efecto.

Análisis de la calidad del aire de la zona

Según la normativa ambiental vigente, existen límites admisibles de contaminantes en el aire los cuales se encuentran contemplados en la Resolución 2254 de 2017 que tiene como objetivo preservar la calidad del aire [4]. Además, se realiza el cálculo para cada una de las emisiones del relleno y se determina el cumplimiento o exceso de los valores aceptables con ayuda de los datos tomados por la estación de Corpoboyacá instalada en la zona.

Descripción de las características geomorfológicas

Por medio de la información encontrada en el Esquema de Ordenamiento Territorial se realiza una descripción de la vereda Pirgua, su relieve, orografía y ambiente meteorológico, para comprender cómo se da actualmente la dispersión de los contaminantes.

Resultados

La vegetación de Tunja y sus alrededores es medianamente diversa y pobre en su fisonomía y estructura, es típica de la zona andina seca, constituida principalmente por matorrales de tipo arbustivo, pastizales o vegetación herbácea; la vida animal del municipio depende de la cantidad de alimento y de las condiciones climáticas, en especial de la temperatura y la humedad, ya que los animales se desplazan y buscan condiciones favorables [2].

El acceso al Relleno Sanitario Pirgua se encuentra sobre la vía que comunica el municipio de Oicatá con la ciudad de Tunja (Boyacá). Es una vía

destapada que se desprende de la doble calzada denominada Briceño-Tunja-Sogamoso en el sector denominado como vereda Pirgua.



Figura 2. Vegetación en la vereda Pirgua.

Fuente: Fotografía de los autores

El ingreso al relleno sanitario se encuentra a la derecha. Luego, se inicia un recorrido de aproximadamente 1.250 m por carretera en afirmado en buen estado, con terminado en recebo y una banca media de 8 m, para llegar al relleno actual. Hoy día, la vía de acceso al sitio de descargue cuenta con una pendiente muy alta (en ocasiones del 22 %), lo cual hace necesario proyectar la vía para mejorar las pendientes de subida [5]. El horario permitido para la recepción de residuos es de lunes a sábado 7:00 a. m. a 3:00 p. m., el desplazamiento interno consiste en conducir el vehículo desde el punto de pesaje hasta el relleno sanitario. Al final de cada vía operativa en el relleno sanitario, se encuentra una plataforma habilitada para el descargue de los vehículos. Los equipos de operación son: un buldócer D6 o similar y una excavadora [5].

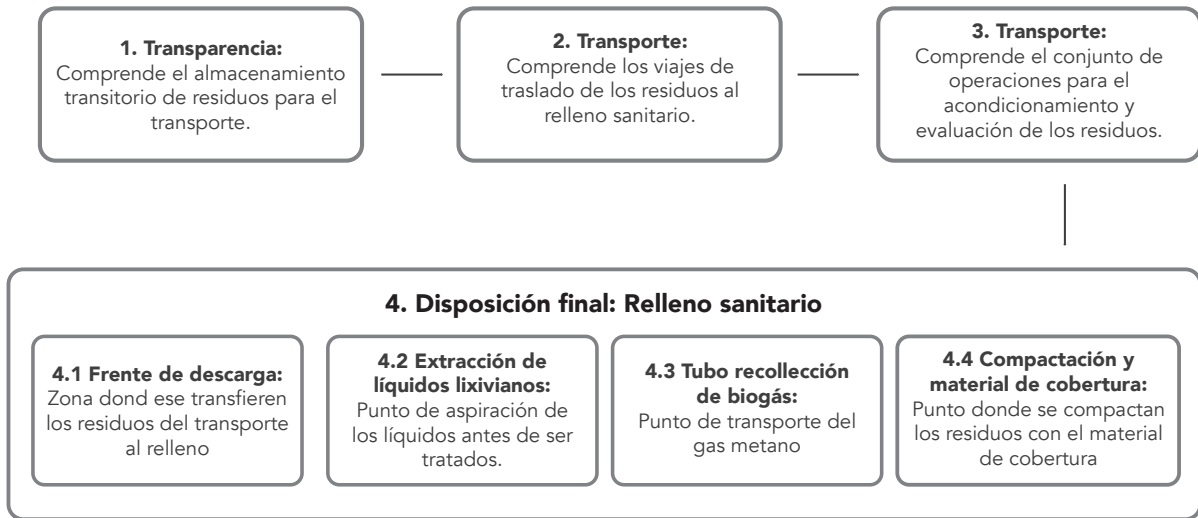


Figura 3. Fases de la operación y recorrido de los residuos en el relleno.
 Fuente: CEAMSE [6]

Como se mencionó más arriba, la operación del relleno sanitario genera diferentes tipos de impactos ambientales, y además socioeconómicos. Así, cuando se lleva a cabo la cuantificación de impactos ambientales por medio de la metodología de la matriz de *Batelle Columbus*, se busca identificar cuál es el factor que se está afectando. Los rellenos sanitarios generan impactos positivos y negativos. El principal de los factores positivos es una correcta disposición final de los residuos que se producen a diario. Y entre los aspectos negativos se tiene que, debido a su operación, las condiciones climatológicas y la geomorfología del lugar, se afectan los componentes ambientales y se deteriora la calidad de vida [7]. Adicionalmente, las fuentes móviles que transitan por la vía Tunja-Oicatá repercuten directamente en la calidad del aire por la emisión de gases producto de la combustión. Por lo cual, para hacer el cálculo de la emisión, se toman en cuenta los reportes de la calidad del aire suministrados por Corpoboyacá con la estación de monitoreo en la vereda Pírgua, que monitorea la emisión de partículas finas respirables (PM10), dióxido de azufre (SO₂), y ozono (O₃), con un nivel máximo permisible de 0,000000050 kg/m³ anual, 4,566x10⁻¹² kg/m³ anual y 0,0000001 kg/m³ anual, respectivamente [8]. También, se calcula la emisión para las variables monitoreadas según el factor de emisión (FA), que

es el valor asignado para los factores de emisión otorgados por la organización que se encarga de la protección del medio ambiente (EPA) en sus factores: agua, suelo, aire y, por ende, la salud humana por el dato de la actividad (DA), por lo cual se tomaron del apéndice AP 42 los valores de referencia para calcular los factores de emisión en su quinta edición en el volumen I, capítulo 2: Eliminación de desechos sólidos [9].

$$E = FA \cdot DA$$

$$E = 0.00587 \frac{Kg}{L10-3} * \frac{1000 L_i}{m^3} 81.670 \frac{m^3}{año}$$

$$E = 479,40 \frac{Kg}{año} \text{ de PM10}$$

$$E = FA \cdot DA$$

$$E = 0.00019 \frac{Kg}{L10-3} * \frac{1000 L_i}{m^3} 81.670 \frac{m^3}{año}$$

$$E = 15,517 \frac{Kg}{año} \text{ de SO}_2$$

$$E = FA \cdot DA$$

$$E = 0.024 * \frac{Kg}{L10-3} * \frac{1000 L_i}{m^3} * 81.670 \frac{m^3}{año}$$

$$E = 1960,8 \frac{Kg}{año} \text{ de O}_3$$

En cuanto a las emisiones producidas por la operación de los rellenos, un gran porcentaje tiene que ver con el biogás resultante de la descomposición biológica de los residuos aprovechables, conformado por el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2). Además, se encuentran en un menor porcentaje los compuestos orgánicos volátiles [7].

La calidad del aire se afecta por la contaminación que se produce por la acción antropogénica debido a la presencia de las fuentes fijas y móviles en la zona, y esto conlleva afectaciones negativas en los campos analizados como la salud humana, la flora y la fauna. Por lo anterior, en el análisis de la calidad del aire se debe analizar el comportamiento de los contaminantes, según la implementación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) criterio en Colombia, por medio de las estaciones de monitoreo ubicadas en los diferentes puntos geográficos del país [10].

Para poder establecer estrategias que mitiguen las emisiones se debe conocer cuáles son las variables que influyen para que aquéllas sean mayores o menores. En primer lugar, se encuentra que una variable es la edad del relleno, entre mayor sea el tiempo de la producción de gases menor será la calidad del aire, lo que a su vez conlleva un aumento del efecto invernadero. En segundo lugar, se encuentra el volumen de residuos que se reciben y los tratamientos a los que se someten para una correcta disposición final, en esto intervienen las condiciones climatológicas como temperatura, humedad, presencia de oxígeno, velocidad y dirección del viento. En tercer lugar, las características físicas y químicas de los residuos. Finalmente, en cuarto lugar, las características geomorfológicas, específicamente dónde se encuentra ubicado el relleno, ya que cuando se encuentran en zonas planas, la dispersión de contaminantes es mayor que en zonas con relieve montañoso [11].

Para la correcta disposición de los residuos se deben llevar a cabo varios procesos, los cuales están divididos en fases, desde la aeróbica hasta la estabilización de los residuos, y en cada una de ellas se producen diferentes tipos de gases como se

muestra en la Figura 4 [7]. Una correcta separación de los residuos por parte de los usuarios permite a la empresa conocer las proyecciones de producción de residuos sólidos en la ciudad, la cantidad de residuos sólidos recolectados, la fracción que se viene aprovechando y la cantidad que se dispone en el relleno. Estas proyecciones, conociendo la densidad y el crecimiento poblacionales, son el punto de partida para determinar la vida útil del relleno sanitario. De igual forma, se requiere implementar metodologías para aprovechar los residuos, con una excelente probabilidad de aprovechamiento energético [12].

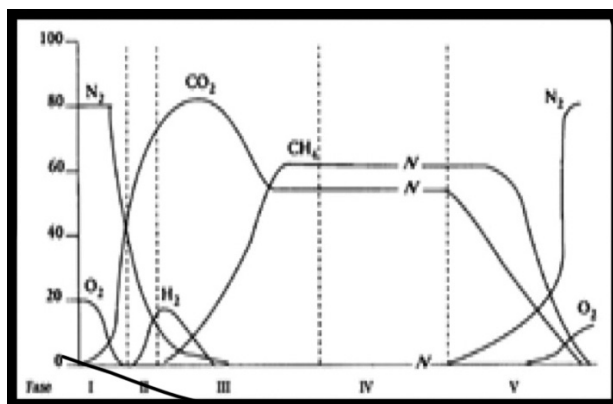


Figura 4. Emisión de gases en las fases de operación del relleno sanitario. Fuente: Elaborado por los autores

Como se mencionó anteriormente, la emisión tanto de dióxido de carbono (CO_2) como de metano (CH_4) afecta significativamente la calidad del aire, pero la mayor afectación es su contribución al aumento del calentamiento global y al efecto invernadero, donde el metano se caracteriza por tener un periodo de vida más corto (12 años), pero sus concentraciones son más perjudiciales [7].

Los procesos inadecuados de planificación ambiental generan problemas asociados con una deficiente disposición final de residuos sólidos urbanos. Esta situación se convierte en una preocupación creciente para los organismos de salud pública en diferentes países, diversos estudios señalan que la ocurrencia de enfermedades, como bajo peso al nacer, defectos congénitos y algunos tipos de cáncer en personas asentadas en zonas de influencia de basureros, botaderos a cielo abierto o vertederos, podría estar relacionada con las

emisiones atmosféricas (gases), lixiviados y malos olores provenientes de estos lugares [11].

Los sistemas de manejo y disposición de residuos sólidos pueden contribuir a que se dispersen microorganismos que colonizan los residuos, los cuales se encuentran en diversos estados de degradación. La presencia y dispersión de material aerotransportable, viable a partir de estos sitios, se considera como una fuente de riesgo para la salud de los trabajadores del sitio, así como de los pobladores cercanos [13].

Complejos factores, como las variaciones globales y regionales del clima y las condiciones topográficas locales, inciden en el transporte y la dispersión de los contaminantes. La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana. La turbulencia puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera. El movimiento horizontal es lo que comúnmente se llama viento, cuya velocidad afecta en gran medida la concentración de contaminantes en un área: mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes [14].

A causa de los factores que determinan el transporte y dispersión de los contaminantes, la contaminación del aire producida en una región tiene efectos adversos sobre los lagos y bosques de otra región. Las grandes ciudades rodeadas de una topografía compleja, como valles o cadenas montañosas, a menudo experimentan altas concentraciones de contaminantes en el aire.

Si se considera qué se puede hacer para controlar las fuerzas naturales que crean estos problemas, existen técnicas que ayudan a dispersar los contaminantes [14]. La dispersión de los contaminantes de un relleno sanitario se presenta en forma de gases, los cuales son producidos por la descomposición de los desechos en un sitio de descarga en tierra, a menos que se encuentren instalados y operando sistemas competentes de control de gases en el sitio de eliminación. El gas del relleno puede migrar debajo de la tierra por las vías de resistencia en la zona no saturada con una inclinación hacia arriba o también hacia abajo [13].

Cuando los residuos se disponen en el relleno sanitario se forman espacios vacíos ocupados por oxígeno (O_2) que inicia la descomposición aeróbica —también conocida como fase corta de la materia orgánica biodegradable— y produce dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y otros subproductos. Cuando el O_2 en el relleno sanitario se agota, se inicia la fase anaeróbica de la descomposición, que es la más importante desde la perspectiva de formación de gases. Los gases emitidos a la atmósfera desde un relleno sanitario se dividen en gases principales, producidos en mayor cantidad de la descomposición orgánica, y oligogases. También se producen gases como el metano, con características de combustión y explosividad en concentraciones que van desde el 5 al 15 %, especialmente cuando migra del lugar y se mezcla con el aire [15].

La geomorfología desempeña un papel importante en los rellenos sanitarios, ya que cuando un volumen relativamente importante de contaminantes llega a un curso de agua, es probable que se sobrepasen los valores de sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) permitidos, y las concentraciones de cloruros, nitratos y otros elementos disminuyen la concentración de oxígeno disponible para los organismos vivos. Por otra parte, los compuestos orgánicos presentes en los lixiviados contienen una importante cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que pueden ser liberados y provocar la eutrofización del agua. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis de variables que influyen a la hora de prevenir el impacto negativo al ambiente y a la salud pública [16].

Las PM₁₀, llamadas partículas gruesas (PM₁₀ – 2,5) o también llamadas partículas inhalables, son las partículas menores a 10 micrómetros, pero más grandes que 2,5 micrómetros de diámetro. Estas partículas se consideran contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, se encuentran en el aire y pueden ser generadas por fuentes móviles y estacionarias de manera natural o antropogénica. Además, se asocian generalmente a la combustión no controlada y algunas están

relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la re-suspensión de partículas en el ambiente. Esto incluye procesos de combustión en vehículos (principalmente aquellos que usan diésel), industrias de fundición, pinturas y cerámica y plantas de energía. Así, se establece que las partículas están constituidas por siete componentes químicos o especies, entre los cuales se encuentran: material geológico, sulfatos de amonio, nitratos de amonio, material orgánico, carbón elemental, sales y elementos trazas. El tiempo que las partículas permanecen suspendidas en el aire depende principalmente de su tamaño. El tamaño de las partículas se define por su diámetro aerodinámico, y una vez emitidas, la distribución granulométrica de estas partículas es relativamente constante [3].

Por otra parte, se puede afirmar que hay evidencia científica que correlaciona la exposición al material particulado atmosférico con diversos efectos en la salud. Estos estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a diferentes contaminantes ambientales, incluso a niveles por debajo de las normas internacionales y nacionales, se asocia con un incremento en la incidencia de asma, severidad en el deterioro de la función pulmonar y, con mayor gravedad, la presencia de las enfermedades respiratorias de niños y adolescentes. Además, se presentan síntomas comunes como irritación ocular, tos, malestar en garganta y dolor de cabeza. Asimismo, se identifican otros efectos como daños a la economía por costo de enfermedades, daños a la vegetación y reducción de la visibilidad [3].

Por todo lo anterior, es importante conocer la calidad del aire de un municipio, porque se desprenden efectos negativos para la salud y el ecosistema, y aunque la contaminación atmosférica o contaminación del aire se genera por el vertido de materia o formas de energía que alteran sus condiciones normales, deben aplicarse diferentes metodologías que contribuyan a disminuir aquellos contaminantes que generan desgaste tanto a la población aledaña como al medio ambiente.

Entre los contaminantes presentes en la vereda encontramos el NO_2 , que se origina en su mayor parte de la oxidación del NO , además, se identifica

que interviene en diversas reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera y da lugar a la producción de ozono troposférico y de partículas en suspensión secundarias menores de 2,5 micras, siendo estas últimas las más dañinas para la salud de la población aledaña al relleno.

La cuantificación de impactos se realiza por el método de *Batelle Columbus*. Por lo anterior, se determina que las etapas que tienen mayor afectación, tanto en la calidad del aire como en los aspectos socioeconómicos y ambientales, son la evacuación de gases con un valor de 704,5 y el esparcido y compactación de residuos sólidos con un valor de 611,2. A su vez, las etapas que generan un impacto muy bajo son: la evacuación de aguas pluviales con un valor de 833,9 y el tratamiento de gases y lixiviados con un valor de 820,71.

Según los valores de las emisiones que se producen por la descomposición de residuos no aprovechables y la operación del relleno sanitario, tienen un nivel máximo permisible de PM_{10} , $0,000000050 \text{ kg/m}^3$ anual; SO_2 , $4,566 \times 10^{-12} \text{ kg/m}^3$ anual, y O_3 , $0,0000001 \text{ kg/m}^3$ anual, sin embargo, se obtuvieron los siguientes valores: de PM_{10} , 479,4 kg/año, 15.517 de SO_2 y 1960,8 de O_3 , lo que indica que las emisiones exceden los límites permisibles, por lo que es de vital importancia implementar sistemas de control que ayuden a minimizar los impactos ambientales y sobre la población.

Conclusiones

El análisis de la calidad del aire en un municipio es importante para determinar cómo se afecta la salud de sus habitantes y los diferentes ecosistemas que posee, teniendo en cuenta fuentes fijas específicas de emisión de contaminantes y el comportamiento de los contaminantes criterio en Colombia. Para establecer estrategias que mitiguen las emisiones se debe conocer cuáles son las variables que influyen para que las emisiones sean mayores o menores. En primer lugar, está la edad del relleno, ya que entre mayor sea la edad, mayor será la producción de gases que disminuyen la calidad del aire e incrementan el efecto invernadero. En segundo lugar, se encuentra el volumen de

residuos que recibe y los diferentes tratamientos a los que están sometidos para que se dé una correcta disposición final, ya que en sobre estos intervienen las condiciones climatológicas como la temperatura, humedad, presencia de oxígeno y la velocidad y dirección del viento. En tercer lugar, se encuentran las características físicas y químicas de los residuos, y en cuarto lugar, las características geomorfológicas, como la ubicación del relleno, debido a que cuando se encuentran en zonas planas la dispersión de contaminantes es mayor que en zonas con relieve montañoso.

La calidad de aire del municipio de Tunja debe caracterizarse por tener condiciones aceptables para sus habitantes, sin embargo, por la presencia de altas concentraciones de partículas se pueden desencadenar y agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares y, por tanto, disminuir la calidad de vida. De igual manera, se identifica que el relleno sanitario del municipio debe contar con barreras naturales y diferentes mecanismos que permitan un control adecuado de la emisión y dispersión de contaminantes.

Trabajo futuro

Al identificar los diferentes impactos ambientales ocasionados en el medio ambiente y en la salud de los trabajadores y personas de la zona, se busca dar a conocer los resultados del proyecto para implementar diferentes medidas que ayuden a mitigar y prevenir las consecuencias que están generando un deterioro significativo ambiental y social. A su vez, es de vital importancia explicar a los habitantes de la zona de estudio los posibles usos que se les pueden dar a los residuos orgánicos e inorgánicos aprovechables para disminuir el volumen de residuos del relleno de Pirgua.

Referencias

- [1] C. Ubilla y K. Yohannessen. "Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño", *Rev. Méd. Clínica Las Condes*, vol. 28, núm. 1, pp. 111-118, 2017.
- [2] Centro de Documentación e Información Municipal (CDIM), "Plan de ordenamiento. Dimensión urbanística", CDIM, ESAP, 2018. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pd>
- [3] K. M. Noguera y J. Olivero, "Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano", *Rev. Acad. Col. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 34, núm. 132, pp. 347-356, 2015.
- [4] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 2254 de 2017, "Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones", *Diario Oficial*, núm. 50.415, 12 de noviembre de 2017. Disponible en: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_2254_2017.ht
- [5] Servitunja. Reglamento operativo. Relleno sanitario Parque Ambiental de Pirgua. Servitunja S. A. E.S.P., 2018.
- [6] CEAMSE, "Recolección de la basura". Disponible en: <https://www.ceamse.gov.ar/gestion-integral-de-residuos-solidos-urbanos/recoleccion-de-la-basura/#>
- [7] A. Andrade, A. Restrepo, y J. E. Tibaquirá, "Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia", *Entre Ciencia e Ing.*, vol. 12, núm. 23, pp. 40-47.
- [8] Corpoboyacá. 2018. Disponible en: <https://www.corpoboyaca.gov.co/>
- [9] Environmental Protection Agency (EPA), AP 42, *Compilation of Air Pollutant Emissions Factors*, 5th Ed. Vol. 1: *Stationary Point and Area Sources*, Chapter 2: Solid Waste Disposal, 2009.
- [10] P. Matus, "Contaminación atmosférica: la composición química incide en su riesgo". *Rev. Méd. Chile*, vol. 145, núm. 1, pp. 7-8, 2017.
- [11] I. Amable, J. Méndez, B. Bello, B. Benítez, L. M. Escobar, y R. Zamora, "Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud", *Rev. Méd. Electrón.*, vol. 39, núm. 5, pp. 1160-1170, sept.-oct. 2017. Disponible en: <http://>

www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/2470/3610

- [12] J. Castro y G. Pérez, "Gestión de residuos sólidos urbanos, capacidades del gobierno municipal y derechos ambientales", *Sociedad y Ambiente*, vol. 1, núm. 9, pp. 73-101, 2016.
- [13] C. J. D. Argumedo y J. R. F. Castillo, "Caracterización Química de material particulado fracción respirable pm 10 en la atmósfera de Riohacha, La Guajira, Colombia", *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*, vol. 17, núm. 1, pp. 5-16.
- [14] N. Uriza, "Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en el sector urbano de la ciudad de Tunja y propuesta de sensibilización para su separación en la fuente", Tesis de maestría, Universidad de Manizales, 2016.
- [15] S. F. Gómez, A. M. Rojas, J. Velandía, y J. E. Almeida, "Revisión de documentación acerca de la contaminación por lixiviados generados en rellenos sanitarios en Colombia", *Innovando en la U*, núm. 8, pp. 77-90, 2016.
- [16] Q. Aguilar-Virgen, C. Armijo-de Vega, P. Taboada-González, y X. M. Aguilar, "Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario", *Rev. Ing.*, núm. 32, pp. 16-27, 2015.