

Práctica empresarial como apoyo técnico en el diseño de una nueva celda para planta de residuos  
sólidos en el relleno sanitario Chicamocha en el municipio de Málaga - Santander



Carlos Mario Sandoval Martínez

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Civil

Universidad De Pamplona

Pamplona, 2022

Práctica empresarial como apoyo técnico en el diseño de una nueva celda para planta de residuos  
sólidos en el relleno sanitario Chicamocha en el municipio de Málaga - Santander

Carlos Mario Sandoval Martínez

Trabajo de Grado modalidad Práctica Empresarial, para optar el título de Ingeniero Civil

Directora

Leidy Tatyana Rico Carrillo

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Civil

Universidad De Pamplona

Pamplona, 2022

Nota de Aceptación:

---

---

---

Firma del presidente de Jurado

---

Firma del Jurado 1

---

Firma del Jurado 2

Pamplona, Día\_\_\_\_ Mes Año 2022

## **Agradecimientos**

Primeramente, a Dios que es la fortaleza para superar cada obstáculo que se nos presente en el recorrido de la vida. Seguido de mis padres, que con su sacrificio, paciencia y amor han sido un pilar permanente en la formación académica, pese a mis ausencias de motivación lograron reivindicarme en el camino al éxito. A mis hermanos, familia y amigos, que con su fe en mí e inspiración hacen que me sienta con deseos de superarme cada día. Por último, pero no menos importante. A mi Universidad, a todo el cuerpo de Docentes y personal administrativo que, con su trabajo de una u otra forma forjaron el camino que hoy me permite realizar este trabajo de grado.

## **Dedicatoria**

Quiero manifestar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que con su saberes, conocimiento y experiencia profesional contribuyeron a la elaboración de este documento: A Leidy Tatyana Rico Carrillo, directora del presente trabajo de grado y del programa de ingeniería civil de la Universidad de Pamplona, por su constante apoyo y confianza en mi trabajo, con el fin de ejecutar satisfactoriamente mi práctica empresarial y poder obtener mi grado de Ingeniero Civil. A los funcionarios de la Alcaldía municipal de Málaga, Santander, en especial al doctor Oscar Miguel Joya Arenales alcalde del municipio y al Ingeniero Wilfer Padilla gerente de EPMM, encargado de la Oficina de gestión ambiental y mi jefe de práctica, quienes cordialmente me apoyaron con su atención, disponibilidad y asesoría en el tiempo que ejercí mi práctica, en la cual me sentí apoyado profesionalmente para alcanzar los resultados obtenidos. También quiero agradecer a los empleados de la empresa de servicios públicos municipales de Málaga Santander por facilitar toda la información necesaria en algunos aspectos de este trabajo de grado. Por último, a todos aquellos docentes y personas que me apoyaron desinteresadamente para la obtención de este logro. Su apoyo se refleja en la culminación satisfactoria de este trabajo.

## **Glosario**

**Aprovechamiento:** actividad adicional del servicio público de aseo que permite la recolección de residuos utilizables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de categorización y aprovechamiento (Ministerio de vivienda ciudad y territorio, 2018).

**Celda:** Infraestructura situada en el relleno sanitario, donde se difunden y compactan los residuos en el día para cubrirlos al final del mismo (Campos, 2021).

**Celdas transitorias:** instalaciones para la disposición segura de los residuos sólidos municipales, cuentan con un tiempo de vida útil de siete años (Campos corporación, 2021).

**Lixiviado:** líquido que percola a través de los residuos sólidos depositados y que extrae sólidos disueltos o suspendidos, materiales a partir de ellos (Corena, 2018)

**Protección ambiental:** tiene como fin el salvaguardar, y conservar todos los recursos naturales, los seres vivos, los ecosistemas, paisajes, áreas naturales, el ambiente, el planeta tierra y todo el universo que nos rodea (Protección Ambiental, 2018).

**Relleno sanitario:** zona seleccionada, para la disposición final de residuos sólidos, sin producir riesgo, a la salud pública (Meza, 2003)

**Restauración ecológica:** conservación y rehabilitación de ecosistemas no funcionales, se concibe como un instrumento de valor en la trayectoria de la sociedad global, hacia un futuro más sostenible y en armonía con la naturaleza (Roldán, 2020).

**Vulnerabilidad ambiental:** se refiere al nivel de resistencia de un sistema, subsistema o componente, ante las grandes dificultades globales actuales: el calentamiento global y la pérdida de biodiversidad (Portillo, 2020).

## **Resumen**

El presente proyecto consistió en realizar el apoyo técnico para el diseño de una nueva celda de disposición final de residuos sólidos para el relleno sanitario del municipio de Málaga, para un período de vida útil de 7 años, para lo cual, se efectuaron las siguientes etapas: levantamiento de la línea base del relleno sanitario con el ánimo de conocer la situación actual del relleno sanitario se procedió a realizar la georreferencia del lugar con la ayuda de programas de software Google Earth pro.

Por otro lado, en la segunda etapa, se obtuvieron los datos en volumen sobre los residuos generados, para el estudio de la nueva celda de confinamiento de residuos sólidos, esta actividad se llevó a cabo teniendo en cuenta la cantidad de residuos sólidos que generan los habitantes de la zona de influencia indirecta del proyecto, estos datos obtenidos gracias al estudio realizado por empresas públicas del municipio que llevaron el control de tonelaje que entra por cada mes al relleno sanitario y a partir de ellos se hicieron los cálculos de ingeniería para efectuar el dimensionamiento de la celda de su área, longitud, altura y volumen, para finalmente tener una celda que cumpla con todos los aspectos de la norma ambiental vigente en Colombia.

En cuanto a la tercera etapa se apoyó de manera técnica el diseño de planos para la construcción de la nueva celda, dando un aporte constructivo permitiendo que esta cumpla con un diseño óptimo y que con los datos obtenidos en el estudio del volumen que tendrá la celda, sea apto para la construcción del mismo; la cuarta etapa, partió del diseño del manual de operación, mantenimiento y puesta en marcha para el buen funcionamiento de la nueva celda, para este proceso

se realizó un documento en el cual se especifica el funcionamiento de la PTRS y la posible operatividad, capacidad y cumplimiento de la vida útil de la nueva celda.

**Palabras clave:** Relleno, Sanitario, Celda, Residuos, Solido, Lixiviados, Ambiente.

## **Abstract**

This project consists of providing technical support for the design of a new cell for the final disposal of solid waste for the sanitary landfill of the municipality of Malaga, for a useful life of 7 years, for which the following five stages were developed: lifting of the baseline of the landfill in order to know the current situation of the landfill, a georeferencing of the place will be carried out with the help of the computer programs Google Earth and ArcGIS.

On the other hand, in the second stage, to obtain data on the volume of waste generated for the study of the new solid waste confinement cell, this activity will be carried out taking into account the amount of waste generated by the inhabitants of the indirect area of influence of the project, characterization and quantification of the percentages of components such as plastics, cardboard, paper, metal, organic, these data obtained thanks to the study carried out by public companies of the municipality that control the tonnage that enters the landfill each month and from them the engineering calculations will be made to carry out the dimensioning of the cell of its area, length, height and volume, later the plans of all the components of the cell will be made (details of: daily cell, chimneys, collection network of leachate, crowning gutters), to finally have a cell that complies with all aspects of the current environmental standard in Colombia.

Regarding the third stage, verify the technical specifications contained in the construction designs of the new cell, for this process the analysis of the plans already made will be carried out to give a constructive contribution and indicate and verify that it complies with an optimal design. and that with the data obtained in the study of the volume that the cell will have and this design is suitable for its construction; the fourth stage, carry out the programming of the work for the execution of the

new cell with the data obtained from the designs, the calculation of material quantities, machinery and equipment that are required to carry out the construction of the cell will be carried out by another. On the other hand, the payroll will also be made if required and assigned by the construction manager, the schedule of activities that must be executed in the work will be made.

And finally, design an operation, maintenance and start-up manual for the proper functioning of the new cell. For this process, a manual will be prepared that indicates the operation, maintenance and start-up so that the cell to be built has excellent operation. and comply with the useful life established at seven years.

**Keywords:** Landfill, Sanitary, Cell, Waste, Solid, Leachate, Environment.

## Contenido

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Glosario.....                                                 | 6  |
| Resumen.....                                                  | 8  |
| Abstract .....                                                | 10 |
| Introducción .....                                            | 16 |
| Objetivos .....                                               | 18 |
| Objetivo General.....                                         | 18 |
| Objetivos Específicos.....                                    | 18 |
| Marco Teórico.....                                            | 19 |
| Residuos solidos.....                                         | 19 |
| Clasificación de los residuos sólidos .....                   | 20 |
| Manejo de residuos sólidos.....                               | 22 |
| Impactos ambientales asociados con los residuos sólidos ..... | 22 |
| Vertedero.....                                                | 23 |
| Lixiviado de vertederos.....                                  | 26 |
| Métodos de tratamiento.....                                   | 27 |
| Marco Legal .....                                             | 29 |
| Ubicación de la práctica.....                                 | 32 |
| Desarrollo de la práctica .....                               | 35 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Descripción de actividades ..... | 35 |
| Aportes a la empresa .....       | 50 |
| Conclusiones .....               | 57 |
| Referencias Bibliográficas ..... | 58 |

## **Listado de figuras**

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Málaga Santander .....                                                                                                    | 32 |
| Figura 2. Ubicación Relleno Sanitario.....                                                                                          | 33 |
| Figura 3. Georreferenciación del relleno .....                                                                                      | 35 |
| Figura 4. Celdas de disposición final y tratamiento de residuos sólidos .....                                                       | 36 |
| Figura 5. Reconocimiento del estado actual del relleno sanitario .....                                                              | 37 |
| Figura 6. Toneladas de residuos por año (2015-2022) .....                                                                           | 38 |
| Figura 7. Ubicación nueva celda.....                                                                                                | 40 |
| Figura 8. Cálculos realizados.....                                                                                                  | 41 |
| Figura 9. Levantamiento topográfico de la zona en donde diseñará la celda .....                                                     | 42 |
| Figura 10. Diseño del relleno sanitario .....                                                                                       | 43 |
| Figura 11. Celda planta .....                                                                                                       | 44 |
| Figura 12. Apoyo diseño técnico .....                                                                                               | 44 |
| Figura 13. Modelado en 3D de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos con la<br>modalidad BIM programa civil 3D..... | 45 |
| Figura 14. Modelado en 3D de la modalidad BIM, de la modalidad BIKde la celda de disposición<br>final de residuos sólidos.....      | 46 |
| Figura 15. Supervisión de los frentes de trabajo en la construcción del filtro drenante. ....                                       | 51 |
| Figura 16. Instalación de geomembrana .....                                                                                         | 52 |
| Figura 17. Extensión y evolución de las condiciones de la geomembrana.....                                                          | 52 |
| Figura 18. Sistema de aspersión de lixiviados .....                                                                                 | 53 |
| Figura 19. resultado de Quimifloc para observación de solidos suspendidos en lixiviados.....                                        | 54 |

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20. Acompañamiento en análisis de lixiviados para adecuación de tratamiento por coagulación. .... | 54 |
| Figura 21. Supervisión de procesos por parte del equipo de trabajo de EPMM.....                          | 55 |

## **Introducción**

Durante muchos años se ha buscado la disposición segura de los residuos sólidos municipales, con un tiempo de vida útil prolongado hasta contar con un relleno sanitario optimo y de calidad, lograr cumplir con todos los estándares ambientales nacionales, para que no se vean afectados los siguientes aspectos importantes para la población del municipio de Málaga-Santander, estos aspectos son: aire, suelo y agua de esta zona.

Ha venido afectando a los habitantes del lugar debido que se logran presentar olores desagradables, afectaciones en el agua ya que se contaminan con los desechos que son llevados por las aguas pluviales hacia las fuentes hidrográficas aledañas a donde se encuentra ubicado el relleno sanitario, también esta zona tiene afecciones por la calidad del aire que los habitantes respiran en este entorno, esto podría presentarles problemas en la salud debido a una mala calidad de aire en el ambiente, con este fin se procederá a realizar el apoyo técnico para el diseño de una nueva celda de residuos sólidos que cumpla con lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, en el Decreto 1784 2017 y en el Decreto 1713 2002 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento. y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo municipal.

Teniendo en cuenta que Santander produce algo más de 30.000 Toneladas/día, puede superar las 1500 T/día, dispuestas sobre todo en rellenos sanitarios regionales como: El Carrasco-Bucaramanga 1.000 T/día; El Cucharo-Sangil 60 T/día; Relleno sanitario de Málaga 30 T/día; La Esmeralda- Barranca 180 T/día; también la gran mayoría de los municipios de la provincia de Vélez disponen en Pírgua-Tunja 30 T/día; y lo inconcebible, aún se tiene en Santander botaderos sin licencia a cielo abierto en los municipios de: Betulia, Bolívar, Guaca, Los Santos, Puerto Parra,

Puerto Wilches y San Andrés disponen todos aproximadamente 30 T/día; algunos municipios con Relleno Sanitarios locales licenciados son: Aguada, Guacamayo, San Joaquín, San Miguel, San Vicente, Santa Helena y Cimitarra disponiendo aproximadamente 25T/día.

Así mismo, la regionalización es la estrategia que se puede mantener en el tiempo, para esto Santander cuenta con 4 municipios: Bucaramanga con El Carrasco, quien tiene calculado su cierre definitivo para el 30 de septiembre de 2017; Barrancabermeja, quien no muestra interés por los debates en la Asamblea, pero cuenta con su sitio de disposición con una vida útil de 27 años; San Gil con su empresa de servicios públicos con 17 años de vida útil y Málaga con una vida útil de 30 años. A la fecha existe una nueva metodología contenida en la Resolución CRA 720 y 631 de 2015, donde se incluye de manera separada el costo del tratamiento de lixiviados y sobre el vertimiento que busca controlar los cuerpos contaminantes de los ríos para mejorar la calidad del agua, son normas de obligatorio cumplimiento; así que desde la Asamblea Departamental, se estará llevando el control proteger nuestras fuentes hídricas y que no sean contaminadas por los lixiviados que producen los rellenos sanitarios (Suárez, 2016).

Cabe aclarar que se realiza el tratamiento de los residuos sólidos que llegan provenientes de 12 municipios de la provincia de García Rovira a los cuales el municipio de Málaga presta el servicio por medio de EPMM, en los tratamientos que se le realizan dentro de la PTRS, se cuenta con un espacio de separación de residuos, donde se realiza el tratamiento de residuos orgánicos (compostaje), pero no es apto para la cuantificación de los residuos aprovechables.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar el apoyo técnico en los diseños de una nueva Celda para la Disposición Final de Residuos Sólidos en el Relleno Sanitario del Municipio de Málaga Proyectada para Siete Años de Servicio.

### **Objetivos Específicos**

Recopilar información existente del estado actual del relleno sanitario en el municipio de Málaga.

Obtener los datos en volumen sobre los residuos generados, para la construcción de la nueva celda de confinamiento con los parámetros requeridos por la norma vigente para diseño de celdas en el relleno sanitario.

Revisar los diseños y especificaciones técnicas para la construcción de la nueva celda.

Diseñar manual de operación, mantenimiento y puesta en marcha para el buen funcionamiento de la nueva celda.

## **Marco Teórico**

### **Residuos solidos**

Según lo establecido por el MinCit (2018) estos constituyen materiales que son desechados posteriormente de desempeñar su vida útil, y que dejan de tener un valor económico después de su uso. Estos residuos están compuestos principalmente de materiales que se utilizan en la elaboración, evolución o uso de bienes de consumo, es de mencionar que este tipo de residuos pueden reaprovecharse o transformarse si son reciclados de manera correcta. Cabe aclarar que la raza humana es quien produce en su mayoría residuos sólidos, y estos se encuentran especialmente en las grandes ciudades.

De igual manera según los planteamientos de Enger y Smith (2006), son materiales que se hallan en una parte determinada y la gente ya no necesita, por lo que, al estar descompuestos, rotos, ya no tienen valor (p. 213).

Del mismo modo, en ley peruana llamada *Ley general de los residuos sólidos* (2009), la cual brinda el concepto de residuos sólidos en su artículo 14, donde se afirma que: “estos se consideran sustancias en las que el generador dispone y un producto que puede ser solidos o semisólido, en consecuencia, atenta contra la salubridad y el ambiente, según menciona en la normatividad nacional”

Ahora bien, en Colombia se cuenta con la que se considera una de las legislaciones más desarrolladas y mejor concebidas, en cuanto a los residuos sólidos se refiere, pues existe una serie de normas en las que se reglamentan los aspectos relacionados con la conservación y utilización de los recursos naturales.

Es indispensable resaltar que muchas de las normas existentes, se han creado con el fin de minimizar los problemas ambientales presentes en Colombia y que se han tenido en cuenta leyes implementadas en otros países, donde el manejo de los residuos sólidos está más avanzado, en cuanto a reglamentación, aplicación y práctica, pero que estas han tenido poca acogida por su complejidad y poca eficacia. (Aluna, 2011)

Ante la evidencia de un inadecuado manejo de residuos sólidos, la poca eficiencia de los municipios frente a esta temática y la casi nula participación comunitaria y empresarial para la actualización y apoyo de los sistemas de aseo, surgió la necesidad de expedir normas que se encargaran de regular este manejo de residuos desde diferentes perspectivas tales como las económicas, sociales y ambientales, para hacer un uso integral de estos.

Es por lo anterior, que actualmente en Colombia se cuenta con un amplio desarrollo normativo que se enmarca en la Política Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos (1998) la cual fue actualizada en el CONPES y que se encuentra soportada por la Constitución Nacional, dentro de la Ley 99 de 1993 y la Ley 142 de 1994, donde se establecen unos objetivos que logran determinar las prioridades de la gestión en residuos.

#### Clasificación de los residuos sólidos

Teniendo claro el concepto de residuos sólidos, se hace necesario reconocer la clasificación que estos merecen según su composición, origen, los usos que se les puede dar, estructura química y hasta su disposición final. Así pues, Barradas (2009) los clasifica así:

**Residuos Orgánicos:** Este tipo de residuos son los materiales que han tenido vida, constituyeron parte de algún ser vivo o derivan de procesos de combustión fósil (p. 6) estos residuos se dividen en:

**Putrescibles:** son los que se obtienen de la transformación de materias naturales sin perder su estructura de manera general, pues tienen alto grado de biodegradabilidad, dentro de estos se encuentran los: residuos forestales, animales, comida, heces de animales, agropecuarios, entre otros.

**No putrescibles:** este tipo de residuos son los que han sido modificados que logran perder su biodegradabilidad. Generalmente son los combustibles. Y pueden ser naturales como el cartón, papel, madera, entre otros, y/o sintéticos como plásticos, fibras sintéticas, entre otros.

**Residuos sólidos inorgánicos:** Este tipo de residuos en general, no son biodegradables ni combustibles, y suelen provenir de la extracción y procesamiento de los minerales, por ejemplo, vidrios, tierras escombros, entre otros. (pág. 6)

Es de afirmar que, tanto los residuos sólidos orgánicos e inertes Los dos tipos de residuos anteriores mencionado pueden ser peligrosos o no peligrosos.

**Mezcla de residuo:** estos son los desechos de residuos mezclados resultado de una combinación de materiales orgánicos e inorgánicos.

En cuanto la clasificación de los residuos sólidos según sus componentes, los residuos sólidos se pueden clasificar en los siguientes tipos: patógenos, tóxicos, combustibles, inflamables, volátiles, explosivos, reciclables, ordinarios, peligrosos (Pineda, 1998).

### **Manejo de residuos sólidos**

De manera general, a los residuos sólidos, no se les da un manejo adecuado, por lo que estos desencadenan problemas ambientales y de salud que se padecen actualmente, pero esto viene desde el alto índice demográfico y el elevado consumismo pues esto ha traído la generación de más cantidad de residuos sólidos, que según lo mencionado por (Tchobanoglous y otros 2003), se suelen tirar en espacios a cielo abierto, donde no se tienen en cuenta las normas mínimas requeridas, que prevengan los impactos que estos traen sobre el suelo, agua, fauna, flora y el componente humano.

Cabe resaltar que actualmente, se suelen manejar de manera inadecuada los residuos sólidos, por lo que es indispensable buscar soluciones tecnológicas y crear políticas de manejo de residuos sólidos, para el aprovechamiento de los mismos, lo cual se deberá implementar desde los residuos del hogar y/o empresas, los cuales necesitan ser tratados por medio de la implementación de sistemas independientes donde se realice la separación en la fuente y por ende la recuperación de materiales, el procesamiento intermedio, por medio de la selección, embalaje y almacenamiento, transporte y comercialización para su procesamiento final (Meza, 2003).

### **Impactos ambientales asociados con los residuos sólidos**

El ser humano en su interacción con el ambiente siempre se ha visto enfrentado al problema del manejo de sus residuos. Este problema aumentó cuando las personas se concentraron en centros

urbanos, incrementando la cantidad de desechos generados y haciendo cada vez más difícil la disposición de estos.

La problemática ambiental relacionada directamente con el manejo de los residuos sólidos afecta al ser humano y a su entorno de diferentes maneras, especialmente en la salud pública, los factores ambientales, como los recursos renovables y no renovables, los factores sociales, los factores económicos: como los recursos naturales (Meza, 2003).

## **Vertedero**

Un vertedero controlado es la última medida para controlar la disposición de residuos en o sobre el suelo. Sin embargo, existen diferentes tipos de vertederos, algunos de los cuales incluyen vertederos industriales y vertederos de residuos sólidos municipales. La decoración saludable es un agujero con una base protectora en la que la basura está enterrada en capas y la más fuerte comprimida.

Cabe aclarar que el objetivo principal de la descarga es garantizar que los desechos sean seguros al reducir el daño a los desechos acumulativos y permitir una descomposición segura. La alternancia de capas de basura y tierra ayuda a acelerar el proceso de descomposición. Debido a que el metano, un gas tóxico, se crea a partir de la descomposición, se recolecta en vertederos para generar electricidad y no se libera a la atmósfera. Los vertederos también usan revestimientos de arcilla para aislar los desechos del medio ambiente.

Además, incluye métodos de ingeniería bien diseñados para proteger el medio ambiente de la contaminación por desechos sólidos o líquidos. Cuando el suelo se usa como relleno, se usa arcilla impermeable para rellenarlo y, si se considera seguro, el área se puede usar para otros fines. Los

rellenos sanitarios funcionan colocando los desechos en una gran fosa. Existen diferentes niveles de capas de residuos para facilitar la descomposición de los materiales, así como para atrapar los gases tóxicos liberados por el proceso.

Las capas se hacen para que la parte inferior tenga el menor volumen y la parte superior ocupe el mayor volumen para evitar que el piso se derrumbe. La primera capa es el sistema de revestimiento. Esta es la primera y más baja capa utilizada para sentar las bases del vertedero. Este proceso implica el uso de una suspensión muy espesa para evitar fugas dentro o fuera del líquido. Es por eso que esta arcilla es completamente impermeable. Este tipo de vertedero moderno también está equipado con una resina recubierta de arcilla de alta densidad para el endurecimiento.

Este diseño de ingeniería tiene como objetivo garantizar que no haya espacio para la entrada de fluidos, evitando así la contaminación de las aguas subterráneas. La segunda capa es el sistema de drenaje apoya el sistema de efluentes de la descomposición de algunos productos de desecho. Debido a la toxicidad de este líquido, no se permite que se filtre fuera de la pintura. La capa de drenaje ayuda a sacar este líquido del sistema de revestimiento. Además, la lluvia y la nieve también pueden ingresar al vertedero desde el techo superior y también deben drenarse.

Estos fluidos pueden contener residuos contaminantes que pueden erosionar el sistema de revestimiento y contaminar el suelo y el agua debajo del vertedero. Para reducir estos riesgos, el vertedero está equipado con tubos perforados en la parte superior del liner para recoger todos los líquidos del fondo del vertedero por filtración, por lo que se denomina lixiviado. Luego, el sistema de tuberías transporta el lixiviado a las plantas de tratamiento para su procesamiento y reutilización. La tercera capa es el sistema de recolección de aire. De manera similar a cómo se hacen los líquidos, los gases también se liberan a través de procesos naturales.

El metano es el más común de estos gases, es un gas hidrocarburo altamente volátil y tóxico. Por lo tanto, cuando se libera a la atmósfera, contribuye al calentamiento global y puede dañar la salud ambiental pública. Por lo tanto, hay tuberías mineras en esta capa para capturar el metano y transportarlo a las plantas de procesamiento para procesar el gas y luego usarlo para generar electricidad y ejecutar otros procesos juntos.

La cuarta capa contiene la propia basura. Esta es la capa más grande y también la más alta. Periódicamente, diferentes empresas de recolección de basura traen basura de diferentes fuentes y la vierten en esta capa. Para no ocupar mucho espacio, los residuos vaciados se compactan diariamente, una vez terminado, se coloca una capa de tierra compactada sobre la superficie del vertedero, el suelo es bueno para contener olores y el crecimiento de microorganismos dañinos como insectos y moscas. Además, el suelo compactado evitará que los escombros sean volcados por el viento (Decology, 2022).

Del mismo modo, Open Cells es una instalación segura de eliminación de residuos sólidos municipales, tiene una vida útil de tres años hasta que se disponga de un relleno sanitario y cumple con todos los estándares ambientales internacionales para la no eliminación de la contaminación del aire, el suelo o el agua, también se puede pensar en sólidos urbanos provenientes de la vía pública y otros espacios públicos. Este grupo está formado por diferentes tipos de residuos: vidrio, papel, cartón, materia orgánica, plásticos, textiles, metales, madera y escombros.

Los rellenos sanitarios consisten en celdas que protegen la tierra por medio de una geomembrana de caucho que transporta lixiviados (líquido altamente contaminado producido por la descomposición orgánica de los desechos). El lixiviado es el fluido que circula entre los residuos en los vertederos. La filtración ocurre durante la fermentación y descomposición de la materia orgánica

como resultado de filtrar el agua de lluvia que se filtra a través de los desechos y lleva consigo compuestos químicos y materiales biológicos, es muy contaminante y peligroso para el medio ambiente y la salud de los organismos vivos, por lo que debe desecharse adecuadamente.

La calidad en los rellenos sanitarios depende de la cantidad de tiempo que se usan y del tipo y la cantidad de desechos en el relleno sanitario. Por ejemplo, la calidad de los lixiviados en un país desarrollado no es la misma que la de un país en vías de desarrollo, porque en los países desarrollados existe una gestión de residuos (reciclado) para evitar que grandes cantidades de residuos lleguen a los vertederos. Sin embargo, la mayoría de los países en desarrollo no gestionan bien los residuos.

### **Lixiviado de vertederos**

Líquido que circula entre los residuos de los vertederos y se produce por filtración, donde se descompone y fermenta, lombrices lixivian, líquido que estos animales producen de forma completamente natural en el suelo y subsuelo a medida que se alimentan y descomponen la materia orgánica. Tratamiento de lixiviados Todos los líquidos contaminados en vertederos deben ser tratados antes de ser vertidos a la superficie.

Durante el procesamiento, se deben tener en cuenta las características del lixiviado, así como la ubicación del vertedero, los lixiviados de un vertedero nuevo no se tratan como los lixiviados de un vertedero antiguo, o de un vertedero peligroso o de un vertedero propio. Realizar un tratamiento para evitar la contaminación por Suculentas, se deben tener en cuenta sus características, así como la ubicación del vertedero.

Como ya se mencionó, las suculentas se almacenan en estanques antes del procesamiento final, que varía según el tipo de vertedero. Los residuos peligrosos de rellenos sanitarios (RP)

depositados en tanques deben aislarse con polietileno para evitar fugas, y los lixiviados de rellenos sanitarios no peligrosos (RNP) se recolectan en tanques de concreto. (Corina, 2008)

El predecesor de los proyectos de dosel de residuos sólidos, el diseño final de la celda de residuos sólidos, se puede encontrar en Quito Ecuador (Vallejo, 2017).

Características geológicas de la Institución Sanitaria "La Cortada", Pamplona (Santander Norte) A partir de datos geológicos, Peña (2018) demos también considerar sólidos urbanos a los provenientes de las vías públicas y otras zonas públicas. Este grupo está formado por diferentes tipos de basura: vidrio, papel y cartón, restos orgánicos, plásticos, textiles, metales, madera y escombros.

## **Métodos de tratamiento**

Para tratar los residuos sólidos, se hace necesario brindar una solución parcial al problema de los desechos, cabe aclarar que estos procesos no son tan rápidos debido a que Colombia no está acostumbrada a hacer labores de reciclaje o separación de desechos, por lo que se necesita que se tome conciencia del problema que esto genera, así pues, estos residuos se pueden tratar en:

**Relleno sanitario.** En América latina, se suelen tratar este tipo de rellenos para dar tratamiento a los residuos, esto se basa en enterrar la basura en capas de tierra compactándola, con esto se busca disminuir el daño al medio ambiente, evitar los malos olores, las quemaduras de gases en descomposición y el manejo de lixiviados (Pineda 1998).

**Incineración.** Con este tipo de manejo se busca reducir toneladas de basura a cenizas, quemando residuos domésticos, esto también se puede realizar en algunos residuos hospitalarios por parte de entidades calificadas.

**Reciclaje.** Este proceso actualmente es más practicado, ya que busca disminuir el acumulamiento de productos inorgánicos en los rellenos sanitarios, los cuales no son biodegradables, y para la tierra los pueda adsorber se necesita más de cien años, estos productos se pueden volver a reutilizar si se les realiza el proceso adecuado (Tchobanoglous, 1996).

## **Marco Legal**

Para el desarrollo del presente documento, se tiene en cuenta el siguiente marco normativo enfocado a la recolección de residuos, partiendo de leyes, resoluciones y decretos en donde ello se establece.

Ley 689 de 2001, define el servicio público de aseo como: "El servicio de recolección municipal de residuos principalmente sólidos. También se aplicará esta ley a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos, Igualmente incluye, entre otras, las actividades complementarias de corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas; de lavado de estas áreas, transferencia, tratamiento y aprovechamiento".

Ley 1753 de 2015, creó el incentivo al aprovechamiento de residuos sólidos en aquellas entidades territoriales en cuyo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) se hayan definido proyectos de aprovechamiento viables

Decreto 1713 de 2002, emitido por el Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial (MAVDT) donde se establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y al régimen de las personas prestadoras del

servicio y de los usuarios. Modificado por el Decreto 1505 del 4 de junio de 2003, en relación con los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS.

Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, que tiene relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Decreto 1140 de 2003 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) el cual Modifica parcialmente el decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones. Establece las obligaciones que en materia de sistemas de almacenamiento colectivo de residuos sólidos deben cumplir los multiusuarios del servicio de aseo.

Decreto 1784 de 2017 mediante el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos, sólidos en el servicio público de aseo.

Título F del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS en los numerales F6.7.5 Diseño de Celdas y F6.7.5.1 Dimensionamiento donde se indican las medidas

necesarias para que la celda corresponda al área donde se esparcen y compactan los residuos sólidos durante un día para cubrirlos al final del mismo.

## Ubicación de la práctica

El Municipio de Málaga cuenta con una población urbana de 19,884 habitantes en su área urbana. El municipio forma parte de la Provincia de García Rovira del Departamento de Santander, geográficamente la cabecera municipal se localiza a  $6^{\circ} 42'$  de latitud norte y a los  $72^{\circ} 44'$  de longitud oeste, a 2.200 m.s.n.m., el municipio tiene una extensión de 58 Km<sup>2</sup>, con alturas desde 1600 a 3400 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 17°C (Alcaldía de Málaga, 2021)

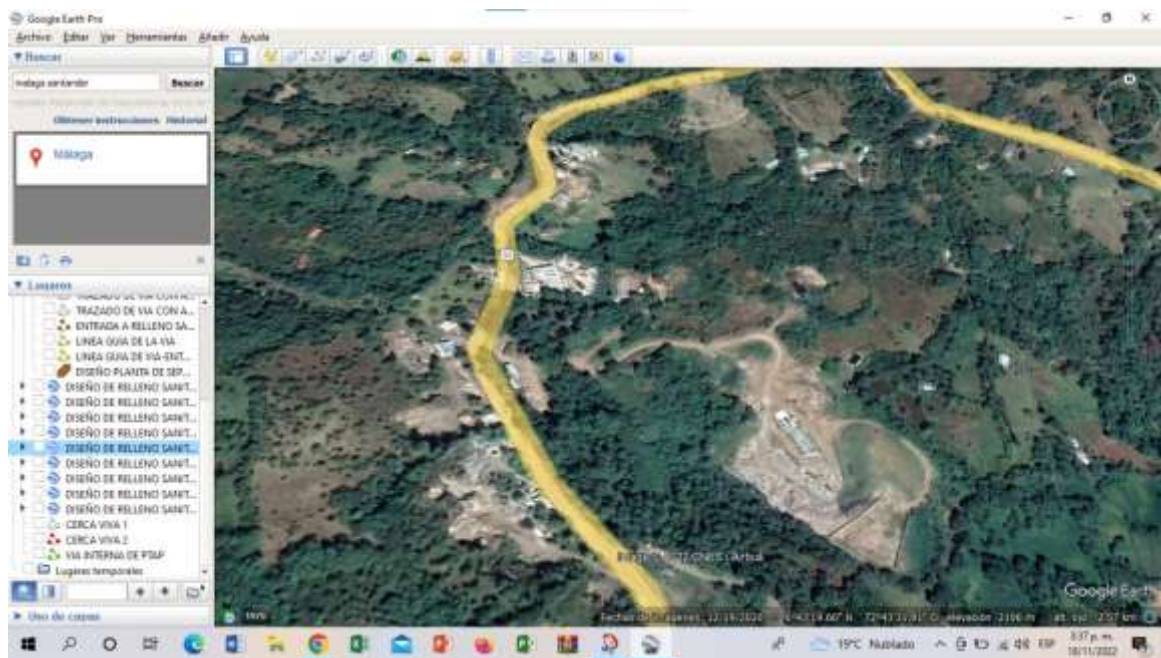
Figura 1. Málaga Santander



Fuente: Google Earth (2022)

El relleno sanitario Chicamocha de la región de García Rovira ubicado en el municipio de Málaga-Santander Latitud 6,7211° o 6° 43' 16" norte; Longitud -72,7245° o 72° 43' 28" oeste con una Población de 19.884 habitantes estudio realizado en el año 2018 (Díaz, 2016), tal y como se evidencia en la figura 2.

Figura 2. Ubicación Relleno Sanitario



Fuente: Google Earth (2022)

El área total del predio es de aproximadamente 105.115 m<sup>2</sup>. de las cuales en Terreno plano: 17.000 m<sup>2</sup>, Terreno ondulado: 46.115 m<sup>2</sup>, Terreno montañoso: 42.000 m<sup>2</sup>. Las celdas están diseñadas de tal forma que se pueda extraer el lixiviado a través de un sistema de extracción forzada para posteriormente recircularlo sobre el relleno sanitario de tal forma que este servirá para tratamiento (Díaz, 2016).

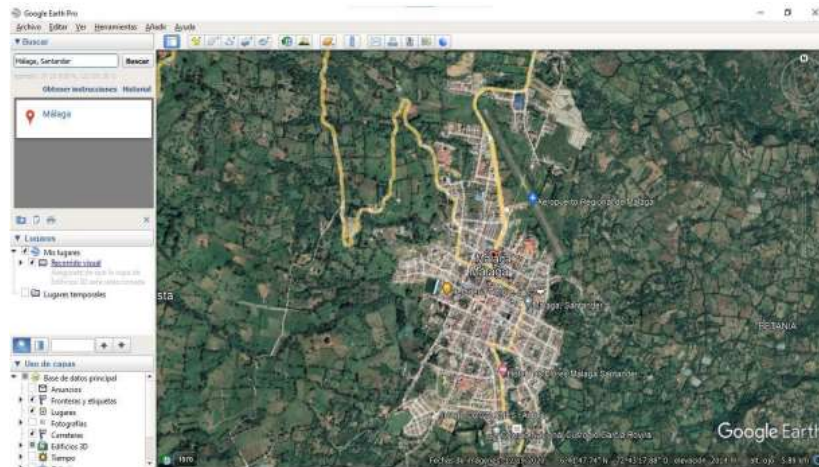
Se cuenta con tuberías que cuentan con válvulas para drenar el lixiviado de cada una de las celdas, del mismo modo se cuenta con una serie de pozos para inspeccionar el flujo a través del sistema de conducción de lixiviado hasta los tanques de almacenamiento y el sistema de lixiviados consta de un sistema de almacenamiento, para luego realizar la recirculación a las celdas ya clausuradas, a través de aspersión y posterior evaporación (Díaz, 2016).

## Desarrollo de la práctica

### Descripción de actividades

Se realizó el análisis y la recopilación de información actual del relleno sanitario mediante múltiples visitas al relleno sanitario donde se pudo determinar su estado actual, analizar los suelos existentes en el lugar, observar las condiciones de los trabajadores y también los procesos que se llevan a cabo en la PTRS, para ello se realizó una georreferenciación por medio de imágenes satelitales de la plataforma Google Earth, para poder evidenciar el lugar donde se realizará el estudio del proyecto de la nueva celda en el relleno sanitario lo cual se ve evidenciado en la figura 3.

Figura 3. Georreferenciación del relleno



Fuente: Google Earth (2022)

Cabe resaltar que, el georreferenciar el relleno sanitario permitió realizar la búsqueda de imágenes satelitales permitiendo de esta manera para poder evidenciar el lugar donde se realizará el

estudio del proyecto de la nueva celda en el relleno sanitario del municipio, para tal fin se determinaron las celdas de disposición final y tratamiento de residuos sólidos presentes actualmente en el relleno sanitario, tal y como se evidencia en la figura 4.

Figura 4. Celdas de disposición final y tratamiento de residuos sólidos



Fuente: Google Earth (2022)

Esta georreferenciación sirvió como base para el modelamiento en planta y en 3D de la modalidad BIM, del diseño de la nueva celda, lo cual se realizó a través del programa civil 3D, y se verá evidenciado en el cumplimiento de las actividades planteadas más adelante durante este mismo apartado.

Se llevó a cabo la recopilación de información documentada del relleno sanitario, a través de la búsqueda de información en los documentos propios del relleno sanitario y de la observación llevada a cabo en las visitas realizadas por el practicante, lo que se evidencia en la figura 5, además, se lograron identificar datos importantes para lograr el objetivo del presente proyecto, dentro de esta información se encontraron documentos que indican las cantidades de sólidos que entran el relleno

sanitario durante el 2015 hasta mayo de 2022, lo que permitió realizar la proyección para el diseño de la nueva celda y el cumplimiento de sus años de vida útil.

Figura 5. Reconocimiento del estado actual del relleno sanitario



Fuente: elaboración propia

De esta manera y dentro del reglamento técnico del relleno sanitario, se logró identificar información relevante la cual se contrasta con lo reglamentado por la ley colombiana frente a la disposición final de los residuos sólidos, en la documentación se encontraron las condiciones y especificaciones del frente de trabajo y de la celda diaria, pero no la restricción e identificación de residuos, donde además se presentan las cantidades y materiales de cobertura diaria, y el manejo de lixiviados dentro del sitio de disposición final y las actividades y acciones de manejo y control para la estabilidad de taludes.

En cuanto a las toneladas dispuestas se tomaron las cifras documentadas desde enero del 2015 hasta mayo del 2022 haciendo hincapié en los residuos que entran anualmente al relleno tal y como se evidencia en la siguiente figura.

Figura 6. Toneladas de residuos por año (2015-2022)

| AÑO      | ENERO   | FEBRERO | MARZO  | ABRIL  | MAYO   | JUNIO  | JULIO  | AGOSTO | SEPTIEMBR<br>E | OCTUBRE | NOVIEMBR<br>E | DICIEMBRE | total año |
|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|---------|---------------|-----------|-----------|
| AÑO 2015 | 463.98  | 361.03  | 294.68 | 307.94 | 287.2  | 322.49 | 310.39 | 337.90 | 274.21         | 253.50  | 328.42        | 278.23    | 3,82      |
| AÑO 2016 | 397.11  | 287.29  | 340.84 | 281.04 | 288.3  | 268.32 | 265.73 | 302.33 | 316.39         | 314.81  | 305           | 352       | 3,719     |
| AÑO 2017 | 335.74  | 251.51  | 280.40 | 234.68 | 298.77 | 289.39 | 299.79 | 304.20 | 284.25         | 293.29  | 291.22        | 335.20    | 3,498     |
| AÑO 2018 | 250.3   | 213.59  | 283.80 | 319.59 | 312.26 | 288.47 | 317.67 | 323.84 | 279.78         | 247.39  | 271.78        | 314.58    | 3,423     |
| AÑO 2019 | 361.315 | 238.57  | 244.33 | 279.26 | 301.34 | 267.75 | 351.61 | 285.17 | 300.342        | 308.90  | 332.38        | 286.28    | 3,557     |
| AÑO 2020 | 390.35  | 296.96  | 306.93 | 264.13 | 276.74 | 300.63 | 318.67 | 294.74 | 321.73         | 333.25  | 339.95        | 395.72    | 3,84      |
| AÑO 2021 | 321.67  | 296.09  | 332.32 | 306.28 | 298.45 | 314.30 | 312.59 | 385.97 | 269.8          | 275.46  | 297.87        | 317.98    | 3,729     |
| AÑO 2022 | 315.82  | 255.56  | 299.88 | 295.67 | 298.12 |        |        |        |                |         |               |           |           |

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, en cuanto a la información documentada recopilada con respecto a la cantidad, caracterización y cuantificación de los porcentajes de los componentes como plásticos, cartón, papel, metal, orgánicos, se puede mencionar que la composición de la basura depositada en el relleno, antes y después de su descomposición anaeróbica sufre un aumento pues la producción originada en los residuos de rápida descomposición se empieza a acrecentar hasta alcanzar su valor máximo al finalizar el segundo año de dispuestos y luego decrece lentamente hasta hacerse nula al finalizar el sexto año, como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Composición de residuos**

| ANTES DE LA DESCOMPOSICIÓN            | %     |
|---------------------------------------|-------|
| Agua                                  | 36.2  |
| Materia Orgánica                      | 33.0  |
| Materia Inerte                        | 30.8  |
| TOTAL                                 | 100.0 |
| DESPUÉS DE LA DESCOMPOSICIÓN          | %     |
| Agua                                  | 32.6  |
| Metano (CH <sub>4</sub> )             | 5.4   |
| Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) | 13.4  |
| Amoníaco (NH <sub>3</sub> )           | 0.4   |
| Cenizas                               | 0.9   |
| Materia Inerte                        | 30.8  |
| Materia Orgánica Residual             | 16.5  |
| TOTAL                                 | 100.0 |

Fuente: Manual operación de la nueva celda de la PTRS de Málaga Santander (2022)

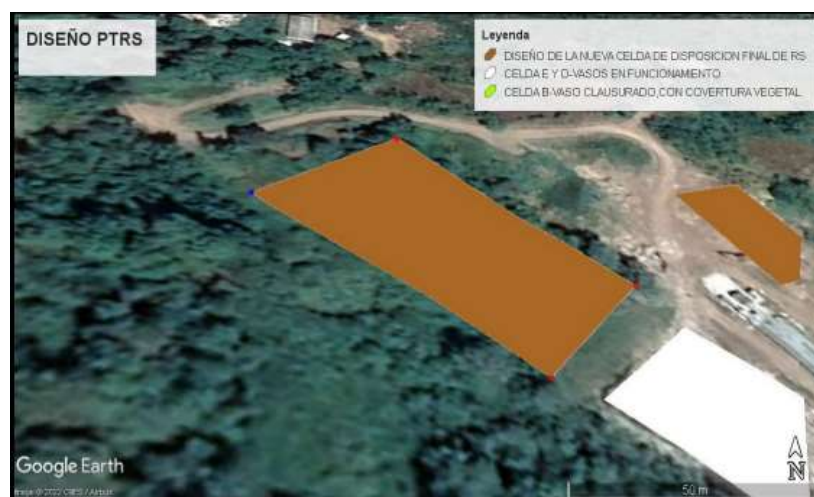
En cuanto a la producción de lixiviados por desechos de lenta descomposición, alcanza su valor máximo al finalizar el sexto año y se mantiene durante un periodo total de 15 años a partir de su fecha de aparición y después de la descomposición anaeróbica de los residuos dispuestos en el relleno contienen una humedad del 35% y contenido de Materia Orgánica Residual, Materia Inerte y Cenizas, entonces se tiene: Agua retenida en los residuos =  $0,35 * (16,5 + 30,8 + 0,9) / 0,65 = 26 \text{ kg} / 100\text{kg}$  residuos; cantidad de lixiviados = Agua disponible después de la descomposición - agua retenida por la humedad del material residual  $32,6 - 26,0 = 6,6 \text{ kg} / 100 \text{ kg}$  de residuos que equivalen a 66 litros/tn de lixiviado para basuras domésticas promedio.

Por otro lado, dando cumplimiento al objetivo específico dos, se obtuvieron los cálculos de ingeniería necesarios para efectuar la localización de la celda como se muestra en la figura 7, lo que permitió posteriormente determinar el área, longitud, altura y volumen, este último es de 23090 metros cúbicos, que tendrá la nueva celda de disposición final de residuos sólidos, para realizar los

trazados se tomó como herramienta el programa Civil 3D, pues con este se obtuvo una diferencia de alturas de 4 a 4.90 m y con una pendiente de 2% para el transporte de líquidos lixiviados, con el fin de que el diseño cumpla con la normativa nacional para diseños de celdas en Colombia según lo establecido por el título F del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y la relación de talud es de 3:1 conforme lo indica tal norma, lo cual fue obtenido mediante la realización de topografías detalladas y se contrastará con los parámetros requeridos por la norma vigente para diseño de celdas en el relleno sanitario.

Cabe aclarar que el título F del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, actualmente no se encuentra vigente, pues tuvo una reforma en el año 2017, pero al día de hoy se siguen diseñando celdas de disposición final de residuos sólidos bajo la normativa allí suscrita.

Figura 7. Ubicación nueva celda



Fuente: Google Earth (2022)

Según los cálculos hallados por el programa Civil 3D, se obtuvo un área base de la celda 2221.84, área de la superficie de la celda 5223.989, de desmonte de 61067.52 metro cúbico, terraplén de 946.94 metro cúbico y un neto de 60120.58 metro cúbico, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Cálculos realizados

| Resumen de desmonte y terraplén |                    |                     |                         |                       |                     |                                 |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|
| Nombre                          | Factor en desmonte | Factor en terraplén | Área 2D                 | Desmonte              | Terraplén           | Neto                            |
| VOL_ESC_CELDA_B                 | 1.000              | 1.000               | 5635.40metros cuadrados | 61067.52 metro cúbico | 946.94 metro cúbico | 60120.58 metro cúbico<Desmonte> |
| Totales                         |                    |                     | 5635.40metros cuadrados | 61067.52 metro cúbico | 946.94 metro cúbico | 60120.58 metro cúbico<Desmonte> |

Fuente: elaboración propia

Es de afirmar que durante este proceso, se adelantaron los procesos en el diseño de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos, partiendo de las topografías de la zona en donde se llevará a cabo la obra, para este proceso fue requerido un topógrafo, su equipo y personal para poder realizar el levantamiento topográfico, como se muestra en la figura 9 y así poder realizar un diseño optimo y acertado con las dimensiones necesarias para que esta celda pueda prestar el servicio por 7 años de vida útil.

Figura 9. Levantamiento topográfico de la zona en donde diseñará la celda



Fuente: elaboración propia

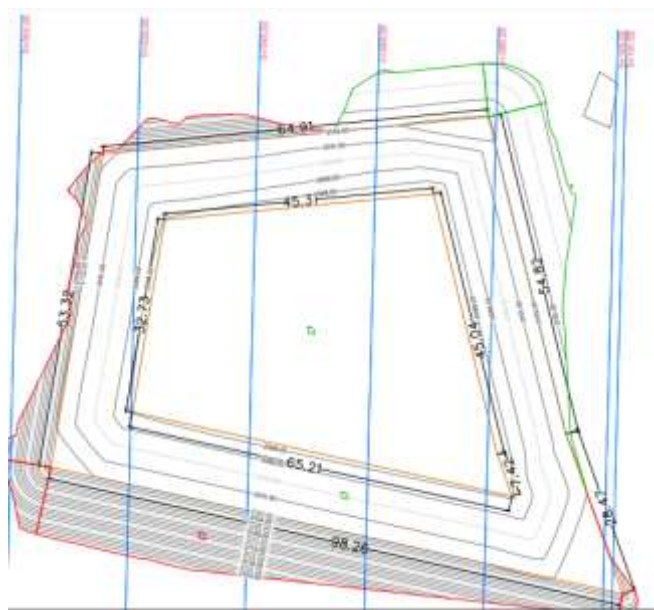
Lo anterior se llevó a cabo mediante los procesos necesarios, como levantamientos topográficos de la zona en donde, diseño de los planos en planta con las dimensiones generadas en el levantamiento topográfico y con ayuda del programa civil 3D de la modalidad BIM donde se pueden evidenciar todos los componentes de diseño y curvas de nivel del terreno para poder tener las pendientes máximas y mínimas de inclinación que contiene el terreno, en donde se llevará a cabo la construcción de la celda, cumpliendo el análisis de los planos ya realizados para dar un aporte constructivo e indicar y verificar que este cumpla con un diseño óptimo donde se logren realizar los mantenimientos necesarios para que este cumpla su durabilidad y así continuar con el diseño de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos.

Del mismo modo se logró evidenciar que los planos de diseño cumplen con lo establecido en las Normas técnicas colombianas para la construcción de celdas en rellenos sanitarios, partiendo de que los planos de diseño se realizaron como se describió anteriormente, dando cumplimiento a la

norma técnica colombiana expedida en el Decreto 1784 de 2017 que indica las especificaciones técnicas que debe cumplir el diseño de celdas de disposición final de residuos y disposición final de los mismos en Colombia.

Con los planos de diseño que se mostrarán en las siguientes figuras, se procederá a realizar los estudios de suelo de la zona para poder indicar si se cuenta con un terreno apto para la construcción de este proyecto y así realizar el dimensionamiento y plano de diseño de la nueva celda de disposición final y sus componentes, y proceder al cálculo de cantidades de material, mano de obra, maquinaria y equipos requeridos para construcción de la nueva celda de disposición final que cumpla con todos los aspectos de la norma ambiental vigente en Colombia que cuentan con los detalles de (celda diaria, chimeneas, red de drenaje de recolección de lixiviados, cunetas de coronación), tales planos se encontrarán en el apéndice B.

Figura 10. Diseño del relleno sanitario



Fuente: elaboración propia

Figura 11. Celda planta

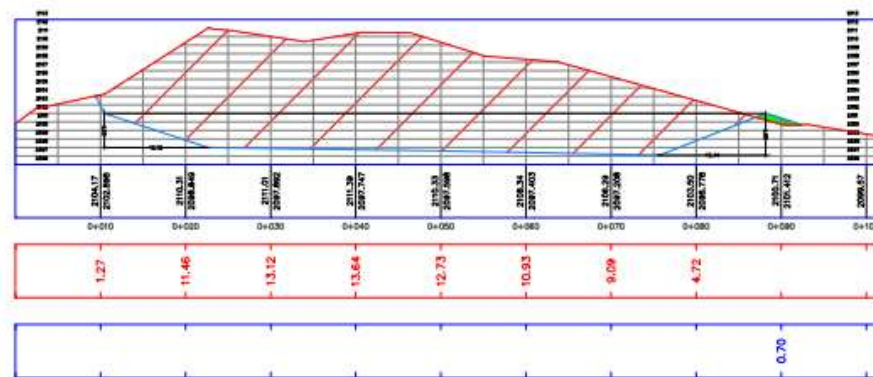
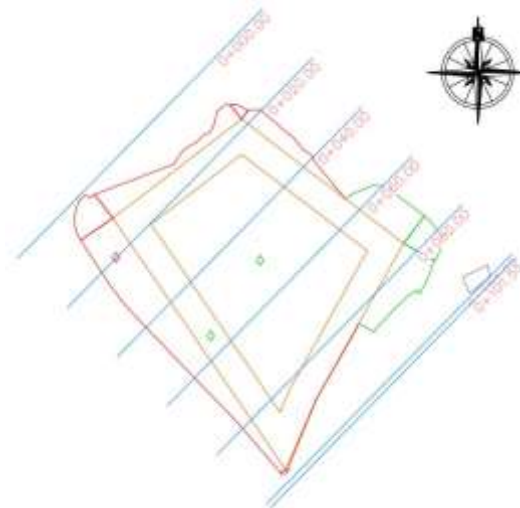


Figura 12. Apoyo diseño técnico

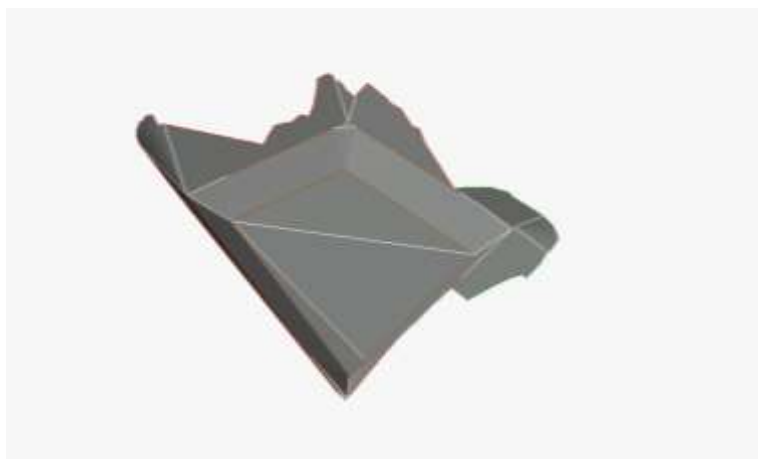


Fuente: elaboración propia

Lo anterior corresponde al apoyo técnico en el diseño de la celda necesaria para llevar a cabo los procesos de tratamientos de los residuos sólidos se realiza la separación de residuos como plástico, cartón, metales y demás residuos que puedan ser reciclados o comercializados por recuperadoras (chatarrerías), esto con el fin de controlar los porcentajes de residuos sólidos que tendrán disposición final en las celdas en funcionamiento de la PTRS y así poder tener una mayor vida útil para el relleno sanitario, estos planos se encontrarán en el apéndice B.

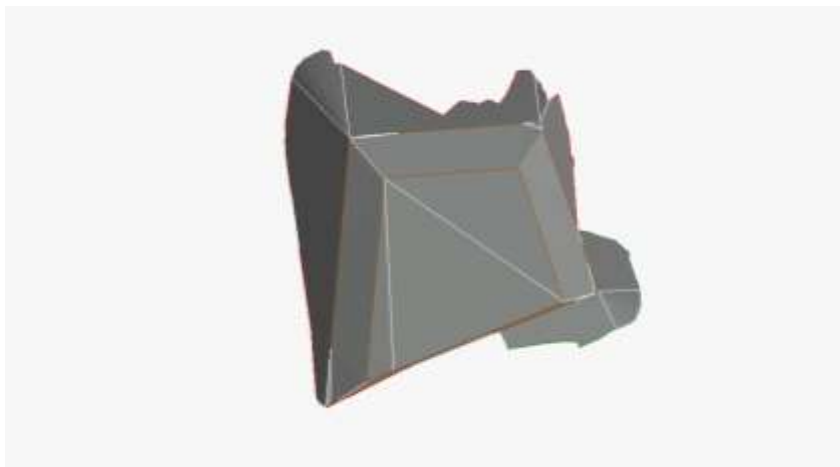
Ahora bien, partiendo de lo anterior, se logró evidenciar que los planos de diseño cumplían con lo establecido en las normas técnicas colombianas para la construcción de celdas en rellenos sanitarios, lo que se evidencia además en el modelado 3D de la modalidad BIM de la celda de disposición final de residuos sólidos, tal y como se evidencia en las figuras 13 y 14.

Figura 13. Modelado en 3D de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos con la modalidad BIM programa civil 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Modelado en 3D de la modalidad BIM, de la modalidad BIKde la celda de disposición final de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia

En los planos de diseño se realizó el plano en planta del lugar en donde se prevé realizar el proceso constructivo de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos en la cual se llevan los controles de cumplimiento de la norma técnica colombiana expedida en el Decreto 1784 de 2017 el cual nos indica las especificaciones técnicas que debe cumplir el diseño de celdas de disposición final de residuos y disposición final de los mismos en Colombia.

Ya con los planos de diseño, se podrá proceder a realizar los estudios de suelo de la zona para poder indicar si se cuenta con un terreno apto para la construcción de este proyecto y así realizar el dimensionamiento y plano de diseño de la nueva celda de disposición final y sus componentes a detalle de (celda diaria, chimeneas, red de drenaje de recolección de lixiviados, cunetas de coronación), y proceder al cálculo de cantidades de material, mano de obra, maquinaria y equipos

requeridos para el correcto funcionamiento de la nueva celda de disposición final que cumpla con todos los aspectos de la norma ambiental vigente en Colombia.

Para el proceso de recopilación de datos e indicaciones que indique la operación, mantenimiento puesto en marcha para que la celda que se construya tenga un excelente funcionamiento y cumpla con la vida útil establecida a siete años, se tuvieron en cuenta los datos establecidos en el manual de operación de las celdas de disposición final de residuos sólidos existentes en la PTRS para tener datos como porcentajes de almacenamiento de los residuos sólidos que se prevén disponer y cuál será la cantidad aproximada de lixiviados que generan las celdas existentes y así tener referencia de lo que será el diseño de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos en el cual se tendrá una celda con capacidad para 65.815,4933 Ton de almacenamiento de residuos sólidos para 7 años de vida útil y que tendrá un área total del proyecto de 5635.40 metros cuadrados en planta y así poder diseñar un manual de operación, mantenimiento y puesta en marcha para la nueva celda de la PTRS.

Finalmente, para cumplir con el cuarto objetivo específico “Diseñar manual de operación, mantenimiento y puesta en marcha para el buen funcionamiento de la nueva celda”, se elaboró el manual de operación, mantenimiento y puesta en marcha del funcionamiento de la celda, se realizó la búsqueda del manual de operación vigente de la PTRS y tener un punto de partida del funcionamiento de la planta y así poder realizar el manual de operación de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos.

En este manual se realizó la renovación e implementación de este proyecto ya que se requiere para realizar la renovación de la licencia ambiental que deberá ser avalada por la corporación autónoma de Santander C.A.S., dentro de este manual se establece como debe ser la operación de la

PTRS, la capacidad, volumen, excavación y dimensionamiento de las celdas existentes y de la nueva celda F ya que este manual nos indicara cómo funciona el sistema de disposición final y como es el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de los contaminantes emitidos por los residuos sólidos, dentro de este manual también se tuvo en cuenta el sistema de seguridad y salud en el trabajo ya que al tratarse de residuos sólidos contaminantes pueden causar afectaciones a los operarios de la PTRS por esta razón se debe tener en cuenta dentro de este manual de operación para el correcto funcionamiento y así poder evitar problemas de salud y demás a los operarios que se incorporen en este proceso de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en la PTRS del municipio de Málaga Santander.

Así pues, se realizó un manual de operación y puesta en marcha en el cual incluye el funcionamiento de la PTRS y de las celdas existentes ya sean clausuradas, post clausuradas o en funcionamiento, donde se indica la capacidad de cada celda y puesta en marcha, adicional a esto indica el funcionamiento del sistema de recolección y circulación de lixiviados y como son tratados los contaminantes que son emitidos por los residuos sólidos , dentro de este manual de operación, mantenimiento y puesta en marcha de la nueva celda se estipulo en un documento lo ya mencionado anterior mente y adicionando cuando tendrá de área, longitud, volumen, excavación y terraplén que será necesario para el diseño y la correcta operación de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos.

En este documento, se indica cómo están compuestos los contaminantes emitidos por los residuos sólidos que son dispuestos en las celdas de la PTRS provenientes de los 12 municipios de García Rovira a los cuales se les presta el servicio de disposición final de residuos sólidos y el tratamiento de los contaminantes que son emitidos, también se mencionaron temas del control de

operación de cómo deben ser tratados por los operarios los residuos sólidos cumpliendo con lo que indica el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

De igual manera, tiene como fin que las personas puedan entender el funcionamiento de la PTRS y la vinculación que tendrá la nueva celda de disposición final de residuos sólidos y como deberá llevarse a cabo la operación, mantenimiento y puesta en marcha para el buen funcionamiento teniendo en cuenta la normativa vigente de operación de rellenos sanitarios en Colombia, la correcta disposición final de residuos sólidos, los tratamientos de los contaminantes emitidos por los residuos sólidos y los procesamientos que se realizan a los residuos que son aprovechables en la PTRS, lo anterior se encontrará en el apéndice C.

## **Aportes a la empresa**

Teniendo en cuenta la práctica realizada, se lograron hacer grandes aportes fuera de los objetivos planteados en el informe, organizados de la siguiente manera:

1. **Construcción del filtro:** para desarrollar esta actividad se realizaron labores constructivas y de análisis para la elaboración de un filtro drenante que era requerido en la celda E ya que esta contenía un problema de filtración de líquidos (Lixiviados) generados por esta celda y un empozamiento de agua pluvial, por esta razón se procede a realizar el análisis y diseño del filtro drenante o más común llamado filtro francés, para este proceso constructivos se tuvieron en cuenta las normas vigentes para la construcción de filtros drenantes tal y como se muestra en la figura 15.

De igual manera, se realizó el seguimiento de funcionamiento del filtro drenante de la celda E, en la cual se presenta una respuesta favorable ya que el filtro está transportando los líquidos lixiviados y agua pluvial que estaban siendo retenidos en esta celda y brindando una mejor estabilidad al terreno, y de esta manera y cumpliendo lo plantado en el objetivo tres de la presente investigación, se realizó la revisión y seguimiento a los diseños y especificaciones técnicas para la construcción de la nueva celda.

Figura 15. Supervisión de los frentes de trabajo en la construcción del filtro drenante.



**2. Instalación de geomembrana en muro de terreno en el vaso D:** se llevó a cabo el proceso de instalación de (geomembrana HDPE CAL 30milS(0,75mm)), para una parte del muro del vaso D que no contaba con este cubrimiento en geomembrana esto con el fin de dar un mejor manejo a los lixiviados y una mejor acomodación de los residuos sólidos de esta celda, primera mente se hizo una remoción con la retro excavadora limpiando el muro de contención de la celda y moviendo los residuos a un lado para poder hacer una correcta colocación de la geomembrana.

Después de realizar la instalación se dio una adecuación de tenciones con estacas para que se impidiera el movimiento del geo sintético al hacer el recubrimiento con la retro excavadora, seguidamente de la instalación de la geomembrana se realizó una fumigación con material de piedra caliza esto con el fin de mitigar los gases expedidos por el movimiento de los residuos sólidos y así poder también dar control a las plagas que puedan presentarse en las celdas de disposición final de residuos sólidos, como se evidencia en las figuras 16 y 17.

Figura 16. Instalación de geomembrana



Figura 17. Extensión y evolución de las condiciones de la geomembrana



3. **Sistema de recirculación:** Se realizó el mantenimiento a los tanques y a la tubería de conexión de los tanques de líquidos lixiviados y así poder brindar una detención y transporte de estos líquidos para realizar correctamente la recirculación en la PTRS la cual se realiza con la

ayuda de un motor de impulsión (motobomba), por esta razón se realizaron los mantenimientos necesarios dentro de este sistema de control de los líquidos lixiviados, para seguir controlando el impacto medio ambiental que estos líquidos contaminantes emiten al ambiente.

Figura 18. Sistema de aspersión de lixiviados



**4. Tratamiento lixiviados:** Se lleva a cabo un plan de mejoramiento en cual se procederá por parte del equipo de EPMM para la incorporación de nuevos tratamientos de los líquidos lixiviados que son líquidos contaminantes emitidos por los residuos sólidos, el mejoramiento del tratamiento de residuos orgánicos convertidos en abono orgánico natural, mejoramiento del proceso de recirculación con la instalación de cisternas de riego de lixiviado, cobertura inicial en la celda D con material de suelo limoso celda que se encuentra en post clausura, continuación de mejoramiento de la red de drenaje de agua pluvial de la PTRS y demás procesos constructivos que se requieren para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento, se siguen adelantando los procesos de apoyo técnico en el diseño de la nueva celda en el cual se realizó la topografía de la zona y se cuenta con los planos en planta del relleno sanitario en

los cuales se observó que la topografía no había sido realizada con precisión en puntos críticos que son necesarios para el diseño de la nueva celda de disposición final de residuos sólidos.

Figura 19. resultado de Quimifloc para observación de solidos suspendidos en lixiviados



Figura 20. Acompañamiento en análisis de lixiviados para adecuación de tratamiento por coagulación.



5. **Supervisión de los tratamientos de residuos sólidos:** Se lleva la supervisión de la obra realizada de un filtro drenante en la celda E la cual presentaba un problema de detención de líquidos (lixiviados) y un empozamiento de agua pluvial por esta razón se llevó a cabo el proceso constructivo, el cual tiene una respuesta favorable ya que se está cumpliendo con el objetivo que es la filtración y transporte de estos líquidos hacia el tanque de detención para ser transportados por las tuberías de drenaje de líquidos lixiviados emitidos por las celdas de la PTRS, estas tuberías de drenaje tienen una conducción hacia los tanques de almacenamiento de los lixiviados, para realizar la recirculación por medio de una motobomba y así poder controlar esta problemática que se venía presentando en la celda E la cual podría generar problemas de estabilidad en el terreno y a su vez causar problemas a la vía de acceso a la celda

Del mismo modo, se llevó a cabo la supervisión de operación del relleno sanitario siendo el encargado de los procesos de tratamientos de los residuos sólidos, mantenimientos en las celdas de disposición final de residuos, procesamiento de residuos orgánicos convertidos en abono natural, mantenimiento de las instalaciones del relleno sanitario y demás actividades llevadas a cabo para el correcto funcionamiento de la PTRS.

Figura 21. Supervisión de procesos por parte del equipo de trabajo de EPMM



Cabe aclarar que se llevaron a cabo los controles del relleno sanitario, en este proceso se realizó el tratamiento de los residuos sólidos que llegan provenientes de 12 municipios de la provincia de García Rovira a los cuales el municipio de Málaga presta el servicio por medio de EPMM, en los tratamientos que se le realizan dentro de la PTRS, se empezó a contar con un espacio de separación de residuos en donde se podrán seleccionar los procesos de tratamiento a los que estos deban ser sometidos para poder seleccionar los Residuos sólidos que pueden tener un tratamiento y los otros llevarlos a la disposición final en las celdas que se encuentren en funcionamiento.

6. **Chimeneas:** partiendo de lo indicado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS se podrán diseñar chimeneas horizontales, las cuales se pueden instalar a partir del segundo nivel, en donde se deben realizar excavaciones en los residuos sólidos, conformando zanjas con base de 0,60 m y altura de 1,20 m. Las zanjas serán rellenas de grava hasta la mitad, para instalar posteriormente la tubería perforada de 0,25 m de diámetro, dimensiones que se tendrán en cuenta en la construcción de la celda de disposición final de residuos sólidos.

7. **Drenaje:** para el drenaje es indispensable la construcción en los límites del relleno para captar el escurrimiento de aguas arriba; los canales deben revestirse con material apropiado. La velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0,30 m/s. Los canales de las obras de drenaje temporal deben construirse con taludes 3:1 (H:V), rellenos de grava de 5 cm de tamaño máximo para evitar socavaciones.

## **Conclusiones**

Se llevó a cabo la recopilación de información documentada del relleno sanitario, a través de la búsqueda de información en los documentos propios del relleno sanitario y de la observación llevada a cabo en las visitas realizadas por el practicante, para poder apoyar técnicamente el diseño óptimo de celda que brindó la capacidad necesaria para los residuos sólidos de la región de García Rovira, que llevan al relleno sanitario para realizar el correcto proceso de estos residuos, brindando una mejor calidad del medio ambiente de la zona y mejorar las condiciones de vida de la población aledaña al relleno sanitario Chicamocha.

Se obtuvieron los cálculos de ingeniería necesarios para efectuar el dimensionamiento que tendrá la nueva celda de disposición final de residuos sólidos, de su área, longitud, altura y volumen, para realizar los trazados y determinar el área de la nueva celda, según los cálculos hallados por el programa Civil 3D, se obtuvo un área base de la celda 2221.84, área de la superficie de la celda 5223.989, de desmonte de 63011.51 metro cúbico, terraplén de 1522.92 metro cúbico y un neto de 61488.60 metro cúbico.

Se realizó la renovación e implementación del manual de funciones del relleno sanitario, estableciendo como debe ser la operación de la PTRS, la capacidad, volumen, excavación y dimensionamiento de las celdas existentes y de la nueva celda F indicando, además, cómo funciona el sistema de disposición final y cómo es el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de los contaminantes emitidos por los residuos sólidos.

## **Referencias Bibliográficas**

Aluna Consultores Limitada (2011) Estudio Nacional del Reciclaje y los Recicladores.

Legislación relacionada con el manejo de los Residuos Sólidos en Colombia. Versión Final. [http://www.pasocierto.com.br/assets/dd22-co\\_legislaci%C3%B3n-municipal\\_colombia.pdf](http://www.pasocierto.com.br/assets/dd22-co_legislaci%C3%B3n-municipal_colombia.pdf)

Barradas, A. (2009). Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales. Minatitlán

Alarcón, tapia y andre, josbriel. Dimensionamiento de un relleno sanitario para los residuos sólidos municipales en el distrito de Paucarpata - Provincia y Región de Arequipa. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Ambiental) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín [en línea]. 2017. [Fecha de consulta:7 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6161> 12

AXESS Networks. (2020). Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana.

Obtenido de Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vidacotidiana:

<https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>

Corena, M.J, 2008. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios.

Línea de profundización gestión integral de residuos sólidos.

Corradina, L. F. (19 de diciembre de 2019). Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/cuando-los-bosques-se-fragmentan-los-animales-tienen-dos-alternativas-adaptarse-o-morir/>

Díaz Flórez, Luis Antonio (2016). Plan de desarrollo municipal para Málaga, Santander, años 2012- 2015.

Díaz Benavides, Lizeth Yesenia y Vallejo Valles, Andrea Carolina. Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el Municipio de Aguachica - Cesar. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2017.  
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15489/1/Dise%C3%B1o%20de%20relleno%20sanitario%20para%20Aguachica%](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15489/1/Dise%C3%B1o%20de%20relleno%20sanitario%20para%20Aguachica%20)

Ministerio Del Ambiente. Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental  
[https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-diseno-construccionoperacion-](https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-diseno-construccionoperacion-mantenimiento-cierre-relleno)  
mantenimiento-cierre-relleno 13.

Meza, T. (2003). Propuesta para el manejo de residuos sólidos Urbanos R.S.U, Caldas Colombia

MinCit (2018) Ministerio de Comercio Industria y Turismo. Gestión integral de residuos sólidos.  
<https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2018) Aprovechamiento

<https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/gestion-de-residuos-solidos/aprovechamiento>

Nationalgeographic. (2021). Medio Ambiente. Obtenido de MEDIO AMBIENTE:

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/deforestacion>

Noguera-Oviedo, Katia y Olivero-Verbel, Jesús. Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: Caso colombiano. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 1 septiembre 2010. Vol. 34, p. 347–356. 14. SAMPIERI, Roberto Hernández. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. deC.V., 2018. ISBN 978-1-4562-6096-5.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (2016). Los ecosistemas y los servicios que ofrecen: algunos datos. Obtenido de Los ecosistemas y los servicios que ofrecen: algunos datos: <https://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/382062/>

Obras Públicas. (2005) Municipio de Victoria, Recolección de Residuos Sólidos Municipales, México

Pineda, S (1998). Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos. Panamericana, ACODAL. 58

Pineda, S (1998). Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos. Panamericana, ACODAL. 146-148.

Secretaría de Desarrollo Social Mexicana, “Recolección diferenciada de residuos urbanos”, (SEDESOL) 1998.

Tchobanoglous, G. Theisen, H. Vigil, S. (1994). Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen I, McGraw-Hill/Interamericana de España S.A

Tchobanoglous, G. (1996) Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw Hill. Primera Edición, Volumen 1, España. 25-27.