

RECURSOS HÍDRICOS: IMPACTO DE RELLENOS SANITARIOS

Seminario de Investigación

**“Recursos Hídricos: Impacto de los Rellenos Sanitarios por Infiltración de
Lixiviados, Estudio de Casos Relevantes”**

**Pedro Johann Anaya Jaimes, Lina Patricia Candia Jiménez, Juan Camilo Hurtado
Robayo, Sammy Andrés Martínez Cárdenas y Gloria Juliana Muriel Díaz**

**Trabajo de Grado para Optar el Título de
Geólogo/a**

Director:

Juan Diego Colegial Gutiérrez

PhD. Ingeniería Geológica

Codirectora:

María Alejandra Cetina Tarazona

MSc. Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A Dios en primer lugar, por ser él quien dirige mi vida, por darme la sabiduría y la fortaleza para poder lograr la culminación de esta etapa formativa, y por demostrarme que los planes de él son más grandes y muchos más perfectos que los míos.

A mis padres, Ana María y Pedro Antonio, por inculcar en mí los valores y principios que me hacen ser lo que soy hoy en día, y por brindarme su amor y apoyo incondicional en mi formación profesional. Sin ustedes como mis motores de vida, nada de esto hubiera sido posible.

A mis hermanas Zulma y Yina, por ser mis ejemplos a seguir como egresadas UIS, por cada consejo y cada palabra de aliento brindada, y por inspirarme a ser mejor cada día.

A mi familia en general, tíos, tías, primos y primas, y en especial a las familias Anaya Jaimes, por darme motivación y por todos los momentos compartidos.

A mi abuelita María del Carmen, que, aunque no pueda celebrar este logro conmigo, sé que desde el cielo me cuida y me guía para lograr convertirme en la mejor persona posible.

A todos mis amigos y compañeros, colegas o futuros colegas, con los que compartí este proceso; especialmente al Geoteam, por ser mis cómplices en esta aventura y estar ahí en los buenos y malos momentos de toda mi vida universitaria.

A Música y Danzas UIS, por ser ese espacio complementario a la academia donde conocí personas maravillosas y viví experiencias increíbles.

A mis amigos: Dariela, Ángela, Juliana, Lahura y Diego por iluminar mi vida con su amistad y escucharme cada vez que lo necesitaba, dándome palabras de aliento.

Finalmente, pero no menos importante, a mi segunda familia, Wryaquito, por acogerme y ser un apoyo fundamental en mi paso por México, haciéndome sentir como en casa aún estando a kilómetros de ella.

Pedro Johann Anaya Jaimes

Dedicatoria

En primera instancia, dedico mi trabajo de grado a Dios, por tantas bendiciones y amor que me ha dado en todo momento, por permitirme culminar con tan anhelada carrera y brindarme todo su amor, sabiduría y fuerza.

A mis padres, Humberto y Katia, que son el pilar más importante que tengo, gracias por proporcionarme la mejor educación, y en especial, todo su amor e igualmente sus esfuerzos los cuales me formaron como la persona que soy hoy en día, llena de buenos valores y hábitos, los cuales inculcaron día a día en mí para salir adelante.

A todos mis hermanos, especialmente: Andrea, Catha, Indira, Helena, Federico, Andrey y Fercho, que siempre estuvieron para mí, apoyando y demostrando todo su cariño. A mis cuñados, Alex y Chocho, que hicieron el papel también de mis hermanos mayores, protegiéndome y aconsejándome siempre. A todos mis sobrinos que tanto amo, que me han ayudado a crecer como persona y como tía.

A todos mis familiares en general, mis abuelitas Celmira S y Celmira G (que en el cielo me protege), mis tíos, tías, padrinos, por sus oraciones y apoyo siempre; a mis primos, en especial a mis quinti, gracias por tan buenos momentos compartidos, por escucharme cuando lo necesitaba y por ser tan especiales conmigo.

A todos mis amigos y compañeros, de la universidad, colegio, voleibol, conjunto, work and travel y de la vida, por brindarme su sincera amistad y acompañarme en diferentes momentos en mi vida.

Lina Patricia Candia Jiménez

Dedicatoria

A mis padres Pedro Antonio Hurtado y María Teresa Robayo quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a mi padrino Amleto León, quien siempre me decía desde un principio, que la carrera de geología era muy bonita, y quien me dio fortaleza para seguir adelante. Me ayudo a superar muchos de los obstáculos que se presentaban a diario, me escucho cuando lo necesitaba, y recordare siempre una frase que me decía “La fe obra por el amor”.

El mundo sería menos gris si todos hiciéramos las cosas con más amor... A veces las cosas no salen como esperamos, pero, debemos seguir adelante.

Juan Camilo Hurtado Robayo

Dedicatoria

Primeramente, agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas, por la vida y la salud, por la fuerza y fortaleza necesaria para triunfar ante las adversidades del camino, por la inteligencia y sabiduría proveniente del Espíritu Santo, a fin de tomar las mejores decisiones, y ser mi guía magistral, permitiéndome avanzar en las diferentes etapas de este complejo y misterioso caminar. Sin Él soy nada, con Él lo soy todo.

A mi abuelo Peregrino Cárdenas, que fue y sigue siendo mi apoyo en todo aspecto, mi motivación para salir adelante, por ser el mejor maestro que ha tenido este servidor, por los valores y principios heredados, por su legado, ya que lo ha entregado todo y me ha dejado grandes mensajes y enseñanzas que no cualquiera tiene la bendición de haber recibido. Él se ha ganado el derecho a que todo lo que haga Dios mediante de aquí en adelante, siempre sea dedicado a él y su memoria.

A mi madre Stella Cárdenas García, por infundirme el coraje y entereza para salir victorioso en las diversas etapas que me pusieron a prueba. Por su cariño, educación, dedicación y cada mensaje que me han permitido crecer como ser humano y persona. Porque independientemente de las circunstancias, ella siempre ha estado incondicionalmente en mi formación y se ha ganado mi respeto por ser la mujer fuerte que es, y aquella que me ha brindado la seguridad de desenvolverme ante las situaciones que se afrontan cada día.

A mi padrino Tobias Cárdenas García, por su apoyo en cada paso dado, sus consejos y sus lecciones, dedicación, cariño, paciencia y cada palabra de aliento que me ayudaron a seguir dando lo mejor de mi esencia y ser, brindándome las herramientas necesarias para afrontar la vida en cada uno de los aspectos que la conforman.

A mi tío Miguel García y flia, por su acompañamiento, su apoyo y sus palabras en los momentos oportunos.

En general, a mis familiares, amigos, compañeros, profesores, y cada una de las personas que conocí, porque han dejado su grano de arena, su huella, su enseñanza. Les quedaré siempre agradecido.

Sammy Andrés Martínez Cárdenas

Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a Dios, por darme la sabiduría y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi mamá, por ser el pilar más importante, por su apoyo incondicional y por demostrarme que todo con amor, disciplina y dedicación se puede lograr. Gracias por ser ese ejemplo de valentía y la voz de aliento en todo momento de mi vida.

A mi papá, que con su confianza y sus consejos ha logrado guiarme y ser un apoyo en mi carrera y en mis logros, que aún a pesar de la distancia, siempre lo llevo en mi mente y mi corazón.

Ustedes, padres, son lo mejor que Dios ha puesto en mi camino y por quienes vivo y viviré inmensamente agradecida, los amo.

A mi familia, que ante cualquier dificultad, han sido un apoyo incondicional.

A mis amigos: Lina, Johann, Juan Camilo y Sammy, gracias por hacer de este proyecto una realidad y por construir esta linda amistad, los quiero.

A Michelle Pérez y Sebastián Mateus, por ser los parceritos de mi vida y estar ahí en todo momento.

Y gracias a todos los que aportaron un granito de arena a este proyecto.

No está de más recordar, que siempre estaré orgullosa de ser egresada de una de las mejores universidades del país, Universidad Industrial de Santander.

Gloria Juliana Muriel Díaz

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Geología, por brindarnos los espacios de aprendizaje y desarrollo, tanto profesional como personal, contribuyendo en gran medida a nuestra formación integral. Del mismo modo, por brindarnos acceso a las plataformas virtuales y al material bibliográfico, sin los cuales no hubiese sido posible culminar este proyecto.

A nuestro director, Juan Diego Colegial y codirectora, María Alejandra Cetina, por su acompañamiento, orientación, consejos y apoyo durante el desarrollo del seminario de investigación, modalidad bajo la cual pudimos realizar nuestro trabajo de grado, a pesar de las adversidades relacionadas a la pandemia del COVID-19.

Al Semillero en Sistemas Hidrogeológicos - GIGBA UIS y al Capítulo Estudiantil de Hidrogeología UIS, por su valiosa participación y por la difusión masiva de las invitaciones en sus redes sociales, para poder llevar a cabo el desarrollo de cada una de las sesiones.

A nuestras familias, por ser los motores y apoyo incondicional para dar por finalizado este proceso. Sin ustedes, nada de esto hubiera sido posible.

A todos nuestros docentes, que hicieron parte de nuestra formación como profesionales, despertando así el amor y la pasión por esta maravillosa ciencia.

A nuestros compañeros y amigos, con los cuales disfrutamos y aprendimos en nuestra etapa universitaria. De cada uno, nos llevamos los mejores recuerdos y las vivencias de cada clase, laboratorio, salida de campo, congresos y semanas técnicas compartidas.

Johann, Lina, Juan Camilo, Sammy y Juliana.

Tabla de contenido

Introducción	15
1. Planteamiento del problema.....	17
2. Justificación	18
3. Generalidades del Seminario de Investigación	18
3.1. Objetivo.....	19
3.2. Ventajas.....	20
3.3. Organización.....	21
3.3.1. Tema del Seminario	22
3.3.2. Dirección del Seminario de Investigación	23
3.3.3. Descripción de los Roles.....	24
3.4. Metodología.....	25
4. Planificación	26
4.1. Objetivos Planteados.....	26
4.1.1. Objetivo General.....	26
4.1.2. Objetivos Específicos.....	27
4.2. Selección de los Subtemas	27
4.2.1. Parte I: Contextualización.....	28
4.2.2. Parte II: Impactos Ambientales.....	29
4.2.3. Parte III: Casos de Estudio.....	30
5. Ejecución.....	32

RECURSOS HÍDRICOS: IMPACTO DE RELLENOS SANITARIOS

	9
5.1. Descripción de los subtemas.....	33
5.1.1. Parte I.....	33
5.1.2. Parte II.....	34
5.1.3. Parte III... ..	35
5.2. Protocolo.....	37
5.2.1. Ejemplo de un Protocolo.....	37
6. Finalización.....	53
6.1. Libro de Memorias.....	53
6.2. Protocolos.....	54
6.3. Presentaciones.....	55
7. Conclusiones.....	56
8. Recomendaciones	58
Referencias Bibliográficas.....	61

Lista de Tablas

Tabla 1 Distribución de la relatoría de los temas del seminario de investigación 32

Lista de Figuras

Figura 1 Esquema metodológico del seminario de investigación.....	26
Figura 2 Portada exterior del libro de memorias	54
Figura 3 Ejemplo 1 de las presentaciones en Power Point (Sesión 8).....	55
Figura 4 Ejemplo 2 de presentaciones Power Point (Sesión 5)	56

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. Libro de memorias – Seminario de Investigación en Recursos Hídricos

Apéndice B. Protocolos – Seminario de Investigación en Recursos Hídricos

Apéndice C. Presentaciones – Seminario de Investigación en Recursos Hídricos

RESUMEN

Título: Seminario de Investigación “Recursos Hídricos: Impacto de los Rellenos Sanitarios por Infiltración de Lixiviados, Estudio de Casos Relevantes” *

Autores:** Pedro Johann Anaya Jaimes
Lina Patricia Candia Jiménez
Juan Camilo Hurtado Robayo
Sammy Andrés Martínez Cárdenas
Gloria Juliana Muriel Diaz

Palabras clave: Rellenos sanitarios, residuos sólidos, lixiviados, recurso hídrico, impacto ambiental

Descripción:

Una de las problemáticas que en los últimos años ha acaparado estudios minuciosos en torno al recurso hídrico, es la influencia que han tenido los lixiviados que se infiltran en el subsuelo producidos en rellenos sanitarios, llegando a afectar la calidad del agua que suple la necesidad de las poblaciones cercanas a una zona de depósitos de residuos sólidos.

Por tal motivo, el seminario alemán presentado en este documento tuvo como razón principal recopilar la información relevante y sintetizarla en 9 sesiones, que permitió generar un espacio de discusión, argumentación y aprendizaje sobre esta problemática que es de gran interés para la comunidad en general.

El seminario se dividió en 3 partes para llevar a cabo la presentación de la información de forma sistemática y ordenada. La primera parte fue una contextualización asociada a la contaminación del recurso hídrico, rellenos sanitarios y residuos sólidos en estudio con los parámetros geológicos en rellenos sanitarios. La segunda parte abordó los impactos ambientales y al recurso hídrico ligados a esta problemática tratada, junto con las generalidades de los lixiviados y sus sistemas de tratamiento. En la tercera y última parte se mencionaron casos de estudio a nivel mundial, nacional y local que permitieron comparar algunos de los estudios en los que se realizó la caracterización fisicoquímica de los lixiviados, en aras de buscar alternativas que permitan mejorar la calidad del recurso hídrico y, por consiguiente, las condiciones de vida de las poblaciones afectadas.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez – Geólogo PhD. Ingeniería Geológica. Codirectora: María Alejandra Cetina Tarazona– Geóloga MSc. Ingeniería Civil

ABSTRACT

Title: Research Seminar “Water Resources: Impact of Sanitary Landfill due to Leachate Infiltration, Study of Relevant Cases” *

Authors:** Pedro Johann Anaya Jaimes

Lina Patricia Candia Jiménez

Juan Camilo Hurtado Robayo

Sammy Andrés Martínez Cárdenas

Gloria Juliana Muriel Diaz

Key words: Sanitary landfills, solid waste, leachate, water resources, environmental impact.

Description:

One of the problems that in recent years has monopolized meticulous studies on water resources, is the influence that leachates that infiltrate into the subsoil produced in sanitary landfills have had, affecting the quality of the water that supplies the need for the towns near an area of solid waste deposits.

For this reason, the main cause for the German seminar was to collect relevant information and synthesize it in 9 sessions, which allowed generating a space for discussion, argumentation and learning about this problem that is of great interest to the community in general.

The seminar was divided into 3 parts to carry out the presentation of the information in a systematic and orderly way. The first part was a contextualization associated with the contamination of the water resource, sanitary landfills, and solid waste under study with geological parameters in sanitary landfills. The second part addressed the environmental impacts and the water resource related to this problem, together with the generalities of leachates and their treatment systems. In the third and last part, case studies were mentioned at a global, national, and local level that allowed comparing some of the studies in which the physicochemical characterization of leachates was carried out, to seek alternatives that allow improving the quality of the water resource and, consequently, the living conditions of the affected populations.

*Final undergraduated Project

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez – Geologist PhD. Geological Engineering. Co-director PhD: María Alejandra Cetina Tarazona – Geologist MSc. Civil Engineering

Introducción

Para dar culminación a la etapa universitaria de los autores de este documento en el programa de pregrado de Geología, se realiza este trabajo bajo la modalidad de “seminario de investigación” asociado al “Semillero en Sistemas Hidrogeológicos – GIGBA UIS”. Esta modalidad, según el Acuerdo 240 del 2008, de la Universidad Industrial de Santander, busca el fortalecimiento de las habilidades investigativas y comunicativas, permitiendo el manejo y desarrollo de la información científica de los estudiantes, enmarcada en un proceso reflexivo, sistemático y crítico, sobre un tema en específico; cuyo objetivo principal es hacer una revisión del estado del arte, y establecer posibles líneas de investigación futuras.

A través del tiempo, el mundo y los aspectos que lo conforman, evolucionan cada vez más rápido, por ejemplo, la ciencia, las nuevas tecnologías, los hábitos, entre otros. La cantidad de habitantes que hoy en día pueblan la Tierra han venido creciendo exponencialmente con el transcurrir de los años (Manrique, et al., 2007), lo que ha representado para las grandes mentes un gran desafío al suplir las necesidades del ser humano de una manera digna y óptima, y para ello, han surgido muchos avances que permiten a las poblaciones desenvolverse en la búsqueda de una mejor calidad de vida.

Entrando en contexto, una de las problemáticas que últimamente se ha evidenciado debido a este crecimiento poblacional desmesurado, es disponer de lugares que permitan almacenar todos los residuos sólidos que el ser humano produce constantemente, como consecuencia de las necesidades básicas que se presentan a diario. Se estima que a nivel mundial se producen más de 2.100 millones de toneladas de desechos cada año, donde tan solo el 16% de estas basuras es reciclada (“Crisis mundial de la basura”: 3 cifras impactantes sobre el rol de Estados Unidos. BBC News Mundo, 2019), por lo que esto representa un reto que se debe resolver lo más pronto posible.

De acuerdo con lo anterior, es vital poder contar con ese espacio para mantener la gran cantidad de residuos que produce toda la población en cada uno de sus territorios; es aquí, donde se debe resaltar la importancia de los rellenos sanitarios, los cuales han sido claves para almacenar todo tipo de desechos que se generan a nivel global, y así evitar problemas de salud pública.

Ahora bien, a pesar de que los rellenos sanitarios han sido la solución para la disposición de residuos de las distintas poblaciones que habitan en el planeta, estos han logrado repercutir perjudicialmente al medio ambiente cuando no tienen el control adecuado.

Los desechos sólidos que entran a formar parte de un relleno sanitario producen sustancias químicas llamados lixiviados, los cuales son fluidos que transportan metales pesados y compuestos dañinos, que mediante la escorrentía y/o infiltración logran afectar tanto a corrientes de aguas superficiales como subterráneas (Torres, P., et al, 2014). Eventualmente, esto impacta de manera negativa la calidad del agua que abastece a las comunidades que habitan en zonas aledañas a los rellenos sanitarios, generando un deterioro en los ecosistemas naturales que crecen alrededor de las fuentes hídricas.

La vulnerabilidad del recurso hídrico asociada a la infiltración de lixiviados deja a la humanidad en una situación compleja, puesto que resolver esta problemática será uno de los grandes retos, que permita mejorar considerablemente la calidad de vida de cada una de las personas, y a su vez, en pro de preservar la naturaleza, el medio ambiente y la diversidad biológica.

1. Planteamiento del problema

Los rellenos sanitarios a nivel global son métodos para almacenar los residuos sólidos generados por las diferentes actividades llevadas a cabo por el ser humano. Al pasar el tiempo, estos se descomponen por una serie de procesos químicos produciendo lixiviados y gases, que pueden afectar los recursos hídricos, medio ambiente, además de las poblaciones cercanas al depósito. (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002).

Estos depósitos son diseñados para que tengan un mínimo impacto en el medio ambiente, sin embargo, éste depende del diseño del depósito, del proceso realizado en el almacenamiento, de la ubicación del relleno y de la compactación de los residuos como de otros aspectos que lo componen. (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002). Este impacto de los rellenos sanitarios sobre las fuentes hídricas se puede analizar mediante los resultados de diferentes estudios geológicos, hidrogeológicos, y fisicoquímicos que se realizan en estos depósitos.

Es conveniente analizar algunos rellenos sanitarios del mundo para tener una visión de cómo funcionan e impactan estos depósitos y compararlos con un relleno sanitario más local como es el caso de “El Carrasco” en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

A partir de lo mencionado anteriormente se da origen a los siguientes interrogantes: ¿De qué manera afectan los rellenos sanitarios a los recursos hídricos y a las poblaciones cercanas? ¿Qué tanto repercuten en el medio ambiente los productos generados (lixiviados, gases) por los rellenos sanitarios? ¿Qué condiciones geológicas, litológicas, estructurales y ambientales se deben tener en cuenta para las fases de desarrollo de un relleno sanitario? ¿Es similar la disposición de los rellenos sanitarios en Colombia que en otras partes del mundo? ¿Qué aspectos de los rellenos sanitarios en Colombia se podrían mejorar?

2. Justificación

El agua es un recurso muy importante para la vida del ser humano en el planeta Tierra, no solamente por su composición corporal, sino por la necesidad de este valioso líquido en la gran mayoría de actividades realizadas por el hombre como la agricultura, la ganadería, la industria textil, entre otras. Si tenemos en cuenta que de toda el agua dulce que posee la Tierra, cerca del 69% es capturada por los glaciares o las nieves, y que el agua de ríos y lagos solamente representa un 1%, entendemos lo relevante que es el 30% de agua dulce que corresponden a aguas subterráneas. (International Groundwater Resources Assessment Centre [IGRAC], s.f.)

Con el paso del tiempo, el desarrollo de las actividades antropogénicas ha hecho que el recurso hídrico disminuya cada vez más en cuanto a su calidad y cantidad consumible, el cual genera un déficit de éste en varias zonas del planeta, en que ya se hace indispensable la perforación del subsuelo para poder abastecerse de este fundamental líquido. Es por ello, que la realización de este trabajo es sustancial, porque a partir de su desarrollo se pueden entender las relaciones directas e indirectas que existen entre los rellenos sanitarios y los recursos hídricos, teniendo en cuenta la información geológica, hidrogeológica, fisicoquímica y social, de los diferentes casos de estudio existentes en el mundo, para posteriormente poder realizar la revisión de estos aspectos a nivel local en la ciudad de Bucaramanga.

3. Generalidades del Seminario de Investigación

Según el documento expedido por la Vicerrectoría Académica UIS, expedido en 2007, en la cual se plantean los lineamientos para el desarrollo de un Seminario de Investigación, como modalidad de trabajo de grado, éste es definido como una actividad académica, originada en la Universidad Georg August de Göttingen a finales del siglo XVIII en Alemania, con el fin de

ampliar las estrategias de estudio, demostrando que la docencia y la investigación se pueden fusionar y complementar para obtener mejores resultados.

El seminario se basa en estudiar, planear, discutir e intercambiar ideas acerca de un tema en particular; dicha actividad se lleva a cabo en grupo, en el cual uno de ellos expone un tema estipulado (relator), otro integrante lo evalúa, y complementa la información expuesta (correlator); posteriormente, entre todos los asistentes se abre un espacio de discusión donde surgen y se plantean incógnitas al respecto, y, por último, otro integrante (protocolante) reúne y plasma la información y la discusión en el acta de la reunión (Vicerrectoría Académica UIS, 2007).

“El seminario de investigación se programa por temas, los cuales se seleccionan con la orientación del director del seminario, quien, con su experiencia y conocimiento del tema central, guía a los estudiantes en la ejecución de la actividad” (Vicerrectoría Académica UIS, 2007). Las temáticas seleccionadas con ayuda del director se ejecutan como se describió anteriormente, en un ambiente incluyente y colaborativo, asumiendo los diferentes roles que este incluye.

3.1. Objetivo

El objetivo principal del Seminario de Investigación es aportar en la formación de los participantes para la investigación científica, mediante el desarrollo de las habilidades durante la apropiación y ejecución de cada uno de los roles que implica el seminario. Estas habilidades se enfocan principalmente en:

- El desarrollo de la capacidad de lector crítico con el fin de dar resultados basados en la investigación del área del conocimiento tratada.
- Fortalecer las competencias de observación e identificación de las problemáticas presentes en los temas abordados.

- Búsqueda de respuestas y soluciones a preguntas clave, sustentándolas teóricamente de manera verbal y escrita.

Para cumplir dicho objetivo, es indispensable una formación que trascienda desde el trabajo personal hacia el trabajo grupal, en el cual cada participante reconozca sus intereses, sus estilos de aprendizaje y su capacidad de interacción con los demás miembros para compartir, criticar y corregir las ideas que surjan, en un ambiente de colaboración (Vicerrectoría Académica UIS, 2007).

3.2. Ventajas

En base a los lineamientos propuestos por la Vicerrectoría Académica UIS, en el desarrollo de un seminario de investigación, como método para el desarrollo integral de los participantes, presenta las siguientes ventajas:

- Permite a los integrantes contar con el apoyo de un guía, director, hacia la realización de los objetivos establecidos, además de orientar sobre fuentes bibliográficas y contribuir a la solución de problemas e inquietudes.

- Fortalece el hábito de consulta en el tema de estudio. Para alcanzar esto, los participantes recurren a fuentes bibliográficas, bases de datos, textos de referencia y documentos científicos. Este ejercicio permite apropiarse y aprender de los métodos que emplearon los autores de los artículos y textos, así como también, reconocer su valor, aporte a la investigación y aplicaciones en la vida laboral.

- Refuerza y fomenta las habilidades comunicativas y las relaciones interpersonales, mediante el desempeño de los diversos roles dentro del grupo de trabajo, formando al participante tanto personal como profesionalmente.

- Promueve el aprendizaje como experiencia grupal, experimentando la eficacia y eficiencia del trabajo en equipo.

Es una metodología integradora centrada en el estudiante, con amplio potencial para fortalecer la habilidad de aprender y formar integralmente, fundamental para tomar el perfil del ciudadano del siglo XXI.

3.3. Organización

El seminario de investigación se conforma de las siguientes partes: empieza con la relatoría y correlatoría, luego a nivel intermedio está la discusión del tema expuesto por el relator y correlator, para finalizar con las conclusiones y el protocolo. Estas tienen en común la temática establecida para cada sesión.

Cada una de estas partes son importantes para el desarrollo del seminario, las cuales se llevan a cabo por los integrantes del grupo, por ende a cada uno de ellos se le asigna un rol de manera aleatoria que va rotando en cada sesión.

El seminario de investigación “Recursos hídricos: impacto de los rellenos sanitarios por infiltración de lixiviados, estudio de casos relevantes” está conformado por:

Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez

Codirectora: María Alejandra Cetina Tarazona

Integrantes: Pedro Johann Anaya Jaimes

Lina Patricia Candia Jiménez

Juan Camilo Hurtado Robayo

Gloria Juliana Muriel Díaz

Sammy Andrés Martínez Cárdenas

Se desarrollaron en total 9 sesiones, que tuvieron una duración entre 70-90 minutos, las cuales se desarrollaron mediante un software de videochat (Zoom).

3.3.1. Tema del Seminario

El tema principal de este seminario de investigación es el estudio de la influencia de los lixiviados sobre los recursos hídricos circundantes a un relleno sanitario. Con las sesiones presentadas en el seminario, se dan a conocer las distintas características físicas, químicas y biológicas que generan un impacto ambiental negativo sobre los recursos hídricos adyacentes a zonas de depósitos de residuos sólidos.

El seminario de investigación se dividió principalmente en 3 partes que permitieron organizar la información de una manera más clara y concisa para presentar el tema:

I. Contextualización:

La primera parte consistió en una contextualización de la problemática la cual estuvo muy enfocada a la parte conceptual del seminario, con la finalidad de dar a conocer a los miembros del Semillero de Investigación en Sistemas Hidrogeológicos, terminologías técnicas y los procesos que se desarrollan en torno al impacto que generan los lixiviados sobre los recursos hídricos aledaños a zonas de disposición final de residuos sólidos. Dentro de las sesiones abordadas en esta primera parte del seminario tenemos:

1. Contaminación del recurso hídrico
2. Rellenos sanitarios y residuos sólidos
3. Parámetros geológicos en rellenos sanitarios

II. Impactos ambientales:

Para la segunda parte tratada en este seminario de investigación se abordaron las temáticas asociadas a los impactos ambientales que generan los lixiviados sobre el medio ambiente tales

como el aire, el suelo, los seres vivos, pero principalmente se hace hincapié en los recursos hídricos como eje central del seminario, debido a la gran importancia que tiene este en la calidad de las poblaciones cercanas a zonas de rellenos sanitarios y que a causa de la contaminación de las aguas, no pueden ser consumidas debido a altos índices de contaminantes presentes en estas regiones.

Para llevar a cabo esta parte del seminario, se dividió en las siguientes sesiones:

1. Impactos ambientales e impactos al recurso hídrico
2. Lixiviados

III. Casos de estudio:

Finalizando el seminario se dió a conocer al público esta problemática aplicada a diferentes casos a nivel mundial, nacional y local, con el fin de realizar una comparativa que permitiera abrir un espacio de discusión y reflexión en torno a la manera como se han llevado a cabo los estudios de caracterización de los lixiviados en búsqueda de informar y advertir a las poblaciones vulnerables de ser afectadas por el potencial de toxicidad de los lixiviados presentes en el recurso hídrico en la zona de estudio. Para desarrollar esta parte se implementaron las siguientes sesiones:

1. Casos de estudios relevantes a nivel mundial
2. Casos de estudio relevantes en Colombia
3. Caso de estudio El Carrasco
4. Legislación

3.3.2. Dirección del Seminario de Investigación

La dirección del seminario de investigación “Recursos hídricos: impacto de los rellenos sanitarios por infiltración de lixiviados, estudio de casos relevantes” fue dirigido por el profesor Juan Diego Colegial Gutiérrez y la codirectora María Alejandra Cetina Tarazona, quienes con su experiencia y conocimiento dirigieron y lideraron de manera satisfactoria este proceso desde la

fase inicial hasta su culminación para el desarrollo profesional e integral de cada uno de los participantes.

3.3.3. Descripción de los Roles

Los roles para realizar un seminario de investigación alemán son:

3.3.3.1. El Director. El director es la persona con mayor conocimiento y campo en el tema, por lo tanto, es al que le cae el trabajo más significativo en el seminario. En lo que respecta a los seminarios de pregrado y posgrado, son profesores “titulares” que generalmente son responsables de guiar a los estudiantes en todo lo necesario, a través de los caminos de aprendizaje, y poder ejecutar los objetivos planteados. Se encarga de igual forma de intervenir en cada sesión, corrigiendo y complementando cada aporte, con el fin de fomentar el debate crítico.

3.3.3.2. El Relator. La tarea del relator como objetivo principal es presentar los temas correspondientes en el seminario. La principal tarea es enriquecer los resultados de su investigación rigurosa, buscar y aportar cosas nuevas, que puedan mejorar el conocimiento de los demás, y de igual forma, sobre el tema de estudio.

El relator debe transmitir argumentos estrictos, explicaciones claras y declaraciones de opinión en su discurso, inspirar e impulsar la discusión del grupo, conservar su atención y despertar el interés de la gente por la participación.

El relator es quien decide qué exponer, y tiene la libertad para ordenar su material de trabajo. Expone el tema preparado con antelación durante un tiempo mínimo de 25 minutos, en el cual puede plantear desde diferentes puntos de vista, de manera imparcial y objetiva, su opinión para poder compartirlas a los participantes, de tal forma, llegue a diferentes grupos.

3.3.3.3. El Correlator. La tarea del correlator se basa en evaluar el dominio de la relatoría expuesta en la sesión, y de valorar su dominio argumental. De igual forma, es la persona que debe prestar

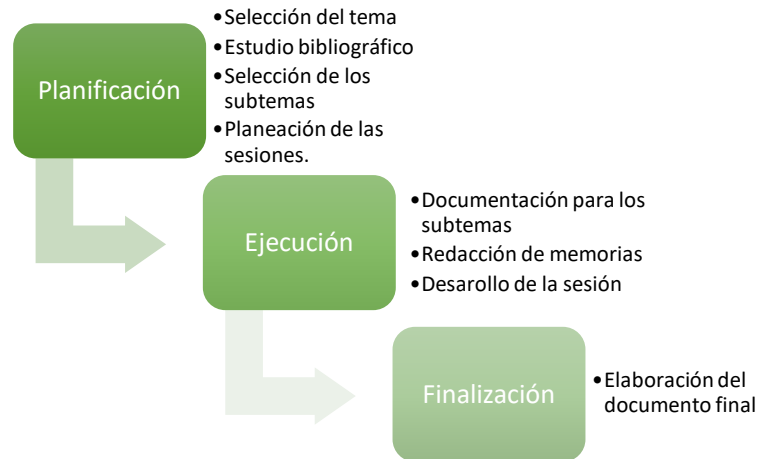
la mayor atención en las relatorías para poder complementar por medio de la correlatoría los temas que no fueron expuestos, debido a que no se deben de repetir. De una manera crítica en la que debe presentar una posición con respecto a la relatoría, realizando aportes relevantes, para así, poder propiciar a los participantes al debate.

3.3.3.4. *El Protocolante.* Es el encargado de reflejar en un documento todas las actividades que fueron desarrolladas en el seminario, como lo son las intervenciones de relatoría y correlatoría, los aportes críticos, las propuestas, los posibles interrogantes, las conclusiones, entre otros. Otra de las principales funciones para el protocolante es generar conciencia y reconocer la importancia que es el escrito para realizar las memorias del seminario.

3.3.3.5. *Los Participantes.* Son aquellos que durante la sesión no desempeñan ningún otro tipo de rol; son fundamentales durante la discusión, que se caracteriza de carácter positivo, argumentativo y enfocado al mejoramiento del trabajo en grupo. Los participantes deben participar con respeto en cada una de las sesiones, desarrollando y fortaleciendo el trabajo en equipo, los procesos cognitivos a partir de la escucha atenta, la reflexión y más.

3.4. Metodología

La metodología empleada para el Seminario de Investigación Alemán titulado “Recurso hídrico: Impacto de los rellenos sanitarios por infiltración de lixiviados, estudio de casos relevantes” fue basada en el documento expedido por la Vicerrectoría Académica de la Universidad Industrial de Santander del año 2007, en el cual se plantean tres etapas: planificación, ejecución y finalización, mencionadas en la Figura 1, las cuales serán expuestas en el siguiente capítulo.

Figura 1*Esquema metodológico del seminario de investigación*Modificado de: *Vicerrectoría académica UIS, 2007.*

4. Planificación

El trabajo principal en la fase de planeación fue seleccionar los temas que se desarrollaron en el seminario. Este tema es de gran atractivo para los participantes ya que el interés y la curiosidad, y la dedicación son factores que aseguran el éxito del seminario de investigación. Luego se plantearon los objetivos, los cuales son la base del seminario de investigación, que se lograron desarrollando correctamente la temática de este.

4.1. Objetivos Planteados

Los objetivos planteados en este seminario de investigación fueron:

4.1.1. Objetivo General

Generar un espacio de comunicación y discusión, mediante el desarrollo de un seminario de investigación alemán, sobre el recurso hídrico y su relación con los rellenos sanitarios, con el fin de recopilar y organizar la información existente sobre el impacto ambiental que generan estos depósitos, contribuyendo al estado del arte y fortaleciendo habilidades en los estudiantes tales como la investigación científica, el trabajo en equipo, entre otras.

4.1.2. *Objetivos Específicos*

- Determinar los factores geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos y fisicoquímicos que inciden en el impacto de los rellenos sanitarios a los recursos hídricos.
- Comparar los casos de estudio relevantes a nivel mundial que se mencionen en las sesiones de manera general con el caso de estudio de “El Carrasco”, con el fin de exponer las similitudes y diferencias que permitan plantear si este relleno sanitario afecta potencialmente los recursos hídricos cercanos.
- Crear condiciones de diálogo, que aporten a la formación integral de los estudiantes y del público en general, a través del contraste de ideas, partiendo de un conocimiento previo, y a la solución de los interrogantes planteados con la información brindada en cada sesión.
- Fomentar la discusión de cada uno de los subtemas abordados en las diferentes sesiones del seminario de investigación con el propósito de fortalecer competencias de expresión y argumentación, que a su vez permita ahondar y consolidar los conocimientos tratados.
- Generar una concientización sobre la gestión de los residuos sólidos con el propósito de aportar a la mitigación y reducción del impacto ambiental producido por los mismos.

4.2. Selección de los Subtemas

Una vez realizada la recopilación bibliográfica y determinado el planteamiento del seminario de investigación, se analizaron cuáles son los subtemas más importantes que permiten garantizar el correcto desarrollo de la temática principal del seminario.

El seminario se dividió en tres partes, iniciando con la contextualización en la cual se plantea la temática de los recursos hídricos, rellenos sanitarios y los residuos sólidos urbanos. En la segunda parte del seminario el enfoque son los impactos ambientales y a los recursos hídricos generados por los productos de los rellenos sanitarios, tales como lixiviados, gases entre otros.

Finalmente con la tercera parte se busca analizar algunos casos de estudio a nivel mundial, nacional y local. Los subtemas que se plantearon para el seminario son los siguientes:

4.2.1. Parte I: Contextualización

1. Contaminación del recurso hídrico

- El ciclo del agua
- Tipos de acuíferos
- Recurso hídrico a nivel mundial
- Contaminación del recurso hídrico
- Fuentes de contaminación del recurso hídrico
- Tipos de contaminantes
- ¿Cómo se contaminan los acuíferos?
- Parámetros que afectan la calidad del agua
- Límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos del agua aceptados por la OMS

2. Rellenos sanitarios y residuos sólidos

- Rellenos sanitarios
- Fase de selección
- Diseño y construcción
- Emisiones
- Operación
- Cierre
- Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

3. Parámetros geológicos en rellenos sanitarios

- Decreto 838. 23 de marzo del 2005
- Métodos constructivos en rellenos sanitarios
- Método de trinchera
- Método de áreas
- Configuración final
- Problemática de los rellenos sanitarios

4.2.2. Parte II: Impactos Ambientales

4. Impactos ambientales e impactos al recurso hídrico

- Impactos ambientales
- Identificación de impactos ambientales
- Incendios en rellenos sanitarios
- Flujo de destino de metales pesados en rellenos sanitarios
- Evaluación de la contaminación de metales pesados en lixiviados y suelos impactados por desechos/lixiviados
- Evaluación de riesgo de contaminación del suelo por metales pesados
- Mecanismos de formación de gas de relleno sanitario
- Entradas o aportes de agua al relleno sanitario
- Salidas o pérdidas de agua del relleno sanitario
- Soluciones anteriores a los problemas de impacto ambiental y al recurso hídrico

5. Lixiviados

- Generación de lixiviados
- Contaminantes en los lixiviados
- Fases de descomposición de los lixiviados

- Clasificación de los lixiviados
- Procesos biológicos
- Sistemas naturales
- Procesos mecánicos
- Procesos químicos
- Sistemas de membranas
- Tratamiento conjunto con las aguas residuales
- Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición fisicoquímica y su potencial de toxicidad

4.2.3. Parte III: Casos de Estudio

6. Casos de estudio relevantes a nivel mundial

- Tratamiento de residuos sólidos
- Proceso de formación del biogás
- Situación mundial
- Casos de estudio: Nigeria, Ghana, Australia, China, Estados Unidos, Unión Europea, América Latina

7. Casos de estudio relevantes en Colombia

- Principales rellenos sanitarios de Colombia
- Factores ambientales que influyen en los lixiviados
- Vida útil de los rellenos sanitarios en Colombia
- Principales fuentes hídricas afectadas
- Caso de estudio: Relleno Sanitario Doña Juana (Bogotá, Colombia)
- Caso de estudio: Relleno Sanitario La Esmeralda (Manizales, Colombia)

- Caso de estudio: Relleno Sanitario La Recebera (Girardot, Colombia)
- Caso de estudio: Relleno Sanitario Antanas (Pasto, Colombia)
- Caso de estudio: Relleno Sanitario El Henequén (Atlántico, Colombia)
- Caso de estudio: Relleno Sanitario de la Calle 100 (La Habana, Cuba)
- Caso de estudio: Relleno Sanitario en Revdalen, Noruega
- Caso de estudio: Relleno Sanitario en Lanciano, Italia

8. Caso de estudio El Carrasco

- Ubicación geográfica
- Composición del relleno
- Localización general de las cárcavas y celdas en el relleno sanitario El Carrasco
- Línea de tiempo del relleno sanitario El Carrasco
- Marco tectónico regional
- Estratigrafía de la Formación Bucaramanga
- Características fisicoquímicas que ingresan al Relleno Sanitario El Carrasco
- Tratamiento de lixiviados realizados en la planta del Carrasco
- Resultados del monitoreo de los lixiviados del mes de enero del 2019
- Caso de estudio de contaminación de las aguas subterráneas en El Carrasco
- Descripción de la situación actual en materia de gestión ambiental
- Métodos de análisis de datos

9. Legislación

- Trayectoria judicial de Colombia del año 1978 al 2005
- Capítulo 3 del Decreto 1784 de 2017
- Capítulo 6 del Decreto 1784 de 2017

5. Ejecución

En esta etapa se llevó a cabo el desarrollo de las sesiones mediante la aplicación de lo expuesto en la etapa de planeación. Es importante aclarar que, aunque hay unos roles establecidos para cada estudiante en las diferentes sesiones, todos se informaron con la bibliografía base establecida con el fin de aportar al desarrollo y la discusión de la temática correspondiente.

La ejecución del seminario se desarrolló por medio de sesiones, una por cada subtema elegido, las cuales en un inicio correspondían a un total de diez sesiones, no obstante, durante el desarrollo de la sesión 3, se acató la sugerencia del director y la codirectora de fusionar dos de las sesiones (ahora sesión 4) como “Impactos ambientales e impacto al recurso hídrico”. En cada sesión se realiza la presentación del tema a cargo del relator (o relatoras) cuya distribución se puede observar en la Tabla 1 y la cual tuvo una duración aproximada de 20 a 30 minutos. Llegados a este punto, la correlatoría, realizó la evaluación de la información presentada complementándola en un aproximado de 10 a 15 minutos. Y, para terminar, se realizó la discusión documentando todo lo anterior por parte del protocolante en el acta de cada sesión.

Tabla 1

Distribución de la relatoría de los temas del seminario de investigación

PRIMERA PARTE: Contextualización	
Tema/Sesión	Relator
1. Contaminación del recurso hídrico	Pedro Johann Anaya Jaimes
2. Rellenos sanitarios y residuos sólidos	Juan Camilo Hurtado Robayo
3. Parámetros geológicos en rellenos sanitarios	Gloria Juliana Muriel Diaz
SEGUNDA PARTE: Impactos Ambientales	
Temas/Sesión	Relator (as)

4. Impactos ambientales e impactos al recurso hídrico	Lina Patricia Candia Jiménez & Gloria Juliana Muriel Diaz
5. Lixiviados	Sammy Andrés Martínez Cárdenas
TERCERA PARTE: Casos de Estudio	
Temas/Sesión	Relator
6. Casos de estudio relevantes a nivel mundial	Sammy Andrés Martínez Cárdenas
7. Casos de estudio relevantes en Colombia	Lina Patricia Candia Jiménez
8. Caso de estudio El Carrasco	Pedro Johann Anaya Jaimes
9. Legislación	Juan Camilo Hurtado Robayo

Fuente: *Autores*.

5.1. Descripción de los subtemas

5.1.1. Parte I

Sesión 1. Para dar apertura a este seminario de investigación, se realizó la contextualización a los asistentes a modo general en conceptos básicos referentes al ciclo del agua, hidrología e hidrogeología, junto con la situación de la escasez de agua dulce a nivel global, y posteriormente se expusieron las diversas fuentes de contaminación y los tipos de contaminantes, ya sean naturales o antropogénicos, a los cuales está expuesto el recurso hídrico. Por último, se habló acerca de cómo se contaminan los acuíferos y los parámetros que afectan la calidad del agua.

Sesión 2. En esta sesión se informó a los participantes sobre las generalidades de los rellenos sanitarios, las diferentes etapas para la construcción del mismo, dentro de las cuales están: fase de selección del lugar para la realización del proyecto, diseño y construcción, las emisiones

de gas producto de la descomposición anaerobia de los residuos, y lixiviados, que son líquidos percolados, los cuales deben ser controlados y monitoreados para evitar la contaminación del medio ambiente, la operación, y el proceso de cierre al finalizar la vida útil de estos lugares de disposición final. Además, se mencionó la temática de la seguridad dentro del relleno sanitario, debido a que existen muchos riesgos que se pueden mitigar si se realiza un buen control dentro de este lugar. Adicionalmente, se abordó la definición de residuos sólidos explicando su composición y las principales técnicas de tratamiento dentro de las cuales se destaca el compostaje, la incineración y el reciclaje, mencionando las ventajas y desventajas de cada una de estas, y, por último, las reacciones biológicas, químicas y físicas que podrían ocurrir.

Sesión 3. En esta sesión se analizan los componentes y/o criterios geológicos, litológicos, estructurales y ambientales necesarios para las distintas fases de desarrollo de un relleno sanitario. Además, se analizan las características del sustrato, fracturas, disponibilidad, tipo de material, actividad sísmica y estructuras favorables o desfavorables, todo con la finalidad de analizar las condiciones óptimas que permitan la buena gestión y organización de este tipo de depósitos.

5.1.2. Parte II

Sesión 4. Aquí se expusieron los diferentes tipos de impactos negativos generados al medio ambiente, producto de la operación de los rellenos sanitarios como alternativa para el manejo de los residuos sólidos (p.ej: vertimiento de lixiviados, principal fuente de contaminación). De igual manera, se informó qué recursos son los principalmente afectados y cuáles son los contaminantes más relevantes. Del mismo modo, se mencionó la evaluación de la contaminación de metales pesados en lixiviados y suelos impactados por estos, junto con los mecanismos de

formación de gas, y las entradas y salidas de agua dentro del relleno sanitario. A modo de cierre, se resaltan las acciones que se deberían realizar para evitar que estos problemas ocurran.

Sesión 5. Inicialmente, esta sesión se encargó de informar sobre las generalidades de los lixiviados, su proceso de generación en un relleno sanitario junto con los tipos de contaminantes presentes que afectan la calidad del recurso hídrico. Igualmente, se mencionaron y explicaron las diferentes fases de descomposición de los lixiviados y su clasificación. Por otra parte, se procedió a presentar los diferentes tipos de tratamientos de lixiviados, tales como los procesos biológicos, mecánicos, químicos, sistemas naturales, sistemas de membranas y tratamiento en conjunto con las aguas residuales. Además, se analizó cómo se pueden ver influenciadas las diferentes características físico - químicas de los lixiviados y su potencial de toxicidad debido al tiempo que éste lleve operando, para caracterizar y correlacionar los diferentes parámetros que los componen, en la búsqueda de diferentes métodos de mitigación de efectos negativos no solamente para el medio ambiente sino para la sociedad.

5.1.3. Parte III

Sesión 6. Esta sesión tuvo como idea fundamental informar al público de la gestión de los residuos sólidos y los rellenos sanitarios a nivel mundial y a modo general, donde ya existen tecnologías avanzadas para ello. Se habló sobre las alternativas de tratamiento de residuos sólidos y el proceso asociado a la formación de biogás. La idea fue comparar usando datos estadísticos, la organización y la ejecución de los diferentes factores sobre la operación de estos depósitos sanitarios y la gestión integral de los residuos sólidos en diferentes partes del mundo, donde se trataron casos de estudio en: Nigeria, Ghana, Australia, China, Estados Unidos, la Unión Europea y Latinoamérica.

Sesión 7. Esta etapa consistió en informar y correlacionar diferentes casos de estudio relevantes en el país, tales como: Relleno Sanitario Doña Juana (Bogotá), Relleno Sanitario La Esmeralda (Manizales), Parque ecológico Praderas del Magdalena (Girardot), Relleno sanitario Antanas (Pasto) y Relleno sanitario el Henequén (Barranquilla), mostrando así, dónde están mayormente ubicados, los factores ambientales que influyen los rellenos sanitarios y sus diferentes tratamientos para la remoción de contaminantes realizados por cada sistema de rellenos sanitarios. Además, se determinaron los principales recursos hídricos de Colombia que son afectados por el vertimiento de lixiviados, demostrando así la gravedad del tema. A manera de contraste, y como complemento a la sesión anterior, se nombraron 3 casos de estudio a nivel mundial que fueron: La Habana, Cuba; Revdalen, Noruega; y Lanciano, Italia.

Sesión 8. Para la finalización de este seminario, con toda la información planteada en las sesiones llevadas a cabo anteriormente, se buscó la aplicación de los conocimientos en un contexto más local, como lo es el relleno sanitario llamado “El carrasco” en el área metropolitana de Bucaramanga, en donde se ubicó el relleno geográfica y geológicamente (adentrándolo en un marco tectónico regional y estratigráfico local), hablando de su composición y sumando la línea temporal con los sucesos más importantes. Asimismo, se planteó la caracterización fisicoquímica de los residuos que ingresan al Carrasco, junto con los tratamientos de los lixiviados que se realizan en la planta con la que cuenta el relleno y se revisó una evaluación de la efectividad de estos procedimientos. Finalmente se revisó la contaminación de las aguas subterráneas con relación a la infiltración de los lixiviados y la situación actual en materia de gestión ambiental.

Sesión 9. En esta sesión se analizó la historia de la legislación de los rellenos sanitarios en Colombia desde los años 1978 hasta el 2005 por medio de tres videos cortos, en los cuales rápidamente se explicaban las leyes y decretos con la temática que implicaba a los rellenos

sanitarios y los residuos sólidos urbanos, posteriormente se explicó el decreto más reciente, 1784 del 2017, que regula la actividad de los residuos sólidos urbanos en Colombia.

La regulación de la normatividad ambiental para los residuos sólidos que se almacenan en estos depósitos llamados rellenos sanitarios contempla la implantación de la gestión integrada de residuos sólidos; esta gestión está jerarquizada en reducción en el origen; aprovechamiento y valorización; tratamiento y transformación; disposición final controlada. También se hizo el cierre del seminario generando un espacio de dialogo entre los participantes para que compartieran las conclusiones de lo aprendido durante todas las sesiones.

5.2. Protocolo

El protocolo es el documento que se realiza en cada sesión para tener un acta de registro de cada parte que conforma la sesión, este incluye el discurso realizado por el relator y el correlator, la discusión que se presenta entre los participantes de la sesión, las conclusiones y las recomendaciones.

Además, quedan registrados todos los asistentes a la sesión, el lugar, la duración, entre otros. Quedando constancia de la ejecución de todas las sesiones.

5.2.1. Ejemplo de un Protocolo

A continuación, es mostrada un acta realizada en el transcurso del seminario de investigación como ejemplo:

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Programa de Pregrado en Geología

Seminario de Investigación

Recursos Hídricos: Impacto de los Rellenos Sanitarios por Infiltración de

Lixiviados, Estudio de Casos Relevantes

Sesión No. 8 “Caso de Estudio El Carrasco”

Director: Juan Diego Colegial G., Geólogo P. hD

Codirectora: María Alejandra Cetina T., Geóloga MSc.

Relator: Pedro Johann Anaya J., Estudiante de Pregrado

Correlatora: Lina Patricia Candia J., Estudiante de Pregrado

Protocolante: Juan Camilo Hurtado R., Estudiante de Pregrado

Fecha: 7 de abril de 2021

Hora inicio: 12:00 p. m.

Hora fin: 2:00 p. m.

Lugar: Salón virtual de Zoom (<https://renata.zoom.us/j/89051484479>), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Asistentes:

- Dr. Juan Diego Colegial Gutiérrez, director del seminario
- MSc. María Alejandra Cetina Tarazona, codirectora del seminario
- Pedro Johann Anaya Jaimes
- Sammy Andrés Martínez Cárdenas,
- Juan Camilo Hurtado Robayo
- Lina Patricia Candia Jiménez
- Gloria Juliana Muriel Diaz

- Daniela Suárez
- Carlos Rincón
- Nicolás Martínez
- Alan Archila
- María Paula Hernández
- Andrea Fernanda Candia
- Daniel Cortés
- Daniela Duarte

Estudiantes de Pregrado en Geología de la Universidad Industrial de Santander

Orden del día:

1. Ejemplo de apertura de la sesión y presentación a cargo del relator.
2. Ejemplo de intervención de la correlatora.
3. Ejemplo de desarrollo de la discusión.
4. Ejemplo de conclusiones y recomendaciones.
5. Ejemplo de textos bibliográficos.
6. Ejemplo de tema de la siguiente sesión.

Desarrollo

Ejemplo de apertura de la sesión y presentación a cargo del relator

El protocolante Juan Camilo Hurtado da la bienvenida al seminario de investigación alemán, de tema: “Recursos hídricos: impacto de los rellenos sanitarios por infiltración de lixiviados, estudio de casos relevantes”.

El relator Johann Anaya Jaimes inicia exponiendo la ubicación geográfica del Relleno Sanitario El Carrasco, mediante imágenes satelitales tomadas de Google Earth, el cual se encuentra

en el departamento de Santander, área metropolitana de Bucaramanga, Colombia. El relleno se encuentra ubicado entre los límites de Girón, Floridablanca y Bucaramanga, es considerado como un relleno sanitario de tipo regional porque recibe los residuos sólidos urbanos (RSU) de 16 municipios.

El Relleno Sanitario El Carrasco, se cataloga como un relleno sanitario mecanizado. Recibe según Flores (2018), 900 toneladas de RSU al día. Comprende un área de 94 hectáreas en donde se desarrollan todas las actividades asociadas, desde el pesaje, tratamiento de lixiviados, las fuentes de material de cobertura y la zona de disposición final.

El área de influencia ambiental corresponde a los sectores cercanos, que, por el viento y la temperatura, hay un arrastre de las partículas y olores que se generan en el área de influencia directa, la cual está delimitada en un radio de 2 kilómetros, siendo los barrios El Porvenir, Dangond, Tejar y Manuela Beltrán (Contreras, 2015), las comunidades afectadas que se encuentran en Bucaramanga. El cubrimiento diario según la Empresa de Aseo de Bucaramanga (EMAB) es con un material granular y sintético, y las labores administrativas del Carrasco están a cargo de esta entidad.

Posteriormente se expone la configuración del relleno, la cual se basa en 3 cárcavas: la cárcava 1, compuesta por la zona 1 que está clausurada y la zona 2 que se dispone actualmente por el rediseño realizado por la firma Environmental Service, con un área de 7 Ha y cuenta con un volumen de 667.000m³ para disponer los residuos en forma escalonada, en la jurisdicción del municipio de Bucaramanga; en la cárcava 2, que correspondía al botadero a cielo abierto de Malpaso, se dispusieron más de 500.000 ton de RSU, además, esta cárcava se encuentra en un drenaje natural de aguas lluvias llamada El Carrasco, afluente de la Quebrada La Iglesia; la cárcava 3 se encuentra ubicada al suroriente del predio con un área de 2 Ha, con una altura de 370-830

msnm y actualmente está cubierta por vegetación natural.

Continúa la sesión mostrando en detalle la localización general de las cárcavas y celdas en el relleno sanitario El Carrasco. Se muestra un área clausurada, un área que se encuentra en operación y un área post-clausura, esta imagen fue tomada de un procedimiento sancionatorio ambiental de la ANLA 2017. Para el 2019, se finalizó la disposición de los RSU en las celdas de contingencia, y a partir del 14 de enero de 2019 los RSU se disponen en la celda de respaldo 1, con fines de estabilización y relleno, incluidas en el Plan de Disposición Final del Relleno.

El relator expone la línea de tiempo histórica del Relleno Sanitario El Carrasco, empezando desde 1978, año en el cual nace el Carrasco como botadero a cielo abierto; en 1986 se produce la primera alarma ambiental por contaminación; en 1993 la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) asume la competencia como autoridad ambiental; en 1994 la CDMB adelanta procesos de evaluación ambiental; en 1998 se crea la empresa de aseo EMAB y se aprueba el Plan de Manejo Ambiental (PMA) del relleno sanitario El Carrasco; en 1999 se produce la clausura de la cárcava 1; en el 2000 se hace uso de la zona 2 de la cárcava 1; en el 2003 se da plazo de 24 meses para el cierre de la cárcava 1; en el 2005 se ordena la pre y post clausura, pero se da un plazo máximo de 36 meses para utilizar las celdas transitorias (CT); en el 2006, la CDMB aprueba el Plan de contingencia de la EMAB, entre el 2006 y el 2007, se dan procesos sancionatorios por la descarga de lixiviados y en el 2008 se cumplen los plazos del uso de las CT.

Continuando con la línea temporal del relleno, en 2011 se declara la emergencia sanitaria, en búsqueda de la prórroga del Decreto 0234, expedido por la alcaldía municipal de Bucaramanga por 6 meses más; en el 2012 dictaminan medida de emergencia por 18 meses; en el 2013 el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) aprueba el PMA presentado por la EMAB, y asimismo se

amplía el estado de emergencia sanitaria y ambiental por 24 meses más; en el 2015 se prorroga por 24 meses más; en el 2016 inicia la estructuración de un proyecto que busca la transformación de los RSU en energía eléctrica, y también se empieza a mirar la posibilidad de incinerar los RSU; en el 2018 colapsa la celda 4 de la cárcava 2 con una remoción de aproximadamente 30.000 ton de RSU provocando que emanaran olores en Bucaramanga y su área metropolitana; y finalmente, en el 2019 la ANLA ordena la clausura y cierre del Carrasco que actualmente sigue operando.

Posteriormente se explica el marco tectónico-regional, a través de un bloque diagrama, el cual está compuesto por 3 zonas separadas por el sistema de fallas del Suárez y Bucaramanga: el bloque occidental, con la mesa de Lebrija; el bloque oriental, con el Macizo de Santander, y el bloque central, con el área metropolitana de Bucaramanga; esta última, definida como una depresión tectónica rellena por depósitos aluviales del cuaternario.

Luego se explica la estratigrafía de la zona del Carrasco, tomada de Gutiérrez y Pico (2020), en la cual se hace una recopilación del estado del arte de la Formación Bucaramanga, ordenando la información desde 1952 hasta 2018. Dicha formación consiste en un depósito cuaternario, que por su morfología se clasifica como un abanico aluvial; la parte más antigua tiene unos 730.000 años ubicándose en el Pleistoceno medio superior, a partir de dataciones paleomagnéticas, publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce Suárez; y las capas cuentan con un espesor de 250-300 m según INGEOMINAS, 2001. La Formación Bucaramanga se divide en cuatro miembros: el Miembro Órganos, el Miembro Finos, el Miembro Gravoso y el Miembro Limos Rojos, según Hubach (1952). El Miembro Órganos tiene niveles de aspecto conglomerático compuesto por gravas, clastos grano soportados, formado de capas gruesas con espesores de hasta 15 metros; el Miembro Finos se caracteriza por componentes arcillosos, localizado en la base, caracterizado por ser arcillo-limoso, con estratificación plano paralela y un componente arenoso,

ubicado en el techo, con una alternancia de los niveles arena limosos con arcillo limosos; el Miembro Gravoso, presenta niveles gravo arenosos, lodosos y limosos, con espesores de 8-30 m; y por último, el Miembro Limos Rojos, compuesto por arenas arcillosas, limosas y gravosas y se presentan bloques angulares de areniscas asociados a este miembro.

Después expone una tabla (ver apéndice A, Libro de memorias, Tabla 8.7) para explicar las características fisicoquímicas de los residuos que ingresan al Carrasco, tales como: peso específico, humedad, Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Azufre, entre otros. La tabla mencionada anteriormente, fue tomada de un estudio por Rincón y Vergel (2019) realizado a una muestra de 15 kg de residuos sólidos. También ilustra unas tablas (ver apéndice A, Libro de memorias, Tabla 8.8) con los porcentajes de los RSU, que presentan características físicas de biotransformación, reciclaje, escombrera, disposición directa e incineración, estos datos son del 2016, también tomado de Rincón y Vergel (2019).

Muestra, además, una imagen (ver apéndice C, Diapositiva 216) de la planta de tratamiento de lixiviados que posee El Carrasco, la cual cuenta con lagunas, cribado mecánico, celda de flotación de aire disuelto (DAF), sistema de filtración y microfiltración, ósmosis inversa de discos tubulares (DTRO) y ósmosis inversa.

Asimismo, expuso los resultados de un estudio del monitoreo del mes de enero del 2019 a los lixiviados generados en el Carrasco, en el cual revisaron cuales eran las características de estos lixiviados antes y después de su tratamiento; algunos de los parámetros evaluados fueron el pH, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, la alcalinidad y la dureza.

Del mismo modo, muestra una tabla de puntos de muestreo de un estudio de la contaminación de Cromo, Cadmio y Arsénico del recurso hídrico subterráneo, realizado por la

ANLA y la CDMB entre el 2011 y el 2014. Según la tabla, el Arsénico tiene valores muy altos para las aguas subterráneas en los puntos muestreados, generando un impacto negativo en la comunidad que se abastece de estos acuíferos, que pueden ocasionar cánceres de la piel, la vejiga y los riñones, entre otras enfermedades. Por último, el relator comenta que, respecto a las aguas subterráneas, se encontró un estudio en el que mencionaban que no había datos concretos para determinar si existía una contaminación.

Ejemplo de intervención de la correlatora

La correlatora Lina Patricia Candia expone la descripción de la situación del 2010 en materia de gestión ambiental. Dentro de la descripción de esta gestión ambiental se resaltan: el desarrollo humano, beneficiando los recicladores; la barrera ecológica; la planta de lixiviados, con el fin de reducir el impacto ambiental en la Quebrada La Iglesia; la zona empradizada; la terraza, sitio en el cual se realizan las acciones de impermeabilización y la elevación de chimeneas para la extracción de gases; la planta de reciclaje, que tiene como objetivo erradicar la recuperación de residuos sobre las zonas de disposición, para hacerlo en condiciones ambientales; y por último, la planta de compostaje, con capacidad de 5 toneladas de abono orgánico a la semana, la cual genera ingresos y empleos a través de la producción y venta de abono.

Luego se muestran dos imágenes, una corresponde a la planta de lixiviados en El Carrasco y la otra, a la zona empradizada de El Carrasco, explicando que el objetivo en un futuro es usar las aguas tratadas en la planta, como riego y abono para estas zonas recuperadas.

Posteriormente, expone un caso de estudio realizado por Mora (2019) en El Carrasco y muestra una tabla con los métodos de análisis de datos, y los impactos ambientales generados por El Carrasco, tanto a las aguas superficiales como subterráneas de las zonas aledañas.

Destaca que el suelo, el agua y el aire son los principales elementos afectados por dicho

relleno. En el suelo se han presentado problemáticas por agrietamiento y fractura de taludes, asentamiento diferencial por extracción de lixiviados y el reacomodamiento de los materiales o el proceso de drenaje de las lagunas de lixiviados. El impacto ambiental en los recursos del suelo se debe al cambio de uso de la tierra de forma irreversible, a ser terrenos sin algún potencial de aprovechamiento.

En la Quebrada “La Iglesia” han aumentado las descargas de otras aguas residuales, generando un proceso de degradación que está reflejado en la reducción drástica del contenido de oxígeno disuelto en sus aguas y como consecuencia de esto, la desaparición de la biota y el microbiota que habitaba en su cauce, estos son los principales impactos de los lixiviados en la quebrada y se presenta hasta su desembocadura en el Río de Oro. También se suma la desaparición de la fuente intermitente o drenaje de aguas lluvias denominada Quebrada El Carrasco, que desembocaba en la Quebrada “La Iglesia”. Asimismo, los soportes científicos y documentales sobre el impacto a las aguas subterráneas son escasos. (La inexistencia de red de monitoreo del recurso hídrico subterráneo y la altura de residuos sobre el suelo natural, impide la exploración y conocimiento del estado de las aguas subterráneas). Para las aguas superficiales, los lixiviados son conducidos a un sistema de tratamientos de aguas residuales por medio de un sistema artesanal, que han venido presentando fugas en el terreno.

En el aire se ha visto el aporte de miles de toneladas de CO_2 , debido a las emisiones no controladas de los gases que se producen por la descomposición de materia orgánica, tales como el metano, algunos hidrocarburos, emisiones del material particulado por el tránsito de la maquinaria pesada por las vías sin pavimentar y compuestos como amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S) y mercaptanos. En los efectos de estos gases es relevante el calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono, y la generación de lluvias ácidas.

En adición al tema, la correlatora Lina Candia habló respecto a una entrevista realizada a un funcionario de la CDMB. El funcionario expone que “no es posible ampliar la vida útil del Relleno Sanitario El Carrasco, debido a que existe un acto administrativo que ordena la clausura del relleno, sin embargo, existen estudios realizados por el AMB y la UIS, en donde se analiza la sustracción de las áreas protegidas que conforman el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI), para adecuar las celdas y ampliar la operación del relleno sanitario alrededor de 30 años. Del mismo modo, se ha realizado un análisis de los posibles lugares para reubicar dicho relleno en el municipio de Girón, incluidas Chocóa, Marta y Peñas. El primero cuenta con un permiso ambiental emitido por la Región Autónoma de Bucaramanga; ya para el caso de Marta, está en proceso de solicitar permisos ambientales. Para los funcionarios, no hay una opción clara para realizar el traslado del Carrasco, porque Chocóa fue declarada área de conservación de agua en el Plan de Manejo del Territorio en Girón.

Ejemplo de desarrollo de la discusión

Para dar inicio a la discusión, la correlatora Lina Patricia Candia Jiménez lee la pregunta: ¿cuál cree usted sea la mayor problemática ambiental que afecta al relleno sanitario “El Carrasco” y sus zonas aledañas?

El participante Nicolás Martínez responde que el principal problema de los lixiviados del Carrasco se debe a la mala administración ejercida por la EMAB. Nos comenta, que actualmente vive en las cercanías del barrio El Porvenir, y El Carrasco, ha venido afectando mucho a las poblaciones cercanas, a este relleno sanitario. Lo mencionado anteriormente, se debe en gran medida a la regular administración que se ha venido presentando en los últimos años, y debido a que no se ha sabido manejar esta problemática, la ANLA determinó el cierre de este relleno a más tardar el 2022.

El participante Sammy Andrés Martínez comenta sobre un artículo de Guarín y Gómez (2013), en el cual se realizó un estudio de caracterización en la Quebrada La Iglesia, para disminuir los contaminantes que allí se encuentran. Se tomaron 10 muestras, y mediante las técnicas de cromatografía de gases y espectrometría de masas, en colaboración con los laboratorios dispuestos en la escuela de química de la UIS, se registraron distintos parámetros fisicoquímicos, involucrados en las aguas recolectadas de la zona mencionada. Adicional a esto, se tomaron valores de pH, temperatura, densidad, alcalinidad y dureza total, que en combinación con un sistema de tratamiento químico permitió concluir, que para mitigar la contaminación de las aguas de la Quebrada “La Iglesia”, el mejor resultado fue adicionando una cantidad de peróxido de hidrogeno (H_2O_2), generalmente 4 ml de este compuesto , junto con el hidróxido de calcio ($CaOH$), el cloruro de hierro y otros coagulantes para disminuir la concentración de los contaminantes presentes. Los autores concluyen que el mejor coagulante para tratar el lixiviado presente en esas muestras, fue el cloruro de hierro ($FeCl_2$), porque se obtuvo una alta tasa de efectividad para la remoción de sustancias tóxicas presentes. El porcentaje de remociones registrado en el estudio fue de 91.8 % para la turbidez, 98.6 % en el color, 96.5% para la dureza, 62.3% de alcalinidad, 87.42% de fosfatos, ortofosfatos del 100% y demanda química de oxígeno del 70.2 %, entre otros. Además, comentan que el método de coagulación-floculación no es tan eficiente para hacer remoción de nitratos, cloruros y de nitrógeno total, ya que la tasa de remoción de nitrógeno fue del 12.4%, mientras que para los cloruros fue del 22.9%.

El participante Nicolas Martínez responde que la prioridad que debe tener la UIS, es afrontar los grandes retos del territorio en materia ambiental, y recalca que el agua potable puede estar siendo afectada por estos lixiviados producidos. Para finalizar su participación, hace un llamado a los docentes para que se promueva un análisis científico de esta temática, en aras de

resolver las problemáticas del área metropolitana.

El relator Johann Anaya, comenta que encontró un artículo del año 2016, en el cual mediante un estudio a unos pozos que la CDMB había concesionado, se encontró niveles de arsénicos muy altos, sobrepasando el límite máximo permisible. Adicionalmente, investigó en otros artículos, en los que se afirmaba que las principales zonas de recarga de los acuíferos se encuentran en la parte alta de la ciudad. Además, en los sedimentos correspondientes al abanico aluvial de Bucaramanga, la dirección de flujo va en sentido oriente - occidente.

El relator Pedro Johann Anaya lee las preguntas:

- ¿Qué considera usted que se necesita estudiar o analizar con mayor detalle en relación con el impacto al recurso hídrico por infiltración de lixiviados en “El Carrasco”?

- ¿Qué soluciones usted propone para mitigar o remediar los daños generados por contaminación de lixiviados en los acuíferos circundantes a “El Carrasco”?

La codirectora María Alejandra Cetina, menciona que la operación llevada en El Carrasco ha cambiado notablemente, ya que se lleva un mejor control de este. Como complemento a su intervención, plantea el siguiente interrogante: ¿en qué etapa se encuentra el Relleno Sanitario El Carrasco, según la edad del lixiviado?

El relator Johann Anaya responde que está en una etapa de clausura, debido a las modificaciones geotécnicas, en aras de buscar una solución definitiva al relleno sanitario, ya que su vida útil se ha venido extendiendo con el pasar de los años y a pesar de las emergencias sanitarias ocurridas.

A continuación, la codirectora María Alejandra Cetina pregunta: ¿cuál es el miembro de la Formación Bucaramanga en el cual se depositan los residuos sólidos urbanos?

El relator Johann Anaya responde a la pregunta propuesta por la codirectora, aseverando

que el Relleno Sanitario El Carrasco, se encuentra principalmente sobre el Miembro Órganos, mientras que una pequeña porción del relleno se establece sobre el Miembro Finos.

La codirectora María Alejandra Cetina menciona que, el Miembro Órganos tiene su zona de recarga local, y es muy propenso a la infiltración de lixiviados; por lo que el municipio de Girón, sí se verá afectado por esta contaminación, en especial en lugares donde usen el agua subterránea. Adicionalmente, asegura que se tienen que hacer más estudios para analizar con más detalle el impacto del Carrasco en los recursos hídricos cercanos a él.

La codirectora María Alejandra Cetina exalta que los factores económicos, culturales y sociales, son muy importantes para la elección de los sitios para llevar los RSU, y son necesarios para la adecuación del terreno, la construcción, la operación, entre otros.

El participante Sammy Andrés Martínez responde la pregunta de la profesora María Alejandra Cetina respecto a ¿en qué partes de la Quebrada La Iglesia se tomaron las muestras del estudio mencionado por él? A lo que Sammy responde que en el estudio que él leyó, no se especificó en qué partes de la quebrada fueron tomadas las muestras, aclarando solamente la época en la que se hizo el muestreo, sin mencionar distancia alguna entre cada punto.

La codirectora María Alejandra Cetina Tarazona resalta la dificultad de adquirir la información por parte de los entes gubernamentales o privados, para el uso público, en este caso investigativo, debido al carácter confidencial, por lo que sugiere que la universidad debería tomar más datos para llegar a concluir respecto a este tema.

El participante Sammy Andrés Martínez, confirmando la información brindada por el relator, asevera que en un estudio que encontró, los RSU del Carrasco, se depositan en el Miembro Órganos y en el Miembro Finos, no obstante, hay predominancia del Miembro Órganos.

La codirectora María Alejandra Cetina Tarazona pregunta si antes de realizar el seminario

de investigación, sabíamos dónde se encuentra el Relleno Sanitario El Carrasco, ya que, en su caso personal, a pesar de trabajar con temas al respecto, solo confirmó su ubicación cuando estuvo en el barrio Pueblito Viejo, desde donde pudo apreciar tanto su localización, como su vía de acceso.

El relator Johann Anaya responde que en efecto él no sabía dónde quedaba El Carrasco en la ciudad de Bucaramanga antes de realizar el seminario y destaca que además de la relevancia que se le debe brindar a los temas de impacto ambiental, también se debe priorizar la educación a la sociedad.

El director Juan Diego Colegial haciendo referencia al estudio presentado por el relator Johann Anaya, en el cual se revisó la contaminación de las aguas subterráneas en cercanías al Relleno Sanitario El Carrasco, mediante puntos de muestreo en donde se analizaron los índices de Cadmio, Cromo, y Arsénico, recalca el gran beneficio que tendría realizar la medición del impacto al medio ambiente, mediante estas listas de chequeo presentadas por la correlatora Lina Patricia Candia. Sumado a lo anterior, resalta que la mayoría de los puntos que se observan en la tabla de los parámetros evaluados, corresponden a bombas de servicio, las cuales probablemente hagan uso de este recurso para actividades tales como lavado de vehículos; no obstante, surge la inquietud en uno de los puntos de muestreo que está identificado como “Freskaleche”, ya que podrían estar haciendo uso de este recurso en sus actividades de producción, afectando a los consumidores.

El director Juan Diego Colegial expone el ejemplo de los desechos que contaminan en el río Frío, y de manera similar, el aumento del nivel de contaminación en el río de Oro por diversos agentes naturales y antropogénicos, que han concurrido en este afluente, descartando la posibilidad de hacer uso de estos ríos con fines recreativos o doméstico. Además, el director se cuestiona si alguno de los habitantes del casco urbano de Girón, hacen uso del recurso hídrico subterráneo, puesto que éste podría estar influenciado por la actividad de los lixiviados del Relleno Sanitario

El Carrasco, de lo cual pueden surgir algunas líneas futuras de investigación; tales como, las perforaciones cercanas a la quebrada del río Frío, no obstante, la falta de recursos monetarios frena esta clase de proyectos, como el caso de la geotecnia en Bucaramanga.

Ejemplo de conclusiones y recomendaciones

El director Juan Diego Colegial concluye que el tema tratado sobre la contaminación de los acuíferos es de gran relevancia, ya que día a día surgen muchas dudas que no pueden ser resueltas, si no existe una inversión financiera importante por parte de los municipios, que permitan hacer estudios de esta índole, en pro de caracterizar los lixiviados que impactan al recurso hídrico. Del mismo modo, menciona la importancia del seguimiento que se debe realizar a la contaminación del agua subterránea, y para ello, sería necesario realizar pozos para caracterizar el nivel de contaminación. Concluye su intervención diciendo que, la falta de conocimiento del manejo, control y operación de los rellenos sanitarios impide que las comunidades no puedan llevar a cabo una correcta gestión integral de los residuos sólidos.

Tanto el director Juan Diego Colegial, como la codirectora María Alejandra Cetina, coinciden en que es fundamental la realización de modelos hidrológicos e hidrogeológicos de los diferentes flujos, con el fin de poder contar con varios modelos conceptuales, que permitan entender de una mejor manera, el comportamiento del recurso hídrico subterráneo, y así determinar el espectro contaminante que representa el Relleno Sanitario El Carrasco.

Ejemplo de textos bibliográficos

Arias, J., y Buitrago, J. (2012). Criterios Sociales para la Selección de la Ubicación de un Relleno Sanitario (Caso Área Metropolitana de Bucaramanga). *Dixi*, 14 (15).

Contreras, L. (2015). Evaluación Ambiental Ex-Post del Sitio de Disposición Final de Residuos Sólido El Carrasco en el Municipio de Bucaramanga-Santander (Tesis de pregrado).

Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña.

https://www.academia.edu/31615930/BOMBAS_CENTRIFUGAS_CONECTADAS_EN_SERIE_Y_EN_PARALELO

- Franco, L., Meza, M. y Almeida, J. (2018). Situación de la Disposición Final de Residuos Sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga: Caso Relleno Sanitario El Carrasco (Revisión). *AVANCES: Investigación En Ingeniería*, 15(1), 180–193. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4735>
- Gómez, S., Gutiérrez, F. y Torres, C. (2011). Vulnerabilidad, Amenaza y Peligro a la Contaminación de las Aguas Subterráneas en la Región de Bucaramanga. *Revista UIS Ingenierías*, 10(1), 52–64.
- Gutiérrez, J. y Pico, D. (2020). Caracterización Sedimentológica de la Formación Bucaramanga en el Relleno Sanitario El Carrasco (Tesis de pregrado). Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga.
- Niño, L., Ramón, J. A. y Ramón, J. L., (2016). Contaminación Físicoquímica de Acuíferos por los Lixiviados Generados del Relleno Sanitario El Carrasco, de Bucaramanga. *Producción + Limpia*, 11(1), 66–74. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n1a6>
- Ordoñez, O. (2010). Estudio Prospectivo de Uso para Disposición Final de Residuos Sólidos, en un Área Parcial del Predio “El Carrasco.” <https://doi.org/10.1021/es800126y>
- Pérez, E. y Barón, J. (2019). Análisis de los Reportes de la Caracterización del Vertimiento de la Planta de Tratamiento de Lixiviado del Sitio de Disposición Final “El Carrasco.” (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Quirós, M. F. (2019). Análisis geofísico para determinar la posible existencia de lixiviados en el costado occidental del relleno sanitario El Carrasco, Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.

Ríos, S. C. (2006). Estudio de un método fisicoquímico alternativo para la remoción de carga orgánica del lixiviado proveniente del relleno sanitario “El Carrasco.”

Sanguino, M. (2020). Caracterización de la Disposición Final de Residuos Sólidos para el Área Metropolitana de Bucaramanga (Tesis de maestría). Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31961>

Ejemplo de tema de la siguiente sesión

“Legislación, resultados y conclusiones”.

Se termina la sesión.

6. Finalización

Después de concluidas las nueve sesiones del seminario de investigación, con ayuda de los docentes (director y codirectora), se elaboraron dos documentos finales, que corresponden al libro de memorias y a los protocolos de cada sesión.

6.1. Libro de Memorias

El libro de memorias, titulado “Recursos hídricos: impacto de los rellenos sanitarios por infiltración de lixiviados, estudio de casos relevantes” (ver Apéndice A), es el resultado físico más importante de este proyecto de grado, debido a que en este documento se sintetiza la investigación realizada a lo largo del desarrollo del seminario. Este libro final es la compilación de la información más relevante que se encontró de todos los temas y subtemas abordados, el cual está organizado por capítulos en el orden en que se desarrollaron las sesiones. Todo lo anteriormente dicho, se realizó en aras de contribuir al estado del arte para futuras investigaciones al respecto.

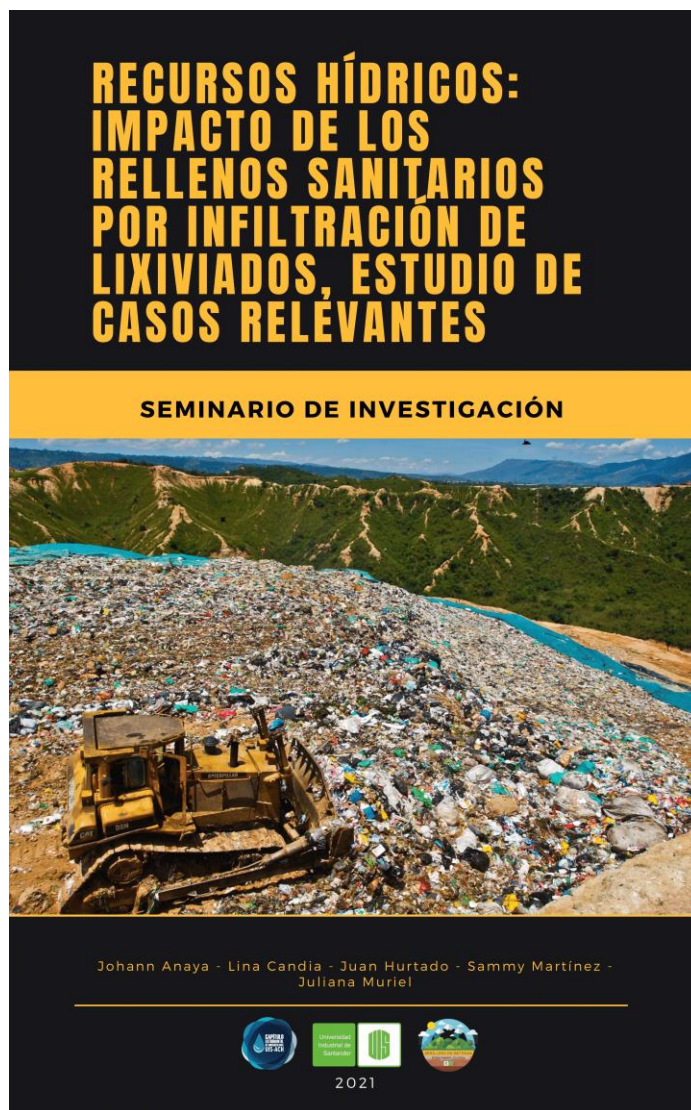
6.2. Protocolos

En este documento se encuentra plasmado el conocimiento y aporte brindado por cada participante, el cual fue obtenido en los procesos de lectura, estudio de las publicaciones y en los espacios de debate, siempre guiados por el director y la codirectora (ver Apéndice B).

A continuación, en la Figura 2 se muestra la portada exterior del libro de memorias.

Figura 2

Portada exterior del libro de memorias



Fuente: *Autores.*

6.3. Presentaciones

Las presentaciones (ver Apéndice C) constituyen el apoyo didáctico empleado a lo largo de las sesiones para darle desarrollo al tema de manera fluida, captando la atención de todos los participantes y asistentes. Estas exposiciones se caracterizan por la importancia o relevancia especial, que se le da a las imágenes y tablas en mayor medida, dejando el uso de texto como complemento a ellas. Las Figuras 3 y 4 son un ejemplo de las diapositivas usadas durante el desarrollo del seminario de investigación.

Este material fue elaborado en Microsoft Power Point y se encuentra estructurado de la siguiente manera:

1. Presentación de la sesión del seminario correspondiente.
2. Desarrollo del tema.
3. Preguntas para discutir.
4. Bibliografía.

Figura 3

Ejemplo 1 de las presentaciones en Power Point (Sesión 8)



Fuente: *Autores.*

Figura 4

Ejemplo 2 de presentaciones Power Point (Sesión 5)



Fuente: *Autores*

7. Conclusiones

- Se obtuvo como producto final el libro de memorias (Apéndice A) mediante el desarrollo del seminario de investigación, en el que se recopiló y organizó la información bibliográfica encontrada, la cual se analizó, estudió e interpretó por los participantes, entre los que predominaban estudiantes de pregrado de la escuela de Geología UIS. Este libro contribuye al estado del arte, y es por ello que contiene gran cantidad de citas bibliográficas y se considera de abundante valor educativo para cualquier estudiante, docente o persona que requiera información clara, concisa y sencilla con relación al tema del seminario.

- A partir de la ejecución de la metodología planteada del seminario, se encontró que dentro de los factores geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos y fisicoquímicos, que pueden llegar a afectar de manera significativa los recursos hídricos circundantes a los rellenos sanitarios, se destacan principalmente: litología, geomorfología, cercanía a fallas geológicas, distancia a

cuerpos hídricos superficiales y subterráneos, dirección y carga de contaminantes, condiciones meteorológicas (pluviosidad), porosidad y permeabilidad del sustrato infrayacente al relleno.

- Mediante el análisis de los recursos bibliográficos a los que se pudo acceder respecto al Relleno Sanitario “El Carrasco”, ubicado en el municipio de Bucaramanga, y la comparación con los casos mencionados a nivel mundial (por ejemplo, Revdalen en Noruega y Lanciano en Italia) se amplió el conocimiento de los participantes en torno a este, destacando que dicho relleno está dispuesto en su mayoría sobre el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, el cual a su vez está compuesto por conglomerados, arenas y algunos niveles de arcillas, de manera que se hizo énfasis en el impacto ambiental causado, donde se evidenció la contaminación de las aguas subterráneas y de la Quebrada “la Iglesia”, la cual no está cuantificada a detalle. En cuanto a las semejanzas encontradas de dicho relleno, con los casos mundiales, se distingue que estos sitios de disposición final son la mejor alternativa, no obstante, los países con mejores condiciones económicas tienen la capacidad de complementar esta actividad con procesos más complejos como por ejemplo el compostaje y la incineración, además de controlar el impacto de los rellenos sanitarios con estudios técnicos más avanzados como análisis isotópicos y de tierras raras.

- Los factores con mayor influencia en la generación de lixiviados son las altas temperaturas y precipitaciones, asociadas a la ubicación geográfica, y el tipo y la cantidad de residuos sólidos almacenados en un relleno sanitario. Se concluye que los lixiviados jóvenes son los que más contaminan el recurso hídrico, y además, se debe tener en cuenta que no existe un único sistema o tratamiento ideal que permita la remoción significativa de los contaminantes, sino que ello se logra mediante la complementación de diferentes procesos biológicos, físicos, químicos y/o tecnológicos, que a su vez dependen de la caracterización fisicoquímica de los lixiviados.

- En la legislación colombiana se encontraron deficiencias respecto a la normatividad existente con relación al recurso hídrico, ya que, aunque es mencionado en algunos aspectos como la protección de las zonas de recarga de los acuíferos y las distancias a los niveles freáticos, no hay pautas específicas, lo que conlleva a estudios geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos pobres al momento de realizar un relleno sanitario.

- Se promovieron espacios de discusión y diálogo entre los asistentes para profundizar en las temáticas expuestas en las diferentes relatorías y correlatorías, mediante los cuales, se construyó el conocimiento que dio respuesta a algunos de los cuestionamientos sobre el impacto que tienen los rellenos sanitarios en materia ambiental haciendo énfasis en el recurso hídrico.

- Durante el desarrollo de cada sesión se facilitó a los asistentes el entendimiento de los temas y subtemas relacionados con los rellenos sanitarios, haciendo hincapié en las problemáticas ambientales que estos pueden presentar, con la finalidad de generar una concientización debido a la falta de conocimiento de la población con respecto al desarrollo sostenible y sustentable.

8. Recomendaciones

- Dentro del proceso de recopilación de datos para llevar a cabo el desarrollo del seminario de investigación, se tuvieron problemas para la adquisición de información sobre algunas temáticas particulares, debido a que no todos los documentos son de carácter público, sino por el contrario, son confidenciales o no son de fácil acceso. Por lo cual se recomienda buscar convenios entre las entidades gubernamentales y la academia, con fines educativos e investigativos en pro de la búsqueda de soluciones a las diferentes problemáticas que se presentan en el diario vivir.

- A demás, en el caso de la ciudad de Bucaramanga, se recomienda realizar modelos hidrológicos e hidrogeológicos de los diferentes flujos, que permitan entender de una mejor manera el comportamiento del recurso hídrico y así determinar el espectro contaminante que representa el Relleno Sanitario “El Carrasco”.
- Se recomienda implementar el uso del seminario alemán como herramienta para la realización de proyectos de grado, ya que incentiva la participación, el trabajo en equipo y el interés investigativo, que es posible adquirir de una temática específica.
- Se aconseja utilizar el Seminario de Investigación “Recursos Hídricos: Impacto de los Rellenos Sanitarios por Infiltración de Lixiviados, Estudio de Casos Relevantes”, como un recurso complementario para los profesionales de Geología y disciplinas afines que realicen trabajos de investigación relacionados con la temática planteada.
- Es importante que durante el seminario el público en general realice preguntas y comentarios críticos con el fin de desencadenar una retroalimentación acerca del contenido o los tópicos a abordar.
- Se debe mejorar la educación y concientización por parte de la industria y las instituciones educativas sobre el impacto que generan los residuos sólidos urbanos.
- Se deben realizar más estudios por parte de la academia para lograr cuantificar o aproximar el impacto y contaminación que pueden llegar a generar los rellenos sanitarios en el medio ambiente y sus comunidades aledañas.
- Como líneas de investigaciones futuras se plantea: si se llegara a clausurar definitivamente el Relleno Sanitario “El Carrasco” ¿qué otras alternativas para disponer los RSU se podrían implementar en la ciudad de Bucaramanga de una manera ecológica y rentable?, ¿qué acciones podrían realizarse para mitigar el impacto ambiental en lugares donde no hay rellenos

sanitarios, sino botaderos de basura a cielo abierto?, ¿existe diferencia entre los residuos en promedio de una ciudad y otra? ¿en cuál habría mayor potencial de contaminación?, ¿dónde es mejor la ubicación de un depósito de residuos sólidos: sobre un anticlinal o un sinclinal?, ¿existe algún diseño que asegure la inexistencia de la infiltración de los lixiviados?, ¿cuál es la química que se espera encontrar en las aguas contaminadas por los lixiviados de un relleno sanitario?, ¿existe alguna posibilidad de que se deba cambiar el sistema de tratamiento de lixiviados con el transcurrir de los años?

Referencias Bibliográficas

- Abiriga, D., Vestgarden, L. y Klempe, H. (2020). Groundwater contamination from a municipal landfill: effect of age, landfill closure, and season on groundwater chemistry. *Science of the Total Environment*, 737, 140307. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140307>
- Alcaldía de Bucaramanga. (2016). Plan de gestión integral de residuos sólidos 2016-2027. Bucaramanga.
- Antúnez, H., Rivera, D. y Rodríguez, F. (2013). Estudio del impacto a las aguas subterráneas y superficiales, suelo y aire provocado por el Vertedero Municipal de Camagüey. XI Congreso Cubano de Informática y Geociencias, 4–6.
- Arévalo, J. y Rincón, M. (2016). Análisis sedimentológico del Miembro Pre-Órganos (Calcáreo) en el abanico aluvial de Bucaramanga (Sección Río de Oro – Girón) (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/161234.pdf>
- Arias, J. y Buitrago, J. (2012). Criterios sociales para la selección de la ubicación de un relleno sanitario (Caso Área Metropolitana de Bucaramanga). *Dixi*, 14(15).
- Bajo, C. (13 de noviembre de 2015). Recogida de basuras sobre ruedas en Lagos. *El País*. https://elpais.com/elpais/2015/11/12/planeta_futuro/1447345582_368777.html
- Barcelona, M. J. (2017). Handbook: Ground Water. Volume 1 Ground Water and Contamination. 1 (September 1990).
- Barrios, N. (13 de mayo de 2019). Energía a base de residuos. Universidad de la Costa. <https://www.cuc.edu.co/noticias/67-generales/4449-energia-a-base-de-residuos>

- Beltrán, D., Belalcázar, L. y Rojas, N. (2012). Emisiones vehiculares de material particulado (PM2.5 y PM10) por resuspensión de polvo y abrasión en Bogotá. *Revista Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL)*, 231, 25–32.
- Caicedo, B., Giraldo, E., Yamin, L. y Soler, N. (2002). The landslide of Dona Juana landfill in Bogota. A case study. *Proceedings of the Fourth International Congress on Environmental Geotechnics (4th ICEG)*, Rio de Janeiro, Brazil, January 11–15.
- Camargo, Y. y Vélez, A. (2009). Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales - GIMSA. Instituto de Investigaciones Tropicales - INTROPIC.
- Carpio, T. (2007). Turbiedad Por Nefelometría (Método B). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Centro Virtual de Información del Agua. (2017). Agua en el planeta. <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- Collazos, H. y Duque, R. (2013). Diseño y operación de rellenos sanitarios 4a. Edición. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Contreras, L. (2015). Evaluación ambiental ex-post del sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco en el Municipio de Bucaramanga-Santander (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. https://www.academia.edu/31615930/BOMBAS_CENTRIFUGAS_CONECTADAS_EN_SERIE_Y_EN_PARALELO
- Cristancho, D., Torres, A. y Lobatón, J. (2020). Análisis comparativo del impacto al recurso hídrico generado en los principales rellenos sanitarios en Colombia. *Mutis*, 10(1), 30. <https://doi.org/10.21789/22561498.160>

Dautant, R. (2017). Generación, tecnologías de tratamiento y disposición de los lixiviados producidos en los rellenos sanitarios. Asociación Colombiana de Sanitaria y Ambiental (ACODAL).

http://exporesiduos.com/documentos/MEMORIAS_EXP_2017/SALON_HUMBOLDT/Humboldt_11_de_Oct/32_33_34_EXPORES2017_PANELLIX_RD.pdf

De León, H., Cruz, C. R., Dávila, R. A., Velasco, F. y Chapa, J. R. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(3), 514–526.

De Prada, A. (2014). Estudio experimental de la aglomeración de partículas en un lecho fluidizado. Departamento Ingeniería térmica y de fluidos. Universidad Carlos III.

Echarri, L. (2007). Contaminación del agua. Universidad de Navarra.
<http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Contaminaci%C3%B3n%20de%20agua.pdf>

El-Fadel, M., Findikakis, A. y Leckie, J. (1997). Environmental impacts of solid waste landfilling. *Journal of Environmental Management*, 50(1), 1–25.
<https://doi.org/10.1006/jema.1995.0131>

Esguizabal, R. (s.f). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Ministerio de Ambiente. Lima, Perú.
<https://redrrss.minam.gob.pe/material/20130703125736.pdf>

Espinosa, M., López, M., Pellón, A., Robert, M., Díaz, S., González, A., Rodríguez, N. y Fernández, A. (2010). Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de La Habana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(4), 313–325.

Fernández, M. (2019). El mercado de la gestión de residuos en Australia. ICEX.

- Flórez, P. y Pérez, A. (2019). Manejo y tratamiento de lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos. Universidad de Santiago de Cali.
- Franco, L., Meza, M. y Almeida, J. (2018). Situación de la disposición final de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga: caso Relleno Sanitario El Carrasco (Revisión). *Avances: investigación en ingeniería*, 15(1), 180–193. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4735>
- Función pública. EVA. (s.f). *Decreto 1713 de 2002*. Gobierno de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5542>
- Función pública. EVA. (s.f). *Decreto 1713 de 2005*. Gobierno de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=16123#0>
- Función pública. EVA. (s.f). *Decreto 1784 de 2017*. Gobierno de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84140>
- Función pública. EVA. (s.f). *Decreto 920 de 2013*. Gobierno de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53045>
- Función pública. EVA. (s.f). *Gestor normativo*. Gobierno de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/web/eva/gestor-normativo>
- Función pública. EVA. (s.f). *Ley 1450 de 2011*. Gobierno de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43101>
- García, P. (2018). Manejo y Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios: Revisión bibliográfica y Experiencia en Planta de Tratamiento de Lixiviados de Navarro. Universidad Santiago de Cali.
- Gárnica, A. y Niño, L. (2015). Caracterización sedimentológica del segmento Órganos de la Formación Bucaramanga en el sector del anillo vial del Municipio de Girón, Departamento

- de Santander (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/158989.pdf>
- Ghana. (2019). El mercado de la gestión de residuos, lejos de la saturación. EL EXPORTADOR.
- Giraldo, E. (2014). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. Revista de Ingeniería, 0(14), 44. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>
- Gómez, E. (2018). Afectaciones Ambientales de los Lixiviados Generados en los Rellenos Sanitarios Sobre el Recurso Agua. Tangara UIS.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173184.pdf>
- Gómez, S., Gutiérrez, F. y Torres, C. (2011). Vulnerabilidad, amenaza y peligro a la contaminación de las aguas subterráneas en la región de Bucaramanga. Revista UIS Ingenierías, 10(1), 52–64.
- Guarín, O. D. y Gómez, S. M. (2013). Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el carrasco. Innovaciencia Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1(1), 23.
<https://doi.org/10.15649/2346075x.212>
- Gutiérrez, J. y Pico, D. (2020). Caracterización sedimentológica de la Formación Bucaramanga en el Relleno Sanitario El Carrasco (Tesis de pregrado). Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2020/178315.pdf>
- Hernández, A. (2007). Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Herrera, J. (2016). Metodología para la estimación de la producción y concentración de lixiviado de un relleno sanitario Liliana Borzacconi, Iván López, Carlos Anido. Critical Review, March.

- Hispagua Sistema Español de Información sobre el Agua. (2021). Hidrogeología. Ministerio de transporte, movilidad y agenda urbana, Gobierno de España. <https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>
- Hussein, M., Yoneda, K., Mohd-Zaki, Z., Amir, A. y Othman, N. (2020). Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat. *Chemosphere*, 128874. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128874
- Iglesias, A., Estrela, T. y Gallart, F. (s.f). Impactos del cambio climático en España. Recursos hídricos.
- Iván, R., Novelo, M., Sandoval, E. C., Rosa, M., Riancho, S., y Castillo, R. (2002). Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 6(2), 7–12.
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Universidad de Antioquia.
- Jiménez, Y. F., Delgado, L. I., Fernández, C. y Pino, H. M. (2018). Humedales Construidos Y Determinación De Conductividades Hidráulicas En Clima Tropical Treatment of Leachate Using Constructed Wetlands and Determination of Hydraulic. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 543– 552.
- Julivert, M. (1958). La morfoestructura de la zona de las mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.) (Vol. 1). Bucaramanga: Boletín de geología, Universidad Industrial de Santander.
- López, F., Maca, K. y Gordillo, L. (2017). More than garbage at the Doña Juana Landfill. 14(2), 23–42.
- López, I. y García, R. (2006). Valoración económica de la contaminación por olores en el área de influencia del Relleno Sanitario El Carrasco: una aplicación de la metodología de precios

- hedónicos (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121827.pdf>
- Mafla, C. y Francisco, R. (2007). Sistemas de contención de lixiviados en rellenos sanitarios y su efecto en la contaminación de aguas subterráneas. *Revista UNIMAR*, 25(ISSN 0120-4327), 23–35.
- Manrique F., Martínez A. y Ospina, J. (2007). Crecimiento poblacional y políticas públicas. *Revista Apuntes del CENES*. Vol. 27, núm. 44, pp. 149-162.
- Markets. (2009). Methane to markets. Lección 4: Incendios en los rellenos sanitarios. Global Methane. https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20090428_landfills-28apr09-incendios_seguridad_y_salud_ocupacional_marcos_elizondo.pdf
- Martínez, Y. y Villalejo, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 58–72.
- Massone, H. E., Ferrante, A., Bernava, G. y Yedaide, M. (2004). Impacto del lixiviado de Rellenos Sanitarios en la Cuenca del Arroyo Lobería: I. caracterización de la carga contaminante. *Impacto del lixiviado de Rellenos Sanitarios en la Cuenca del Arroyo Lobería: I. Caracterización de la carga contaminante*, 4(7600), 57–65.
<https://doi.org/10.5380/hg.v4i0.2648>
- Méndez, F., Gómez, O., Girón, S., Mateus, J., Mosquera, J., Filigrana, P., Gómez, R., Ocampo, C. y Guloso, L. (2006). Evaluación del impacto del Relleno Sanitario Doña Juana en la Salud de Grupos Poblacionales en su Área de Influencia. Grupo de Epidemiología y Salud Poblacional, Escuela Pública de Salud Pública Universidad del Valle., 274.
<https://manuelsarmiento.com/wp-content/uploads/2017/08/evaluacionImpactoRSDJ.pdf>

Mendoza, P. y López, V. (2004). Estudio de la calidad del lixiviado del Relleno Sanitario La

Esmeralda y su respuesta bajo tratamiento en filtro anaerobio piloto de flujo ascendente.

Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, 113(2), 180–190.

<http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995>.

Mengxu, Z. (8 de julio de 2019). La crisis de los desechos en EE. UU. convierte al mundo en su

cubo de basura. Diario del Pueblo.

<http://spanish.peopledaily.com.cn/n3/2019/0708/c31619->

[9595384.html#:~:text=Los%20datos%20muestran%20que%20los,las%20m%C3%A1s%](http://spanish.peopledaily.com.cn/n3/2019/0708/c31619-9595384.html#:~:text=Los%20datos%20muestran%20que%20los,las%20m%C3%A1s%20altas%20del%20mundo)

[20altas%20del%20mundo](http://spanish.peopledaily.com.cn/n3/2019/0708/c31619-9595384.html#:~:text=Los%20datos%20muestran%20que%20los,las%20m%C3%A1s%20altas%20del%20mundo)

Methane to Markets. (2009, 28 abril). Methane to markets Lección 4: Incendios en los rellenos sanitarios. Global Methane.

https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20090428_landfills-28apr09-

[incendios_seguridad_y_salud_ocupacional_marcos_elizondo.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20090428_landfills-28apr09-incendios_seguridad_y_salud_ocupacional_marcos_elizondo.pdf)

Mijailov, L. (1985). Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Guía Ambiental Rellenos Sanitarios. Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana - FIGAU (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia. (2005). Decreto 0838. 23 de marzo del 2005. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_0838_230305.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución número 2115.

- Monge Talavera, G., Miranda Zuzunaga, M. y Paredes Rojas, W. (1995). Propuesta de normas técnicas para la ubicación, diseño, construcción, operación y monitoreo de rellenos sanitarios manuales (p. 30). OPS, CEPIS.
- Morales, S. y Rodríguez, A. (2016). Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela. *Environmental and Geologic Assessment to Locate a Manual Sanitary Refill in the Mene de Mauroa Church, Venezuela*. 32 (2), 87–101.
<http://cyber.usask.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=117094669&site=ehost-live>
- Muñoz, K. y Bedoya, A. (2009). El papel de los residuos sólidos, en la solución de problemas ambientales. *Ingenieros.es*. Edición virtual. <http://www.ingenieros.es/noticias/ver/el-papel-de-los-residuos-solidos-en-la-solucion-de-problemas-ambientales/1395>
- Naciones Unidas. (s.f). Agua. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Nastev, M., Therrien, R., Lefebvre, R. y Geélinas, P. (2001). Gas production and migration in landfills and geological materials. *Journal of Contaminant Hydrology*, 52(1–4), 187–211.
[https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(01\)00158-9](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(01)00158-9)
- Navarro, A., Carmona, J. y Font, X. (1996). Contaminación de suelos y aguas subterráneas por vertidos industriales. *Acta Geológica Hispánica*, 30(1–3), 49–62
- Navarro, M. (2007). Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Nigro, A., Sappa, G. y Barbieri, M. (2018). Boron isotopes and rare earth elements in the groundwater of a landfill site. *Journal of Geochemical Exploration*, 190 (February), 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.02.019>

- Niño, L., Ramón, J. A. y Ramón, J. L. (2016). Contaminación fisicoquímica de acuíferos por los lixiviados generados del Relleno Sanitario El Carrasco, de Bucaramanga. *Producción + limpia*, 11(1), 66–74. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n1a6>
- Noguera, K. y Olivero-Verbel, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347–356.
- Opinión Ambiental 29. (2020, octubre 22). Lección 3. Legislación de los Residuos Sólidos I normatividad ambiental en Colombia https://www.youtube.com/watch?v=-G3c6h806c&t=181s&ab_channel=Opini%C3%B3nAmbiental29
- Opinión Ambiental 29. (2021, febrero 01). Lección 4. Política Gestión Integral de Residuos Sólidos I normatividad ambiental en Colombia <https://www.youtube.com/watch?v=8zjRo79hQrQ&t=25s>
- Opinión Ambiental 29. (2021, febrero 22). Lección 5. Legislación de los Residuos Sólidos (Parte 3) I normatividad ambiental en Colombia https://www.youtube.com/watch?v=WpzU3CPkoz4&t=13s&ab_channel=Opini%C3%B3nAmbiental29
- Ordoñez, C. (s.f). Parque Lineal de La Quebrada La Iglesia.
- Ordoñez, O. (2010). Estudio prospectivo de uso para disposición final de residuos sólidos, en un área parcial del predio “El Carrasco”. <https://doi.org/10.1021/es800126y>
- Organización de las Naciones Unidas – ONU. (2018). *Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe*.
- Organización Mundial de la Salud – OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*.

Parlamento Europeo. (6 de abril de 2018). Gestión de residuos en la UE: hechos y cifras (Infografía). Recuperado el 13 de marzo de 2021.

<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180328STO00751/gestion-de-residuos-en-la-ue-hechos-y-cifras-infografia>

Pérez, E. y Barón, J. (2019). Análisis de los reportes de la caracterización del vertimiento de la planta de tratamiento de lixiviado del sitio de disposición final “El Carrasco.” (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Pimiento, R. (s.f). Parámetros geológicos y geotécnicos para localizar y evaluar condiciones de diseño de rellenos sanitarios.

Prada, D. (2014). Estudio experimental de la aglomeración de partículas en un lecho fluidizado. Departamento Ingeniería térmica y fluidos. Universidad Carlos III.

Ramos, J. (2011). Geotecnia de rellenos sanitarios (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia. DOI: 10.13140/2.1.4040.5121

Residuos Domiciliarios. (2002). 11.

Rivas, C. (2018). Piensa un minuto antes de actuar: Gestión Integral de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 63. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

Röben, E. (2002). Diseño, construcción, operación y cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. 1–151.

Rodríguez, C. (2007). Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Sáez, A., Urdaneta, G. y Joheni, G. (2014). Manejo de Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe. Omnia, vol. 20, núm. 3. Universidad de Zulia.

- Salazar, L. y Saavedra, I. (2009). Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 1994, 15.
- Sanabria, D. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Sánchez, F. (s.f). Conceptos fundamentales de hidrogeología. Departamento de geología - Universidad de Salamanca, España. <https://hidrologia.usal.es/temas.html>
- Sánchez, F. (s.f). Contaminación de las aguas subterráneas. Departamento de geología - Universidad de Salamanca, España. <https://hidrologia.usal.es/temas.html>
- Sánchez, F. (s.f). El ciclo hidrogeológico. Departamento de geología - Universidad de Salamanca, España. <https://hidrologia.usal.es/temas.html>
- Sánchez, J., Serna. V., Serrano, M., Treviño, A., Vázquez, A. y Rodríguez, R. (2009). Criterios ambientales y geológicos básicos para la propuesta de un relleno sanitario. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, 61(3), 305–324.
- Sanguino, M. (2020). Caracterización de la disposición final de residuos sólidos para el área metropolitana de Bucaramanga (Tesis de maestría). Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31961>
- Santamaría, M. (2019). El mercado de la gestión de residuos en China. ICEX.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Semarnat. (2004). Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- Silva, M. (2006). Cálculos básicos para la determinación de la vida útil de un Relleno Sanitario. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 9(1), 37–42.

- Torres, P., Barba, L. E., Ojeda, C., Martínez, J. y Castaño, Y. (2014). Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico - química y su potencial de toxicidad. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 17(1), 245–256. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n1.2014.960>
- Ulloa, J. (2005). Los rellenos sanitarios. La granja: Revista de ciencias de la vida. Volumen 4. N.º. 1, 2005, págs. 2-17.
- United States Geological Survey – USGS. (s.f). El ciclo del agua. <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish>
- Universidad Industrial de Santander, Vicerrectoría Académica. (2007). Lineamientos para el seminario de investigación como modalidad para el desarrollo del trabajo de grado. Bucaramanga: Publicaciones UIS. https://www.uis.edu.co/webUIS/es/trabajosdegrado/documentos/Jul2_trabajos_grado_doc3.pdf
- Vaverková, M. D. (2019). Landfill impacts on the environment— review. Geosciences (Switzerland), 9(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>