

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE TRATAMIENTO CON ARENA DE MAR DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL SIMAR SUR SURESTE EN JALISCO MÉXICO

**CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF LEACHATE
SEA SAND TREATMENT FROM THE SIMAR SUR
SOUTHEAST LANDFILL IN JALISCO, MEXICO**

Fernando Mancilla Peña
Tecnológico Nacional de México

Norma Angélica Díaz Antillón
Tecnológico Nacional de México

Ramón Chávez Bracamontes
Tecnológico Nacional de México

Juan Carlos Jiménez Del Toro
Tecnológico Nacional de México

Fernando Marco Antonio Robledo Núñez
Tecnológico Nacional de México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19192

Caracterización y Análisis de Tratamiento con Arena de Mar de Lixiviados del Relleno Sanitario del Simar Sur Sureste en Jalisco México

Fernando Mancilla Peña¹

fernando.mp@cdguzman.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0002-8249-8748>

Tecnológico Nacional de México

Tecnológico de Cd. Guzmán

México

Ramón Chávez Bracamontes

ramon.cb@cdguzman.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0151-9931>

Tecnológico Nacional de México

Tecnológico de Cd. Guzmán

México

Fernando Marco Antonio Robledo Núñez

fernando.rn@cdguzman.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0002-4878-2913>

Tecnológico Nacional de México

Tecnológico de Cd. Guzmán

México

Norma Angélica Díaz Antillón

norma.da@cdguzman.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0939-6761>

Tecnológico Nacional de México

Tecnológico de Cd. Guzmán

México

Juan Carlos Jiménez Del Toro

juan.jd@cdguzman.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0000-5783-2914>

Tecnológico Nacional de México

Tecnológico de Cd. Guzmán

México

RESUMEN

En el presente trabajo se propone una revalorización, análisis y tratamiento de uno de los principales productos de contaminación generados en el SIMAR SUR SURESTE (Sistema Intermunicipal de Residuos Sólidos de la Región Sur Sureste en Jalisco, México), encargado de la disposición final de residuos de los municipios de Tuxpan, Tecalitlán y Jilotlán de los Dolores, Zapotiltic, Tamazula, Pihuamo y Tonila, Jalisco. Dicho contaminante lo integra los lixiviados. En colaboración de nuestro grupo interdisciplinario de investigación con el Simar Sur Sureste, se investigó la composición real de este componente de los materiales contaminantes, así como la evaluación para su tratamiento mediante un filtro de arena de mar y se propone un proceso para lograrlo y obtener una posible revalorización de cada del material involucrado. Esto para el cumplimiento de normas ambientales y la factibilidad de su aprovechamiento. Agradecemos al TecNM por la aprobación del proyecto de investigación: Clave: 21023.24-P, para la realización de este trabajo.

Palabras clave: lixiviados, residuo, contaminación, relleno sanitario

¹ Autor principal

Correspondencia: fernando.mp@cdguzman.tecnm.mx

Characterization and Analysis of Leachate Sea Sand Treatment from the Simar Sur Southeast landfill in Jalisco, Mexico

ABSTRACT

In this work, a revaluation, analysis and treatment of one of the main pollution products generated in the SIMAR SUR SURESTE (Intermunicipal System of Solid Waste of the South-Southeast Region in Jalisco, Mexico), responsible for the final disposal of waste in the municipalities of Tuxpan, Tecalitlán and Jilotlán de los Dolores, is proposed. Zapotiltic, Tamazula, Pihuamo and Tonila, Jalisco. This pollutant is made up of leachate. In collaboration with our interdisciplinary research group with Simar Sur Sureste, the real composition of this component of the polluting materials was investigated, as well as the evaluation for its treatment by means of a sea sand filter and a process is proposed to achieve this and obtain a possible revaluation of each of the material involved. This is for compliance with environmental standards and the feasibility of its use.

Keywords: leachate, waste, pollution, landfill

Artículo recibido 22 julio 2025

Aceptado para publicación: 29 agosto 2025



INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se propone la realización de una investigación aplicada y la propuesta de solución al manejo y aprovechamiento de uno de los principales residuos generados en el Relleno Sanitario del SIMAR SUR SURESTE, en Tuxpan, Jalisco México, el cual recibe los residuos generados por 7 municipios del Sur de Jalisco México; dichos residuos son de preocupación para el organismo o dependencia la cual se unió a esta iniciativa de investigación. Tal residuo a considerar en este estudio son los: Lixiviados.

El almacenamiento y descomposición de los residuos sólidos en los rellenos sanitarios trae como resultado la generación de biogases, conformados principalmente por metano y dióxido de carbono, así como lixiviados y la aceptación de llantas entre otros, los cuales en su mayoría se emiten sin control a la atmósfera y al medio ambiente, además de existir riesgos de explosión y contaminación atmosférica en la región donde se establecen dichos rellenos sanitarios. En una visita que realizamos a las instalaciones del Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos (SIMAR) Sur-Sureste, ubicado en la zona sur del estado de Jalisco observamos que se desconocen las concentraciones de los biogases que se generan en el relleno sanitario, emitiéndose libremente a cielo abierto con posibilidad de riesgo en la salud de la población de la región, así como la composición exacta de los lixiviados generados y la forma de transformación correcta de los neumáticos o llantas captadas en dicho sitio.

Con la finalidad de atender esta problemática y proponer soluciones que abonen al tema del cambio climático, se propone el presente proyecto, que plantea el desarrollo de propuestas para el monitoreo adecuado de este tipo de contaminante mencionado y que son generados en el lugar de estudio y además, la generación de tratamiento y revalorización del mismo; que a su vez, les permita establecer directrices y puedan gestionar el cumplimiento de las normativas establecidas por las autoridades ambientales.

Los rellenos sanitarios son uno de los métodos más utilizados para la disposición final de basura (Robles-Martínez et al., 2011). Una de las características de un relleno sanitario es su comportamiento como reactor bioquímico, ya que cualquier material biodegradable que sea dispuesto en un relleno sufrirá el ataque de microorganismos hasta descomponerlo y producir biogases que se emiten a la atmósfera (García-Rentería, 2005).



El biogás producto de la degradación consiste principalmente de metano y dióxido de carbono, con cantidades muy pequeñas de otros compuestos orgánicos y contaminantes atmosféricos, los cuales son emitidos a la atmósfera sin control alguno (Ramírez-Meza, 2010). También está clasificado como una mezcla de gases altamente inflamables que, si se inhala, puede ser nocivo para la salud debido a sus componentes tóxicos (Giannina et al., 2016).

La generación de biogás es el segundo problema medioambiental en importancia, detrás de la producción de lixiviados, derivado de la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios (Agudelo, 2000). Entre los impactos que se le atribuyen, están los efectos potenciales sobre la seguridad y la salud de los trabajadores y población vecina al relleno sanitario, además de su contribución al calentamiento de la tierra mediante el denominado efecto invernadero (EPA, 1991), así como alteraciones en los ecosistemas, degradación del entorno natural, contaminación del agua y la atmósfera, pérdida del paisaje natural, malos olores, y disminución de la calidad de vida de las personas (García-Colindares, 2022).

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en cierta proporción en el aire. Los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno; aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir, pudiendo originar altas concentraciones de metano con el consiguiente peligro de explosión en las áreas vecinas. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases. Por otro lado, con los lixiviados, La Norma Oficial Mexicana NOM-083- SEMARNAT-2003 y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en su artículo 5 fracción XVI, definen a los lixiviados como el “líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos”. De acuerdo con las prácticas que se presentan en la región, estos sitios pueden clasificarse de la siguiente manera; relleno sanitario, vertidos a cuerpos de agua y vertidos en el terreno.



Es en estos lugares de acumulación de basura, donde se desprende un líquido que provoca una de las mayores afectaciones al ambiente, y es conocido propiamente con el término de lixiviado. Este líquido proviene de desechos muy heterogéneos en composición y arrastra todo tipo de contaminantes muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que es catalogado como uno de los más complejos y difíciles de tratar. Los lixiviados se clasifican de acuerdo a su composición, y tanto la calidad como la cantidad de ellos varía sustancialmente entre sitios y estaciones, dependiendo de factores como el contenido de humedad de los residuos dispuestos; la hidrogeología específica del sitio; el diseño, operación y edad del relleno sanitario; así como la biodegradabilidad relativa de los diferentes contaminantes orgánicos presentes en el relleno sanitario. (Gómez-Vázquez, 2018)

Desafortunadamente, en países como el nuestro, el tratamiento practicado a los lixiviados si se lleva a cabo es cuestionable, con la utilización de tecnologías como son la evaporación y recirculación. Su éxito en el País radica en que son sistemas relativamente fáciles de operar, sin embargo, en el sistema de evaporación por lagunas se demandan superficies considerables, pudiendo presentarse serios problemas durante la época de lluvias debido a una sobreproducción en los lixiviados. Hasta el año 2007, en el territorio nacional existían alrededor de 67 rellenos sanitarios de los cuales únicamente 10 contaban con laguna de evaporación. En el resto, los lixiviados escurren libremente pudiendo contaminar cuerpos de agua de los alrededores. (Navarro, 2021), (Corena, 2008).

El tiempo requerido para la estabilización del metano varía de pocos meses a varios años. El biogás se produce a tasa alta por un mínimo de 6 a 10 años; a tasas menores continuará generándose entre 30 y 100 años (Ramírez-Meza, 2010). El control del biogás es necesario en el relleno sanitario mientras exista potencial de generación. La medición directa de estos gases tiene un costo elevado, y lo métodos indirectos para su cuantificación preliminar han sido una de las soluciones que se han abordado por otros investigadores.

En la región Sur-Sureste del estado de Jalisco, México, se estima que se generan alrededor de 226.5 toneladas de residuos. Los municipios de Tecalitlán, Tuxpan y Jilotlán de la zona Sur de Jalisco tienen vertederos a cielo abierto (Ramírez-Meza, 2010), la empresa encargada de la disposición final de los residuos de estos municipios es SIMAR Sur-Sureste.



Sin embargo, los rellenos sanitarios requieren de una operación eficiente para evitar contaminar su entorno.

METODOLOGÍA

Para poder cumplir los objetivos del proyecto se proponen las siguientes etapas:

Primera Fase: Fundamentación Investigar la composición general que posee el residuo a revalorizar: Lixiviados, así como antecedentes en el tratamiento de los mismos.

Revisión del estado del arte. Esta etapa consiste en realizar una investigación exhaustiva del estado del arte acerca del monitoreo, composición de lixiviados así como trabajos y artículos relacionados. También aquí, se identificarán las tecnologías y herramientas disponibles para el correcto manejo, revalorización y utilización de estos tipos de residuos.

Segunda Fase: Convenio de colaboración con SIMAR Sur-Sureste y determinación los niveles de producción y generación de estos materiales dentro del SIMAR SUR SURESTE (Lugar de Análisis).

Esta etapa consiste en crear un convenio de colaboración que permita involucrarse e interactuar en las instalaciones donde se realizarán los estudios de generación de lixiviados en el relleno sanitario de SIMAR SUR SURESTE, para acceder a la determinación los niveles de producción y generación de estos materiales.

Tercera fase: Analizar los residuos generados con pruebas químicas para lixiviados.

En esta fase o etapa se realizará una determinación de la composición de los contaminantes lixiviados a tratar en este proyecto con determinaciones fisicoquímicas.

Cuarta fase: Investigar y analizar estrategias para el aprovechamiento adecuado del material de estudio de acuerdo a su velocidad de generación.

En esta etapa, se realizará una investigación con la información recabada en las anteriores etapas y que se ajuste al lugar de análisis que es el SIMAR SUR SURESTE. Se realizarán pruebas de tratamiento para determinar la mejor manera o método, realizando determinaciones antes y posteriores a las propuestas de reducción del contaminante.



Quinta fase: (Diseño de propuesta de tratamiento): Proponer metodología para el manejo, tratamiento y aprovechamiento del material generado en el lugar de análisis.

Con los resultados anteriores y las pruebas realizadas de determinaciones antes y post, se realizará la propuesta del tratamiento y revalorización del tipo de material contaminante considerado en este proyecto, adaptándose a la escalabilidad del lugar y necesidades actuales. También en esta etapa se realizará la gestión de productos de investigación sometiendo artículos a revistas de divulgación, así como la gestión del registro de propiedad intelectual ante INDAUTOR.

La metodología empleada para todos estos análisis fue la siguiente: potenciómetro: pH, Conductivímetro : eléctrico, Método KJELDHAL, método colorímetro Molibdovanadato de amono: fosforo, espectrofotómetro de absorción atómica : Ca, Na, K, Cu, Fe, Mn, Zn y el método colorímetro Azometina para Boro y para las pruebas microbiologías fueron el número más probable y la NMX-AA-42-1987. Para todos estos análisis se contó con el apoyo del Laboratorio de Suelo, Agua y planta del INIFAP campo experimental Tecomán INIFAP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la región Sur-Sureste del estado de Jalisco, México, se estima que se generan aproximadamente 226.5 toneladas de residuos, por lo que se crea en el año 2007 el SIMAR sur sureste, el cual fue integrado por los municipios de Tecalitlán, Tuxpan, Zapotiltic, Pihuamo, Jilotlán, Tamazula y Tonila dando el servicio a 99,322 habitantes (INEGI, 2020) encargándose de la disposición final de los residuos de estos municipios. Actualmente en el relleno sanitario se reciben en promedio un aproximado de 90 toneladas al día procedentes de Tuxpan, Tecalitlán y Zapotiltic las cuales son 30,240 toneladas anuales según datos obtenidos por SIMAR Sur-Sureste. Por cierta razón diariamente se generan residuos líquidos lixiviados lo cual para ello se cuenta con una cisterna con geomembrana de almacenamiento con una capacidad de 5,000m³ la cual actualmente contiene 2,200m³ del contaminante antes mencionado. El cual se buscó con esta investigación dar un tratamiento eficaz para su aprovechamiento en su totalidad ya que actualmente solo se cuenta con el tratamiento de recirculación para lograr evaporar un porcentaje de estos con una moto bomba en la celda y una instalación de 120 metros de manguera de 2 pulgadas, así como aspersión desde la celda de la celda 01 y riego de residuos en celda 02, con un promedio de 150 litros por segundo.



Se realizaron análisis a la fosa de captación de lixiviados para así conocer todos sus componentes originales que son captados después de pasar por las celdas de residuos, además de que se preparó un filtro y se hace pasar por el mismo lixiviados y se analizaron para poder conocer si este sistema que se propone es beneficioso para este proceso.

Por ello, este Lixiviado para poder analizarlo, se sometió a un tratamiento de filtración que para ello consistió de varias capas con diferente porosidad, con la finalidad de retener sustancias de diferentes características fisicoquímicas con la finalidad de obtener un líquido que en determinado momento se pudiera utilizar como fertilizante o que sea benéfico para la tierra de los alrededores.

Las diferentes capas del equipo de filtración utilizado son:

- 1.- Piedra de mediano tamaño (aprox. 2 pulgadas de diámetro)
- 2.- Arena de mar
- 3.- Carbón Activado
- 4.- Algodón.

Figura 1.

Filtro de lixiviados creado con: piedra de 2 Pulgadas, Carbón activado Arena de mar y Algodón



Figura 2. Toma de Muestra de Lixiviado en la fosa del Simar Sur Suereste



Se les realizó a los lixiviados un proceso de filtración a base de arena de mar, floculantes y carbón activado para poder conocer si este procedimiento se adecua a mejorar la calidad de los lixiviados.

Dentro de las actividades que se llevaron a cabo por el equipo conformado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental José Federico Gaspar Gómez y los profesores del Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán: Q.F.B Norma Angelica Díaz Antillón, Prof. Fernando Mancilla Peña, Mtro. Fernando Marco Antonio Robledo Núñez, Mtro. Juan Carlos Jiménez Del Toro, Dr. Ramon Chávez Bracamontes fueron las siguientes:

Primeramente, se realizaron visitas al SIMAR sur sureste ubicado en el Km. 3.5 carretera Tuxpan-Tecalitlán, Localidad Santa María, Tuxpan Jalisco para realizar un diagnóstico del sitio donde se llevó a cabo la investigación y conocer las condiciones de este y así poder darse la idea de que tipo de proyecto es con que se estaba trabajando.

Figura 3. Báscula en el Simar Sur Sureste



Figura 4 Vista aérea de las instalaciones del Simar Sur Suereste



Figura 5. Acceso a celda #2 en el relleno sanitario del Simar Sur Suereste



Figura 6. Tubo respiración de biogases en celda #1 en Simar Sur Sureste.



Dentro de este se conoció que es un sitio de disposición final de tipo B, además de que es un sitio que según la NOM-083 -SEMARNAT cumple con las restricciones específicas mínimas para poder llevar la ubicación de un sitio de disposición final estando a una distancia de 6,429.78 mts. de una pista tipo aeródromo, y la norma indica que debe de estar a una distancia menor de 13 kilómetros, pero la misma no está en funcionamiento desde hace más de 15 años, también el mismo no está ubicado dentro de un área natural protegida, se ubica a 1,685.42 mts. de la población de más cercana que es Tuxpan Jalisco y la norma indica que al ser poblaciones de más 2,500 habitantes debe estar a una distancia mínima de 500 mts. de la traza urbana, está ubicada en una zona elevada no habiendo posibilidad de inundación deslaves que afecten el sitio, se localiza a 655.16 mts. de distancia de un cuerpo de agua que es el río que pasa por la cabecera municipal y respecto a las obras complementarias por ser de tipo B cuenta con un camino de acceso que va desde la carretera principal hasta el relleno por más de 2 km, también cuenta con caminos interiores, una cerca perimetral para impedir la entrada de personas ni autorizadas, una caseta de vigilancia, una báscula de una capacidad de 100 toneladas para el pesaje de los residuos que entran, una franja de amortiguamiento con árboles, además de oficinas y una celda de emergencia con capacidad de una semana de los residuos, además de otra celda que ya está clausurada y otra a punto de llenarse, y las dos contienen tubos de venteo para biogás y de captación de lixiviados.

Se realizó una investigación documental por parte de todos los miembros del equipo donde se investigan las características de los lixiviados, sus propiedades y como es que estos se deben de analizar, además de investigar los diversos tipos de filtros para poder darle una mejora a los mismos.

Se realizaron muestreos en el SIMAR para la obtención de lixiviados para un posterior análisis de estos.

Figura 7. Toma de Muestra de Lixiviado en la fosa del Simar Sur suereste.



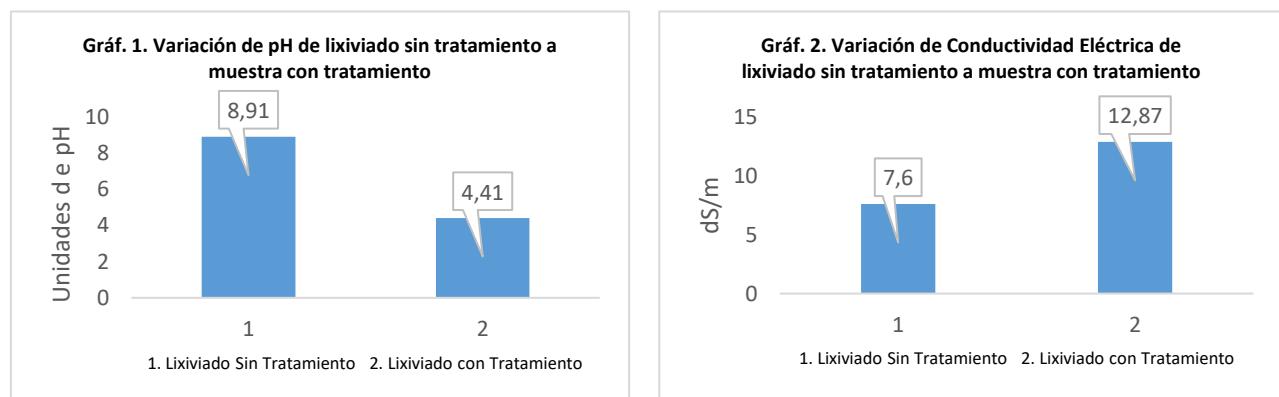
Se realizó y creó una propuesta de filtro en el que por medio del mismo se hace pasar el lixiviado para una posterior análisis en laboratorio ya que el Simar Sur Sureste no cuenta con resultados reales de su composición.

Se analizaron los resultados obtenidos para poder dar una conclusión y recomendación del tratamiento a utilizar.

Todas estas actividades se llevaron a cabo durante el año 2024.

Las variaciones de cada uno de los elementos, metales y microorganismos detectados en el lixiviado antes y después de su tratamiento se muestran a continuación prosiguiendo con el análisis concluyente.

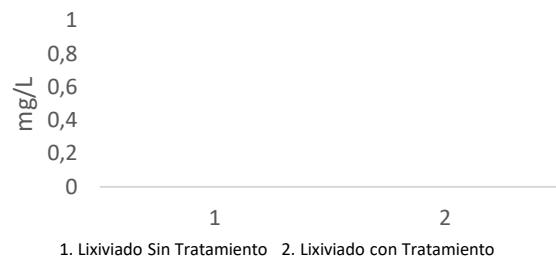
Gráficas de variaciones en presencia de elementos del Lixiviados



Gráf. 3. Variación de Nitrógeno Total de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 4. Sin Variación de Fósforo de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento 0%



Gráf. 5. Variación de Potasio de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 6. Variación de Calcio de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



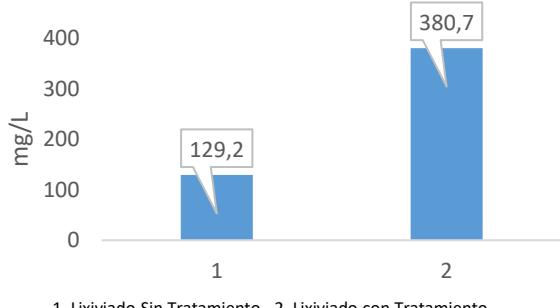
Gráf. 7. Variación de Magnesio de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



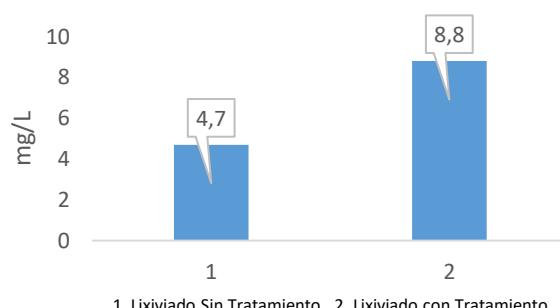
Gráf. 8. Variación de Sodio de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



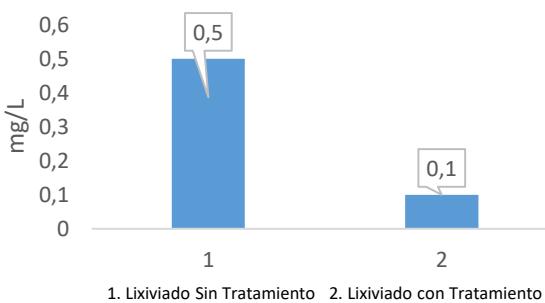
Gráf. 9. Variación de Hierro de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 10 Variación de Manganese de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



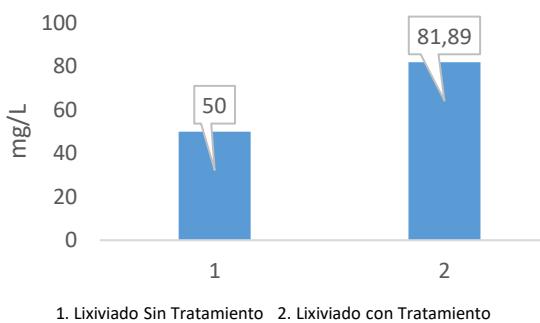
Gráf. 11 Variación de Cobre de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 12 Variación de Zinc de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 13 Variación de Boro de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento

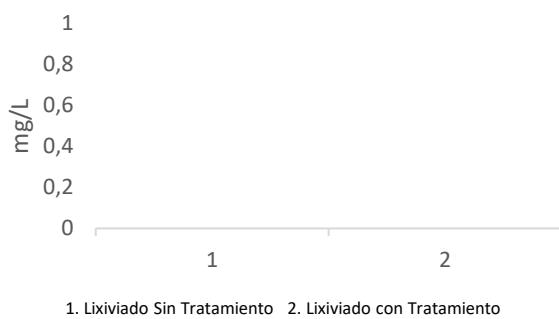


Gráficas de Variaciones en presencia de Metales en Lixiviados

Gráf. 14 Variación de Cromo de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



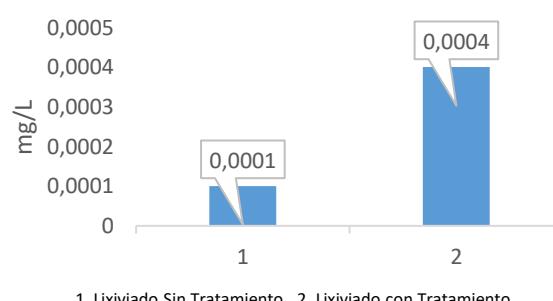
Gráf. 15 Sin Variación de Cobalto de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



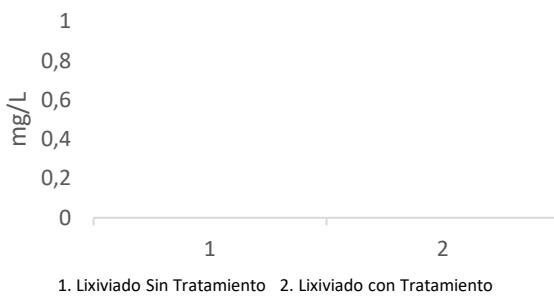
Gráf. 16 Sin Variación de Plomo de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



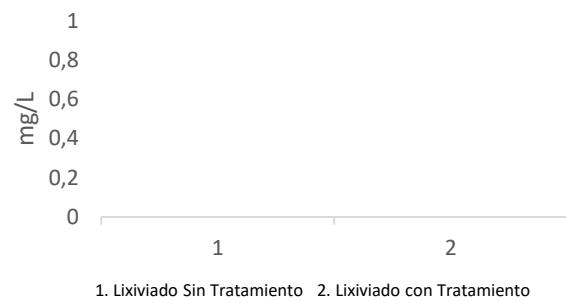
Gráf. 17 Sin Variación de Níquel de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



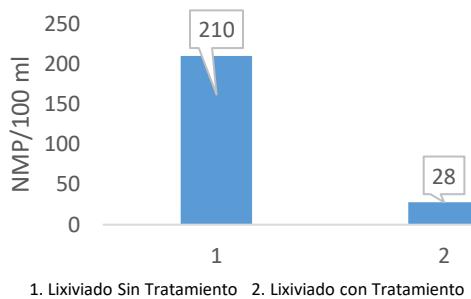
Gráf. 18 Sin Variación Cadmio de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 19 Sin Variación Cloruros de Cadmio de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 20 Variación de Coliformes Totales de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 21. Variación de Coliformes fecales de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Gráf. 22 Variación de *Escherichia coli* de lixiviado sin tratamiento a muestra con tratamiento



Tabla 1. Resultados de Elementos en los lixiviados

Descripción	Símbolo	Unidad	Resultado antes de tratamiento	Resultado después de tratamiento	Porcentaje	Tipo
pH	Ph	Unidades de pH	8.91	4.41	-50.5%	Decremento
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	7.6	12.87	69.3%	Incremento
Nitrógeno Total	NT	%	26.87	13.26	-50.7%	Decremento
Fósforo	P	mg/L	0	0	0%	Sin Variación
Potasio	K	mg/L	2265	2808.9	24.0%	Incremento
Calcio	Ca	mg/L	418.5	1533	266.3%	Incremento
Magnesio	Mg	mg/L	1764	1802.7	2.2%	Incremento
Sodio	Na	mg/L	3630	3138.45	-13.5%	Decremento
Hierro	Fe	mg/L	129.2	380.7	194.7%	Incremento
Manganoso	Mn	mg/L	4.7	8.8	87.2%	Incremento
Cobre	Cu	mg/L	0.5	0.1	-80.0%	Decremento
Zinc	Zn	mg/L	2.3	6.5	182.6%	Incremento
Boro	B	mg/L	50	81.89	63.8%	Incremento

Como se observa en la tabla #3, los elementos que tienen mayor incremento al pasar por el filtro de arena de mar son los elementos: Calcio con 266.3%, Hierro con 194.7%, Zinc con 182.6%, Manganoso con 87.2%, Boro con 63.8%, Potasio con 24%, Magnesio con 2.2% y la Conductividad eléctrica con 63.3% todos ellos con incremento, considerando que las características en elemento de la arena de mar tienen sales que abonan a la composición del lixiviado es decir, que incrementan estos valores, sin embargo, también se detectó que la matriz de filtrado retuvo elementos mostrando una baja en la composición del lixiviado tratado, como en el caso de: Cobre con 80%, Nitrógeno Total con 50.7%, Sodio con 13.5% y reduciendo el pH con un 50.5%; Resultando importante resaltar que dicha matriz de filtrado ayudó a retener estos elementos inclusive en el sodio, el cual es rico en este componente y mayormente en el cobre en un 80%.

Y también otros elementos continuaron sin variación.



Tabla 2. Otros resultados :Metales

Descripción	Símbolo	Unidad	Resultado antes de tratamiento	Resultado después de tratamiento	Porcentaje	Tipo
Cromo	Cr	mg/L	0.009	0.0019	-78.9%	Decremento
Cobalto	Co	mg/L	ND	ND	ND	Sin Variación
Plomo	Pb	mg/L	ND	ND	ND	Sin Variación
Niquel	Ni	mg/L	0.0001	0.0004	300.0%	Incremento
Cadmio	Cd	mg/L	ND	ND	ND	Sin Variación
Cloruros	Cl-	Mg/L	0	0	ND	Sin Variación

Referente al análisis resultante de los elementos metálicos determinados en el lixiviado antes y después del tratamiento, se detectó principalmente que la matriz de filtrado retuvo el Cromo en un 78.9% ofreciendo una importante disminución en este elemento metálico, sin embargo, se observó un importante incremento del Niquel, lo que determinaría que dicha matriz contiene este metal y que adiciona al lixiviado filtrado este incremento. También se observó que otros metales no se detectaron en dicho lixiviado a trata o después de su tratamiento, como en las determinaciones de: Cobalto, Plomo, Cadmio y Cloruros.

Tabla 3. Resultados microbiológicos en Lixiviado

Descripción	Unidad	Resultado antes de tratamiento	Resultado después de tratamiento	Porcentaje	Tipo
Coliformes totales	NMP/100 ml	210	28	-86.7%	Decremento
Coliformes fecales	NMP/100 ml	150	20	-86.7%	Decremento
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100 ml	93	14	-84.9%	Decremento

En el Análisis de la detección de organismos Coliformes Totales, Fecales y *Escherichia Coli*, se determinó un importante resultado, pues la matriz de filtrado disminuyó considerablemente la presencia de este tipo de microorganismos que determinan la salud sanitaria del lixiviado, ya que redujo en un 86.7% tanto a los Coliformes Totales y Fecales y en un 84.9% a *Escherichia Coli*.

Finalmente, se uso un filtro de formado con arena de mar, piedras de 2 pulgadas como soporte, carbón activado y algodón, para probar la eficacia en el filtrado del lixiviado generado en el relleno sanitario del Simar Sur Sureste, resultando muy efectivo en la disminución de microorganismos que generan contaminación sanitaria en el medio ambiente en donde se vierten o tienen la condición de efluente; así como en otros elementos importantes.



CONCLUSIONES

Finalmente, se uso un filtro de formado con arena de mar, piedras de 2 pulgadas como soporte, carbón activado y algodón, para probar la eficacia en el filtrado del lixiviado generado en el relleno sanitario del Simar Sur Sureste, resultando muy efectivo en la disminución de microorganismos que generan contaminación sanitaria en el medio ambiente en donde se vierten o tienen la condición de efluente; así como en otros elementos importantes.

Debido a los resultados obtenidos y proyectados se propone un tratamiento para lixiviados a base de:
Flocular, sedimentar y filtrar

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutan las sustancias coloidales presentes en el lixiviado, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Sedimentar

La sedimentación se usa para eliminar los sólidos del agua con un alto contenido de sedimentos o turbidez. El proceso de sedimentación es fácil de realizar y necesita un mínimo de material y habilidades. Sin embargo, requiere mucho tiempo y, por lo tanto, de tanques o estanques grandes para funcionar de forma efectiva.

Filtrar

La filtración es definida como la separación de dos o más componentes de un fluido basados principalmente en la diferencia de tamaños. Los filtros de arena son los elementos más utilizados para filtración de aguas con cargas bajas o medianas de contaminantes, que requieran una retención de partículas de hasta veinte micras de tamaño. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante de arena. Nuevamente agradecemos al TecNM por la aprobación de este proyecto de investigación, para la realización de este trabajo: Clave: 21023.24-P: “Caracterización y análisis de tratamiento con arena de mar de lixiviados del relleno sanitario del Simar Sur Sureste en Jalisco México”.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Robles-Martínez, F, Morales-López, Y, Piña-Guzmán, AB, Espíndola-Serafín, O, Tovar-Gálvez, LR, & Valencia-del Toro, G. (2011). Medición de pH y cuantificación de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario más grande de la zona metropolitana de la ciudad de México. *Universidad y ciencia*, 27(2), 121-132. Recuperado en 14 de febrero de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792011000200002&lng=es&tlng=es.
- García-Rentería, F. F. (2005). Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (33), 70–83.
- Ramírez-Meza, J. L. (2010). Elaboración del proyecto ejecutivo del relleno sanitario intermunicipal, en Tuxpan, Jal (Secretaría Del Medio Ambiente Para El Desarrollo Sustentable). *Proyectos y Seguimiento Técnico de Obras, S.A. de C.V.*
- Giannina, B., Maciejczyk, M., y Wagner, L. (2016). Directrices para el uso seguro de la tecnología del biogás. *Fachverband Biogas e. V.*
- Agudelo R. y García F. (2000). “Producción de biogás en rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos”. *Cuaderno Ambiental*. N.º 1. pp. 64-73.
- Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA). (1991). “Regulatory package for new source performance standards and III(d) Guidelines for municipal solid waste air emissions”. Public docket No. A-88-09 (proposed May 1991). Research triangle park, NC. U.S. Environmental protection agency.
- García-Colindares, M. A. y Castillo-Suárez, L. A. (2022). Los rellenos sanitarios como fuente de contaminación del agua subterránea por infiltración de lixiviados: efectos en la salud y el medio ambiente. *IDEAS EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA*, 1(2), 4–15.
- SEMARNAT (NOM-083). (2003). 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. .



Lohila, A., Laurila, T., Tuovinen, J.-P., Aurela, M., Hatakka, J., Thum, T., Pihlatie, M., Rinne, J., y Vesala, T. (2007). Micrometeorological Measurements of Methane and Carbon Dioxide Fluxes at a Municipal Landfill. *Environmental Science and Technology*, 41(8), 2717–2722.

<https://doi.org/10.1021/es061631h>

Hrad, M., Binner, E., Piringer, M., y Huber-Humer, M. (2014). Quantification of methane emissions from full-scale open windrow composting of biowaste using an inverse dispersion technique. *Waste Management*, 34(12), 2445–2453. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.013>

Gonzalez-Valencia, R., Magana-Rodriguez, F., Cristóbal, J. y Thalasso, F. (2016). Hotspot detection and spatial distribution of methane emissions from landfills by a surface probe method. *Waste Management*, 55, 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.004>

Ordoñez, A., Rodríguez, E., y González, T. (2017). Determinación de concentración de metano con sensores semiconductores. <https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias>

Gómez-Vázquez Edinson. (2018). Afectaciones ambientales de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios sobre el recurso agua. Universidad Industrial de Santander, Facultad de ciencias y Escuela de química especialización en Química Ambiental.

<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173184.pdf>

Navarro, J. (2021). Contaminación del agua debido a la descomposición de los residuos sólidos (IV/IV). iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/javier-navarro/efecto-lluvias-desechos-solidosiiiv-0>

Corena, M.J, (2008). Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Línea de profundización gestión integral de residuos sólidos. Del sitio:

<https://www.ecologiaverde.com/lixiviados-definicion-ejemplosy-tratamiento-2713.html>

