

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Tratamiento de lixiviados mediante resina de
intercambio iónico del vertedero de Chupaca**

Cristina Tiburcia Rivera Muñoz
Gabriela del Pilar Villegas Marcelo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jose Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 22 de Julio de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS MEDIANTE RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO DEL VERTEDERO DE CHUPACA

Autores:

1. Cristina Tiburcia Rivera Muñoz – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Gabriela del Pilar Villegas Marcelo – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 15 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

Hace muchos años atrás soñábamos con este día tan importante, porque es un logro más en nuestra carrera profesional y ahora se hace realidad.

En primer lugar, agradecer a Dios por habernos permitido cumplir una de nuestras metas y un sueño anhelado hacerlo realidad e iluminar nuestro camino en el transcurso de nuestra carrera profesional, por guiarnos y darnos fuerzas para seguir adelante ante cualquier obstáculo o tropiezo que se nos presente.

En segundo lugar, a nuestros padres por apoyarnos a cumplir nuestras metas, asimismo por el gran esfuerzo que realizan para vernos progresar en la vida y ser mejor que ellos, ellos son nuestra más grande inspiración para cumplir cada sueño y/o meta propuesta.

Finalmente, a todos nuestro familiares, amigos e ingenieros que estuvieron con nosotros en esta etapa, fortaleciéndonos con sus palabras, brindándonos alientos, fuerza y ánimos para continuar cumpliendo nuestras metas.

DEDICATORIA

A las personitas más importante de nuestra vida, a nuestros padres, por su amor incondicional, por el gran sacrificio que hicieron al brindarnos una educación y apoyarnos a cumplir nuestras metas a pesar de cualquier obstáculo, gracias por todo, ahora nuestro objetivo es lograr que ustedes se sientan orgullosos de las hijas que educaron.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	16
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	16
1.1.1. Planteamiento del problema	16
1.1.2. Formulación del problema.....	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación ambiental	18
1.3.2. Justificación metodológica	18
1.3.3. Justificación teórica.....	19
1.4. Delimitación del proyecto.....	19
1.5. Hipótesis y variables.....	19
1.5.1. Hipótesis general	19
1.5.2. Hipótesis específicas	19
1.5.3. Variables.....	20
1.5.4. Variable independiente.....	20
1.5.5. Variables dependientes.....	20
1.6. Operacionalización de variables	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes del problema	22

2.1.1. Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	23
2.1.3. Antecedentes locales.....	25
2.2. Bases teóricas.....	28
2.2.1. Vertederos.....	28
2.2.2. Lixiviados de vertederos.....	31
2.2.3. Alternativas de tratamiento para lixiviados.....	35
2.2.4. Definición de términos básicos	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	39
3.1. Método, tipo y nivel de investigación.....	39
3.1.1. Métodos de la investigación	39
3.1.2. Tipo de la investigación.....	39
3.1.3. Nivel de la investigación	40
3.2. Diseño de la investigación.....	40
3.3. Población y muestra.....	41
3.3.1. Población.....	41
3.3.2. Muestra	41
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
3.4.1. Técnicas.....	42
3.4.2. Instrumentos de la recolección de datos.....	42
3.5. Metodología de la experimentación.....	42
3.5.1. Etapa de precampo	42
3.5.2. Ubicación geográfica.....	43
3.5.3. Etapa de campo.....	44
3.5.4. Desarrollo de la metodología.....	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Resultados de la investigación.....	49
4.1.1. Caracterización de lixiviado del vertedero de Chupaca	49
4.1.3. Porcentaje de reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados utilizando resina de intercambio iónico	52

4.1.4. Influencia de la masa de resina, velocidad de agitación y tiempo de contacto en la reducción de color de los lixiviados.....	54
5.1.1. Influencia de la masa de resina, velocidad de agitación y tiempo de contacto en la reducción de turbidez de los lixiviados.....	61
4.1.6. Influencia de la masa de resina, velocidad de agitación y tiempo de contacto en la reducción de materia orgánica de los lixiviado.....	69
4.1.7. Isoterma de adsorción.....	76
4.1.8. Mecanismos de acción de la resina de intercambio iónico.....	80
4.2. Contrastación de hipótesis	81
4.2.1. Hipótesis específica	82
4.2.2. Hipótesis general	90
4.2. Discusión de resultados	91
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1. Conclusiones	94
5.2. Recomendaciones	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	21
Tabla 2. Características de los tipos de vertederos	29
Tabla 3. Los aspectos técnicos de cada nivel	31
Tabla 4. Características de los lixiviados en diferentes periodos.....	32
Tabla 5. Diseños de bloques completamente al azar (DBCA)con arreglo factorial 2^3	40
Tabla 6. Cuadro de resultados por unidad experimental.....	40
Tabla 7. Valores determinados para el tamaño de muestra	41
Tabla 8. Caracterización de lixiviado del vertedero de Chupaca.....	49
Tabla 9. Reducción de color, turbidez y DQO en lixiviados	50
Tabla 10. Porcentaje de reducción de color, turbidez y DQO en lixiviados	53
Tabla 11. Estudio de las isotermas de adsorción	76
Tabla 12. Parámetros para el estudio de la isoterma de Langmuir	77
Tabla 13. Estudio de la Isoterma de Freundlich	79
Tabla 14. Información del factor color.....	83
Tabla 15. Análisis de Varianza color	83
Tabla 16. Información del factor para turbidez	85
Tabla 17. Análisis de varianza para turbidez.....	86
Tabla 18. Información del factor para materia orgánica.....	88
Tabla 19. Análisis de varianza para la materia orgánica	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relleno sanitario anaeróbico cubierto (convencional)	30
Figura 2: Esquema de relleno sanitario semiaeróbico (método fuknoka).	30
Figura 3: Mecanismos de contaminación por los lixiviados	34
Figura 4: Métodos de tratamiento físico/químico de lixiviados de rellenos sanitario	35
Figura 5. Mapa de ubicación del vertedero de Chupaca	43
Figura 6. Recolección de muestra	44
Figura 7. Medición de la turbidez	45
Figura 8. Preparación de viales para la medida de DQO	45
Figura 9. Medición del color	45
Figura 10. Tratamiento del lixiviado en la prueba de jarras	47
Figura 11. Muestras de lixiviados	48
Figura 12. Lectura de DQO.....	48
Figura 13. Reducción de turbidez replicas	51
Figura 14. Reducción de color replicas	51
Figura 15. Reducción de DQO replicas.....	52
5. Figura 16. Reducción de color con 0,5 g de resina	54
Figura 17. Reducción de color con 1,5 g de resina.....	55
Figura 18. Reducción de color en 30 min.....	55
Figura 19. Reducción de color en 90 min.....	56
Figura 20. Reducción de color con 50 rpm	56
Figura 21. Reducción de color con 150 rpm	57
Figura 22. Interacción de variables para color.....	58
Figura 23. Efectos principales de las variables en el color	59
Figura 24. Gráfico de contorno de color vs masa; tiempo	59
Figura 25. Gráfico de contorno de color vs masa, velocidad.....	60
Figura 26. Gráfico de contorno de color vs velocidad, tiempo.....	61
Figura 27. Reducción de turbidez con 0,5g de resina	61
Figura 28. Reducción de turbidez con 1,5g de resina	62
Figura 29. Reducción de turbidez en 30 min.....	63
Figura 30. Reducción de turbidez en 90 min.....	63
Figura 31. Reducción de turbidez a 50 rpm.....	64
Figura 32. Reducción de turbidez a 150 rpm.....	64

Figura 33. Efectos principales de las variables en la turbidez	65
Figura 34. Interacción de variables para la turbidez	66
Figura 35. Gráfico de contorno de turbidez vs masa; velocidad	67
Figura 36. Gráfico de contorno de turbidez vs tiempo; velocidad	68
Figura 37. Gráfico de contorno de turbidez vs masa; tiempo	69
Figura 38. Reducción de DQO con 0,5g de resina	69
Figura 39. Reducción de DQO con 1,5g de resina	70
Figura 40. Reducción de DQO en 30 min	71
Figura 41. Reducción de DQO a 90 min	71
Figura 42. Reducción de DQO con 50 rpm	72
Figura 43. Reducción de DQO con 150 rpm	72
Figura 44. Efectos principales de las variables en el DQO	73
Figura 45. Interacción de las variables en el DQO	74
Figura 46. Gráfico de contorno de DQO vs masa, tiempo	74
Figura 47. Gráfico de contorno de DQO vs velocidad; tiempo	75
Figura 48. Gráfico de contorno de DQO vs velocidad; masa	76
Figura 49. Isoterma de Langmuir	78
Figura 50. Isoterma de Freundlich	79
Figura 51. Mecanismo de acción de la resina de intercambio iónico	80
Figura 52. Análisis de probabilidad para el color	81
Figura 53. Análisis de probabilidad para la turbidez	81
Figura 54. Análisis de probabilidad para el DQO	82
Figura 55. Diagrama de Pareto color	84
Figura 56. Diagrama de Pareto turbidez	86
Figura 57. Diagrama de Pareto para materia orgánica	89

RESUMEN

El trabajo de investigación se centró en determinar la eficiencia de la resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca. La metodología para usarse es de tipo aplicada, método experimental y un diseño de bloques completamente al azar con un arreglo factorial 2^3 donde la variable independiente a estudiar es el tratamiento de intercambio iónico y sus indicadores son la velocidad de agitación (50 rpm y 150 rpm), tiempo de contacto (30 min y 90 min) y de intercambio iónico (0,5 g y 1,5g) y la variable dependientes es la eficiencia del tratamiento teniendo como indicadores la reducción de parámetros físicos (color, turbidez) y reducción de la materia orgánica (DQO). La población del estudio será el lixiviado del vertedero de Chupaca y se usará 250 mL de muestra por corrida experimental. Al realizar la caracterización de los lixiviados del vertedero, se obtuvo que tenía un color de 2000 PCU, turbidez de 287,50 NTU y 6867,83 mg/L de DQO los cuales son características de lixiviados de mediano plazo; es decir, de 5 años a 10 años. Asimismo, las pruebas según el diseño obtuvieron que los mejores resultados de reducción de color, turbidez y materia orgánica (DQO) fueron de 95,03 %; 69,35 % y 94,38 % respectivamente, todo a condiciones de trabajo de 1,5g de resina, velocidad de agitación de 50 rpm y 90 min. Concluyendo así que el uso de resinas intercambio iónico son adecuadas para tratar lixiviados de vertederos.

Palabras claves: DQO, color, turbidez, masa, tiempo, velocidad de agitación y reducción.

ABSTRACT

The research work focused on determining the efficiency of the ion exchange resin in reducing organic matter, color, and turbidity of leachate from the Chupaca landfill. The methodology to be used is of an applied type, experimental method and a completely randomized block design with a 23 factorial arrangement where the independent variable to be studied is the ion exchange treatment and its indicators are the stirring speed (50 rpm and 150 rpm), contact time (30 min and 90 min) and ion exchange time (0,5 g and 1.5 g) and the dependent variable is the efficiency of the treatment, having as indicators the reduction of physical parameters (color, turbidity) and reduction of organic matter (COD). The study population will be the leachate from the Chupaca landfill and 250 mL of sample will be used per experimental run. When characterizing the landfill leachate, it was obtained that it had a color of 2000 PCU, turbidity of 287,50 NTU and 6867, 83 mg/L of COD which are characteristics of medium-term leachates, that is, 5 years to 10 years. Likewise, the tests according to the design obtained that the best results of reduction of color, turbidity, and organic matter (COD) were 95,03%; 69,35% and 94,38% respectively, all at working conditions of 1.5g of resin, stirring speed of 50 rpm and 90 min. Thus, concluding that the use of ion exchange resins is suitable for treating landfill leachate.

Keywords: COD, color, turbidity, mass, time, stirring speed and reduction.

INTRODUCCIÓN

En América Latina y el Caribe los vertederos son el método más utilizado para el manejo de residuos sólidos, aunque la mayoría de los lugares clasificados como sanitarios no cumplen con los requisitos técnicos requeridos. La calidad de algunos vertederos ha mejorado en los últimos años, aunque todavía no se tratan los lixiviados y no se utilizan membranas sintéticas para la impermeabilización. En ninguno de los países de la región se trata de la lixiviación, lo que ocasiona que se penetre el subsuelo e ingresa a su composición, asimismo al estar en movimiento llega a tener contacto en algunas ocasiones con fuentes de agua afectadas pues ocasiona su contaminación. Esto debido a que los lixiviados son caracterizados como una solución acuosa que contiene cuatro grupos de contaminantes: materia orgánica disuelta, macrocomponentes inorgánicos, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos.

Lo mencionado anteriormente se vive en la ciudad de Chupaca, pues debido al mal manejo de su vertedero y los desechos que se predisponen en este, ha ocasionado la formación de lixiviados que se encuentran expuestos cerca de la población. La DESA menciona que esas acciones son peligrosas porque ponen en riesgo la salud de las personas que viven cerca del botadero, ya que pueden contraer diversas enfermedades. Asimismo, la existencia de riesgo de contaminación al medio ambiente.

Por ello, este trabajo estudiará el tratamiento de dichos lixiviados con el intercambio iónico para aplicarlo en la reducción de color, turbidez y materia orgánica. Es así como el desarrollo de la investigación está expuesto por cuatro capítulos.

En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, objetivos, justificación del trabajo y la identificación de variables.

En el Capítulo II se expone la revisión bibliográfica, incluyendo así a los antecedentes, marco teórico y marco conceptual.

En el Capítulo III se expone la parte experimental desarrollada en el laboratorio, detallando la metodología, diseño experimental, equipos y materiales que fueron utilizados para el desarrollo.

En el Capítulo IV se expone la parte de resultados y discusión de resultados en donde se expone y explica los datos obtenidos con gráficos y tablas seguido de la contrastación de hipótesis.

En el Capítulo V se expone las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En el mundo se estima que se generan unos 1,3 billones de toneladas anuales de residuos sólidos urbanos, de esta cantidad mundial, unos 340 millones de toneladas anuales son destinadas a vertederos (1) lo que da como resultado la formación de aguas residuales complejas, variables y recalcitrantes, conocidas como lixiviados (2).

Por ello, existen inconvenientes ambientales que han llamado la atención social y ambiental en las últimas décadas. Es debido a lo mencionado que la gestión de los lixiviados, así como su tratamiento, es uno de los desafíos clave que enfrenta la gestión de los vertederos, ya que genera daños a la salud humana y al medio ambiente. La gestión de lixiviados en cualquier vertedero es necesaria para asegurar que no habrá contaminación al medio ambiente por la descarga de lixiviados sin tratar (3).

Los lixiviados de los vertederos contienen una serie de contaminantes, así como elevadas concentraciones de materia orgánica, un olor desagradable, color oscuro y altas concentraciones de nitrógeno amoniacal que es motivo de especial preocupación (4). En consecuencia, es vital determinar el método de tratamiento apropiado para hacer frente a los lixiviados de los vertederos a lo largo del tiempo.

1.1.2. Formulación del problema

Debido al incremento de residuos sólidos y la producción de los lixiviados que se tiene en el distrito de Chupaca se precisa responder las preguntas que generan el problema de investigación.

1.1.2.1. Problema general

¿Cuánta es la eficiencia de la resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviado del vertedero de Chupaca?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué concentración de materia orgánica, turbidez y color presenta los lixiviados del vertedero de Chupaca?
- ¿Cómo influye el tiempo de contacto en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico?
- ¿Cómo influye la masa de resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca?
- ¿Cómo influye la velocidad de agitación en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de la resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de materia orgánica, turbidez y color que presenta los lixiviados del vertedero de Chupaca.
- Determinar cómo influye el tiempo de contacto en la reducción de materia orgánica, turbidez y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico.

- Determinar cómo influye la masa de resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, turbidez y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca.
- Determinar cómo influye la velocidad de agitación en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación ambiental

El impacto ambiental de los lixiviado orgánicos e inorgánicos se da debido a su alta carga de contaminantes como ácidos húmicos, compuestos orgánicos xenobióticos (XOC), nitrógeno amoniacal, metales pesados y otras sales inorgánicas, las cuales, (4) si no se trata adecuadamente y se elimina de forma segura, pueden generar peligros potenciales para las aguas superficiales y subterráneas, ya que pueden filtrarse a través del suelo y el subsuelo. Por lo que este estudio busca tratar los lixiviados generados en el vertedero de Chupaca con un método que sea sencillo y fácil de aplicar con la finalidad de reducir estos impactos ambientales que pueden tenerse debido a un mal manejo de dicho contaminante.

Además que de esta manera se busca apoyar al cumplimiento de la Ley General del Ambiente que menciona en el Artículo I sobre el derecho fundamental que tienen “todas las personas de vivir en un ambiente sano, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, el deber de contribuir a la eficaz gestión ambiental, a la protección del medio ambiente y sus componentes, en particular, tienen el deber de velar por la salud de las personas, la conservación general de la biodiversidad, el uso sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible de nuestro territorio nacional”.

1.3.2. Justificación metodológica

El presente trabajo busca dar pase a aspectos técnicos y de ingeniería en el tratamiento de lixiviados de vertederos, llevando a cabo la evaluación del proceso de intercambio iónico en la remoción de materia orgánica, color y turbidez en los lixiviados del vertedero de Chupaca y de esta manera contribuir al manejo adecuado de este material. Además, que se busca aportar el proceso metodológico adecuado considerando condiciones de trabajo como tiempo de contacto, masa de resina y velocidad de agitación que permitan obtener la mayor eficiencia del tratamiento y por ende reducir la mayor cantidad de contaminantes presentes en los lixiviados.

1.3.3. Justificación teórica

El presente trabajo aporta conocimientos, datos e información acerca de la eficiencia de las resinas de intercambio iónico como una alternativa viable para tratar estos lixiviados generadores en vertederos a causa de la descomposición de la materia.

1.4. Delimitación del proyecto

El proyecto se desarrolló tomando en consideración información pública referida al tratamiento de lixiviados de vertederos con resinas de intercambio iónico, además que el lugar de trabajo fue exactamente en el botadero de Chupaca ubicado en el barrio Común el cual se ubica a 4,5 Km al sur de la ciudad de Chupaca por la carretera que une dicha ciudad con Huamancaca Chico.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

Ho: Las resinas de intercambio iónico no presentan una eficiencia significativamente alta en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Ha: Las resinas de intercambio iónico presentan una eficiencia significativamente alta en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

1.5.2. Hipótesis específicas

Ho1: Los lixiviados del vertedero de Chupaca no presenta alta concentración de materia orgánica, turbidez y color.

Ha1: Los lixiviados del vertedero de Chupaca presenta alta concentración de materia orgánica, turbidez y color

Ho2: El tiempo de contacto no reduce significativamente la materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha2: El tiempo de contacto reduce significativamente la materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ho3: La masa de resina de intercambio iónico no reduce significativamente la materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Ha3: La masa de resina de intercambio iónico reduce significativamente materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Ho4: La velocidad de agitación no reduce significativamente la materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha4: La velocidad de agitación reduce significativamente la materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

1.5.3. Variables

1.5.4. Variable independiente

- Tratamiento con resinas de intercambio aniónica – Lewatit Mono Plus M 600 (ver anexo 5)

1.5.5. Variables dependientes

- Eficiencia de tratamiento

1.6. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Tipo de Variable	Conceptualización	Categoría o dimensión	Indicador	Unidad de medida
Tratamiento con resinas de intercambio iónico	Cuantitativa Compleja Independiente	La resina de intercambio iónico es una sustancia granulada insoluble en agua, compuestas de grupos polares, diseñada para eliminar nitratos, DQO, solidos suspendidos totales, reducción de color, entre otros parámetros.	Tiempo de contacto	Intervalo de tiempo	minutos
			Masa de resinas de intercambio iónico	Cantidad	g
Eficiencia de tratamiento	Cuantitativa Compleja Dependiente	Es la capacidad del tratamiento para lograr reducir el color, DQO, solidos suspendidos totales, turbidez, y entre otros parámetros	Velocidad de Agitación	Rapidez	rpm
			Reducción de parámetros físicos	Reducción de color Reducción de Turbidez	PCU NTU
			Reducción de materia orgánica	Reducción de la concentración DQO	ppm

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el trabajo de investigación titulado: «Desarrollo de un sistema de tratamiento de lixiviados de flujo continuo a escala de laboratorio basado en UV/persulfato» se desarrolló un sistema automatizado de tratamiento de lixiviados de flujo continuo a escala de laboratorio para estudiar la viabilidad de combinar la coagulación-floculación y un proceso de oxidación avanzada basado en radicales sulfatos (persulfato activado por UV) en el tratamiento de lixiviados de vertederos estabilizados (LVE). Los LVE se trataron primero con floculación-coagulación. Después, el lixiviado pretratado se filtró con un filtro de arena hacia un tanque de extracción de amoníaco y un purificador UV de flujo continuo. La extracción de amoníaco y el proceso de oxidación avanzada de persulfato activado por UV se realizaron simultáneamente para eliminar los iones de amonio y la materia orgánica disuelta de los LVE pretratado. A continuación, el LVE tratado se pasó a través de una columna de intercambio de aniones para eliminar los iones de sulfato. Los resultados mostraron que este sistema redujo la demanda química de oxígeno y las concentraciones de carbono orgánico total en un 91 % y un 90 %, respectivamente. Además, se eliminó el 68 % del nitrógeno amoniacal. El color y la turbidez del LVE se eliminaron por completo, y el sistema eliminó del 70 % al 98 % de los metales comúnmente contenidos en los LVE. La fitotoxicidad y la ecotoxicidad del LVE también se redujeron en gran medida. Los resultados confirmaron que el sistema de tratamiento de lixiviados de flujo continuo desarrollado podría reducir de manera eficiente el color, la demanda química de oxígeno, el carbono orgánico total, los metales, el nitrógeno amoniacal y la toxicidad de LVE (5).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el trabajo de investigación titulado: «Desarrollo de un sistema de tratamiento de lixiviados de flujo continuo a escala de laboratorio basado en UV/persulfato » se investigó el efecto de la turbidez en la eliminación de microcontaminantes orgánicos carbamazepina (CBZ) a través de resina de intercambio iónico magnético (MIEX) combinada con ultrafiltración (UF). Los comportamientos de purificación de los procesos MIEX/UF se estudiaron mediante el equipo de cromatografía líquida, microscopia electrónica de barrido (MEB), análisis de potencial zeta y distribución del tamaño de partículas. Los resultados experimentales muestran que la resina MIEX podría eliminar del 64 % al 74 % de CBZ en diferentes turbiedades con la dosis y el tiempo de contacto óptimos, mientras que una muestra de agua con una turbidez de $20 \pm 1,1$ NTU presenta una tasa mínima de eliminación de CBZ del 64 % y una turbidez de $60 \pm 1,0$ NTU llevaron a una eficiencia de eliminación máxima del 74 %. Los resultados de los experimentos con UF mostraron que la UF no podía eliminar eficazmente la CBZ. Alternativamente, la UF era más adecuada para eliminar la turbidez que la resina MIEX. En un sistema de UF separado, la turbidez ($20 \pm 1,1$ NTU) provocó una reducción del flujo del 60 % en el primer ciclo de filtración, mientras que la reducción a $1,0 \pm 0,1$ NTU fue 48 %, $40 \pm 1,0$ NTU fue 52 % y para $60 \pm 1,0$ NTU fue de 45%. Para las muestras de agua con diferentes turbiedades, se observó una disminución evidente en el ensuciamiento de la membrana después del pretratamiento con MIEX, mientras que la eliminación de CBZ/turbiedad pudo mejorarse (6).

En el trabajo de investigación titulado: «Desentrañar el complejo comportamiento de eliminación de lixiviados de vertederos en los tratamientos de oxidación de Fenton y resina de intercambio de iones magnéticos (MIEX[®]) a través de cromatografía de exclusión por tamaño de correlación bidimensional (2D-CoSEC)» se exploró el complejo comportamiento de eliminación del lixiviado de vertedero estabilizado para los tratamientos de oxidación de Fenton (FnO) y (MIEX[®]) usando cromatografía de exclusión por tamaño de correlación bidimensional (2D-CoSEC) y matriz de emisión de excitación de fluorescencia-análisis factorial paralelo (EEM-PARAFAC). Las tasas generales de eliminación de los parámetros a granel (~ 45 % para el carbono orgánico disuelto y ~ 78 % para la absorbancia UV) fueron similares entre las dos opciones de tratamiento, mientras que se encontraron diferencias claras con respecto a los diferentes tamaños moleculares y la composición química. El tratamiento con resina eliminó las sustancias húmicas (HS) y las fracciones ácidas de bajo peso molecular (LMWA) en mayor medida que otras fracciones (es decir, HS: 62 % y LMWA: 99 %), mientras que las fracciones neutras de bajo peso molecular (LMWN) y los biopolímeros (Las fracciones de BP) fueron tratadas de manera más efectiva por

FnO con tasas de eliminación de 56% y 92%, respectivamente. El 2D-CoSEC reveló además que los cambios secuenciales o preferenciales de fracciones de diferentes tamaños al aumentar la resina o el H₂O₂ eran opuestos entre las dos opciones de tratamiento en el orden HS→LMWA→LMWN→BP para MIEX®. Debido a sus funciones complementarias en el tratamiento de lixiviados, los procesos combinados eliminaron rangos más amplios de diferentes tamaños moleculares en comparación con la operación única (7).

En el artículo científico titulado: «Diseño de proceso de un sistema de tratamiento para reducir la conductividad y el contenido de nitrógeno amoniacal de lixiviados de vertedero» se investigaron varios escenarios incorporando estanques de sedimentación, clarificadores, ablandamiento de cal, intercambio iónico, ajuste de pH y operaciones de unidades de desgasificación. Los estanques de sedimentación reducían la demanda de cal si se probaba un proceso de ablandamiento con cal, aunque los estanques implicaban mayores gastos y necesitaban espacio. Alternativamente, un clarificador que usaba clorhidrato de aluminio eliminaba los sólidos en suspensión. El uso de un lecho de resina de un solo catión en serie con una columna de resina de anión de base fuerte (SBA) no pudo cumplir con los objetivos reglamentarios. Sin embargo, el empleo de una combinación de resina de catión ácido débil (WAC) y catión ácido fuerte (SAC) logró niveles de nitrógeno amoniacal muy bajos. Para satisfacer los límites de conductividad también fueron necesarios tanto una unidad de desgasificación como una resina de anión de base fuerte (SBA). Las pruebas de laboratorio de lixiviados reales confirmaron que el software predijo las tendencias en la calidad del agua. Conductividad de la solución final fue de 250 µS/cm y un contenido de nitrógeno amoniacal de <1 mg/L que cumplieron con los valores objetivo de <1600 µS/cm y <100 mg/L de nitrógeno amoniacal (8).

En el artículo científico titulado: «Intensificación de la oxidación en agua supercrítica (ScWO) por intercambio iónico con zeolita para la reutilización de lixiviados de vertedero» se investigaron un sistema compuesto por ScWO e intercambio iónico usando zeolita (ScWO/zeolita) para las posibilidades de reutilización de lixiviados tratados en base a diferentes regulaciones para la reutilización de aguas residuales municipales. Este sistema se aplicó tanto a los lixiviados crudos (RL) como a los lixiviados tratados mediante procesos convencionales en el vertedero estudiado (PL). El reactor ScWO continuo operó bajo una presión de 23 MPa a 600 °C sin la adición de oxidantes. Se utilizó una zeolita comercial (clinoptilolita) en una columna de vidrio de lecho fijo para el intercambio iónico. El sistema intensificado mejoró significativamente las características de RL al eliminar el 89% de DQO y el 99% de NH₃-N. Además, las concentraciones de

contaminantes de PL se encontraban dentro de los límites de descarga y reutilización, excepto los contenidos de arsénico y molibdeno. Las altas concentraciones inesperadas de arsénico en RL y PL hicieron necesario el requisito de una mayor investigación de las características complejas y tóxicas de los lixiviados. No obstante, el proceso intensificado se realizó sin la adición de oxidantes ni sustancias auxiliares y resultó en un proceso menos costoso y más amigable con el medio ambiente que puede aplicarse para el tratamiento de lixiviados de similares características (2).

2.1.3. Antecedentes locales

En el artículo científico titulado: «Eliminación por adsorción de materia orgánica refractaria en lixiviados de vertederos de residuos sólidos municipales biotratados mediante resinas de intercambio aniónico» se estudió las isotermas y la cinética de adsorción para ilustrar el mecanismo de adsorción de las resinas de intercambio aniónico, 717 y D301R-Cl para eliminar las materias orgánicas refractarias del lixiviado. Los resultados demostraron que las isotermas de adsorción para ambas resinas estaban mejor representadas por el modelo de Langmuir. Las capacidades de adsorción medidas de las resinas 717 y D301-Cl fueron 39,84 mg DQO por 1 g de resina seca y 35,84 mg DQO por 1 g de resina seca, respectivamente. La cinética de adsorción de ROM en ambas resinas siguió un modelo de pseudo-segundo orden y las constantes de velocidad medidas fueron 0,00278 g/mg. min y 0,00236 g/mg. min para las resinas 717 y D301R-Cl, respectivamente. Además, el análisis de difusión intrapartícula indicó que la adsorción de ROM estaba controlada por las difusiones de película e intrapartícula. Según los espectros UV/Vis y el análisis EEM de fluorescencia, las sustancias de tipo húmico UV se adsorbieron preferentemente en ambas resinas, aunque más en la resina D301R-Cl que en la resina 717. Además, los estudios en columna mostraron que la adsorción de ROM en las resinas 717 y D301R-Cl se puede dividir en dos fases: adsorción monocapa y adsorción multicapa, mientras que la desorción mostró un patrón similar pero una eficiencia diferente debido a la propiedad única de la resina. Los resultados sugirieron que las resinas podrían eliminar la ROM del lixiviado de manera eficiente, mientras que el progreso práctico debe optimizarse aún más (9).

En el artículo científico titulado: «Tratamiento semiaeróbico de lixiviados de vertedero estabilizados mediante resina de intercambio iónico: estudio isotérmico y cinético» investigaron la capacidad de tratamiento de la resina de intercambio iónico (Indion MB 6 SR) para la eliminación de cromo (VI), aluminio (III), zinc (II), cobre (II), hierro (II) y fosfato. $(\text{PO}_4)^{3-}$, demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) y color de lixiviados semiaeróbico estabilizados por ensayo discontinuo. Se probó un rango de dosificación de resina de intercambio iónico para

determinar la eficiencia de eliminación de los parámetros de lixiviado. Se observó que los datos de equilibrio estaban mejor representados por el modelo de Langmuir para iones metálicos y que Freundlich se ajustaba idealmente a DQO, $\text{NH}_3\text{-N}$ y color. Se encontró que el modelo de difusión intrapartícula, los modelos de isoterma de pseudo primer orden y pseudo segundo orden se ajustaban idealmente a la correlación de los datos experimentales (4).

En el artículo científico titulado: «Tratamiento de un lixiviado de un vertedero de la ciudad de Casablanca mediante un proceso de coagulación-floculación y adsorción utilizando un polvo de corteza de palma (PBP)» el objetivo fue evaluar la eficiencia de un tratamiento combinado de lixiviados de vertedero para mejorar un bioadsorbente de bajo costo. La eficacia de este tratamiento se evaluó en términos de demanda química de oxígeno (DQO), eliminación de color y turbidez. Este bioadsorbente fue sometido a caracterización fisicoquímica y morfológica por diferentes métodos (espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD), isotermas de adsorción-desorción de N_2 , pH a cero puntos de carga (pH_{PZC}) y método de titulación Boehm). El proceso de coagulación redujo la turbidez en un 90 %, la DQO en un 50 %, el color en un 80 % y la demanda biológica de oxígeno (DBO_5) en un 99 % para la dosis óptima de cloruro férrico de $12 \text{ g Fe}^{3+} \cdot \text{L}^{-1}$. A partir de entonces, el tratamiento secuencial de un lixiviado de vertedero basado en la coagulación como proceso de pretratamiento y luego la adsorción en PBP mejora la eliminación de turbidez, DQO y color al 99 %, 59 % y 90 %, respectivamente. Estos resultados demuestran que los procesos combinados de coagulación-floculación y adsorción podrían ser una opción útil para el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos sólidos (10).

En el artículo científico titulado: «Tratamiento de lixiviados de vertederos mediante secuencia integrada de extracción por aire, coagulación-floculación y adsorción» el objetivo fue realizar un programa adecuado de tratamiento de lixiviados de vertederos mediante la secuencia integrada de extracción con aire, coagulación-floculación (CF) y adsorción. En este estudio, la extracción con aire elimina hasta el 96,3 % de $\text{NH}_3\text{-N}$, el 49,3 % de la DQO y el 74,1 % de la DBO_5 en un período de retención óptimo de 36 h. La optimización de la CF y la adsorción se lograron empleando un diseño compuesto central de la metodología de superficie de respuesta. La aplicación de CF resultó en la eliminación de DQO en un 55,3 %, DBO_5 en un 83,9 %, color en un 91,8 % y Hg en un 42,2 % en el estado optimizado de pH 5,2 y una dosis de FeCl_3 de 3,1 g/L. En caso de adsorción, se observó aproximadamente 56,1 % de DQO y 89,2 % de eliminación de Hg en las condiciones óptimas de pH 7, dosis de adsorbente de 0,6 g/L de perlas de quitosano y 66,4 min de tiempo de

contacto. El modelo de isoterma de Langmuir describió satisfactoriamente la isoterma de adsorción y se ajustó al modelo cinético de pseudo-segundo orden. El adsorbente se especificó de forma característica mediante FTIR y SEM con análisis EDAX. El estudio de desorción mostró que el 77,2% del Hg adsorbido podía recuperarse eficazmente mediante EDTA. El programa de tratamiento general demuestra una eliminación neta de 96,3 de amoníaco, 91,8% de color, 90% de DQO, 95,8% de DBO₅ y mercurio (11).

En el artículo científico titulado: «Tratamiento de lixiviados de vertederos estabilizados mediante el proceso combinado de coagulación / floculación y adsorción de carbón activado en polvo» se realizó el proceso de coagulación y floculación en combinación con adsorción utilizando carbón activado en polvo (PAC), como un tratamiento eficaz para lixiviados del vertedero estabilizado. Para los tratamientos de coagulación y floculación se emplean coagulantes que incluyan sulfato poliférrico (PFS), sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloruro de polialuminio (PACl) y cloruro férrico (FeCl_3). El pH óptimo de trabajo fue de 5,5 a 6,0 para los coagulantes utilizados, por lo que se comprobó el mecanismo de reacción del proceso de coagulación y floculación, que neutraliza cargas, se tuvo 0,6g Al^{3+}/L para $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 0,3 g Fe^{3+}/L para PFS y 0,6g Fe^{3+}/L para FeCl_3 . Entre los coagulantes probados, PFS mostró la mayor remoción de DQO, SS, turbidez en 70 %. 93 % y 97 % respectivamente, para la reducción de toxicidad se tuvo un 74 % y se observó una disminución de volumen del lodo en 32 mL. Las pruebas en condiciones de 10g/L de PAC y 90 min de tiempo de contacto se obtuvo una eficiencia de 86 % para DQO, 78 % para toxicidad, 97,6 % para Pb y 99,7 % para Fe (12).

En el artículo científico titulado: «Caracterización de lixiviados de vertedero por EEM-PARAFAC-SOM durante el tratamiento físico-químico por coagulación-floculación, adsorción de carbón activado e intercambio iónico» estudiaron la combinación de la excitación - emisión de fluorescencia (EEM), análisis de factores paralelos (PARAFAC) y mapas autoorganizados (SOM) se muestra como una herramienta poderosa para el seguimiento de remoción de materia orgánica disuelta (DOM) del lixiviado de vertederos mediante métodos físicos-tratamiento químico consistente en coagulación, carbón activado granular (GAC) e intercambio iónico. Usando PARAFAC, se identificaron tres componentes DOM: C1 que representa compuestos húmicos/fúlvicos; C2 representa compuestos de tipo triptófano; y C3 representa compuestos de tipo húmico. La coagulación con cloruro férrico (FeCl_3) a una dosis de 7 g/L redujo la fluorescencia máxima de C1, C2 y C3 en un 52 %, 17 % y 15 % respectivamente, mientras que el cloruro de polialuminio (PACl) redujo C1 solo en un 7 % a la misma dosis. La remoción de DOM durante el

tratamiento de intercambio iónico y GAC del lixiviado crudo y coagulado exhibió diferentes perfiles. A menos de 2 volúmenes de lecho (BV) de tratamiento, los componentes húmicos C1 y C3 se eliminaron rápidamente, mientras que en $BV \geq 2$, se eliminó preferentemente el componente C2 de tipo triptófano. En general, el lixiviado tratado con coagulación +10,6 BV GAC +10,6 BV intercambio iónico mostró la mayor remoción de C1 (39 % -FeCl₃, 8 % -PACl), C2 (74 % - FeCl₃, 68 % - PACl) y no C3 eliminación; mientras que solo se observó 52% de C2 y no se observó remoción de C1 y C3 en el lixiviado crudo tratado con intercambio iónico 10,6 BV GAC + 10,6 BV solamente. El análisis de componentes derivados de PARAFAC con MOS reveló que la coagulación, el GAC y el intercambio iónico pueden tratar el lixiviado al menos un 50 % más que solo el GAC y el intercambio iónico antes de que la composición de fluorescencia del lixiviado permanezca sin cambios (13).

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Vertederos

Los vertederos están en la parte inferior de la jerarquía de gestión sostenible de residuos, las tecnologías de eliminación final de residuos, como los rellenos sanitarios y la incineración, son cruciales, aunque mucha cantidad de residuos se puede reducir mediante la reutilización y el reciclado. El vertedero es ampliamente reconocido como un sistema adecuado de eliminación de desechos que supera a la incineración, porque este último solo reduce el volumen de desechos, pero aún genera residuos y contaminantes gaseosos que requieren una eliminación final. La solución inherentemente prevalente para los países en desarrollo son los vertederos y se prefiere para abordar los problemas abrumadores de residuos sólidos urbanos debido a su protocolo operativo más simple y su rentabilidad (14).

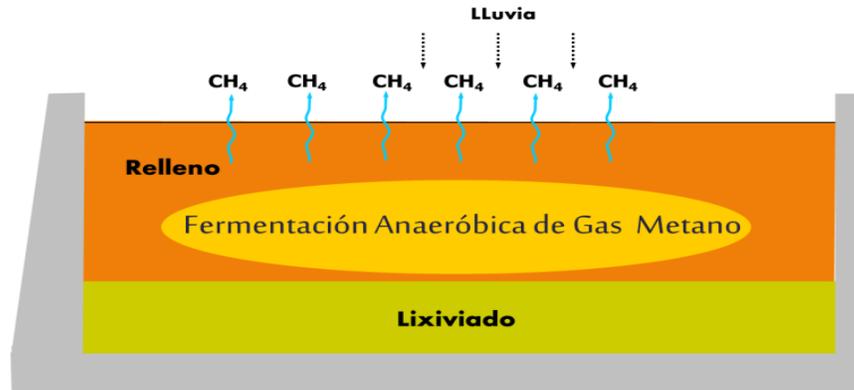
a) Clasificación basada en el proceso de descomposición

En este sistema de clasificación, se determina el entorno de degradación microbiana mientras que se evalúan sus medidas de aireación y recolección de lixiviados para una mayor distinción. La Tabla 2 describe las características de los tipos de vertederos (14).

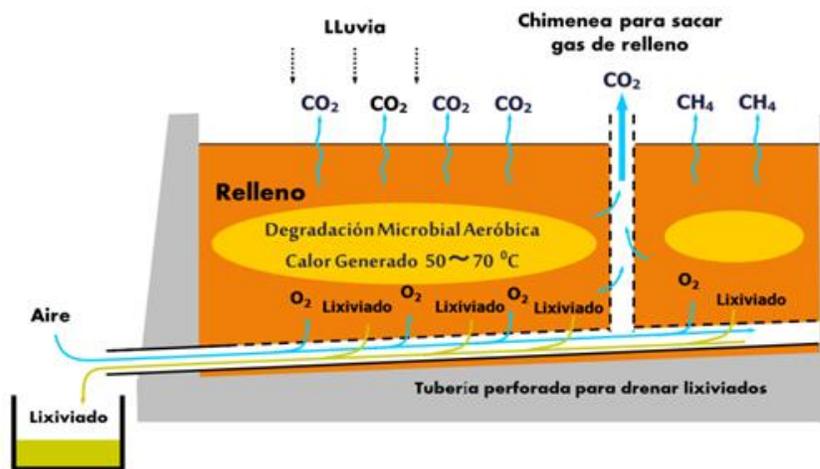
Tabla 2. Características de los tipos de vertederos

Tipo de vertedero	Características
Vertedero anaeróbico	Los desechos sólidos se llenan en el área excavada del campo plano o valle. Los residuos se mezclan con agua en condición anaeróbica
Relleno sanitario anaeróbico cubierto diariamente	Los residuos sólidos se cubren en forma de sándwich. La condición de los residuos sólidos es la misma que la del vertedero anaeróbico
Relleno sanitario anaeróbico mejorado	El proceso de colecta para lixiviados está instalado en el lecho del vertedero. Otros son iguales a relleno sanitario anaeróbico. Las condiciones siguen siendo anaeróbicas pero el contenido de humedad es mucho
Relleno sanitario semiaeróbico con ventilación natural e instalaciones de recogida de lixiviados	El ducto de recolección de lixiviados es más grande que el del relleno sanitario mejorado. La abertura del conducto está rodeada de aire y el conducto está cubierto con pequeñas piedras trituradas. El contenido de humedad en los residuos sólidos es bajo. Se suministra oxígeno a los desechos sólidos desde el ducto de recogida de lixiviados
Vertedero aeróbico con aireación forzada	La tubería de recolección de lixiviados y las tuberías de suministro de aire están conectadas. El aire se ve obligado a ingresar a los desechos sólidos, lo que hace que se vuelva más aeróbico que el vertedero semiaeróbico.

Tomada de Kamaruddin (14)



*Figura 1. Relleno sanitario anaeróbico cubierto (convencional)
Tomada de Instituto Nacional de Ecología (15)*



*Figura 2: Esquema de relleno sanitario semiaeróbico (método fuknoka).
Tomada de Instituto Nacional de Ecología (15)*

b) Clasificación basada en el sistema de relleno sanitario

Es un proceso de eliminación de desechos diseñado que enfatiza aspectos técnicos como la ubicación, el diseño, la operación y los impactos ambientales a largo plazo. A diferencia de los vertederos sanitarios, los basureros abiertos no están diseñados para lidiar con lixiviados, gases de vertederos y manejo de olores. Por lo tanto, el sistema de relleno sanitario típico excluye los vertederos abiertos sin ingeniería y divide los rellenos sanitarios en cuatro niveles diferentes (niveles 1 a 4) según su estado operativo (14).

- Nivel 0: Vertedero a cielo abierto
- Nivel 1: Vuelco controlado
- Nivel 2: Relleno sanitario con terraplén y tierra de cobertura diaria
- Nivel 3: Relleno sanitario con recirculación de lixiviados
- Nivel 4: Relleno sanitario con tratamiento de lixiviados

Tabla 3. Los aspectos técnicos de cada nivel

Instalación/operación	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Cerco perimetral		X	X	X	X
Instalación de drenaje		X	X	X	X
Cobertura diaria de suelo		X	X	X	X
Terraplén de cierre			X	X	X
Zona de trabajo separada			X	X	X
Prohibición de recolección			X	X	X
Protección del medio ambiente			X	X	X
Ventilación de gases			X	X	X
Recogida de lixiviados				X	X
Recirculación de lixiviados				X	X
Monitoreo de lixiviados					X
Tratamiento de lixiviados					X

Tomada de Kamaruddin (14)

c) Clasificación basada en el tipo de residuo

El sistema de clasificación bajo la regulación alemana de eliminación de residuos es más detallado con cinco clases de la siguiente manera: (14)

- ✓ Clase 0: Residuos inertes
- ✓ Clase I: Residuos municipales bastante inertes
- ✓ Clase II: Residuos municipales
- ✓ Clase III: Residuos peligrosos
- ✓ Clase IV: Sitio de disposición subterráneo (residuos inertes y residuos peligrosos/nucleares en cavernas de sal)

1.2.2. Lixiviados de vertederos

Los lixiviados de los vertederos son aguas residuales tóxicas y nocivas, que siempre contienen una gran cantidad de materias orgánicas refractarias (ROM), como sustancias húmicas (HS) que incluyen ácido húmico (HA) y ácido fúlvico (FA) (9).

Los lixiviados de los vertederos tienen un olor fétido y de color negro o marrón. Se puede caracterizar a través de parámetros fisicoquímicos y biológicos como pH, DBO, DQO, nitrógeno amoniacal, nitrógeno Kjeldahl total (TKN), sólidos suspendidos volátiles (VSS), sólidos

suspendidos (SS), y etc. Estas propiedades pueden variar ampliamente con el tiempo a medida que el lixiviado se somete a la degradación de los desechos orgánicos. Dado que el lixiviado tiene una composición compleja, la calidad del agua del lixiviado a menudo produce niveles más altos de contaminantes y toxicidad biológica. Se han hecho muchos estudios sobre los lixiviados de los vertederos por su impacto ambiental. Estos estudios se centran en la caracterización y método de tratamiento de los lixiviados antes de liberarlos al medio ambiente. Otra característica de los lixiviados es la variación en la calidad y cantidad de aguas residuales de diferentes ubicaciones y se ha demostrado que esto tiene un impacto significativo en las características de los lixiviados (3).

Además, la composición del lixiviado también depende de la edad del lixiviado del vertedero. La relación entre la edad de los lixiviados de los botaderos y sus características son presentadas en el siguiente recuadro, en la que se demostró que la edad de los lixiviados de vertedero se puede dividir en tres; lixiviado de edad temprana (menos de cinco años), mediano plazo (5 años-10 años) y estabilizado que se identifica en el antiguo vertedero (más de 10 años) (3).

Tabla 4. Características de los lixiviados en diferentes periodos

Tipo de lixiviado	Temprano	Mediano plazo	Antiguo
Edad del vertedero (años)	<5	5-10	>10
pH	6,5-7,5 (7,0)	7,0-8,0 (7,5)	7,5-8,5 (8)
DQO (g/L)	10-30 (15)	3-10 (5)	<3 (2)
DBO/DQO	0,5-0,7 (0,6)	0,3-0,5 (0,4)	<0,3 (0,2)
NH ⁴⁺ (mg/L)	500-1000 (700)	800-2000 (1000)	1000-3000 (2000)
DQO/NH ⁴⁺	5-10 (6)	3-4 (3)	3-4 (3) <3 (1,5)

Tomada de Haslina et al. (3)

a) Demanda química de oxígeno (DQO)

Es uno de los índices esenciales de los lixiviados de los vertederos. Es una medida para calcular la intensidad de los contaminantes de materia orgánica dentro de la muestra de agua o aguas residuales. La DQO es un parámetro notable de la condición del agua ya que, al igual que la DBO, puede evaluar el impacto de los efluentes de aguas residuales que se descargarán en el medio ambiente receptor (cuerpos de agua). Las pruebas de DQO se suelen usar como alternativa a la DBO por el tiempo de análisis corto. El DQO disminuye con la edad del vertedero. Un nivel alto de DQO indica una gran cantidad de materia orgánica oxidada en la muestra, lo que reducirá el

nivel de oxígeno disuelto (OD). Una disminución del OD puede causar condiciones anaeróbicas, lo que daña la vida acuática. Por lo tanto, el tratamiento de lixiviados debe llevarse a cabo para reducir el peligro de contaminar las aguas presentes en el medio ambiente (3).

b) Demanda biológica de oxígeno (DBO)

El agua u otro líquido que llega a los vertederos formando lixiviados contiene muchos compuestos orgánicos e inorgánicos. La DBO o demanda bioquímica de oxígeno es una característica que indica el número de oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos para descomponer los compuestos orgánicos en circunstancias aerobias. Es práctico como indicador para estimar cantidad de contaminación orgánica en una muestra de agua o desechos. Microorganismos como bacterias y hongos se alimentan de él a medida que la materia orgánica se descompone y se oxida gradualmente en combinación con el oxígeno. Por tanto, la DBO se calcula cuantificando el oxígeno disuelto (OD) utilizado en el proceso de oxidación bioquímica por parte de estos microorganismos (3).

En los lixiviados de vertederos jóvenes, las actividades aeróbicas dominan el ciclo y generan una mayor cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV), por lo que contribuyen a un alto nivel de materia orgánica. Los lixiviados con un alto nivel de materia orgánica también tendrán niveles altos de DBO. Por otro lado, el oxígeno disuelto en el agua disminuye a medida que aumenta la DBO ya que las bacterias en el agua consumen el oxígeno disuelto cuando descomponen la materia orgánica (3).

c) Metales pesados

Además de las altas acumulaciones de sustancias orgánicas y $\text{NH}_3\text{-N}$, los metales pesados también son los contaminantes más tóxicos en los lixiviados de vertederos. Las acumulaciones de metales en lixiviados jóvenes son más elevadas que las de lixiviados viejo. Las concentraciones típicas de metales en los lixiviados de vertederos son las siguientes en mg/L: Cd (0,0001 – 0,13), Cr (0,0005 – 0,6), Fe (0,08 – 2100), Mn (0,01 – 65), Ni (0,03 – 3,2), Pb (0,0005 – 1,5) y Zn (0,00005 – 120) (3).

d) Nitrógeno amoniacal

Los lixiviados de los vertederos contienen muchos contaminantes, incluido el nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), una preocupación particular por su alta concentración en los lixiviados. Una alta concentración de nitrógeno amoniacal en el vertedero contribuirá a una condición tóxica en los

lixiviados. Por lo tanto, dificulta la nitrificación de los microorganismos y el tratamiento biológico único que provoca una baja eliminación de amoníaco. Conforme envejece el lixiviado del vertedero, la concentración de amoníaco aumenta, mientras que la fracción biodegradable disminuye por el proceso de estabilización. Una alta concentración de amoníaco causa problemas ambientales y de salud y afecta la eficiencia del tratamiento de lixiviados. Por lo tanto, antes del proceso de tratamiento aguas abajo, se requiere un pretratamiento para eliminar el amoníaco con el objetivo de prevenir contaminación en cuerpos de agua (3).

1.2.2.1. Componentes por lixiviados

Los rellenos sanitarios son fuentes de contaminación primaria de los suelos y acuíferos son fuentes de contaminación (fuentes secundarias), además, los lixiviados resultantes de los contaminantes pueden ser transportados por infiltración y escorrentía para contaminar otros acuíferos, arroyos y aguas superficiales, que están expuestos puntos para poblaciones rurales, poblaciones urbanas, comunidades acuáticas, pescadores y bañistas, personas que se preocupan principalmente por el problema de los lixiviados (16).

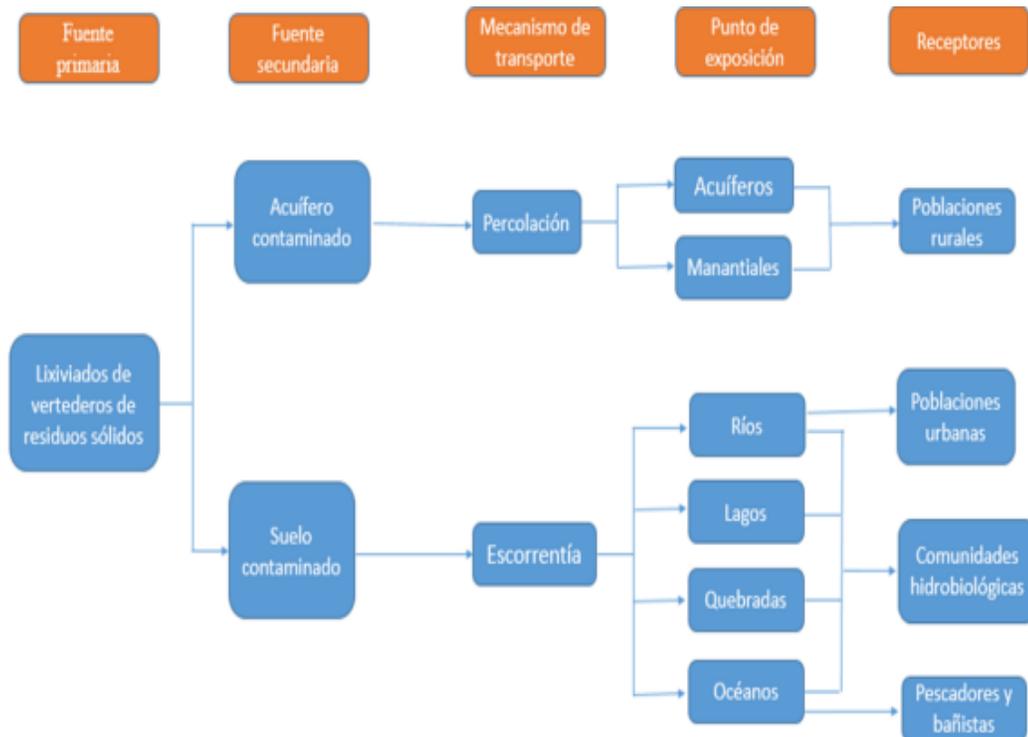


Figura 3: Mecanismos de contaminación por los lixiviados
Tomada de OEFA (16)

1.2.3. Alternativas de tratamiento para lixiviados

Los estudios que abordan el desarrollo de tecnologías viables para abordar la purificación de lixiviados son significativos para garantizar el desarrollo sostenible (14).

Sin embargo, debido a la variabilidad en las características de los lixiviados, el diseño adecuado de los procesos para tratar los lixiviados puede ser complicado y se debe a su composición y características. Con los años se ha desarrollado y evolucionado muchas tecnologías de tratamiento de lixiviados. Se pueden organizar en tres grandes grupos, a saber, la canalización de lixiviados, los tratamientos biológicos y los tratamientos fisicoquímicos (14).

Los tratamientos biológicos son eficaces para eliminar los compuestos orgánicos, mientras que los métodos fisicoquímicos se ocupan de los compuestos recalcitrantes (14).

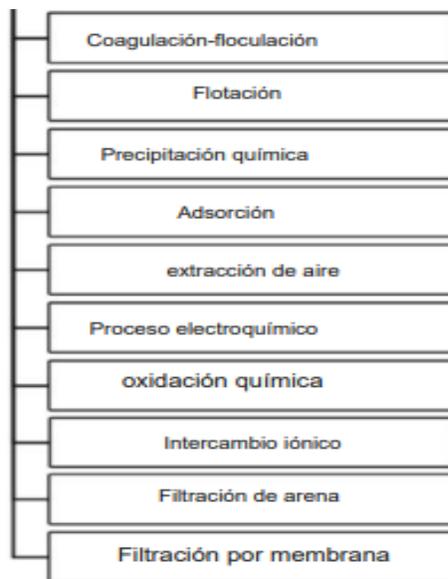


Figura 4: Métodos de tratamiento físico/químico de lixiviados de rellenos sanitario
Tomada de OEFA (16)

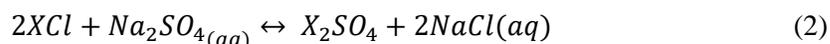
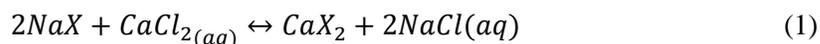
1.2.3.1. Tratamiento de intercambio iónico

El intercambio de iones es un proceso reversible y puede lograrse con resinas de intercambio de iones o materiales poliméricos sintéticos. Es una técnica muy conocida utilizada en la limpieza de aguas residuales. Sin embargo, hay poca investigación sobre el rendimiento de eliminación de lixiviados de vertederos utilizando la técnica. El intercambio iónico informado no es un método bien estudiado en la remoción de sustancias orgánicas no biodegradables de lixiviados de botaderos y, es por ello por lo que se usa como un paso de pulido para la eliminación de NH_4 , NO_3 y metales

de los lixiviados. Hay algunos estudios recientes que investigan el tratamiento de intercambio iónico de lixiviados de vertederos (17).

a) Intercambio iónico

Es un proceso de intercambio reversible que se da entre iones de fase sólida y líquida. La fase sólida se denomina intercambiador de iones o resina de intercambio iónico y, al ser insoluble en la fase líquida, transporta iones intercambiables y no sufre cambios estructurales sustanciales durante la reacción. Dependiendo de los iones intercambiables, los intercambiadores de iones se pueden dividir en intercambiadores de cationes y de aniones. El intercambio catiónico y aniónico simultáneo también se puede realizar usando ciertos tipos de materiales. Las reacciones típicas de intercambio de cationes y aniones se muestran en la ecuación 1 y 2, respectivamente, donde X es la unidad estructural del intercambiador de iones (18).



La reacción 1 se atribuye al ablandamiento del agua durante el proceso típico de ablandamiento del agua, se bombea agua dura a través de una columna de intercambio iónico (NaX) y cationes de calcio. (por ejemplo) se eliminan del agua y se reemplazan por una cantidad equivalente de sodio. Cuando se reemplazan todos los iones de sodio en el intercambiador de cationes, se considera que está "agotado" y la resina de intercambio de iones se puede "regenerar" fácilmente usando una solución de sal de sodio. Las propiedades únicas de los intercambiadores de iones se deben a su estructura, que, según la definición común, es un marco que lleva un exceso de carga positivo o negativo, compensado por iones opuestos conocidos como contra iones. Como los contra iones se mueven libremente, pueden reemplazarse fácilmente por otros con el mismo signo. El contenido de contra iones en el intercambiador de iones se define como la capacidad de intercambio de iones. Otra característica importante de los intercambiadores de iones es la selectividad (la capacidad del intercambiador de iones para distinguir entre diferentes especies de contra iones). El intercambiador de iones ideal debe cumplir los siguientes requisitos (18).

- Hidrofilia
- Estabilidad química y física
- Velocidad relativamente alta de intercambio iónico
- Suficiente capacidad de intercambio iónico
- Tamaño de partícula y área de superficie efectiva adecuada para la aplicación
- Factibilidad económica

b) Tipos de resinas de intercambio iónico

Una amplia gama de materiales naturales y sintéticos poseen propiedades de intercambio iónico. Para tratar el agua residual e industrial, se usan sobre todo resinas sintéticas. Se pueden distinguir diferentes clases de resinas (18).

- Resinas catiónicas de ácido fuerte
- Resinas catiónicas de ácido débil
- Resinas aniónicas de base fuerte
- Resinas aniónicas de base débil
- Resinas quelantes selectivas de metales

El comportamiento químico de las resinas catiónicas de ácido fuerte se parece al de un ácido fuerte, lo que explica el origen de su nombre. La matriz química de este tipo de resinas está formada por grupos funcionales estireno, divinilbenceno (DVB) y ácido sulfónico. El comportamiento de la resina catiónica de ácido débil es similar al de los ácidos orgánicos débiles y se disocia débilmente. El grupo funcional es un ácido carboxílico. Las resinas aniónicas de base fuerte se pueden dividir en dos tipos principales. El primer tipo de resinas contiene un grupo funcional de tres grupos metilo y un grupo etanol reemplaza a uno de los grupos metilo en el segundo tipo de resinas. Los intercambiadores de base fuerte del primer tipo son más estables mientras que los intercambiadores del segundo tipo tienen mayor capacidad y eficiencia de regeneración (18).

Los intercambiadores de aniones de base débil normalmente se basan en matrices de fenol-formaldehído o epoxi con un grupo funcional de aminas secundarias o terciarias. Las resinas quelantes selectivas de metales pesados son similares a las resinas catiónicas de ácido débil y tienen una alta selectividad por los metales. El grupo funcional puede ser un compuesto de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), entre otros (18).

1.2.4. Definición de términos básicos

- Demanda química de oxígeno: es una cuantificación del oxígeno consumido en el proceso de desintegración de la sustancia orgánica y la oxidación de compuestos químicos inorgánicos como el NH_3 amoníaco y el nitrito (3).
- Turbidez: es la medición del grado de materiales suspendidos en agua. Es una medida del grado en que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.

- Lixiviados: cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que rezume o esté contenido en un vertedero (1).
- Vertedero: sistemas que almacenan residuos sólidos orgánicos e inorgánicos
- Intercambio iónico: es un proceso de intercambio reversible que se da entre iones de fase sólida y líquida. los iones intercambiables se unen a los grupos funcionales iónicos de las resinas (14).
- Resinas: pueden ser materiales poliméricos inorgánicos o naturales (14).
- Resina aniónica: material que tiene la capacidad de eliminar aniones del agua
- Reducción: se produce por la adsorción de la interacción entre la resina y el contaminante la cual se realiza en base a sus grupos funcionales.
- Residuos sólidos: son subproductos del consumo, actividades humanas e industriales los cuales pueden ser orgánicos e inorgánicos (16).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

La investigación se llevó a cabo con una metodología cuantitativa ya que se realizó mediciones y recopiló resultados que fueron utilizados en el análisis estadísticos y para analizar las reacciones y respuestas individuales de forma amplia (19).

3.1.1.1. Método general o teórico de la investigación

Se usó el método hipotético–deductivo para conseguir así la información que se necesitó para el procesamiento de la información, ya que se analizó y comparó la eficiencia de las resinas de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica y las propiedades físicas del lixiviado como su color y turbidez. Los resultados se sintetizaron en conclusiones que mostraron los logros y también fueron comparados con las hipótesis (19).

3.1.1.2. Método específico de la investigación

Se empleó la observación directa como método específico para investigación, porque el contacto es directo con el estudio, para conocer el escenario (23). Se realizó la observación directa con la zona impactada provocada por las pozas de lixiviados, para identificar riesgos que se puedan generar en el entorno natural, humano y socioeconómico.

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de diseño fue aplicativo ya que se plantea resolver algún tipo de problema donde el desarrollo de estadístico busca evaluar el logro de la intervención del proceso, resultado e impacto. Para ello se evalúa los factores idóneos y así obtener una mejora con respecto a ellos (19).

3.1.3. Nivel de la investigación

Es de nivel experimental, ya que se manipularon variables en diferentes condiciones, simulando un proceso en concreto y observando la forma en que estas variables independientes y dependientes determinan un efecto (19).

3.2. Diseño de la investigación

Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con un arreglo factorial 2^3 ya que se toman medidas al azar según los niveles de tratamiento y bloques, para estudiar el efecto del tiempo de contacto, la dosis de resina y la velocidad de agitación sobre la reducción de DQO, color y turbidez de las que se realizarán 2 réplicas para determinar su variabilidad.

Tabla 5. Diseños de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial 2^3

		Tiempo de contacto (min)		Velocidad de agitación (rpm)	
		30	90	50	150
Masa de resina (g)	0,5	Cf	Cf	Cf	Cf
	1,5	Cf	Cf	Cf	Cf

Tabla 6. Cuadro de resultados por unidad experimental

Masa de resina (g)	Tiempo de contacto (min)	Velocidad de agitación (rpm)	Replica I			Replica II		
			color	turbidez	DQO	color	turbidez	DQO
0,5	30	50	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D
0,5	30	150	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D
0,5	90	50	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D
0,5	90	150	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D
1,5	30	50	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D
1,5	30	150	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D
1,5	90	50	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D
1,5	90	150	Cf_C	Cf_t	Cf_D	Cf_C	Cf_t	Cf_D

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo formada por los lixiviados generados en el vertedero de Chupaca a partir de los residuos orgánicos e inorgánicos que ingresan diariamente.

3.3.2. Muestra

Se realizó con un muestreo simple con la ayuda del brazo muestreador en el punto de descarga del vertedero considerando los criterios de accesibilidad y representatividad.

La muestra se halló aplicando la ecuación mostrada a continuación para una población infinita ya que tomó la muestra del tanque de lixiviado con volumen cambiante:

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}}$$
$$n_o = \frac{Z_\alpha^2 \sigma^2}{E^2} = \frac{Z_\alpha^2 PQ}{E^2}$$

Dónde:

n: Tamaño de muestras

n_o : Tamaño de muestra aproximado

N: Tamaño de la población bajo estudio

Z_α : Valores correspondientes al valor de significancia

E: Error de la tolerancia de investigación

P: Probabilidad de ocurrencia del fenómeno

Q: 1-P

Tabla 7. Valores determinados para el tamaño de muestra

P	Q	E	Z_α	N
0,8	0,2	0,05	1,96	Infinito

Los valores de P, Q, E y Z_α serán los que convencionalmente se emplean en investigación a un nivel de confianza del 95%.

$$n_o = \frac{1,96^2 \times 0,8 \times 0,2}{0,05^2} = 245,86$$

$$n = \frac{245,86}{1 + \frac{1067}{\infty}} = 245,86$$
$$n \cong 250 \text{ mL}$$

El volumen requerido para cada unidad experimental en el desarrollo de la investigación fue de 250 mL.

El volumen total para las 16 pruebas experimentales es de 4000 mL y 1000 mL para la caracterización de la muestra.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Muestreo de lixiviados.

- Observación in situ.
- Desarrollo de corridas experimentales.
- Pruebas de laboratorio

3.4.2. Instrumentos de la recolección de datos

Para la presente investigación, se usó los siguientes instrumentos:

- Hojas de campo
- Informe de ensayo
- Síntesis de trabajos de información

3.5. Metodología de la experimentación

3.5.1. Etapa de precampo

Se preparó los materiales de trabajo para el muestreo:

- Etiquetas para las muestras
- El registro de datos de campo
- La cadena de custodia

Se verificó que los equipos para la toma de parámetros de campo deben estar debidamente calibrados y sean los requeridos según el protocolo (20).

- GPS
- Multiparámetro
- Cámara fotográfica
- Brazo muestreador

Se contó con los equipos de protección personal establecidos según el protocolo de muestreo como:

- Botas de jebe
- Lentes
- Impermeables
- Guantes

3.5.2. Ubicación geográfica

Los lixiviados se obtuvieron del vertedero de Chupaca ubicado en el barrio Común, las coordenadas UTM son de Este:474373 y Norte:8665692.

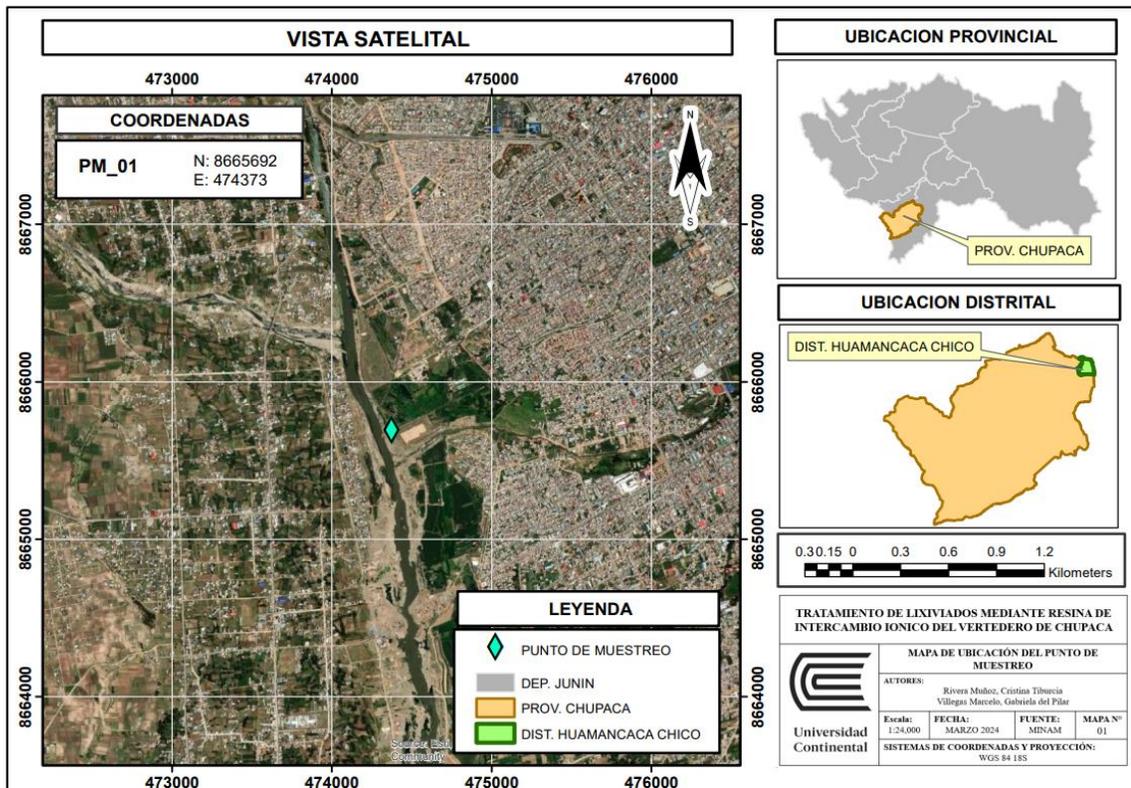


Figura 5. Mapa de ubicación del vertedero de Chupaca

3.5.3. Etapa de campo

Para la toma de muestra se siguió el protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales (20) que menciona lo siguiente:

- Se recolecto el lixiviado en frascos de HDPE, los cuales se enjuagaron como mínimo dos veces con los lixiviados para evitar contaminación cruzada.
- El contenido en el frasco se llenó y dejó el 1% de la capacidad del frasco vacío
- Se midió los parámetros de campo de pH y temperatura
- Se preservó la muestra en oscuridad y se refrigeró a 4°C
- Los frascos fueron transportados en cooler de forma vertical para que no se derramen y no estén expuestos a la luz.



Figura 6. Recolección de muestra

3.5.4. Desarrollo de la metodología

a) Caracterización inicial

Caracterización inicial de los parámetros físicos de color y turbidez como también el parámetro fisicoquímico de demanda química de oxígeno.

- La turbiedad se analizó mediante el método de SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130, método nefelométrico
- El color mediante el método de SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 B, 23rd Ed.2017, método de comparación visual
- La demanda química de oxígeno mediante el método SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220D, 23rd Ed.2017. método colorimétrico de reflujó cerrado.



Figura 7. Medición de la turbidez



Figura 8. Preparación de viales para la medida de DQO



Figura 9. Medición del color

b) Tratamiento de las resinas

Se siguió lo mencionado en el antecedente de Haouki, Z y compañeros (2021, pp.5) (10)

- Se utilizó la resina Lewatit Mono Plus M 600 el cual es una resina intercambiadora de aniones, geliforme, fuertemente básica del tipo II
- Los intercambiadores de aniones de base fuerte son principalmente efectivos para la eliminación de muchas sustancias orgánicas sintéticas y naturales que contienen ácidos débiles. (21)
- Las resinas fueron lavadas con abundante agua destilada durante 5 min para eliminar la suciedad adherida.
- Después del lavado, se filtró con la ayuda de un embudo y con papel filtro Whatman N° 41.
- Luego se dejó en una fuente a temperatura ambiente

c) Tratamiento del lixiviado del vertedero

- Después de obtenida la muestra se fijó el pH del lixiviado a 3,5 regulándolo con ácido clorhídrico 0,1 M e hidróxido de sodio 0,1 M
- Para la obtención de la solución de ácido clorhídrico a 0,1 M se utilizó 0,82 mL al 37% de ácido clorhídrico y se diluyó en 100 mL de agua destilada y se calculó de la siguiente manera:

El volumen necesario del ácido al 37 % para obtener una solución a 0,1M se define teniendo en cuenta los siguientes datos:

$C=0,1$ M, Volumen= 100 mL, $PM=36,5$ g/mol, densidad del HCl al 37% es de 1,19 g/mL

Se sabe que de las ecuaciones

$$C = \frac{\frac{masa}{PM}}{V}$$

Se sabe que

$$masa = C \times V \times PM$$

Se sabe que

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Reemplazando ecuaciones

$$V = \frac{C \times V \times PM}{\rho}$$

Reemplazando los datos

$$V = \frac{0,1 \times 0,1 \times 36,5}{1,19}$$

$$V = 0,82 \text{ mL}$$

- Para la preparación de hidróxido de sodio a 0,1 M se pesó 0,4 g y se diluyó en 100 mL de agua destilada

La cantidad necesaria para preparar una solución de hidróxido de sodio a 0,1 M en un volumen de 100 mL con un peso molecular de 40 g/mol.

$$C = \frac{\text{masa}}{\frac{PM}{V}}$$

$$\text{masa} = C \times V \times PM$$

Reemplazando los datos

$$\text{masa} = 0.1 \times 0,1 \times 40$$

$$\text{masa} = 0,4 \text{ g}$$

Adaptado (21)

- Se realizó el tratamiento con diferentes dosis de resina catiónica (0,5g y 1,5 g) agitando 250 mL de la muestra de lixiviado a 50 rpm, y 150 rpm en una prueba de jarras.
- Se realizó el tratamiento para 30 min y 90 min de tiempo de contacto.
- Después del tratamiento el sobrenadante se filtró con papel filtro de tamaño de poro de 20 μm para poder realizar los análisis de DQO (Demanda Química de Oxígeno), color y turbidez.



Figura 10. Tratamiento del lixiviado en la prueba de jarras



Figura 11. Muestras de lixiviados

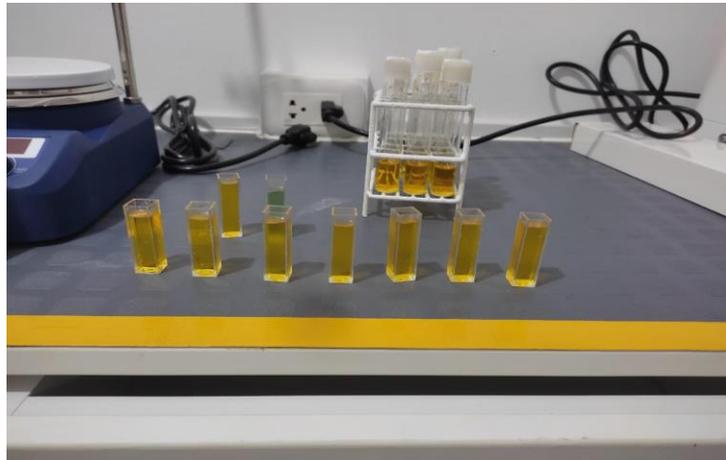


Figura 12. Lectura de DQO

d) Análisis que realizar:

- El análisis de DQO se evaluó mediante el refluo cerrado- método colorimétrico.
- La turbidez mediante el uso de un turbidímetro portátil EZDO TUB-430.
- El color mediante un colorímetro de color de agua HI 727.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Caracterización de lixiviado del vertedero de Chupaca

La caracterización inicial del lixiviado del vertedero de Chupaca se realizó en los parámetros de conductividad, pH, color, STD, turbiedad y DQO, dando como resultados:

Tabla 8. Caracterización de lixiviado del vertedero de Chupaca

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	Unidades de pH	8,90
Conductividad	uS/cm	18500
Sólidos disueltos totales	mg/L	9500
Turbidez	NTU	287,50
Color	PCU	2000
DQO	mg/L	6867,83

De estos parámetros, se puede observar que se encuentran en concentraciones altas debido a lo mencionado por Haslina y compañero en el año 2021: “La relación entre la edad de los lixiviados de los botaderos y sus características es significativa para poder determinar la edad de dicho botadero y poder aplicar métodos de tratamiento para su liberación al medio ambiente”. Por lo que, tomando en consideración la tabla 4, se considera que los lixiviados del vertedero de Chupaca son de mediano plazo (5 años-10 años) dado a que su pH es mayor a 8,5 y la concentración de DQO está entre 3000 mg/L y 10000 mg/L.

Además de ello, dichos valores de pH y DQO sobrepasan a lo mencionado en el Decreto Supremo N°-2009–MINAM: Límites Máximos Permisibles (LMP) de Efluentes de Infraestructuras de Residuos Sólidos, donde se menciona que el valor máximo de pH debe de ser de 6,5 a 8,5 y el DQO debe de ser 120 mg/L.

4.1.2. Reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados utilizando resina de intercambio iónico

Para reducir el contenido materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca usando resina de intercambio iónico, se realizaron 3 variables masa de resina, tiempo de contacto y velocidad de agitación en 2 niveles diferentes alto y bajo, dando resultados en la tabla 8.

Tabla 9. Reducción de color, turbidez y DQO en lixiviados

N°	Masa de resina (g)	Tiempo de contacto (min)	Velocidad de agitación (rpm)	Replica I			Replica II		
				Color (PCU)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Color (PCU)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)
T1	0,5	30	50	1250	97,2	849,89	1243	99,6	837,74
T2	0,5	30	150	1056	95,8	749,84	1064	94,9	737,18
T3	0,5	90	50	500	91,1	688,86	512	93,4	680,48
T4	0,5	90	150	400	90,9	564,83	395	94,2	560,99
T5	1,5	30	50	250	94,3	489,59	261	96,5	476,72
T6	1,5	30	150	1300	97,9	431,76	1292	95,7	425,55
T7	1,5	90	50	100	88,9	385,15	98	90,2	378,71
T8	1,5	90	150	900	95,2	401,76	904	97,6	397,26

En la tabla 8, se puede observar los resultados obtenidos después del tratamiento de los lixiviados, donde se muestra que la mayor reducción de color en las réplicas I y II fueron de 100 PCU y 98 PCU respectivamente, mientras que en el caso de la turbidez en ambas replicas fueron de 88,9 NTU y 90,2 NTU, así mismo en el caso del DQO en ambas replicas la máxima reducción fue de 385 mg/L y 378,71 mg/L, todos estos resultados se obtuvieron a las mismas condiciones de trabajo que fueron masa de resina de 1,5 gramos, tiempo de contacto de 90 min y velocidad de agitación de 50 rpm. Sin embargo, a pesar de que los mejores resultados removieron la mayor parte de la cantidad de materia orgánica no se cumple con la normativa presentada en el Decreto Supremo N°- 2009 – MINAM, pero la diferencia que existe entre los datos obtenidos en nuestro estudio con

los LMP solo se diferencia en 250 mg/L los cuales podrían ser solucionados con un pretratamiento simple de filtración el cual apoyaría a llegar al valor indicado por la normativa peruana.

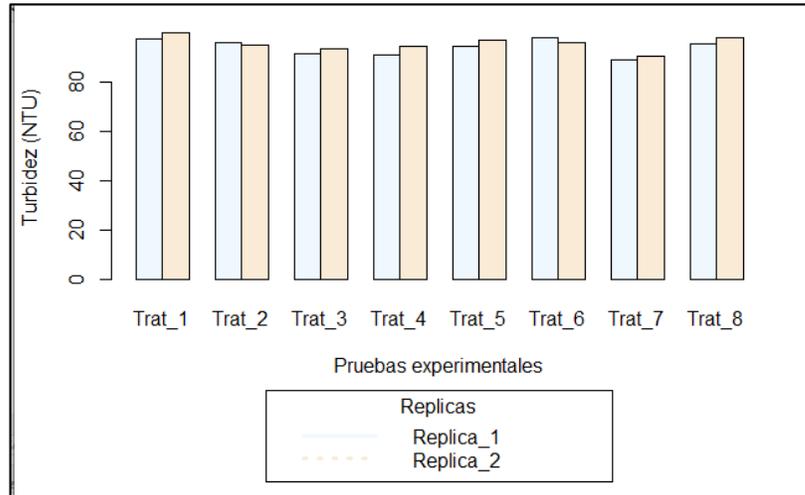


Figura 13. Reducción de turbidez replicas

En la figura 13 se observa el gráfico de barras de los resultados obtenidos y sus réplicas en la reducción de turbidez, a partir de este gráfico podemos decir que el tratamiento 7 fue el que mejor resultados tuvo con 88,9 NTU y 90,2 NTU, sin embargo la diferencia con los otros tratamientos no se nota tan significativa porque en la mayoría de los tratamientos se redujeron de turbidez hasta menores a 100 NTU, pero mayores a 90 NTU.

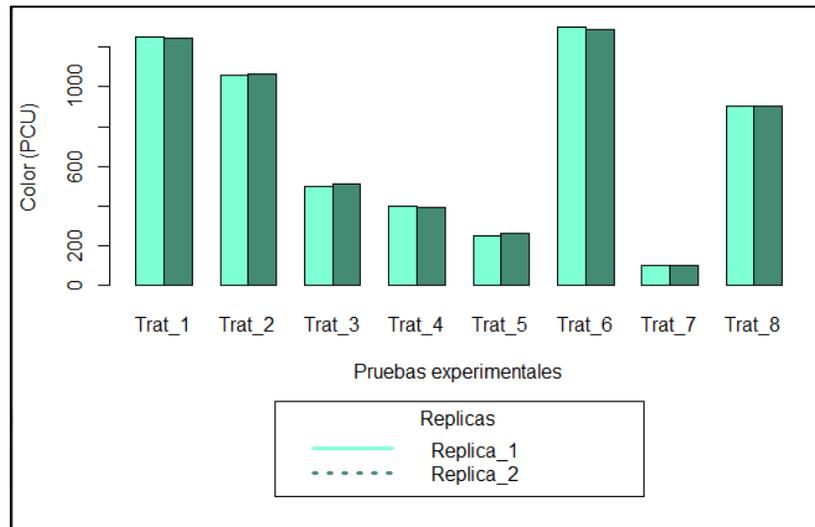


Figura 14. Reducción de color replicas

En la figura 14, se observa el gráfico de barras de todos los resultados obtenidos y sus réplicas en la reducción de color, a partir de este gráfico se puede decir que el tratamiento 7 es el que mejor resultados de reducción de color tuvo ya que se nota una diferencia muy significativa con el resto de los tratamientos debido a que obtuvo resultados de 100 PCU y 98 PCU en ambas réplicas; además, el tratamiento 5 obtuvo reducciones significativas de color ya que obtuvo datos de 250 PCU y 261 PCU. Sin embargo, el tratamiento 1 y 6 fueron los que tuvieron menores reducciones pues solo llegaron a bajar el color hasta 1300 PCU y 1250 PCU respectivamente.

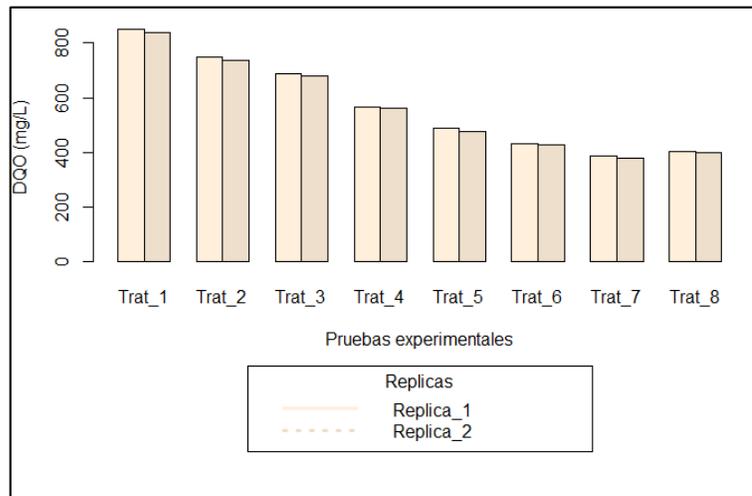


Figura 15. Reducción de DQO replicas

En la figura 15, se observa el gráfico de barras de todos los resultados obtenidos y sus réplicas en la reducción de DQO, a partir de este gráficos puede decir decir que el tratamiento 7 es el que mejor resultados de reducción de color tuvo ya que se nota una diferencia muy significativa con el resto de tratamientos debido a que obtuvo resultados de 385,15 mg/L y 378,71 mg/L en ambas réplicas; además, el tratamiento 8 obtuvo reducciones significativas de DQO ya que obtuvo datos de 401,76 mg/L y 397,26 mg/L. Sin embargo, el tratamiento 1 y 2 fueron los que tuvieron menores reducciones pues solo llegaron a bajar el DQO solo hasta 849,89 mg/L y 749,84 mg/L respectivamente.

4.1.3. Porcentaje de reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados utilizando resina de intercambio iónico

A partir de los resultados de la tabla 8, se puede hallar los porcentajes de reducción de turbidez, color y DQO, esto mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ de reducción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

Dónde:

C_o: Concentración inicial del parámetro, es decir en un tiempo 0

C_f: Concentración final del parámetro en un determinado tiempo.

Para el caso de la primera replica para color en condiciones de masa 0,5 g, tiempo de contacto 30 min y velocidad de agitación 50 rpm; reemplazando en la ecuación el resultado es:

$$\% \text{ de reducción} = \frac{(2000 - 1250)}{2000} \times 100$$

$$\% \text{ de reducción} = 37,50\%$$

De igual forma, los cálculos se desarrollaron para todas las condiciones de trabajo y los diferentes parámetros. Pero para la réplica 2 se consideró una concentración de turbidez, color y DQO de 296,9 NTU, 1986 PCU y 6717,94 mg/L debido a que esta replica se trabajó días después de la primera. Así mismo una vez obtenidos los porcentajes de reducción de todos los parámetros en ambas replicas se realizó un promedio entre ellas dando como resultados lo expuesto en la tabla 9.

Tabla 10. Porcentaje de reducción de color, turbidez y DQO en lixiviados

N°	Masa de resina (g)	Tiempo de contacto (min)	Velocidad de agitación (rpm)	Color	Turbidez	DQO
T1	0,5	30	50	37,46%	66,32%	87,58%
T2	0,5	30	150	46,81%	67,36%	89,05%
T3	0,5	90	50	74,61%	68,43%	89,92%
T4	0,5	90	150	80,06%	68,33%	91,71%
T5	1,5	30	50	87,18%	67,35%	92,89%
T6	1,5	30	150	34,97%	66,86%	93,69%
T7	1,5	90	50	95,03%	69,35%	94,38%
T8	1,5	90	150	54,74%	67,01%	94,12%

De la tabla 9 se puede mencionar que el mayor porcentaje de reducción de los parámetros de color, turbidez y DQO se obtuvieron en el tratamiento 7 con 95,03 %; 69,35 % y 94,38 %

respectivamente. Esto a condiciones de trabajo de masa de resina 1,5 g, tiempo de contacto de 90 min y velocidad de reacción de 50 rpm. El tratamiento 1 obtuvo menores porcentajes de remociones, de 37,46 % de color, 66,32 % de turbidez y 87,58 % de DQO, esto a condiciones de trabajo de 0,5 g de resina, 30 min de tiempo de contacto y 50 rpm de velocidad de agitación.

4.1.4. Influencia de la masa de resina, velocidad de agitación y tiempo de contacto en la reducción de color de los lixiviados

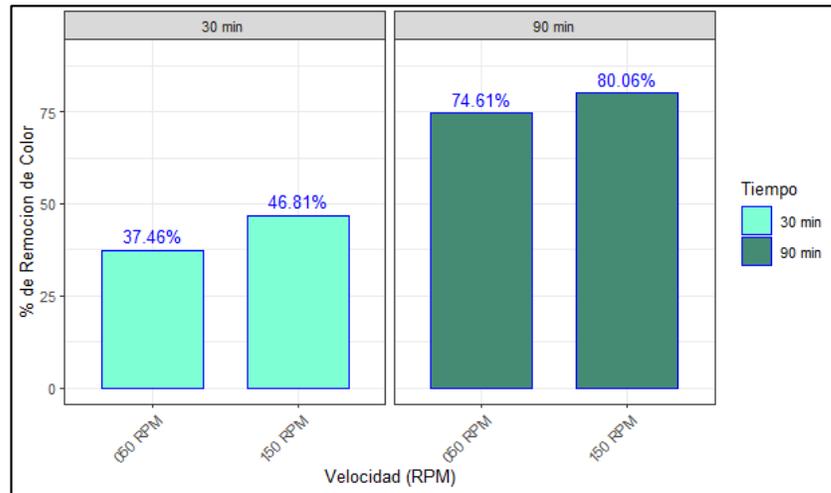


Figura 16. Reducción de color con 0,5 g de resina

En la figura 16, se observa que, aplica 0,5g de resina en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de color en un 80,06 % con condiciones de trabajo de 90 min y 150 rpm, y la menor en 37,46 % a condiciones de 30 min y 50 rpm. Existiendo una diferencia de 42,60% entre ambos resultados.

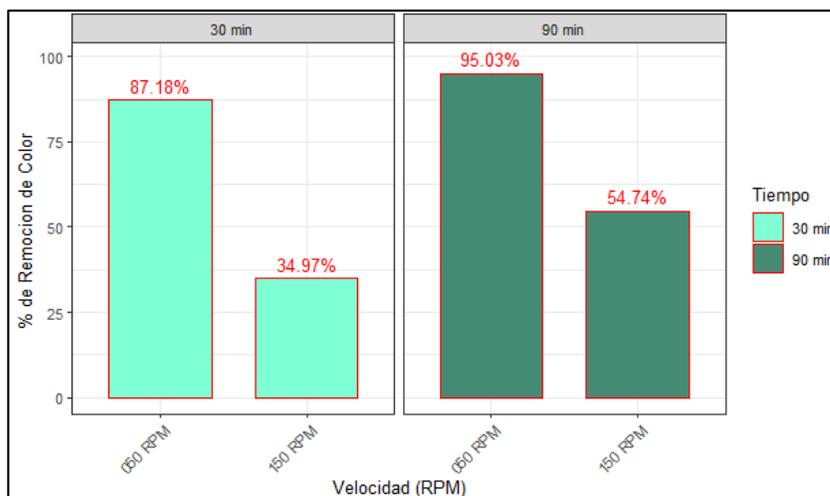


Figura 17. Reducción de color con 1,5 g de resina

En la figura 17 se observa que, aplica 1,5g de resina en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de color en un 95,03 % con condiciones de trabajo de 90 min y 50 rpm, y la menor en un 34,07 % a condiciones de 30 min y 150 rpm. Existiendo una diferencia de 60,06% entre ambos resultados.

De la figura 15 y 16 se puede observar que con la masa que se obtuvo mayores efectos en la reducción de color fue con 1,5 g de resina debido a que tuvo 14,97% más que el mejor resultado con 0,5g.

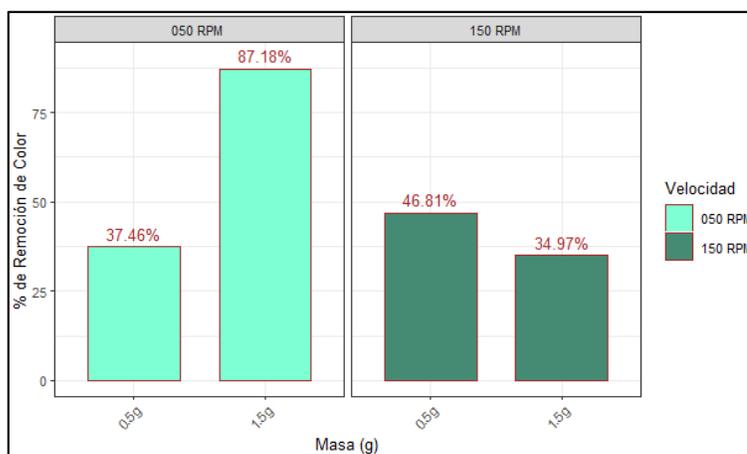


Figura 18. Reducción de color en 30 min

En la figura 18, se puede observar que cuando se aplica un tiempo de contacto de 30 min en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de color en un 87,18%

con condiciones de trabajo 1,5 g y 50 rpm, mientras que la reducción más baja fue de 34,97% a condiciones de 1,5g y 150 rpm. Existiendo una diferencia de 52,22% entre ambos resultados.

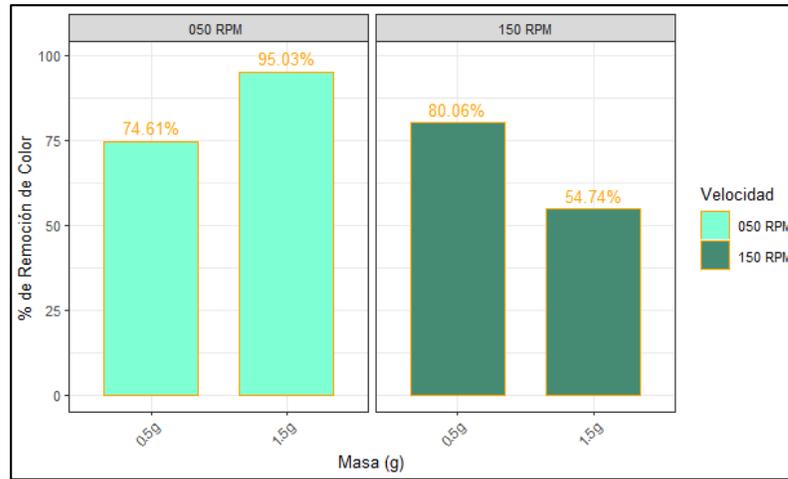


Figura 19. Reducción de color en 90 min

En la figura 19 se observa que, aplica un tiempo de contacto de 90 min en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de color en un 95,03 % con condiciones de trabajo 1,5 g y 50 rpm, y la reducción más baja en 54,74% a condiciones de 1,5g y 150 rpm. Existiendo una diferencia de 40,29% entre ambos resultados.

Con el tiempo de contacto que se obtuvo mayores efectos en la reducción de color fue con 90 min, pues tuvo 7,85% más que el mejor resultado con 30 min.

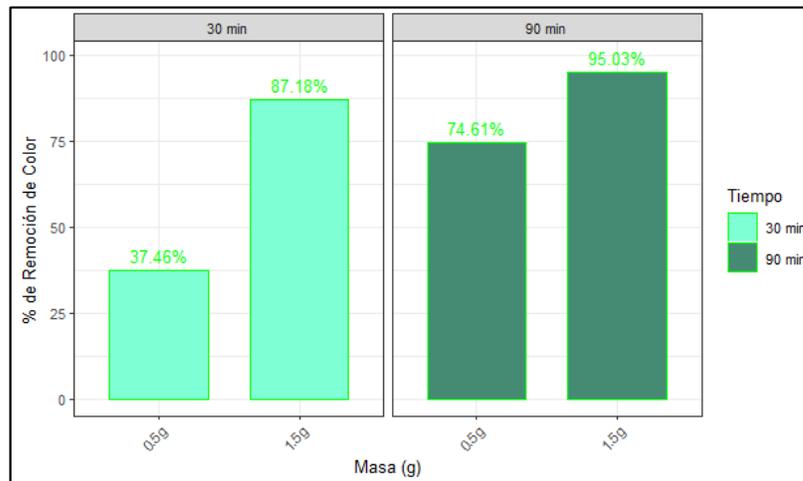


Figura 20. Reducción de color con 50 rpm

En la figura 20 se observa que, aplicando una velocidad de agitación de 50 rpm en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de color en un 95,03% con

condiciones de trabajo 1,5 g y 90 min, y la reducción más baja fue de 37,46 % a condiciones de 0,5g y 30 min. Existiendo una diferencia de 57,57% entre ambos resultados.

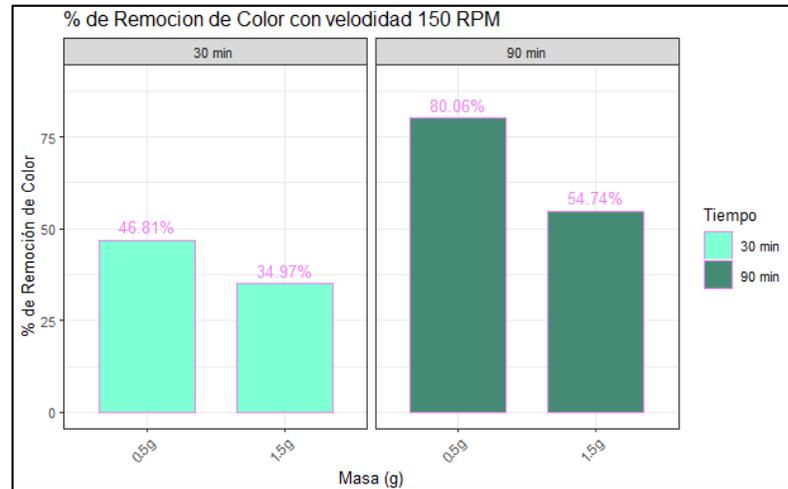


Figura 21. Reducción de color con 150 rpm

En la figura 21 se puede observar que cuando se aplica una velocidad de agitación de 150 rpm en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de color en un 80,06 % con condiciones de trabajo 0,5 g y 90 min, mientras que la reducción más baja fue de 34,97 % a condiciones de 1,5g y 30 min. Existiendo una diferencia de 45,09 % entre ambos resultados.

Con la velocidad de agitación que se obtuvo más efectos en la reducción de color, de 50 rpm, de la figura 17 y 18, se observa que tuvo 14,97 % más que el mejor resultado con 150 rpm.

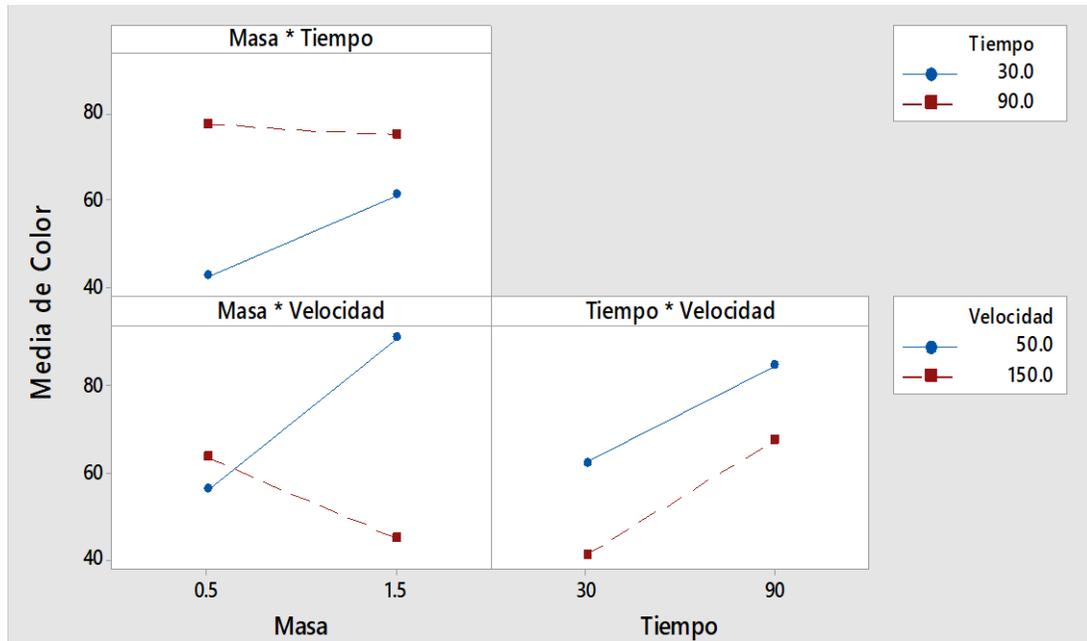


Figura 22. Interacción de variables para color

En la figura 22, se puede observar la interacción de las 3 variables con la reducción de color, demostrando que la mejor interacción es cuando se utiliza masa de 1,5 g pues se observa un aumento de reducción cuando esta es mayor, así mismo el tiempo de contacto adecuado es de 90 min dado a que también cuando esta es mayor hay mayor reducción del contaminante, sin embargo ocurre lo contrario en la velocidad de agitación ya que cuando este tiende a ser mayor empieza a ver efectos negativos en la reducción haciendo que esto perjudique al proceso, por ello los mejores resultados se obtuvieron a 50 rpm.

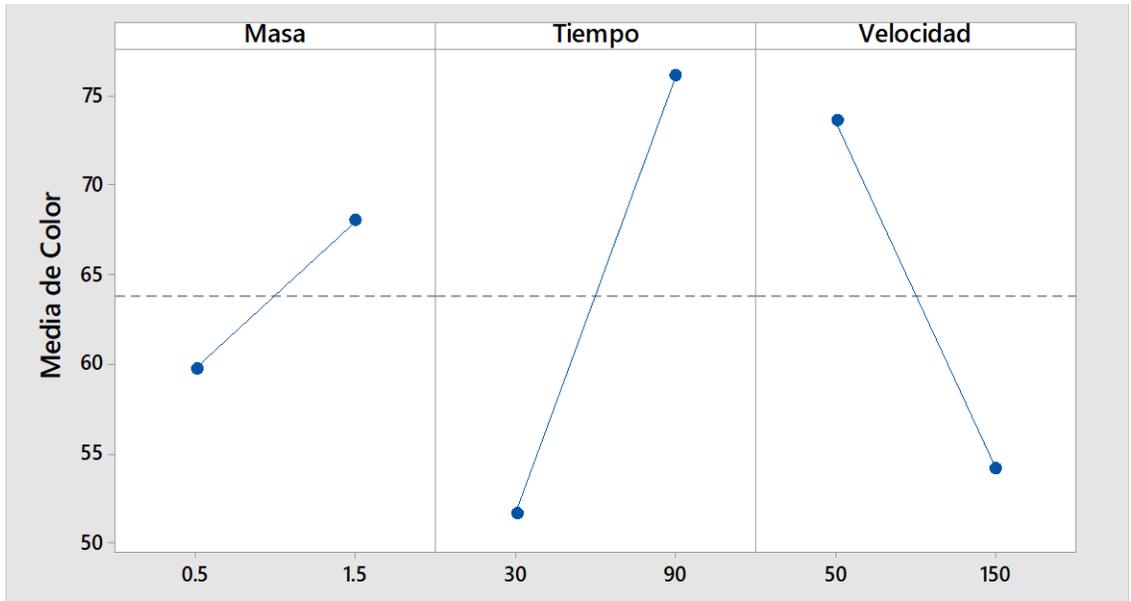


Figura 23. Efectos principales de las variables en el color

En la figura 23, se observan los efectos principales de las variables independientes en el parámetro color, dejando a conocer que la masa y el tiempo se reducen mejores cuando están en su nivel más alto de trabajo, a 1,5 g de masa de resina y 90 min de tiempo, mientras que en el caso de la velocidad su mayor efecto es a 50 rpm.

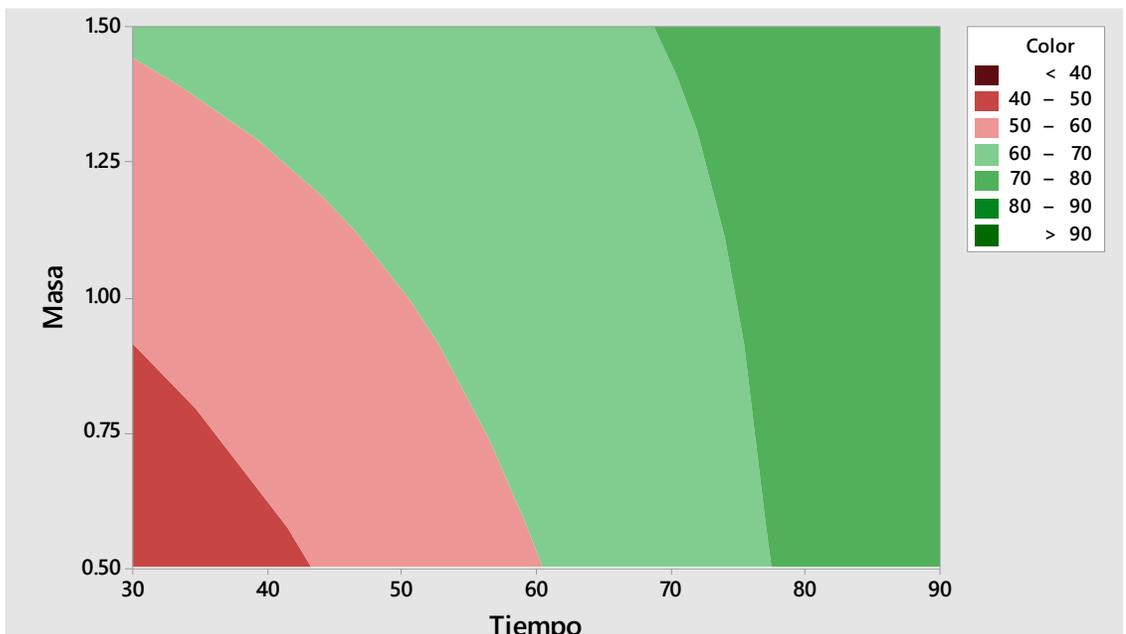


Figura 24. Gráfico de contorno de color vs masa; tiempo

En la figura 24, se observa el gráfico de contorno del parámetro color con respecto a las variables tiempo y masa, donde se observa que el mayor porcentaje de reducción es verde, que representa la reducción de color en un rango de 70 % a 80 %, obtenidos a condiciones de trabajo de 1,5 g de resina y 90 min adecuadas para obtener resultados favorables, mientras que el rojo representa el menor porcentaje de reducción de un 40 % a 50 %.

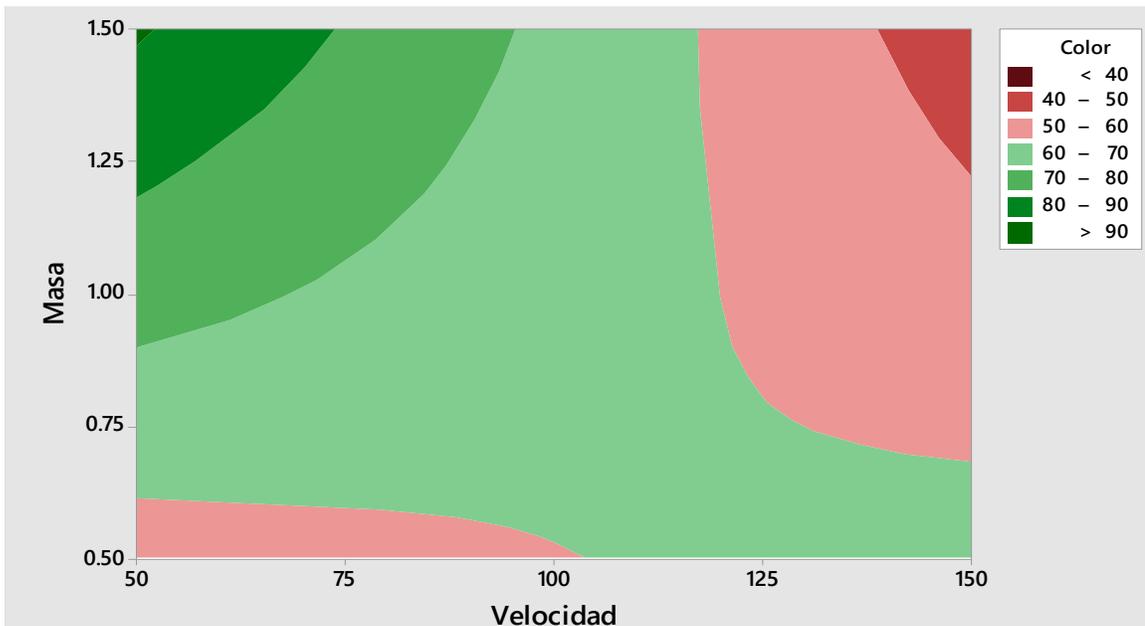


Figura 25. Gráfico de contorno de color vs masa, velocidad

En la figura 25, se observa el gráfico de contorno del parámetro color con respecto a las variables masa y velocidad donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color verde el cual representa la reducción de color en un rango de 70 % a 80 %, los cuales se obtienen a condiciones de trabajo de 1,5 g de resina y 50 rpm las cuales son importantes tener en consideración al momento de aplicar el tratamiento con resinas, mientras que el color rojo representa el menor porcentaje de reducción en un rango de 40 % a 50 %, los cuales se obtuvieron a condiciones de 1,5 g de resina y 150 rpm.

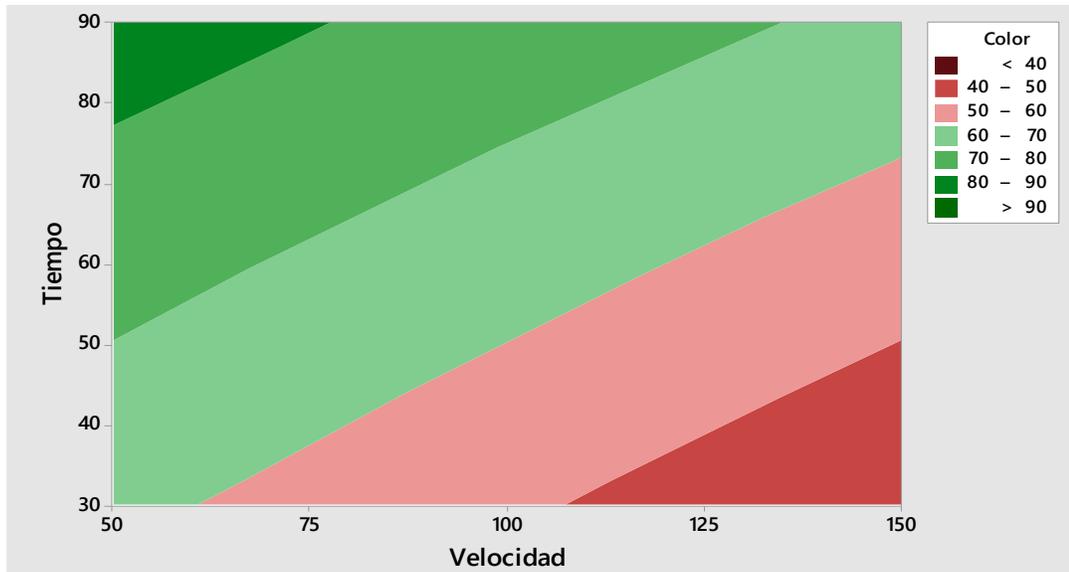


Figura 26. Gráfico de contorno de color vs velocidad, tiempo

En la figura 26, se observa el gráfico de contorno del parámetro color con respecto a las variables tiempo y velocidad donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color verde que representa la reducción de color en un rango de 80 % a 90 %, los cuales se obtienen a condiciones de trabajo de 50 rpm y 90 min que son las adecuadas para obtener resultados favorables, mientras que el color rojo representa el menor porcentaje de reducción en un rango de 40 % a 50 %, los cuales se obtuvieron a condiciones de 150 rpm y 30 min de tiempo.

5.1.1. Influencia de la masa de resina, velocidad de agitación y tiempo de contacto en la reducción de turbidez de los lixiviados

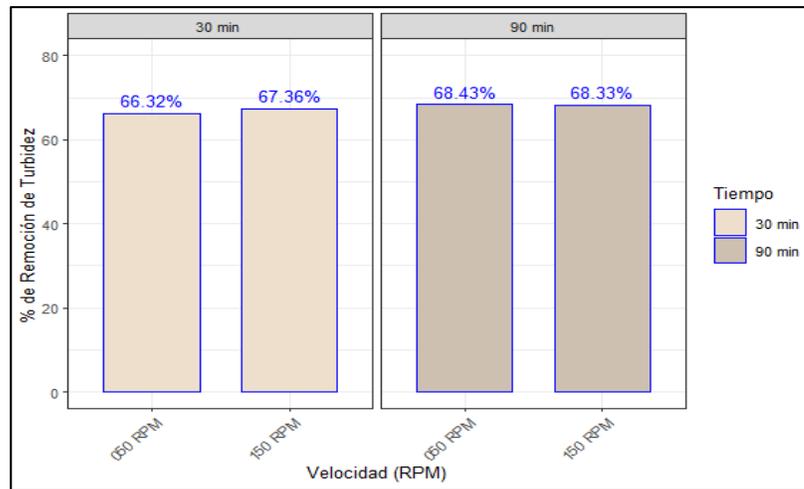


Figura 27. Reducción de turbidez con 0,5g de resina

En la figura 27 se observa que, aplica 0,5g de resina en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de turbidez en un 68,43 % con condiciones de trabajo de 90 min y 50 rpm, y la reducción más baja fue de 66,32 % a condiciones de 30 min y 50 rpm. Existiendo una diferencia de 2,11% entre ambos resultados.

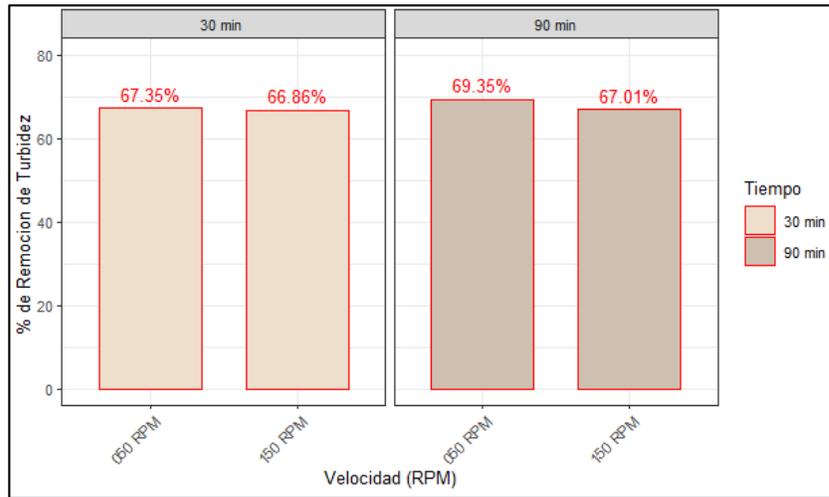


Figura 28. Reducción de turbidez con 1,5g de resina

En la figura 28 se observa que, aplica 1,5g de resina en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de turbidez, un 69,35 % con condiciones de trabajo de 90 min y 50 rpm, y la reducción más baja, 66,86 %, a condiciones de 30 min y 150 rpm. Existiendo una diferencia de 2,49 % entre ambos resultados.

Con la masa de resina que se obtuvo mayores efectos en la reducción de turbidez fue con 1,5 g de resina porque tuvo 0,92 % más que el mejor resultado con 0,5g.

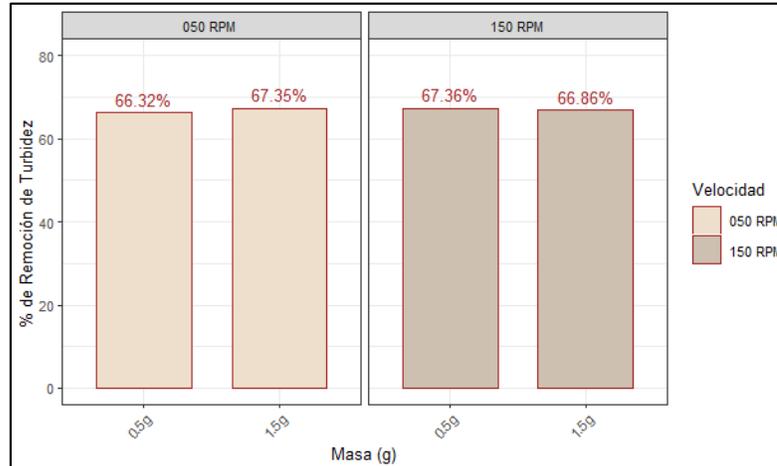


Figura 29. Reducción de turbidez en 30 min

En la figura 29 se observa que, aplicando un tiempo de contacto de 30 min en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de turbidez, en un 67.36 % con condiciones de trabajo de 0,5g y 150 rpm, y la reducción más baja fue de 66.32 % a condiciones de 0,5 y 50 rpm. Existiendo una diferencia de 1,04 % entre ambos resultados.

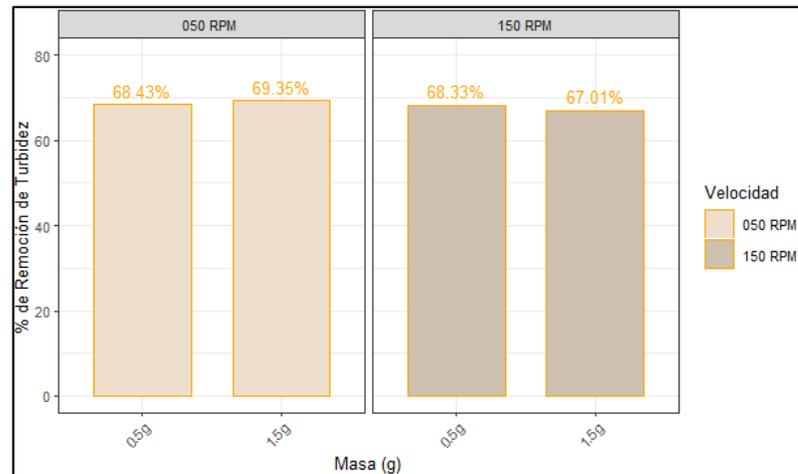


Figura 30. Reducción de turbidez en 90 min

En la figura 30 se puede observar que cuando se aplica un tiempo de contacto de 90 min en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de turbidez en un 69,35 % con condiciones de trabajo de 1,5g y 50 rpm, mientras que la reducción más baja fue de 67,01 % a condiciones de 1,5 g y 150 rpm. Existiendo una diferencia de 2,34 % entre ambos resultados.

Con el tiempo de contacto que se obtuvo mayores efectos en la reducción de turbidez fue con 90 min, ya que tuvo 1,99 % más que el mejor resultado con 30 min.

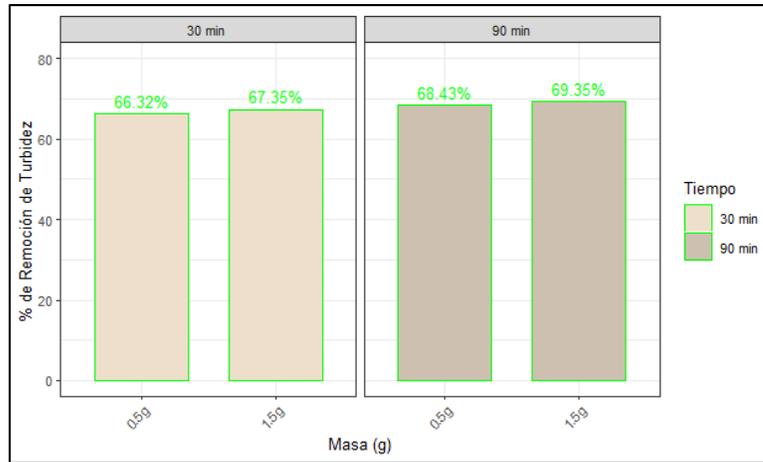


Figura 31. Reducción de turbidez a 50 rpm

En la figura 31 se puede observar que, cuando se aplica una velocidad de agitación de 50 rpm en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de turbidez en un 69,35 % con condiciones de trabajo de 1,5g y 90 min, mientras que la reducción más baja fue de 66,32 % a condiciones de 1,5g y 30 min. Existiendo una diferencia de 3,03 % entre ambos resultados.

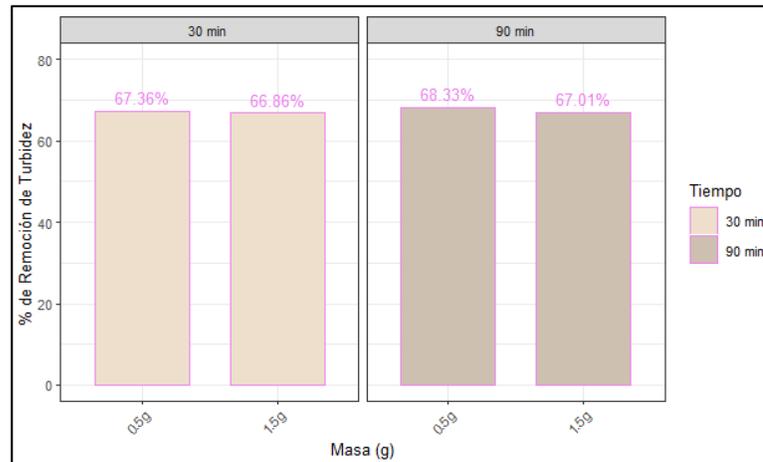


Figura 32. Reducción de turbidez a 150 rpm

En la figura 32, se puede observar que cuando se aplica una velocidad de agitación de 150 rpm en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de turbidez en un 68,33 % con condiciones de trabajo de 0,5g y 90 min, mientras que la reducción más baja fue de

67,01 % a condiciones de 1,5g y 90 min. Existiendo una diferencia de 1,32 % entre ambos resultados.

Con la velocidad de agitación que se obtuvo más efectos en la reducción de turbidez fue con 50 rpm, porque tuvo 1,02 % más que el mejor resultado con 150 rpm.

6.

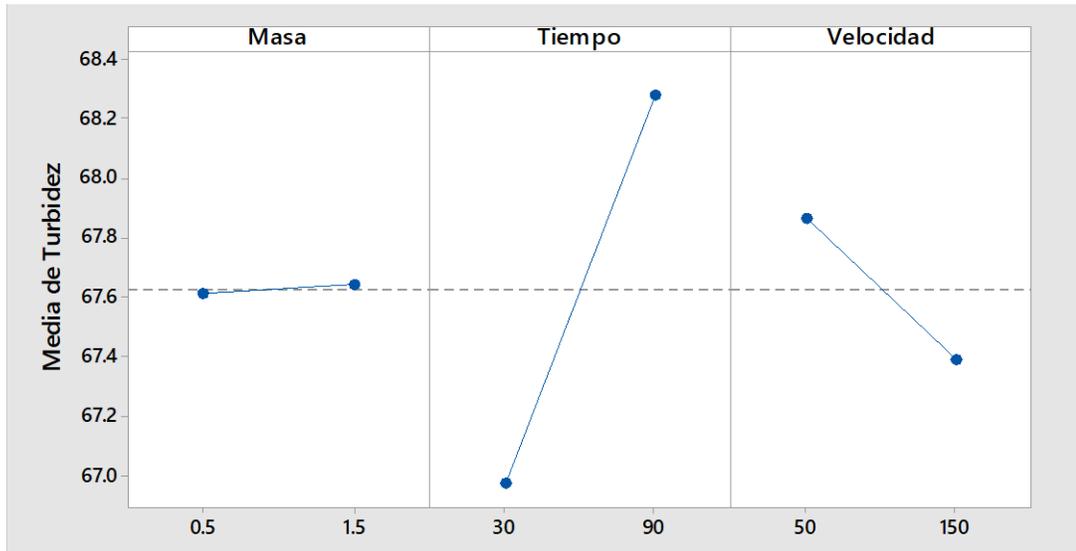


Figura 33. Efectos principales de las variables en la turbidez

En la figura 33 se puede observar los efectos principales de las variables independientes en el parámetro turbidez, dando a conocer que la velocidad y el tiempo tienen mayores efectos de reducción pues como se observa en la figura hay una diferencia significativa cuando se utiliza su nivel alto y bajo durante el tratamiento, caso contrario que ocurre con la masa donde la diferencia entre sus dos niveles no es muy significativa, pudiendo mostrar así que las condiciones de trabajo principales para la turbidez son el tiempo que debe de ser de 90 min y una velocidad de 50 rpm, en el caso de la masa fue de 1,5 g de resina debido a esa baja diferencia con la masa de 0,5 g.

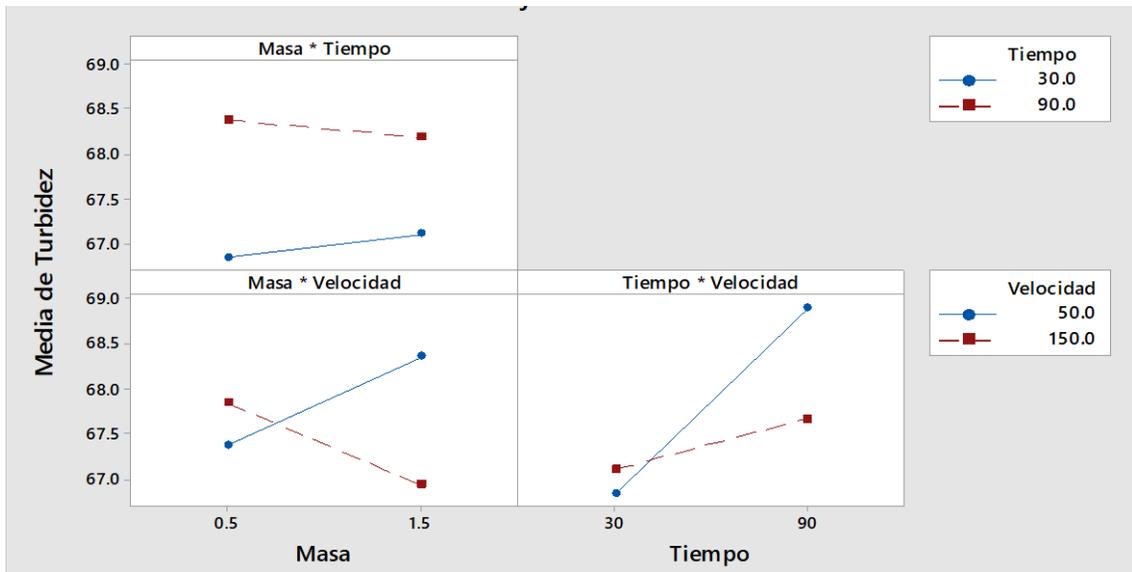


Figura 34. Interacción de variables para la turbidez

En la figura 34, se puede observar la interacción de las 3 variables con la reducción de turbidez, demostrando que la mejor interacción es cuando se utiliza masa de 1,5 g pues se observa un aumento de reducción cuando esta es mayor, así mismo el tiempo adecuado es de 90 min dado a que cuando es mayor hay mejor reducción de la turbidez, sin embargo en la velocidad de agitación ocurre lo contrario ya que cuando este tiende a ser mayor empieza a ver efectos negativos en la reducción haciendo que esto perjudique al proceso, por ello los mejores resultados se obtuvieron a 50 rpm.

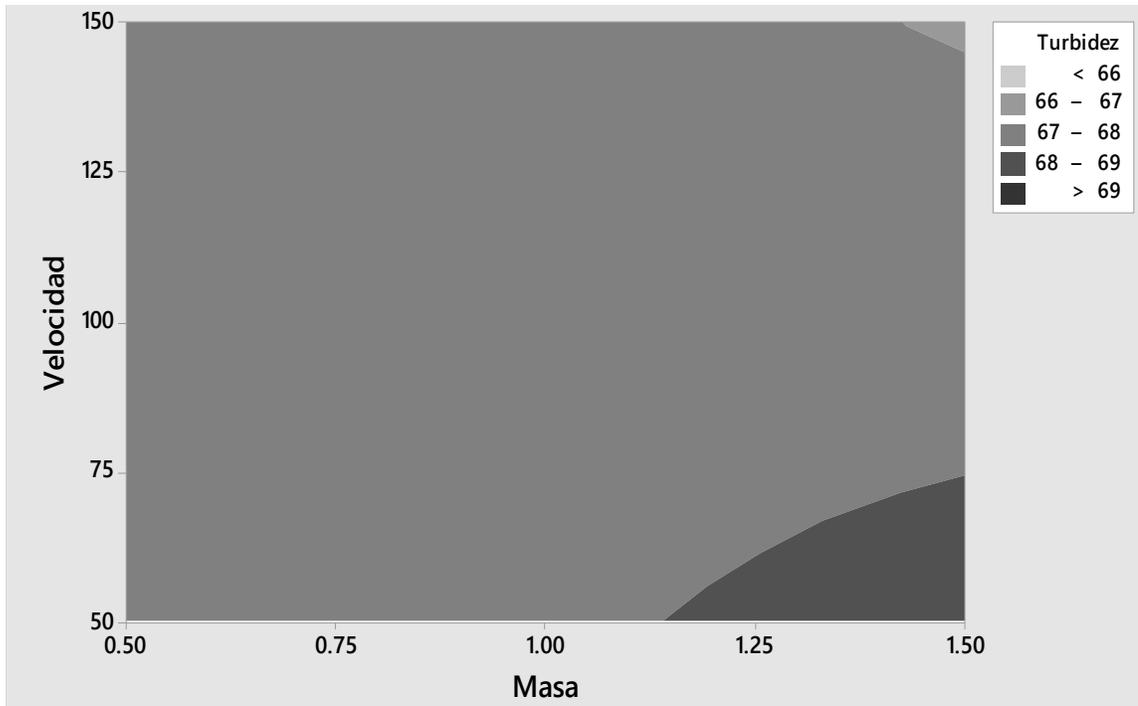


Figura 35. Gráfico de contorno de turbidez vs masa; velocidad

En la figura 35, se observa el gráfico de contorno del parámetro turbidez con respecto a las variables masa y velocidad donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color plomo oscuro que representa la reducción de turbidez en un rango de 68 % a 69 %, los cuales se obtienen a condiciones de trabajo de 1,5 g de resina y 50 rpm que se deben tener en consideración para resultados favorables, mientras que el color plomo claro representa el menor porcentaje de reducción en menos del 66 %, los cuales se obtuvieron a condiciones de 1,5 g de resina y 150 rpm.

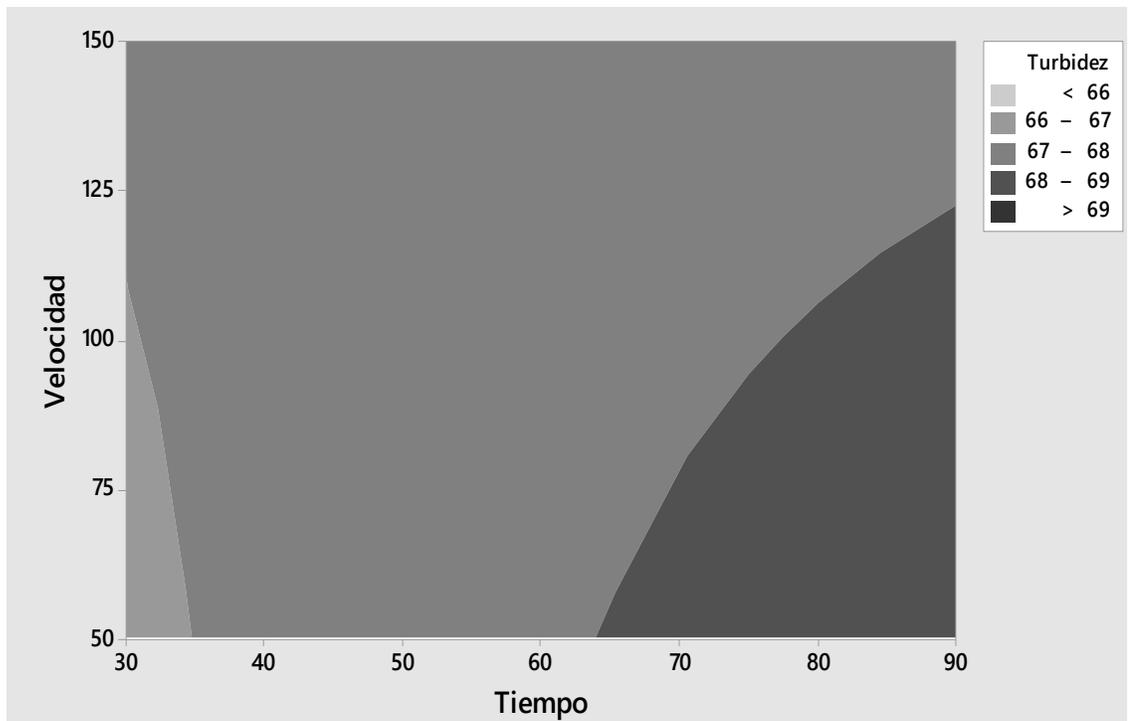


Figura 36. Gráfico de contorno de turbidez vs tiempo; velocidad

En la figura 36, se observa el gráfico de contorno del parámetro turbidez con respecto a las variables velocidad y tiempo donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color plomo oscuro que representa la reducción de turbidez en un rango de 68 % a 69 % y es el segundo color que tiene más superficie ocupada, esta se obtienen a condiciones de trabajo de 50 rpm y 90 min, los cuales se deben tener en consideración al momento de aplicar el proceso de intercambio iónico como tratamiento, mientras que el color plomo claro representa el menor porcentaje de reducción que es la menor superficie resaltada es menos del 66 %, los cuales se obtuvieron a condiciones de 50 rpm y 30 min.

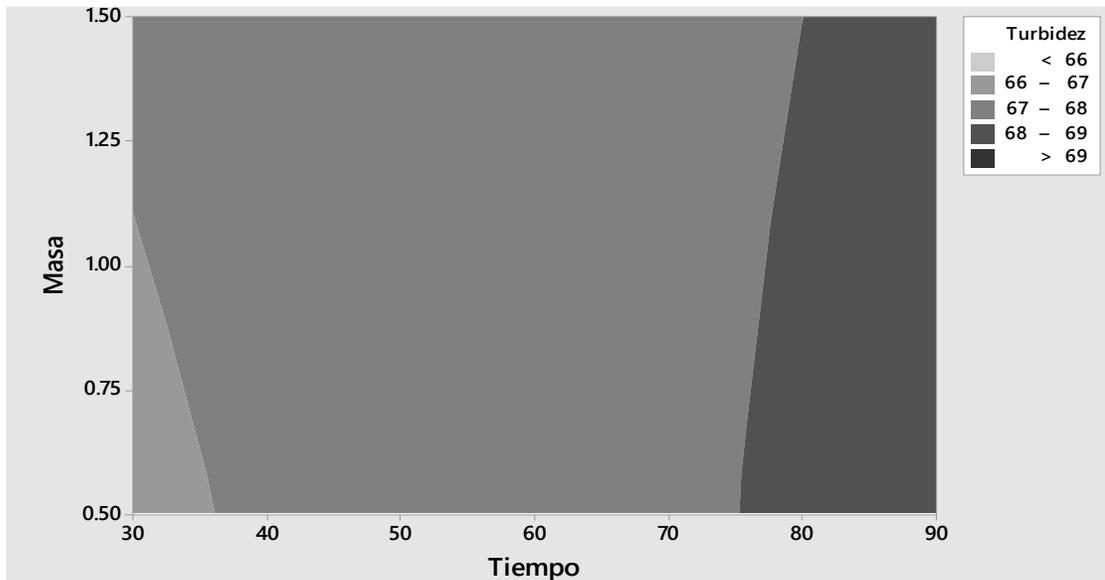


Figura 37. Gráfico de contorno de turbidez vs masa; tiempo

En la figura 37, se observa el gráfico de contorno del parámetro turbidez con respecto a las variables masa y tiempo donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color plomo oscuro que representa la reducción de turbidez en un rango de 68 % a 69% y es el segundo color que tiene más superficie ocupada, esta se obtienen a condiciones de trabajo de 1,5 g y 90 min, las cuales son las que se deben usar para resultados favorables del tratamiento, mientras que el color plomo claro representa el menor porcentaje de reducción que es la menor superficie resaltada es menos del 66 %, los cuales se obtuvieron a condiciones de 0,5 g y 30 min.

4.1.6. Influencia de la masa de resina, velocidad de agitación y tiempo de contacto en la reducción de materia orgánica de los lixiviado

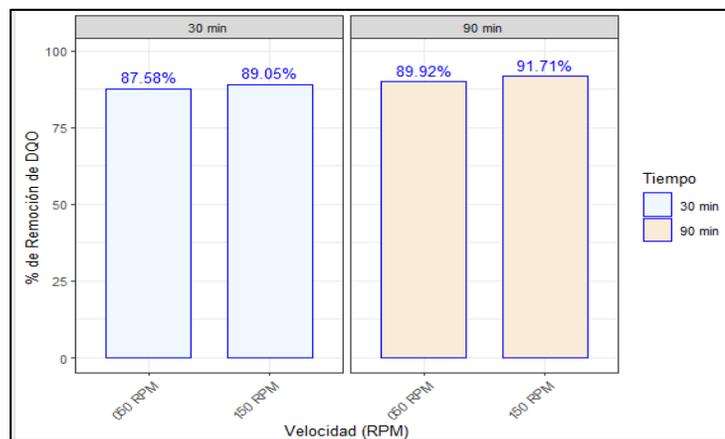


Figura 38. Reducción de DQO con 0,5g de resina

En la figura 38, se puede observar que cuando se aplica 0,5g de resina en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de materia orgánica representada por el DQO en un 91,71 % con condiciones de trabajo de 90 min y 150 rpm, mientras que la reducción más baja fue de 87,58 % a condiciones de 30 min y 50 rpm. Existiendo una diferencia de 4,13 % entre ambos resultados.

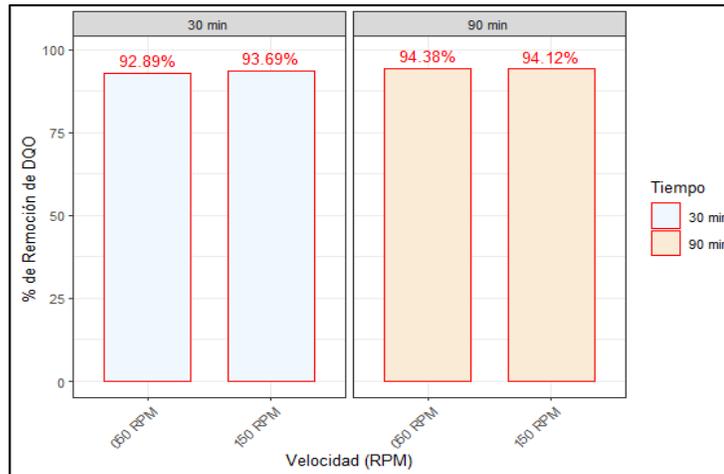


Figura 39. Reducción de DQO con 1,5g de resina

En la figura 39 se observa que, aplica 1,5g de resina en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de materia orgánica representada por el DQO en un 94,38 % con condiciones de trabajo de 90 min y 50 rpm, y la menor fue de 92,89 % a condiciones de 30 min y 50 rpm. Existiendo una diferencia de 1,49% entre ambos resultados.

Con la masa de resina que tuvo mayores efectos en la reducción de materia orgánica (DQO) fue con 1,5g porque tuvo 1,99 % más que el mejor resultado con 0,5g.

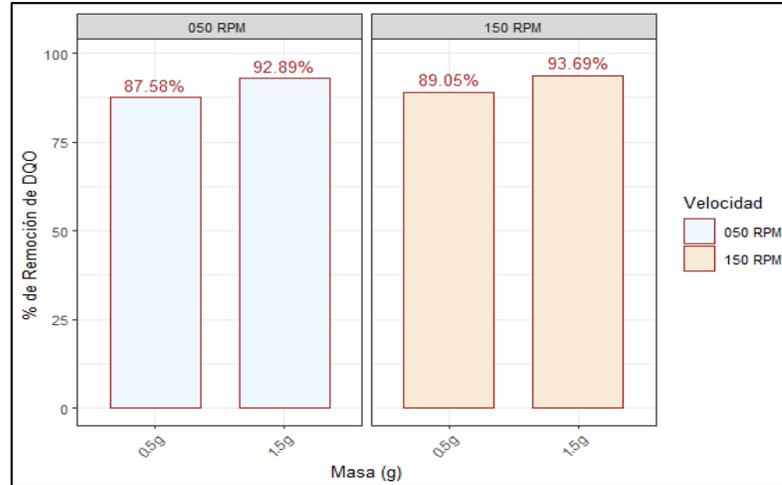


Figura 40. Reducción de DQO en 30 min

En la figura 40, se puede observar que cuando se aplica un tiempo de contacto 30 min en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de materia orgánica representada por el DQO en un 93,69% con condiciones de trabajo de 1,5g y 150 rpm, mientras que la reducción más baja fue de 87,58% a condiciones de 0,5g y 50 rpm. Existiendo una diferencia de 6,11% entre ambos resultados.

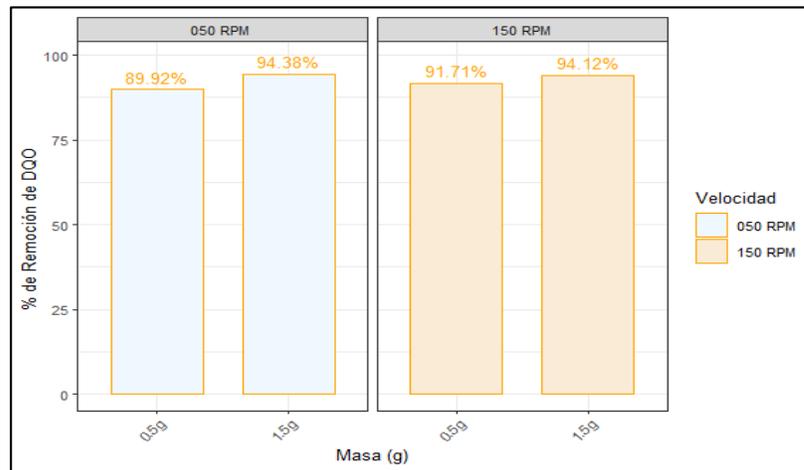


Figura 41. Reducción de DQO a 90 min

En la figura 41, se puede observar que cuando se aplica un tiempo de contacto 90 min en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de materia orgánica representada por el DQO en un 94,38 % con condiciones de trabajo de 1,5g y 50 rpm, mientras que la reducción más baja fue de 89,92 % a condiciones de 0,5g y 50 rpm. Existiendo una diferencia de 4,46 % entre ambos resultados.

Con el tiempo de contacto que se obtuvo mayores efectos en la reducción de materia orgánica (DQO) fue con 90 min, ya que tuvo 0,69 % más que el mejor resultado con 30 min.

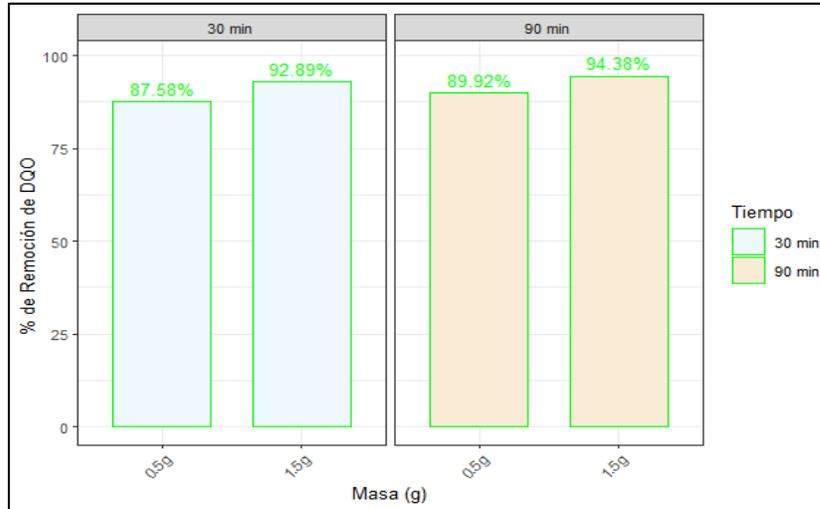


Figura 42. Reducción de DQO con 50 rpm

En la figura 42 se puede observar que cuando se aplica velocidad de agitación de 50 rpm en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de materia orgánica representada por el DQO en un 94,38% con condiciones de trabajo de 1,5g y 90 min, mientras que la reducción más baja fue de 87,58% a condiciones de 0,5g y 30 min. Existiendo una diferencia de 6,80% entre ambos resultados.

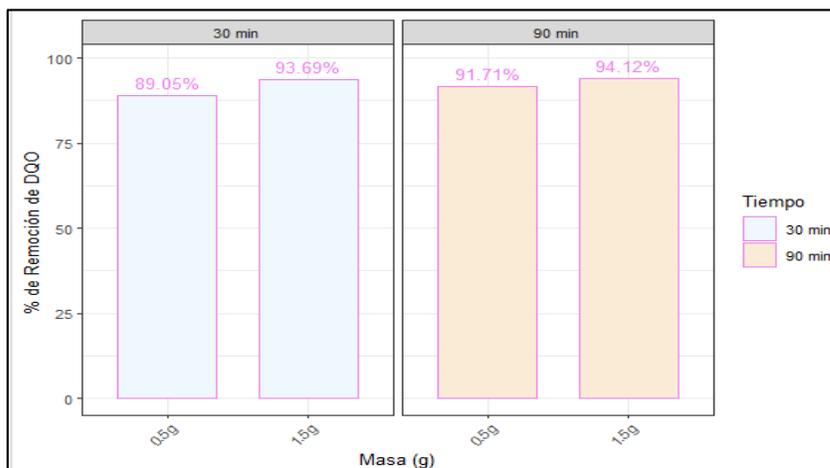


Figura 43. Reducción de DQO con 150 rpm

En la figura 43, se puede observar que cuando se aplica velocidad de agitación de 150 rpm en el proceso de intercambio iónico, se obtiene el mayor porcentaje de reducción de materia orgánica representada por el DQO en un 93,69 % con condiciones de trabajo de 1,5g y 30 min, mientras que la reducción más baja fue de 89,05 % a condiciones de 0,5g y 30 min. Existiendo una diferencia de 4,64 % entre ambos resultados.

Con la velocidad de agitación que se obtuvo mayores efectos en la reducción de materia orgánica (DQO) fue con 50 rpm porque tuvo 0,69 % más que el mejor resultado con 150 rpm.

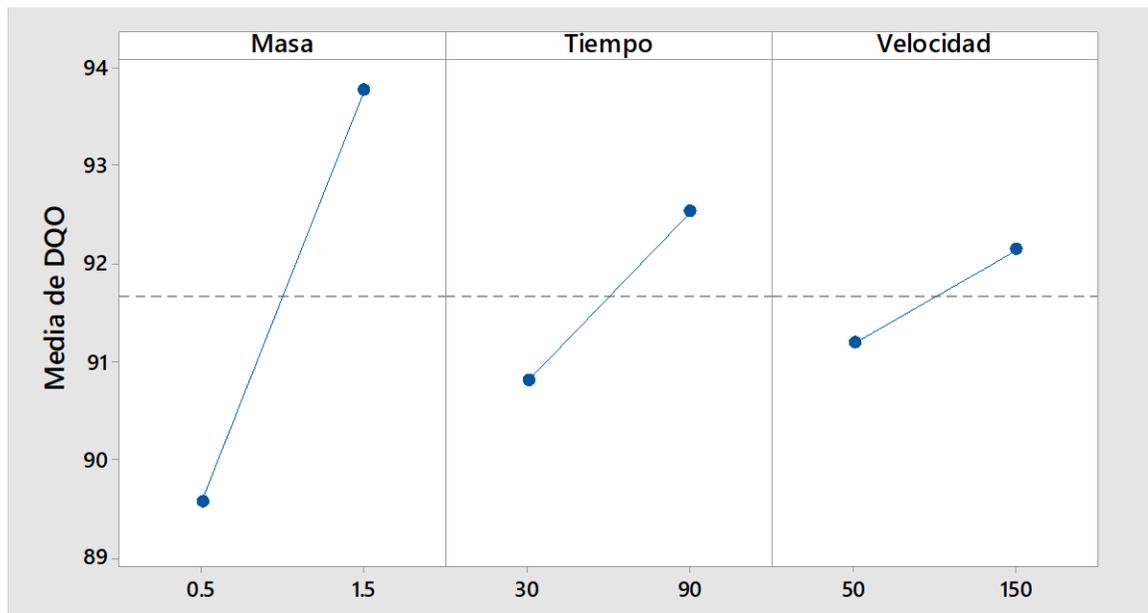


Figura 44. Efectos principales de las variables en el DQO

En la figura 44, se puede observar los efectos principales de las variables independientes en el parámetro materia orgánica (DQO), dando a conocer que las 3 variables de estudio tienen efectos importantes en la reducción del DQO pues como se observa en la figura hay una diferencia significativa cuando se utiliza su nivel alto y bajo durante el tratamiento, pudiendo mostrar así que las condiciones de trabajo adecuadas para la reducción de la materia orgánica son el tiempo de 90 min, velocidad de 50 rpm y en el caso de la masa fue de 1,5 g de resina.

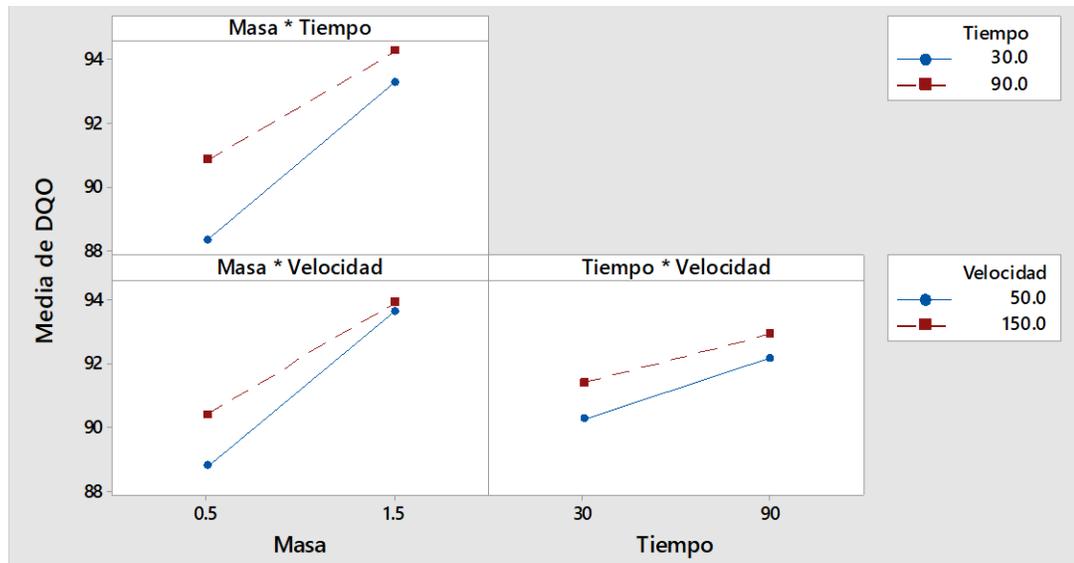


Figura 45. Interacción de las variables en el DQO

En la figura 45, se puede observar la interacción de las 3 variables con la reducción de materia orgánica (DQO), demostrando que la mejor interacción es cuando se utiliza masa de 1,5 g pues se observa un aumento de reducción cuando esta es mayor, así mismo el tiempo adecuado es de 90 min dado a que cuando es mayor hay mejor reducción de la turbidez, sin embargo en la velocidad de agitación ocurre lo contrario ya que cuando este tiende a ser mayor empieza a ver efectos negativos en la reducción haciendo que esto perjudique al proceso, por ello los mejores resultados se obtuvieron a 50 rpm.

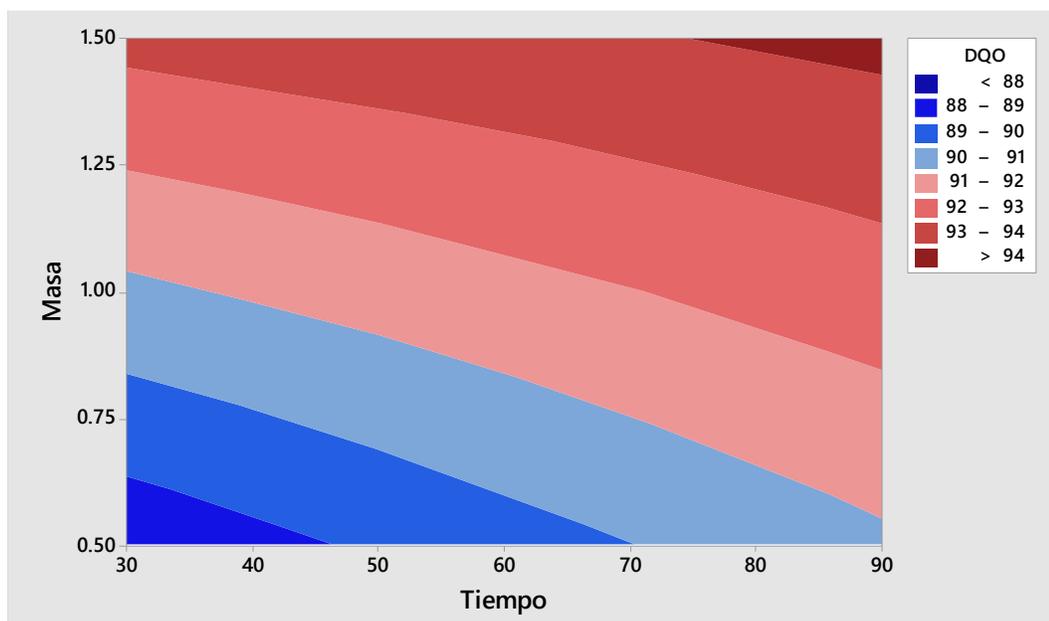


Figura 46. Gráfico de contorno de DQO vs masa, tiempo

En la figura 46, se observa el gráfico de contorno del parámetro de materia orgánica el DQO con respecto a las variables masa y tiempo donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color rojo oscuro que representa la reducciones mayores al 94 %, esta se obtienen a condiciones de trabajo de 1,5 g y 90 min, las cuales deben ser utilizadas para obtener resultados adecuados de descontaminación, mientras que el color azul oscuro representa el menor porcentaje de reducción dentro de un rango de 88 % a 89 %, los cuales se obtuvieron a condiciones de 0,5 g y 30 min.

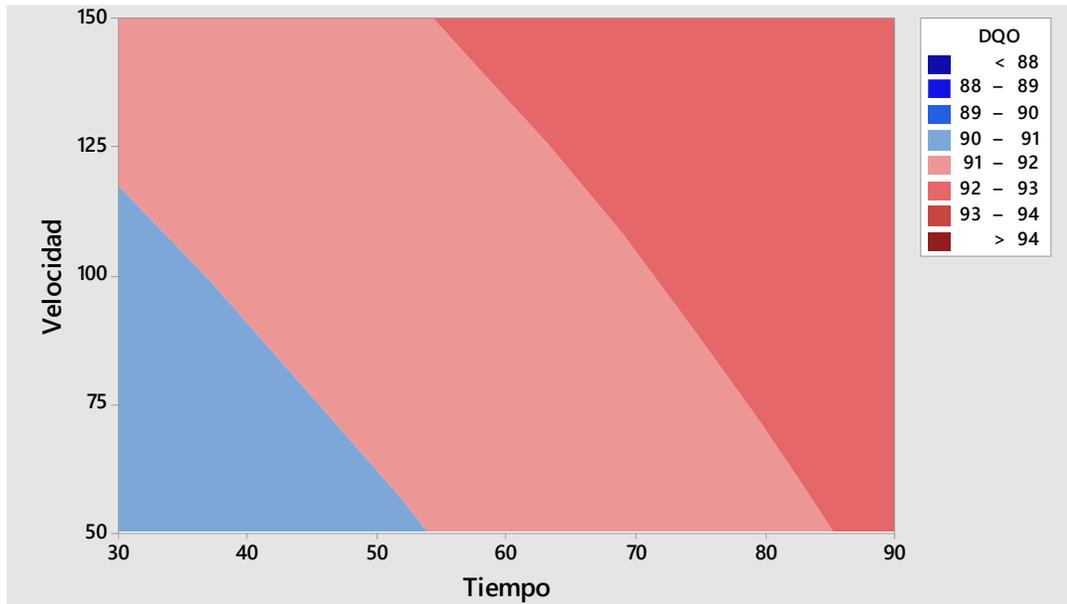


Figura 47. Gráfico de contorno de DQO vs velocidad; tiempo

En la figura 47, se observa el gráfico de contorno del parámetro de materia orgánica el DQO con respecto a las variables velocidad y tiempo donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color rojo claro que representa la reducciones entre 92 % a 93 % esta se obtienen a condiciones de trabajo de 150 rpm, 50 rpm y 90 min, mientras que el color azul claro representa el menor porcentaje de reducción dentro de un rango de 90% a 91%, los cuales se obtuvieron a condiciones de 50 rpm y 30 min

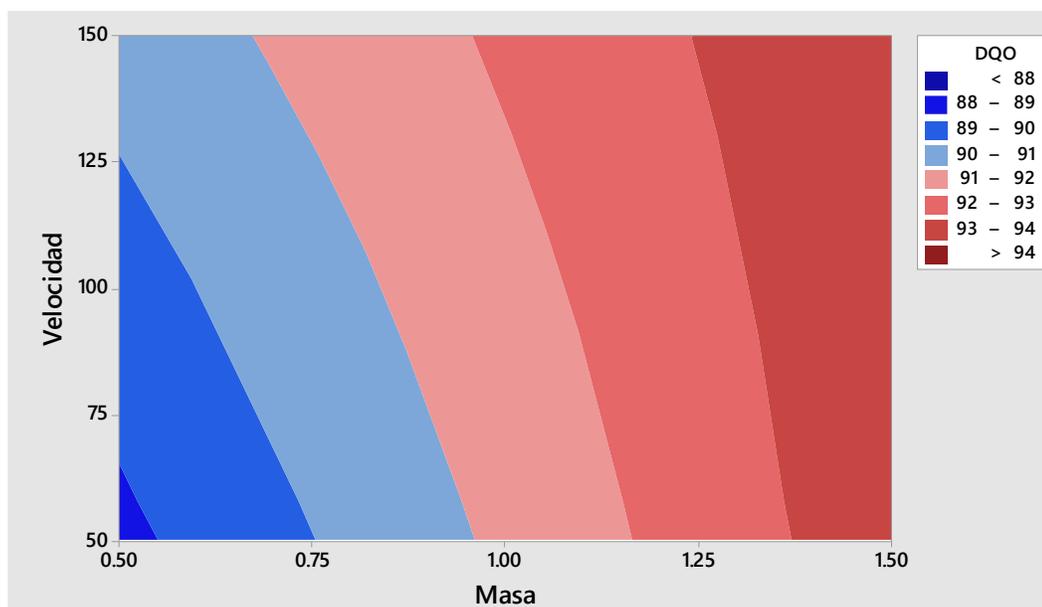


Figura 48. Gráfico de contorno de DQO vs velocidad; masa

En la figura 48, se observa el gráfico de contorno del parámetro de materia orgánica el DQO con respecto a las variables masa y velocidad donde se puede observar que el mayor porcentaje de reducción está representado por el color rojo oscuro que representa la reducciones entre 93 % a 94 %, esta se obtienen a condiciones de trabajo de 1,5g y 50 rpm, 150 rpm, las cuales deben ser utilizadas para obtener resultados favorables, mientras que el color azul oscuro representa el menor porcentaje de reducción dentro de un rango de 88 % a 89 %, los cuales se obtuvieron a condiciones de 0,5 g y 50 rpm.

4.1.7. Isoterma de adsorción

Según los tratamientos se llegó a demostrar que la mayor adsorción de turbidez, color y DQO se dio a una velocidad agitación de 50 rpm y tiempo de 90 min, por ello dichas condiciones se aplicaran a 5 cantidades más de resina, obteniendo los datos de la tabla 10.

Tabla 11. Estudio de las isotermas de adsorción

Masa de resina (g)	Concentración final de DQO (mg/L)
0,25	2455,05
0,5	680,48
1	615,13
1,25	448,82
1,5	378,71
1,75	351,24

En la tabla 10, se observa la concentración final de DQO para el estudio de isotermas observándose que a medida que aumentó la masa de resina la reducción del DQO fue mayor.

- **Isoterma de Langmuir**

Se sabe que el modelo de la isoterma de Langmuir es:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max}bC_e}$$

C_e : concentración de equilibrio (mg/L)

q_e : cantidad de la sustancia adsorbida en el equilibrio por la cantidad de adsorbente (mg/g)

q_m : capacidad de adsorción (mg/g),

b : constante de equilibrio de adsorción (L/mg).

La cantidad de DQO adsorbida en el equilibrio:

$$q_e = \frac{v(c_i - c_e)}{w}$$

Dónde:

v : volumen de solución (0,250 L),

c_i, c_e : concentración inicial y final del DQO en mg/L

w : peso de las resinas en gramos.

$$q_e = \frac{v(c_i - c_e)}{w}$$

$$q_e = \frac{0,250(6792,89 - 2455,05)}{0,25}$$

$$q_e = 4337,84 \text{ mg/g}$$

Tabla 12. Parámetros para el estudio de la isoterma de Langmuir

Masa (g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$
0,25	2455,05	4337,84	0,0004073	0,0002305
0,5	680,48	3056,205	0,0014696	0,0003272
1	615,13	1544,44	0,0016257	0,0006475
1,25	448,82	1268,814	0,0022281	0,0007881
1,5	378,71	1069,03	0,0026405	0,0009354
1,75	351,24	920,23571	0,0028471	0,0010867

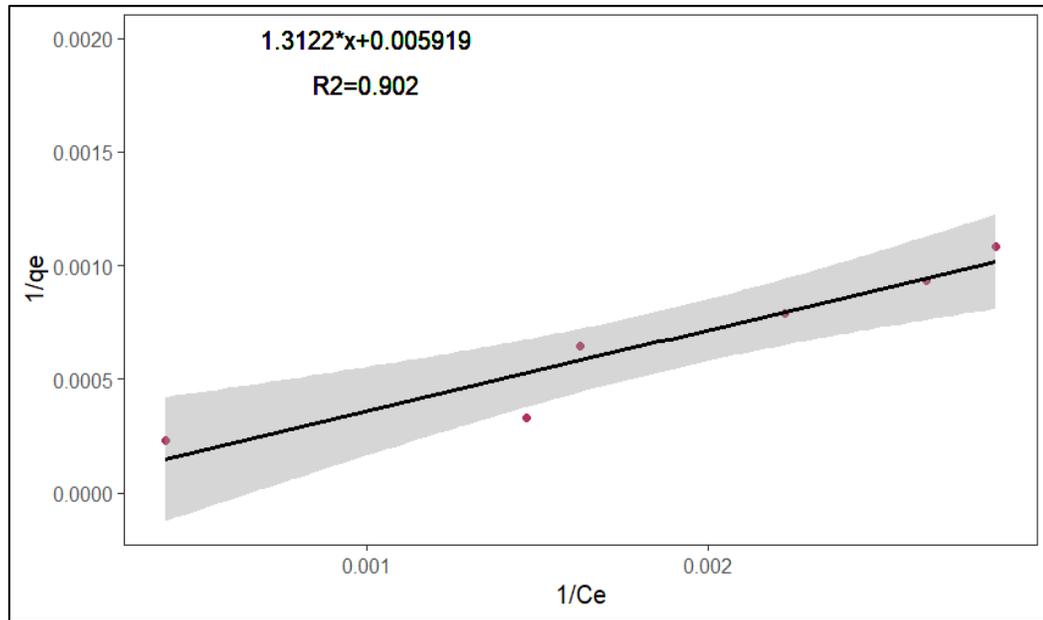


Figura 49. Isoterma de Langmuir

La figura 49 muestra el ajuste lineal del modelo de la isoterma de Langmuir para el DQO del tratamiento de lixiviados con intercambio iónico con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,902. Además, sabemos que $1/q_{\max}$ es igual al valor de las ordenadas de la ecuación es decir 0,005919 dando como resultado que la concentración máxima es de 168,94 mg/g y b que es la constante de equilibrio se obtiene de la igualdad de la pendiente de 1,3122 con $1/q_{\max} \cdot b$ quedando así que es de 0,00448 L/mg.

- **Isoterma de Freundlich**

La linealización de la isoterma de Freundlich está dada por:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

Se sabe que:

C_e : concentración de equilibrio (mg/L),

q_e : cantidad adsorbida en el equilibrio por la cantidad del adsorbente (mg/g) y

K_f : (mg/g)

n : constantes de Freundlich relacionadas con la capacidad de adsorción y la intensidad de adsorción.

Tabla 13. Estudio de la Isoterma de Freundlich

Masa (g)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Log (C _e)	Log(q _e)
0,25	2455,05	4337,84	3,3901	3,6373
0,5	680,48	3056,205	2,8328	3,4852
1	615,13	1544,44	2,7890	3,1888
1,25	448,82	1268,814	2,6521	3,1034
1,5	378,71	1069,03	2,5783	3,0290
1,75	351,24	920,23571	2,5456	2,9639

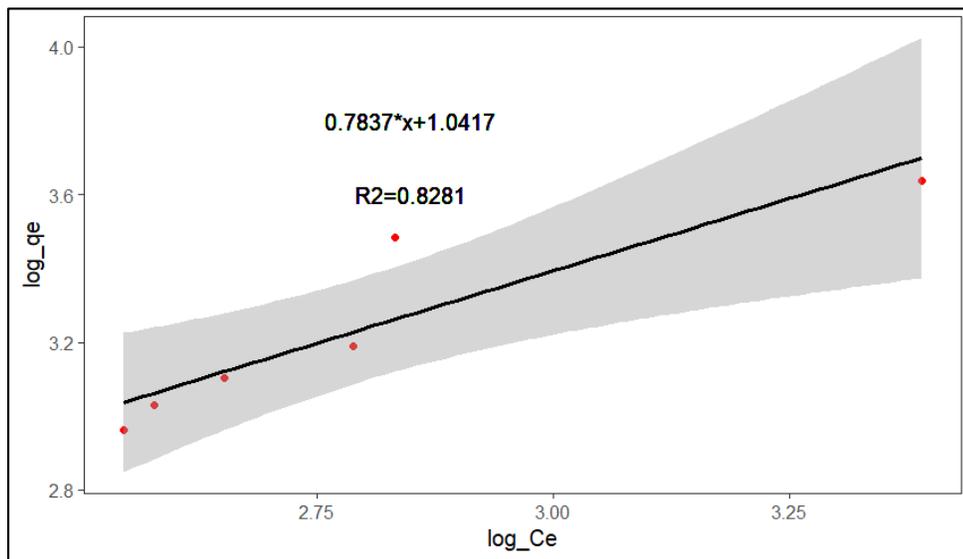


Figura 50. Isoterma de Freundlich

La figura 50 muestra el ajuste lineal del modelo de la isoterma de Freundlich para el plomo con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,8281. De la ecuación obtenida, se puede sacar el valor de constante de adsorción de Freundlich (K_f) que es igual a $\log K_f$ igual a 1,0417 dando un valor de 11,0078 mg/g y la intensidad de adsorción (n) de igualar la pendiente 0,7837 a $1/n$ dando así 1,2759.

De esta manera, tomando en consideración el coeficiente de correlación (R^2) para ambas isotermas, de debe cumplir que ($R^2 \approx 0,9$), $0 < RL < 1$, es decir que el valor más cercano a la unidad es la isoterma que se adapta mejor al estudio, quedando así que la isoterma para cumple con lo mencionado es la de Langmuir.

4.1.8. Mecanismos de acción de la resina de intercambio iónico

El proceso de reducción de color, turbidez y materia orgánica con la resina de intercambio iónico se da a partir del fraccionamiento de la materia orgánica (MO) disuelta en el medio acuático por causa de la resina lo que ocasiona que MO se divida en tres fracciones: hidrofóbica fuerte, hidrofóbica débil e hidrofílica. Dando así que debido a la porosidad de las resinas estas retienen dichos compuestos fraccionados logrando su descontaminación.(22) Se sabe que as fracciones hidrofóbicas (HPO) se aíslan del lixiviado debido a que se intercambian por los iones cloruro en las zonas activas de la resina, además el HPO es la porción de la MO que se absorbe en la resina normalmente con un factor de capacidad de 50. Así mismo la porción de MO que no se absorbe se denomina fracción no húmica. La fracción no húmica, la cual puede seguir fraccionándose en transfóbicas (TPH) e hidrofílicas (HPI) utilizando la resina, para así tener un mejor tratamiento (23).

Se sabe que la resina presenta una relación de :

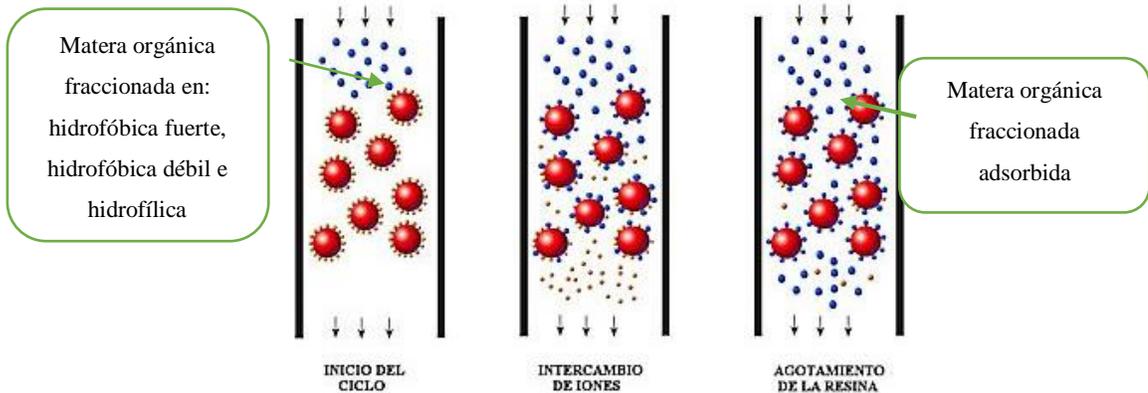
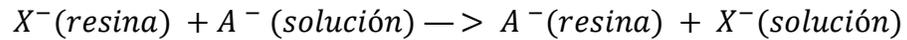


Figura 51. Mecanismo de acción de la resina de intercambio iónico

4.2. Contrastación de hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis, primero se identifica diseño de bloques completamente al azar con un arreglo factorial 2^3 , que tiene 3 factores independientes, masa de resina, velocidad de agitación y tiempo con 2 niveles, obteniendo 8 pruebas experimentales principales por la variable dependiente materia orgánica (DQO), turbidez y color. El análisis se realizó en el programa MINITAB.

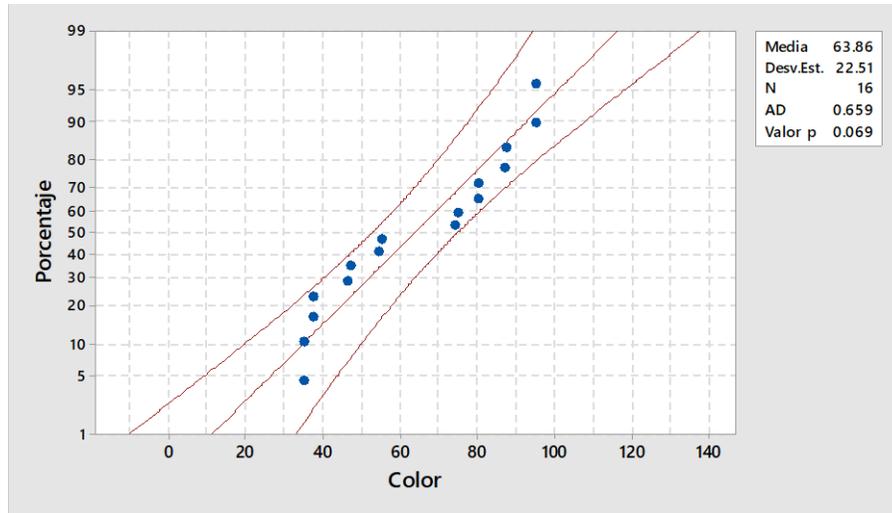


Figura 52. Análisis de probabilidad para el color

En la figura 52 se muestra la prueba de normalidad para la reducción de color, donde el valor de “p” es 0,069 el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05, señalando que los datos son provenientes de una población normal, por lo que se utilizara la prueba paramétrica ANOVA para la comprobación de hipótesis.

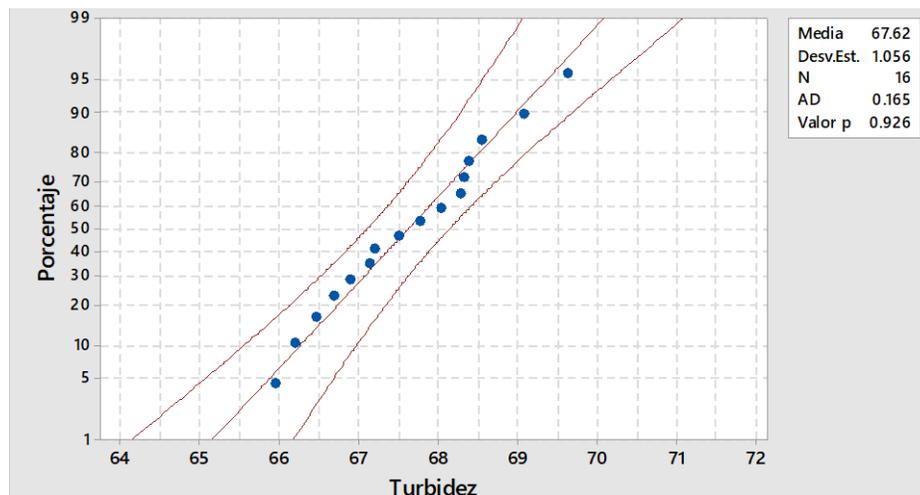


Figura 53. Análisis de probabilidad para la turbidez

En la figura 53 se muestra la prueba de normalidad para la reducción de turbidez, donde el valor de “p” es 0,926 el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05, señalando que los datos son provenientes de una población normal, por lo que se utilizara la prueba paramétrica ANOVA para la comprobación de hipótesis.

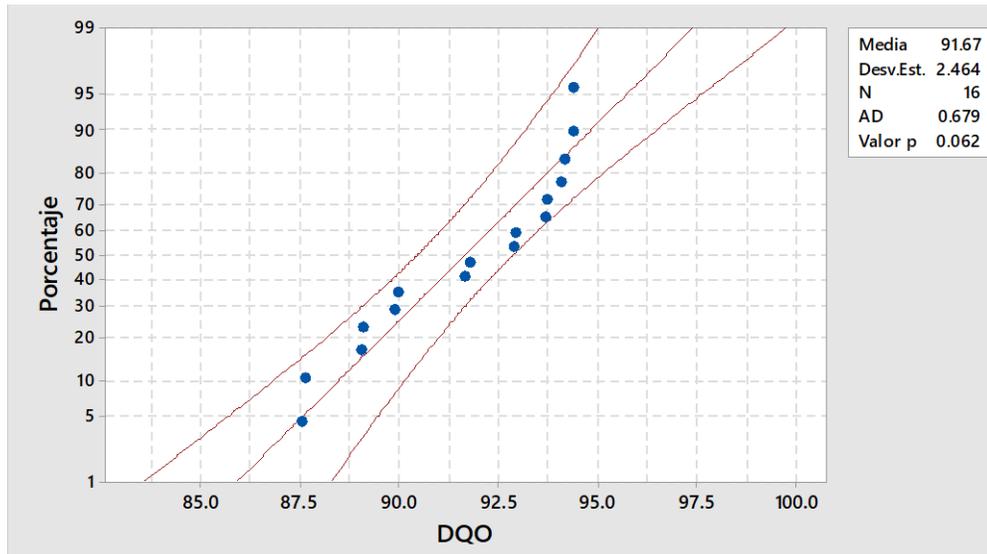


Figura 54. Análisis de probabilidad para el DQO

En la figura 54, se muestra la prueba de normalidad para la reducción de turbidez, donde el valor de “p” es 0,062 el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05, señalando que los datos son provenientes de una población normal, por lo que se utilizara la prueba paramétrica ANOVA para la comprobación de hipótesis

4.2.1. Hipótesis específica

4.2.1.1. Caracterización de lixiviados

Ho1: Los lixiviados del vertedero de Chupaca no presenta alta concentraciones de materia orgánica, turbidez y color.

Ha1: Los lixiviados del vertedero de Chupaca presenta alta concentración de materia orgánica, turbidez y color.

Tomando en consideración lo mencionado por Haslina y compañero en el año 2021, que “ la relación entre la edad de los lixiviados de los botaderos y sus características es significativa para poder determinar la edad de dicho botadero y poder aplicar métodos de tratamiento para su

liberación al medio ambiente” y según nuestra caracterización los lixiviados del vertedero de Chupaca es de mediano plazo, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, determinando que los lixiviados del vertedero de Chupaca presenta alta concentración de materia orgánica, turbidez y color.

4.2.1.2. Color

Tabla 14. Información del factor color

Factor	Niveles	Valores
Masa	2	0,5; 1,5
Tiempo	2	30; 90
Velocidad	2	50; 150

Tabla 15. Análisis de Varianza color

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	7598,08	949,76	13058,45	0,000
Bloques	1	0,45	0,45	6,19	0,042
Lineal	3	4183,22	1394,41	19171,97	0,000
Masa	1	272,10	272,10	3741,21	0,000
Tiempo	1	2401,92	2401,92	33024,54	0,000
Velocidad	1	1509,19	1509,19	20750,16	0,000
Interacciones de 2 términos	3	3351,80	1117,27	15361,55	0,000
Masa*Tiempo	1	457,42	457,42	6289,12	0,000
Masa*Velocidad	1	2878,37	2878,37	39575,32	0,000
Tiempo*Velocidad	1	16,01	16,01	220,19	0,000
Interacciones de 3 términos	1	62,61	62,61	860,87	0,000
Masa*Tiempo*Velocidad	1	62,61	62,61	860,87	0,000
Error	7	0,51	0,07		
Total	15	7598,59			

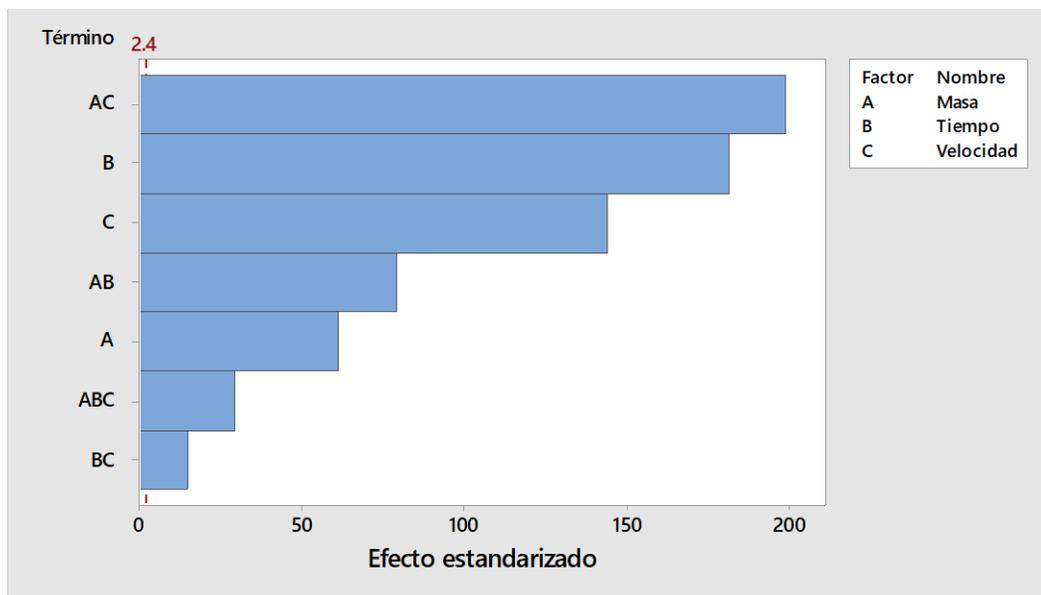


Figura 55. Diagrama de Pareto color

En la figura 55, se observa que el diagrama de Pareto según la reducción de color las variables que influyen de forma individual mejor en el proceso de reducción es el tiempo, seguido de la velocidad y finalmente la masa. Además, que de todas las combinaciones con efectos significativos es la masa con velocidad, seguido por la masa y el tiempo, la combinación de los tres también influye en el tratamiento, pero no se muestra tan significativo como lo anterior mencionado.

a) Hipótesis específica 1

Ho2: El tiempo de contacto no reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha2: El tiempo de contacto reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

En la tabla 14, se muestra el valor de “p” para la variación de tiempo de contacto en la reducción de color es de 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir, la variación del tiempo de contacto reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

b) Hipótesis específica 2

Ho3: La masa de resina de intercambio iónico no reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Ha3: La masa de resina de intercambio iónico reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

En la tabla 14, se muestra el valor de “p” para la variación de la masa de resina en la reducción de color es de 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir, la variación de la masa de resina de intercambio iónico reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

c) Hipótesis específica

Ho4: La velocidad de agitación no reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha4: La velocidad de agitación reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

En la tabla 14, se muestra el valor de “p” para la variación de la velocidad de agitación en la reducción de color es de 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir, la variación de velocidad de agitación reduce significativamente el color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

4.2.1.3.Turbidez

Tabla 16. Información del factor para turbidez

Factor	Niveles	Valores
Masa	2	0,5; 1,5
Tiempo	2	30; 90
Velocidad	2	50; 150

Tabla 17. Análisis de varianza para turbidez

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	15,1928	1,89910	8,75	0,005
Bloques	1	1,3433	1,34327	6,19	0,042
Lineal	3	7,7293	2,57644	11,87	0,004
Masa	1	0,0041	0,00407	0,02	0,895
Tiempo	1	6,8245	6,82447	31,44	0,001
Velocidad	1	0,9008	0,90077	4,15	0,081
Interacciones de 2 términos	3	5,9922	1,99742	9,20	0,008
Masa*Tiempo	1	0,2141	0,21408	0,99	0,354
Masa*Velocidad	1	3,5500	3,54997	16,35	0,005
Tiempo*Velocidad	1	2,2282	2,22821	10,26	0,015
Interacciones de 3 términos	1	0,1280	0,12801	0,59	0,468
Masa*Tiempo*Velocidad	1	0,1280	0,12801	0,59	0,468
Error	7	1,5195	0,21708		
Total	15	16,7124			

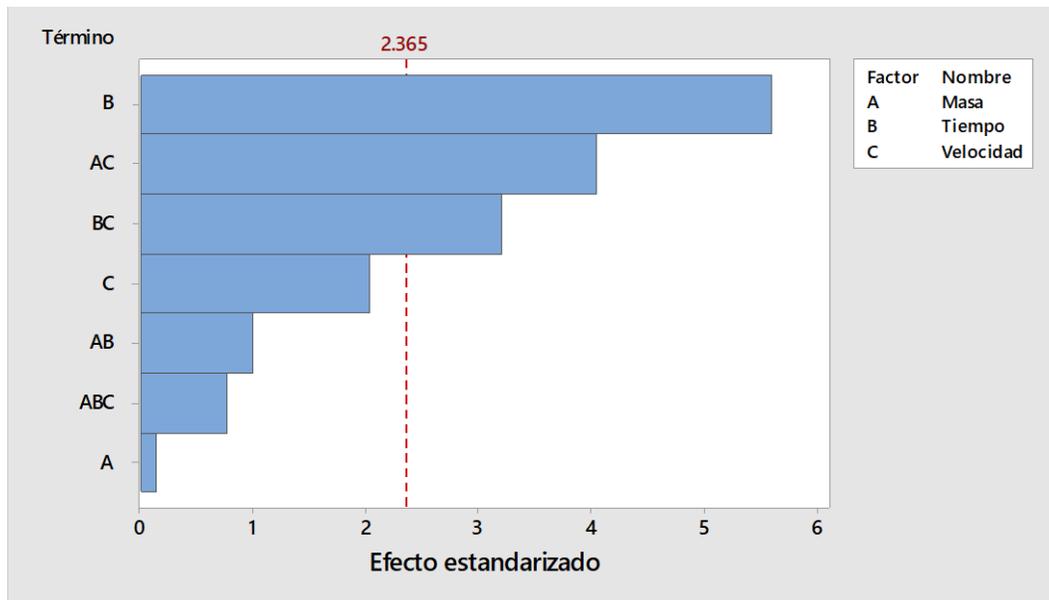


Figura 56. Diagrama de Pareto turbidez

En la figura 56, se observa que el diagrama de Pareto según la reducción de turbidez las variables que influyen de forma individual mejor en el proceso de reducción es el tiempo, seguido de la

velocidad y finalmente la masa. Además, que de todas las combinaciones con efectos significativos es la masa con la velocidad, seguido por el tiempo y la velocidad, finalmente la combinación de los tres también influye en el tratamiento, pero no se muestra tan significativo como lo anterior mencionado.

a) Hipótesis específica 1

Ho2: El tiempo de contacto no reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha2: El tiempo de contacto reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

En la tabla 16, se muestra el valor de “p” para la variación de tiempo de contacto en la reducción de turbidez es de 0,001; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir, la variación del tiempo de contacto reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

b) Hipótesis específica 2

Ho3: La masa de resina de intercambio iónico no reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Ha3: La masa de resina de intercambio iónico reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

En la tabla 4, se muestra el valor de “p” para la variación de la masa de resina en la reducción de color es de 0,895; como este valor es mayor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es niega y se acepta la hipótesis nula, es decir, la variación de la masa de resina de intercambio iónico no reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca

c) Hipótesis específica 3

Ho4: La velocidad de agitación no reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha4: La velocidad de agitación reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

En la tabla 4, se muestra el valor de “p” para la variación de la velocidad de agitación en la reducción de turbidez es de 0,81; como este valor es mayor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna se niega y la hipótesis alterna es aceptada, es decir, la variación de velocidad de agitación no reduce significativamente la turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

4.2.1.4. Materia orgánica

Tabla 18. Información del factor para materia orgánica

Factor	Niveles	Valores
Masa	2	0,5; 1,5
Tiempo	2	30; 90
Velocidad	2	50; 150

Tabla 19. Análisis de varianza para la materia orgánica

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	91,0916	11,3864	9447,95	0,000
Bloques	1	0,0146	0,0146	12,15	0,010
Lineal	3	86,2315	28,7438	23850,31	0,000
Masa	1	70,6274	70,6274	58603,42	0,000
Tiempo	1	11,9712	11,9712	9933,14	0,000
Velocidad	1	3,6329	3,6329	3014,38	0,000
Interacciones de 2 términos	3	4,3719	1,4573	1209,21	0,000
Masa*Tiempo	1	2,3751	2,3751	1970,74	0,000
Masa*Velocidad	1	1,8580	1,8580	1541,66	0,000
Tiempo*Velocidad	1	0,1389	0,1389	115,24	0,000
Interacciones de 3 términos	1	0,4735	0,4735	392,92	0,000
Masa*Tiempo*Velocidad	1	0,4735	0,4735	392,92	0,000
Error	7	0,0084	0,0012		
Total	15	91,1000			

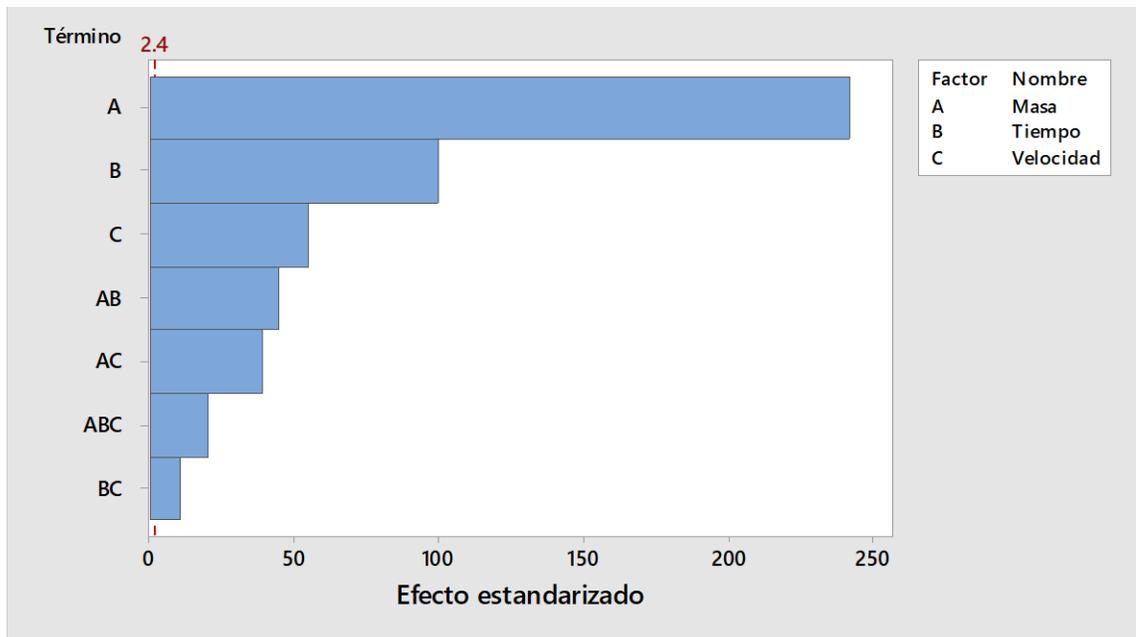


Figura 57. Diagrama de Pareto para materia orgánica

En la figura 57, se observa que en el diagrama de Pareto, según la reducción de materia orgánica, las variables que influyen de forma individual mejor en el proceso de reducción es la masa, seguido de la velocidad y finalmente el tiempo. Además, que de todas las combinaciones con efectos significativos es la masa con el tiempo, seguido por la masa y la velocidad, la combinación de los tres también influye en el tratamiento, pero no se muestra tan significativo como lo anterior mencionado.

a) Hipótesis específica 1

Ho2: El tiempo de contacto no reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha2: El tiempo de contacto reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

En la tabla 18, se muestra el valor de “p” para la variación de tiempo de contacto en la reducción de materia orgánica es de 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir, la variación del tiempo de contacto reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

b) Hipótesis específica 2

Ho3: La masa de resina de intercambio iónico no reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Ha3: La masa de resina de intercambio iónico reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

En la tabla 18, se muestra el valor de “p” para la variación de la masa de resina en la reducción de materia orgánica es de 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir, la variación de la masa de resina de intercambio iónico reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

c) Hipótesis específica 3

Ho4: La velocidad de agitación no reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

Ha4: La velocidad de agitación reduce significativamente materia orgánica, la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

En la tabla 18, se muestra el valor de “p” para la variación de la velocidad de agitación en la reducción de materia orgánica es de 0,000; como este valor es menor al valor de significancia de 0,05 la hipótesis alterna planteada es aceptada, es decir, la variación de velocidad de agitación reduce significativamente la materia orgánica de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico.

4.2.2. Hipótesis general

Ho: Las resinas de intercambio iónico no presentan una eficiencia significativamente alta en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Ha: Las resinas de intercambio iónico presentan una eficiencia significativamente alta en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

Según la tabla 14, 16 y 18 en que el valor de p es de 0,000 y como este valor es menor al de significancia de 0,05, se acepta la hipótesis alternada, es decir, las resinas de intercambio iónico presentan una eficiencia significativamente alta en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca.

4.2. Discusión de resultados

Los resultados de la determinación de materia orgánica, turbidez y color que presenta los lixiviados del vertedero de Chupaca indican que este líquido presentaba 6867,83 mg/L de DQO; 287,50 NTU de turbidez y 2000 PCU de color, valores que son altos para que dicho contaminante este expuesto al ambiente sin tratamiento alguno, estas altas concentraciones de los parámetros evaluados es debido a la edad del lixiviado de este vertedero, pues se asemejan a una edad de 5 años a 10 años o también conocido como mediano plazo, asimismo estas características también se deben a que los lixiviados se producen a partir del líquido proveniente de la humedad natural del agua de constitución presente en la materia orgánica de los residuos sólidos, de los productos de degradación biológica de los materiales orgánicos y del agua de infiltración que penetra la cobertura y las celdas de residuos, sumado a los materiales disueltos o suspendidos que fueron extraídos de la masa de residuos, volviéndolo altamente contaminantes (24).

Para observar cómo es que influye el tiempo de contacto en la reducción de materia orgánica, turbidez y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca se utilizaron tiempos de 30 min y 90 min, dando mejores resultados al cabo de los 90 min logrando reducir en un porcentaje de 95,03 % de color, 69,35 % de turbidez y 94,38 % de materia orgánica. Mientras que, los mejores resultados obtenidos con 30 minutos fueron de 87,18 % de color, 67,36 % de turbidez y 93,69 % de materia orgánica, resultados inferiores a los obtenidos con respecto al mayor tiempo. Esto se debe a que con el mayor tiempo de contacto hay mayor posibilidad que los iones de la materia orgánica fraccionada pueda adherirse en la resina hasta este alcance su máxima capacidad. Este resultado difiere del trabajo Hazra, et al. (11), el cual trato lixiviados de vertederos mediante secuencia integrada de extracción por aire, coagulación-floculación y adsorción tuvo como resultados la eliminación hasta el 96,3 % de $\text{NH}_3\text{-N}$, el 49,3 % de la DQO y el 74,1 % de la DBO_5 en un período de retención óptimo de 36 h, tiempo que es demasiado elevado comprobando que nuestro tratamiento es más efectivo ya que con un tiempo de solo 90 min se logró mejores resultados pues la mayoría de parámetros analizados superaron el 90% de remoción. Asimismo, en el estudio de Li et al. (12) en el que se trató lixiviados de vertederos estabilizados mediante el proceso combinado de coagulación / floculación y adsorción de carbón activado en polvo, dio como resultados que a condiciones de 10g/L de PAC y 90 min de tiempo de contacto se obtuvo una eficiencia de 86 % para DQO, 78 % para toxicidad, 97,6 % para Pb y 99,7 % para Fe, a pesar que este tratamiento tenga el mismo tiempo de trabajo no se obtiene la misma eficiencia y esto debido al mecanismo que tiene cada tratamiento al momento de la eliminación de contaminantes, es por ello que se puede

confirmar que el tiempo de 90 min en el proceso de intercambio iónico es adecuado para obtener porcentajes de remoción mayores al 90 %.

Para observar cómo es que influye la masa de la resina en la reducción de materia orgánica, turbidez y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca se utilizaron masas de 0,5g y 1,5g. Dando como mejores resultados con 1,5g logrando reducir en un porcentaje de 95,03 % de color, 69,35 % de turbidez y 94,38 % de materia orgánica. Mientras que los mejores resultados obtenidos con una masa de 0,5g de resina fueron de 80,06 % de color, 66,32 % de turbidez y 91,71 % de materia orgánica, resultados que son inferiores a los obtenidos con respecto a la mayor masa. Esto se debe a que cuando es mayor la masa de resina utilizada permite un mejor comportamiento de adsorción de contaminantes orgánicos e inorgánicos en la matriz acuosa tratada, ya que la selectividad relativa de este material está relacionada con la selectividad y la cantidad de carga positiva que se liberara en el medio acuoso para llevar a cabo el intercambio iónico. Al respecto, según el trabajo de Sun et al. (9) menciona que con 1g de resina se puede lograr una capacidad de adsorción de 39,84 mg DQO lo cual llega a ser semejante con los resultados obtenidos en el estudio.

Para observar cómo es que influye la velocidad de agitación en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico se trabajó con velocidades de 50 rpm y 150 rpm, logrando reducir en un porcentaje de 95,03 % de color, 69,35 % de turbidez y 94,38 % de materia orgánica. Mientras que los mejores resultados obtenidos con una velocidad de 150 rpm de resina fueron de 80,06 % de color, 68,33 % de turbidez y 93,69 % de materia orgánica, resultados que son inferiores a los obtenidos con respecto a la mayor masa. Esto se debe a que la velocidad de agitación del sistema es una variable muy importante porque permite la suspensión de las partículas en movimiento y eso facilita la transferencia de masa, ya que con una velocidad lenta y no tan agitada permite tener un adecuado desarrollo del proceso de adsorción de los contaminantes en la resina, pues le da tiempo de realizar su mecanismo de acción y tener contacto fluido con la resina para poder intercambiar sus iones con los del medio acuoso tras el fraccionamiento de la materia orgánica.. Este resultado se comprueba en el estudio de Kamaruddin et al. (14) quienes establecieron que una velocidad de agitación de 150 rpm se logra una eficiencia de eliminación de color, DQO, SS y turbidez de 91,5, 70,3, 93,1 y 92,4 %, resultados semejantes obtenidos en el presente estudio.

Finalmente, se determinó que la resina de intercambio iónico es altamente eficiente en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca, puesto

que se logró obtener porcentajes mayores al 80 % de reducción de los contaminantes, además que la isoterma que se adapta mejor a nuestro estudio es la de Langmuir ya que logro obtener un valor de coeficiente de determinación de 0,902. Además, se puede mencionar que a pesar de no haber llegado a los LMP mencionados en el Decreto Supremo N°- 2009 – MINAM, se obtuvo una gran eficiencia de reducción asegurando que se cumple lo mencionado en la teoría que es una tecnología adecuada, pues se pueden eliminar algunos sólidos suspendidos y materia orgánica además se apoya lo mencionado por Arbeláez y García (28) que la eficiencia el proceso de intercambio iónico puede mejorar cuando es aplicada después de un pretratamiento previo como la filtración, coagulación, floculación y sedimentación , esta idea podría de ser de gran ayuda para lograr estar dentro de los LMP ya que la concentración de materia orgánica en los lixiviados de Chupaca son demasiados altos debido a la edad que presenta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó que la resina de intercambio iónico tiene una efectividad significativamente alta en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca, dado que el valor de p del estudio fue menor a la significancia de 0,05. Obteniendo que los mejores resultados de reducción de color, turbidez y materia orgánica (DQO) de 95,03 %; 69,35 % y 94,38 % respectivamente, todo a condiciones de trabajo de 1,5g de resina, velocidad de agitación de 50 rpm y 90 min.

Se determinó que la concentración de materia orgánica, turbidez y color que presenta los lixiviados del vertedero de Chupaca son altos dado que se obtuvo 2000 PCU; 287,50 NTU y 6867,83 mg/L respectivamente. Considerando los resultados se concluyó que los lixiviados del vertedero de Chupaca tendrán un periodo de 5 años a 10 años.

Se determinó que el tiempo de contacto influye significativamente en la reducción de materia orgánica, turbidez y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca usando resina de intercambio iónico, porque se obtuvo un valor de p de 0,000, menor a la significancia de 0,05, además de establecer que con 90min se redujeron mejores contaminantes.

Se determinó que la masa de resina de intercambio iónico influye significativamente en la reducción de materia orgánica y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca, porque se obtuvo un valor de p de 0,000, menor al de 0,05. Sin embargo, en caso de turbidez, esta variable no es significativa porque obtuvo un valor de 0,895 que, al ser mayor que la significancia, no hay

influencia significativa en la reducción de dicho parámetro. Además, se estableció que 1,5g se obtuvo los mejores resultados del tratamiento.

Se determinó que la velocidad de agitación influye significativamente en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico. debido a que se obtuvo un valor de p de 0,000 el cual es menor a la significancia de 0,05, además que se estableció que con 50 rpm se obtuvo mejores reducciones de los contaminantes.

5.2.Recomendaciones

Se recomienda estudios de regeneración de las resinas usadas en el tratamiento de intercambio iónico.

Se sugiere realizar análisis de costo beneficio del proceso para asegurar su factibilidad de asegurar su aplicación a gran escala.

Se recomienda analizar la influencia del proceso de intercambio iónico en otros parámetros de la calidad de los lixiviados de vertederos importantes para cumplir con normativas peruanas.

Se sugiere realizar estudios de modificaciones a las resinas comerciales para asegurar mayor efectividad en su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HIDALGO, A.M., MURCIA, M.D., GOMEZ, M. and LOPEZ, A.J. Alternativas en el tratamiento de lixiviados de vertedero. *Conama*. Online. 2016, 1–28. Available from: <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT2016/1998971810.pdf>
2. SCANDELAI, Ana Paula Jambers, ZOTESO, Jaqueline Pirão, VICENTINI, Jean César Marinozi, CARDOZO FILHO, Lúcio and TAVARES, Célia Regina Granhen. Intensification of supercritical water oxidation (ScWO) by ion exchange with zeolite for the reuse of landfill leachates. *Science of the Total Environment*. Online. 2021, 794, 148584. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.148584.
3. HASLINA, H, NORRUWAIDA, J, DEWIKA, M, RASHID, M, MD ALI, Abd Halim, KHAIRUNNISA, M P and AFIQ DANIEL AZMI, M. Landfill Leachate Treatment Methods and Its Potential for Ammonia Removal and Recovery - A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021, 1051 (1), p. 012064. DOI 10.1088/1757-899x/1051/1/012064. As a f
4. ZAMRI, Mohd Faiz Muaz Ahmad, KAMARUDDIN, Mohamad Anuar, YUSOFF, Mohd Suffian, AZIZ, Hamidi Abdul and FOO, Keng Yuen. Semi-aerobic stabilized landfill leachate treatment by ion exchange resin: isotherm and kinetic study. *Applied Water Science*. 2017, 7, (2) , 581–590. DOI 10.1007/s13201-015-0266-2.
5. ISHAK, Ahmad Razali, KHOR, Soo Wei, MOHAMAD, Sharifah and TAY, Kheng Soo. Development of UV/Persulfate based laboratory-scale continuous-flow leachate treatment system. *Environmental Technology & Innovation*. Online. 2021, 24, 102065. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102065>.
6. CHEN, Yingying, XU, Weiyang, ZHU, Hongjian, WEI, Dong, HE, Fang, WANG, Dongsheng, DU, Bin and WEI, Qin. Effect of turbidity on micropollutant removal and membrane fouling by MIEX/ultrafiltration hybrid process. *Chemosphere*. Online. 2019, 216, 488–498. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.10.148.
7. AFTAB, Bilal and HUR, Jin. Unraveling complex removal behavior of landfill leachate upon the treatments of Fenton oxidation and MIEX® via two-dimensional correlation size exclusion chromatography (2D-CoSEC). *Journal of Hazardous Materials*. Online. 2019, 362, 36–44. DOI 10.1016/j.jhazmat.2018.09.017.

8. SCOTT, Machlan, MILLAR, Graeme J. and ALTAEE, Ali. Process design of a treatment system to reduce conductivity and ammoniacal nitrogen content of landfill leachate. *Journal of Water Process Engineering*. Online. 2019, 31, p. 100806. DOI 10.1016/j.jwpe.2019.100806.
9. SUN, Wenjie, YUE, Dongbei, SONG, Jiangang and NIE, Yongfeng. Adsorption removal of refractory organic matter in bio-treated municipal solid waste landfill leachate by anion exchange resins. *Waste Management*. Online. 2018, 81, 61–70. DOI 10.1016/j.wasman.2018.10.005.
10. CHAOUKI, Z., HADRI, M., NAWDALI, M., BENZINA, M. and ZAITAN, H. Treatment of a landfill leachate from Casablanca city by a coagulation-flocculation and adsorption process using a palm bark powder (PBP). *Scientific African*. 2021, 12, p. e00721. DOI 10.1016/j.sciaf.2021.e00721.
11. HAZRA, TumpDE, Sushmita, a and DUTTA, Amit. Treatment of landfill leachate by integrated sequence of air stripping, coagulation–flocculation and adsorption. *Environment, Development and Sustainability*. 2017, 21 (2), 657–677. DOI 10.1007/s10668-017-0053-3.
12. LI, Wei, HUA, Tao, ZHOU, Qixing, ZHANG, Shuguang and LI, Fengxiang. Treatment of stabilized landfill leachate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption. *Desalination*. 2010, 264 (1–2), 56–62. DOI 10.1016/j.desal.2010.07.004.
13. OLOIBIRI, Violet, DE CONINCK, Sam, CHYS, Michael, DEMEESTERE, Kristof and VAN HULLE, Stijn W.H. Characterisation of landfill leachate by EEM-PARAFAC-SOM during physical-chemical treatment by coagulation-flocculation, activated carbon adsorption and ion exchange. *Chemosphere*. 2017, 186, 873–883. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.08.035.
14. KAMARUDDIN, Mohamad Anuar, YUSOFF, Mohd Suffian, RUI, Lo Ming, ISA, Awatif Md, ZAWAWI, Mohd Hafiz and ALROZI, Rasyidah. An overview of municipal solid waste management and landfill leachate treatment: Malaysia and Asian perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. 24 (35), 26988–27020. DOI 10.1007/s11356-017-0303-9.
15. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. Residuos Sólidos Municipales. *Reporte del Estado Ambiental y de los Recursos Naturales en la Frontera Norte de México*. Online. 1998. P. 191–202. Available from: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=109&tipo_file=pdf&filena me=109

16. OEFA. Propuesta metodológica para el muestreo de lixiviados en rellenos sanitarios operativos. Online. 2021. P. 19. Available from: https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/161/GRUPON_12.DOC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
17. GAO, Junling, OLOIBIRI, Violet, CHYS, Michael, AUDENAERT, Wim, DECOSTERE, Bjorge, HE, Yanling, VAN LANGENHOVE, Herman, DEMEESTERE, Kristof and VAN HULLE, Stijn W.H. The present status of landfill leachate treatment and its development trend from a technological point of view. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 2015. Vol. 14, no. 1, p. 93–122. DOI 10.1007/s11157-014-9349-z.
18. LEVCHUK, Irina, RUEDA MÁRQUEZ, Juan José and SILLANPÄÄ, Mika. Removal of natural organic matter (NOM) from water by ion exchange – A review. *Chemosphere*. Online. 2018, 192, 90–104. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.10.101.
19. FRYER, Luke K, LARSON-HALL, Jenifer and STEWART, Jeffrey. Quantitative Methodology. 2018, 55–77. DOI 10.1057/978-1-137-59900-1.
20. MINISTERIO DE VIVIENDA, construcción y saneamiento (MVCS). Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. . 2013.
21. BASHIR, Mohammed J.K., AZIZ, Hamidi Abdul and YUSOFF, Mohd Suffian. New sequential treatment for mature landfill leachate by cationic/anionic and anionic/cationic processes: Optimization and comparative study. *Journal of Hazardous Materials*. Online. 2011. 186 (1),. 92–102. DOI 10.1016/j.jhazmat.2010.10.082.
22. GADMAR, Tone C., VOGT, Rolf D. and EVJE, Lars. Artefacts in XAD-8 NOM fractionation. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2005, 85 (6), 365–376. DOI 10.1080/03067310500053910.
23. CHOW, Alex T., GAO, Suduan and DAHLGREN, Randy A. Physical and chemical fractionation of dissolved organic matter and trihalomethane precursors: A review. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*. 2005, 54 (8), 475–507. DOI 10.1039/b410974k.
24. CUNHA, Nicolás and PEREIRA, Santiago. Planta de Tratamiento de Lixiviados del Sitio de Disposición Final de la Ciudad de Montevideo (Vertedero Felipe Cardoso) Caracterización del Lixiviado. *Universidad de la República*. 2013.
25. CHÁVEZ, Wendy. Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx. *Centro De Investigacion En Materiales Avanzados*. 2011. P. 111.
26. PÉREZ, Nevárez. Capítulo 3 Intercambio Iónico. . 2009. P. 1–25.

27. CHAPARRO, Miriam E., VALENZUELA, Jesús L., MUNIVE, Guillermo T. and PARGA, José R. Uso de resina de intercambio aniónico para la recuperación del complejo oro tiosulfato desde soluciones acuosas. *Informacion Tecnologica*. 2012, 23 (2), 53–60. DOI 10.4067/S0718-07642012000200007.
28. ARBELÁEZ, Manuela and GARCÍA, Juan. Estudio de las tecnologías empleadas para el manejo de lixiviados y su aplicabilidad en el medio (Tesis de pregrado). *UNIVERSIDAD EAFIT ESCUELA*. Online. 2010. P. 1–145. Available from: https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/4284/ManuelaArbelaez_JuanGarcia_2010.pdf;jsessionid=FD02F13D76F787B8ABC48AEF5A832ECC?sequence=1

ANEXOS

Anexo 01

Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPÓTESIS GENERAL:	VARIABLES		INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
			INDEPENDIENTE	DIMENSIONES			
¿Cuánta es la eficiencia de la resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca?	Determinar la eficiencia de la resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca	Las resinas de intercambio iónico presentan una eficiencia significativamente alta en la reducción de materia orgánica, color y turbidez de los lixiviados del vertedero de Chupaca	Tratamiento con resinas de intercambio aniónica – Lewatit Mono Plus M 600	Tiempo de contacto Dosis de resinas de intercambio iónico Velocidad de Agitación	Intervalo de tiempo Cantidad	minutos g rpm	cuaderno de campo, cadena de custodia, recolección de datos antes del tratamiento, recolección
ESPECÍFICOS:	ESPECÍFICOS:	ESPECÍFICOS:	DEPENDIENTE				
¿Qué concentración de materia orgánica, turbidez y color presenta los lixiviados del vertedero de Chupaca?	Determinar la concentración de materia orgánica, turbidez y color que presenta los lixiviados del vertedero de Chupaca	Los lixiviados del vertedero de Chupaca presenta alta concentraciones de materia orgánica, turbidez y color El tiempo de contacto reduce significativamente materia orgánica,	Eficiencia de tratamiento	Reducción de parámetros físicos	Reducción de color Reducción de Turbidez	PCU NTU	cuaderno de campo, cadena de custodia, recolección de datos después del tratamiento
¿Cómo influye el tiempo de contacto en la reducción de materia	Determinar cómo influye el tiempo de contacto en la						

<p>orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico?</p> <p>¿Cómo influye la masa de resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca?</p> <p>¿Cómo influye la velocidad de agitación en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico?</p>	<p>reducción de materia orgánica, turbidez y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico</p> <p>Determinar cómo influye la masa de resina de intercambio iónico en la reducción de materia orgánica, turbidez y color en los lixiviados del vertedero de Chupaca</p> <p>Determinar cómo influye la velocidad de agitación en la reducción de materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resina de intercambio iónico</p>	<p>turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico</p> <p>La masa de resina de intercambio iónico reduce significativamente materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca</p> <p>La velocidad de agitación reduce significativamente materia orgánica, turbidez y color de los lixiviados del vertedero de Chupaca utilizando resinas de intercambio iónico</p>	<p>Reducción de materia orgánica</p>	<p>Reducción de la concentración de DBO</p>	<p>Ppm</p>
---	---	--	--------------------------------------	---	------------

Anexo 2
Cronograma

Actividades	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	
Adquisición de laptop y software																					
Búsqueda de información y elección del tema																					
Elaboración de la matriz de conceptualización y operacionalización																					
Elaboración de del plan																					
Pruebas experimentales																					
Tratamiento de la de los resultados																					
Análisis e interpretación de la información																					
Elaboración del Informe final y entrega de informe																					

Anexo 3
Etapa de laboratorio



Lavado de resinas con agua destilado



Pesado de resina



Medida de la muestra a tratar



Tratamiento de muestras con el proceso de intercambio iónico



Muestras tratadas

Anexo 4

Reportes de laboratorio



INFORME DE ENSAYO N° 1-0150/23

Pág. 1/1

CLIENTE : Cristina Tiburcia Rivera Muñoz / Gabriela del Pilar Villegas Marcelo
DIRECCIÓN : Mz C Lta 01 Tambo / Pej. Santa Celicia N° 226
REFERENCIA : PROYECTO "Tratamiento de lixiviados mediante resina de intercambio iónico del vertedero de Chupaca"
PRODUCTO : Lixiviado de residuos sólidos
MATRIZ : Lixiviado de residuos sólidos
CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Lixiviado - Chupaca
FECHA DE MUESTREO : 11/12/23
FECHA DE RECEPCIÓN : 11/12/23
MUESTREO POR : Los testistas
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 12/12/23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 12/12/23
N° DE COTIZACIÓN DE SERVICIO : GJ/COT-2023-191

MÉTODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.D.	L.C.	UNIDADES
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed 2017. pH Value, Electrometric Method.	-	-	Unidad pH
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510B, 23rd Ed 2017. Conductivity, Electrometric Method.	-	-	µS/cm
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed 2017. Turbidity, Nephelometric Method.	0.07	0.1	NTU
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 520 C, 23rd Ed 2017. Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Titrimetric Method.	1.0	2.0	mg/L
Sólidos Totales Disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed 2017. Solids, Total Dissolved Solids Dried at 180°C	5.4	10	mg/L
Color Verdadero	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed 2017. Color. Spectrophotometric Single-Wavelength Method.	0.4	1.0	UC

L.C. Límite de certificación
 L.D. Límite de detección
 (a) Límite de detección de método para estas metodologías por ser verticativas

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO	Lixiviado de residuos sólidos		
MATRIZ	Lixiviado de residuos sólidos		
FECHA DE MUESTREO	11/12/2023		
COORDENADAS UTM WGS 84	8863698, 10 N		
	472192, 20E		
ALTITUD (msnm)	3260		
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Refrigerada		
CÓDIGO DE CLIENTE	CAG-01		
CÓDIGO DE LABORATORIO	23121101		
ENSAYO	UNIDADES	L.C	
Turbidez	NTU	0.1	267.5
Color	mg/L	1.0	2000
DQO	mg/L	0.9	6967.83

ENSAYOS DE CAMPO

Conductividad	µS/cm	-	18500
TDS	mg/L	10.0	9500
pH	Unidad	-	8.09

Los límites de campo o resultados potenciales se muestran del GRUPO JHACC en presencia de los Testistas.

Huancayo, 18 de Diciembre de 2023

Wilmer M. Espinoza Chénca
 SUPER VISOR DE LABORATORIO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL GRUPO JHACC.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
 www.grupojhacc.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-0151/23

Pág. 1/1

CLIENTE : Cristina Tiburcia Rivera Muñoz / Gabriela del Pilar Villegas Marcelo
DIRECCIÓN : Mz C Lte 01 Tambo / Paj. Santa Cecilia N° 226
REFERENCIA : PROYECTO "Tratamiento de lixiviados mediante resina de intercambio iónico del vertedero de Chupaca"
PRODUCTO : Lixiviado tratado
MATRIZ : Lixiviado tratado
CANTIDAD DE MUESTRAS : 8
PROCEDECENCIA DE LAS MUESTRAS : Lixiviado - Chupaca
FECHA DE MUESTREO : 15/12/23
FECHA DE RECEPCIÓN : 15/12/23
MUESTREADO POR : Los tesisistas
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 15/12/23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 18/12/23
N° DE COTIZACIÓN DE SERVICIO : GJ/COT-2023-191

METODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.D.	L.C.	UNIDADES
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017. pH Value, Electrometric Method.			Unidade pH
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510B, 23rd Ed.2017, Conductivity, Electrometric Method.			µS/cm
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.2017, Turbidity, Nephelometric Method.	0.07	0.1	NTU
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed.2017, Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Titrimetric Method.	1.0	2.0	mg/L
Color Verdadero	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed.2017, Color, Spectrophotometric Single-Wavelength Method.	0.4	1.0	UC

L.C. Límite de cuantificación
 L.D. Límite de detección
 (a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semiquantitativas

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO		Lixiviado tratado								
MATRIZ		Lixiviado tratado								
FECHA DE MUESTREO		15/12/2023								
CONDICIONES DE LA MUESTRA		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
CÓDIGO DE CLIENTE		CG01-I	CG02-I	CG03-I	CG04-I	CG05-I	CG06-I	CG07-I	CG08-I	
CÓDIGO DE LABORATORIO		23121501	23121502	23121503	23121504	23121505	23121506	23121507	23121508	
ENSAYO	UNIDADES	L.C.								
Turbidez	NTU	0.1	97.2	95.8	91.1	90.9	94.3	97.9	88.9	95.2
Color	mg/L	1.0	1250	1056	500	400.00	250.00	1300.00	100.00	900.00
DQO	mg/L	0.9	849.885	749.84	688.355	564.83	488.581	431.761	385.153	401.756

L.C. Límite de cuantificación

Huancayo, 22 de Diciembre de 2023



WILNER M. ESPINOZA CHANCA
 SUPER VISOR DE LABORATORIO

El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL GRUPO JHACC.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
 www.grupojhacc.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 1-0152/23

Pág. 1/1

CLIENTE : Cristina Tiburcia Rivera Muñoz / Gabriela del Pilar Villegas Marcelo
DIRECCIÓN : Mz C Lte 01 Tambo / - Psj. Santa Catalina N° 226
REFERENCIA : PROYECTO "Tratamiento de lixiviados mediante resina de intercambio iónico del vertedero de Chupaca"
PRODUCTO : Lixiviado de residuos sólidos / Lixiviado tratado
MATRIZ : Lixiviado de residuos sólidos / Lixiviado tratado
CANTIDAD DE MUESTRAS : 5
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Lixiviado - Chupaca
FECHA DE RECEPCIÓN : 18/12/23
MUESTREO POR : Los tesisistas
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 19/12/23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 19/12/23
N° DE COTIZACIÓN DE SERVICIO : GJ/COT-2023-191

METODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.D.	L.C.	UNIDADES
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.2017. Turbidity. Nephelometric Method.	0.07	0.1	NTU
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed.2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method.	1.0	2.0	mg/L
Color Verdadero	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed 2017. Color. Spectrophotometric Single-Wavelength Method.	0.4	1.0	UC

L.C. Límite de cuantificación
 L.D. Límite de detección
 (s) Límite de detección del método para estas metodologías por ser sensores analíticos

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO	Lixiviado de residuos sólidos		Lixiviado tratado			
MATRIZ	Lixiviado de residuos sólidos		Lixiviado tratado			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Refrigerada		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada
CÓDIGO DE CLIENTE	CAC-02		CG-01	CG-02	CG-03	CG-04
CÓDIGO DE LABORATORIO	23121801		23121802	23121803	23121804	23121805
ENSAYO	UNIDADES	L.C.				
Turbidez	NTU	0.1	296.9			
Color	mg/L	1.0	1986			
DQO	mg/L	0.9	6717.94	2455.05	815.13	448.82
						351.24

Huancayo, 27 de Diciembre de 2023



Wlmer M. Espinoza Chanco
 SUPERVISOR DE LABORATORIO

El informe de ensayo solo es valido para las muestras referidas en el presente informe
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL GRUPO JHACC
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
 www.grupojhacc.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 1-0153/23

Pág. 1/1

CLIENTE	: Cristina Tiburcia Rivera Muñoz / Gabriela del Pilar Villegas Marcelo
DIRECCIÓN	: Mz C Lte 01 Tambo / Paj. Santa Celicia N° 226
REFERENCIA	: PROYECTO "Tratamiento de lixiviados mediante resina de intercambio iónico del vertedero de Chupaca"
PRODUCTO	: Lixiviado tratado
MATRIZ	: Lixiviado tratado
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 8
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Lixiviado - Chupaca
FECHA DE MUESTREO	: 19/12/23
FECHA DE RECEPCIÓN	: 19/12/23
MUESTREO POR	: Los tesisas
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 20/12/23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 22/12/23
N° DE COTIZACIÓN DE SERVICIO	: GJ/COT-2023-191

METODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.D.	L.C.	UNIDADES
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017. pH Value, Electrometric Method.			Unidade pH
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510B, 23rd Ed.2017. Conductivity, Electrometric Method.			µS/cm
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.2017. Turbidity, Nephelometric Method.	0.07	0.1	NTU
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 520 C, 23rd Ed.2017. Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Titrimetric Method.	1.0	2.0	mg/L
Color Verdadero	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed.2017. Color, Spectrophotometric Single-Wavelength Method.	0.4	1.0	UC

L.C. Límite de cuantificación
L.D. Límite de detección

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semiquantitativas.

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO		Lixiviado tratado								
MATRIZ		Lixiviado tratado								
FECHA DE MUESTREO		19/12/2023								
CONDICIONES DE LA MUESTRA		Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	Refrigerada	
CÓDIGO DE CLIENTE	CG01-II	CG02-II	CG03-II	CG04-II	CG05-II	CG06-II	CG07-II	CG08-II		
CÓDIGO DE LABORATORIO	23121901	23121902	23121903	23121904	23121905	23121906	23121907	23121908		
ENSAYO	UNIDADES	L.C.								
Turbidez	NTU	0.1	99.6	94.9	93.4	94.2	86.5	95.7	90.2	97.6
Color	mg/L	1.0	1243	1064	512	395	261	1292	98	904
DOO	mg/L	0.9	837.74	737.18	680.48	580.99	476.72	425.55	378.71	397.26

L.C. Límite de cuantificación

Huancayo, 27 de Diciembre de 2023


Wilmer M. Espinoza Chianca
SUPERVISOR DE LABORATORIO

Este informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL GRUPO JHACC. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.
LAA-GJ

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 5: Información de resinas

INFORMACIÓN DE PRODUCTO LEWATIT® MonoPlus M 600



La **Lewatit® MonoPlus M 600** es una resina intercambiadora de aniones, geliforme, fuertemente básica (tipo II), con una distribución granulométrica uniforme (monodispersa), a base de un copolímero de estireno divinilbenceno, diseñada para todas las aplicaciones de desmineralización. Las bolas monodispersas son química y mecánicamente muy estables. La extremadamente alta "monodispersidad" (coeficiente de igualdad: máx. 1,1) y el extremadamente bajo contenido en finos, de máx. 0,1 % (< 0,400 mm) dan una baja pérdida de presión en comparación con las resinas estándar.

Debido a la excelente eficiencia de regeneración y a la alta capacidad útil, la **Lewatit® MonoPlus M 600** es utilizada generalmente para aguas con concentraciones moderadas de sílice y dióxido de carbono. Para contenidos más altos de sílice, se recomienda una resina de intercambio aniónica tipo I como la **Lewatit® MonoPlus M 500**.

La **Lewatit® MonoPlus M 600** es especialmente apropiada para:

- » la desmineralización de agua industrial destinada a la generación de vapor, tanto en sistema co-corriente o sistemas modernos a contra corriente, como por ejemplo los Sistemas Lewatit® WS, Liltbed (LB), o Rinsebed (RB)
- » la purificación fina utilizando el Sistema Lewatit® Multistep
- » lechos mixtos de trabajo en combinación con **Lewatit® MonoPlus S 100 H** o **Lewatit® MonoPlus S 200 KR**

La **Lewatit® MonoPlus M 600** confiere a los lechos de los filtros las siguientes características especiales:

- » una alta velocidad de intercambio en la regeneración y la carga
- » una utilización muy buena de la capacidad total
- » un bajo consumo de agua de lavado
- » distribución homogénea de los regenerantes, agua y soluciones, formando, por ello, una homogénea zona de trabajo
- » un gradiente de pérdida de carga prácticamente lineal en toda la altura del lecho, por ello es posible trabajar con mayores alturas de lecho
- » buena separación de los componentes en la aplicación de lechos mixtos

Las propiedades especiales de este producto solo podrán aprovecharse de manera óptima, si el proceso y el diseño del filtro están en consonancia con la técnica actual. Para cualquier asesoramiento ulterior no dude en consultar a LANXESS, BU Intercambiadores Iónicos, un equipo a su disposición.

Este documento contiene información importante
y debe ser leído por completo.

Edición: 2012-10-05
Edición previa: 2012-09-19

1/4

LANXESS
Energizing Chemistry

Descripción general

Forma de suministro	Cl
Grupo funcional	Amina cuaternaria, tipo II
Matriz	Poliestireno reticulado
Estructura	Gel
Aspecto	Blanco, translúcido

Propiedades físico-químicas

	Unidades métricas		
Coefficiente de uniformidad*	máx.		1,1
Tamaño medio del grano*	mm		0,62 (+/- 0,05)
Densidad aparente (+/- 5 %)	g/l		680
Densidad	aprox. g/ml		1,1
Contenido en agua	% en peso		45 - 50
Capacidad total*	min. eq/l		1,3
Variación de volumen Cl --> OH	máx. % vol.		16
Estabilidad	rango de pH		0 - 14
Almacenaje del producto	máx. años		2
Almacenaje	rango de temperatura °C		-20 - +40

* Valores de especificación; su cumplimiento es objeto de control permanente.

Este documento contiene información importante y debe ser leído por completo.

Edición: 2012-10-05
Edición previa: 2012-09-19

2/4

Condiciones de funcionamiento recomendadas*

		Unidades métricas	
Temperatura de trabajo		máx. °C	30
Rango de pH de trabajo			0 - 11
Altura de lecho		min. mm	800
Pérdida de presión específica	(15 °C)	aprox. kPa*h/m ²	1,0
Pérdida de presión		máx. kPa	200
Velocidad lineal	carga	máx. m/h	60 ***
Velocidad lineal	contra lavado (20 °C)	aprox. m/h	7
Expansión del lecho	(20 °C, por m/h)	aprox. % vol.	10
Zona libre	contra lavado (externo / interno)	% vol.	80 - 100
Regenerante			NaOH
Regeneración a contra corriente	nivel	aprox. g/l	40
Sistema-WS	concentración	aprox. % en peso	2 - 4
Velocidad lineal	regeneración	aprox. m/h	5
Velocidad lineal	lavado	aprox. m/h	5
Regeneración a cocorriente	nivel	aprox. g/l	100
Regeneración a cocorriente	concentración	aprox. % en peso	3 - 5
Velocidad lineal	regeneración	aprox. m/h	5
Velocidad lineal	lavado	aprox. m/h	5
Consumo de agua de lavado	lento / rápido	aprox. BV	10
Regenerante	tipo		NaOH
Regenerante	nivel	aprox. g/l	100
Regenerante	concentración	aprox. % en peso	2 - 6

* Las condiciones de operación recomendadas hacen referencia a la utilización del producto bajo condiciones de trabajo normales. Están basadas en ensayos en plantas piloto y datos obtenidos de aplicaciones industriales. No obstante, para calcular los volúmenes de resina necesarios para una instalación de intercambio iónico son precisos datos adicionales.

*** 100m/h para afino

Este documento contiene información importante y debe ser leído por completo.

Edición: 2012-10-05
Edición previa: 2012-09-19

3/4

Información adicional y regulaciones

Medidas de precaución

Los oxidantes fuertes, p. Ej. el ácido nítrico, en contacto con las resinas de intercambio iónico pueden provocar reacciones violentas.

Toxicidad

Ver la hoja de seguridad antes de utilizar el producto. Contiene datos adicionales sobre la descripción del producto, transporte, almacenamiento, manipulación, seguridad y ecología.

Eliminación

En la Comunidad Europea los intercambiadores iónicos se tienen que eliminar según el correspondiente decreto de residuos, que puede ser consultado en la página de Internet de la Unión Europea.

Almacenaje

Se recomienda almacenar las resinas de intercambio iónico a temperaturas superiores al punto de congelación del agua, bajo techo, en lugar seco y sin exposición directa al sol. Si la resina se ha congelado, debe descongelarse lentamente a temperatura ambiente antes de su uso o manipulación. No debe provocarse el proceso de descongelación de forma acelerada.

La información precedente, así como nuestro asesoramiento técnico –ya sea de palabra, por escrito o mediante ensayos se proporcionan según nuestro leal saber y entender, pero a pesar de ello se consideran como meras advertencias e indicaciones no vinculantes, también por lo que respecta a los posibles derechos de propiedad industrial de terceros. El asesoramiento no les exime a ustedes de verificar los datos suministrados –especialmente los contenidos en nuestras fichas de seguridad y en las fichas técnicas de nuestros productos – ni de comprobar si los productos son adecuados para los procedimientos o los fines previstos. La aplicación, el empleo y la transformación de nuestros productos y de los productos fabricados por ustedes sobre la base de nuestro asesoramiento técnico se efectúan fuera de nuestras posibilidades de control y radican exclusivamente en la esfera de responsabilidad de ustedes. La venta de nuestros productos se realiza según nuestras Condiciones Generales de Venta y Suministro en su versión actual.

Este documento contiene información importante
y debe ser leído por completo.

Edición: 2012-10-05
Edición previa: 2012-09-19

4/4