

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ADSORCIÓN CON BIOCARBÓN DE CÁSCARA DE NARANJA A ESCALA LABORATORIO EN LA REMOCIÓN DE FENOLES DE UNA SOLUCIÓN SINTÉTICA, 2022”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

Bach. HINOSTROZA ANTONIO, EDILBERTO

Bach. MONTES LEANDRO, LUZ ALEJANDRA

Bach. LEÓN CASTILLO, GERARDO JOSÉ

Three handwritten signatures in blue ink, corresponding to the authors listed: Edilberto Hinojosa, Luz Alejandra Montes, and Gerardo José León Castillo.

ASESOR:

MsC. ALEX WILLY PILCO NUÑEZ

A handwritten signature in blue ink corresponding to the advisor, MsC. Alex Willy Pilco Nuñez.

Callao, 2022

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



II CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

ACTA N° 011-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 41 ACTA N°011-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 17 días del mes de julio del año 2022, siendo las 11:05 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/pdz-iucr-pbo>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

Mg.	Edgar Zárate Sarapura	: Presidente
MSc.	María Antonieta Gutiérrez Díaz	: Secretaria
Ing.	Godofredo Teodoro León Ramírez	: Vocal
Ms.C.	Alex Willy Pilco Nuñez	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Edilberto Hinostroza Antonio, Luz Alejandra Montes Leandro y Gerardo Jose Leon Castillo, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ADSORCIÓN CON BIOCARBÓN DE CÁSCARA DE NARANJA A ESCALA LABORATORIO EN LA REMOCIÓN DE FENOLES DE UNA SOLUCIÓN SINTÉTICA, 2022”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Muy Bueno y calificación cuantitativa 17, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 11:47 horas del día domingo 17 de julio del año en curso.



Presidente



Secretaria



Vocal



Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedicamos a Dios en primer lugar por habernos permitido llegar hasta esta etapa muy importante de nuestras vidas y por guiarnos en cada paso que dimos para culminar los estudios de manera satisfactoria.

A nuestros padres que siempre nos guiaron hacia el camino correcto en humildad y amor, quienes siempre estuvieron con nosotros para apoyarnos con mucha paciencia aún en los momentos difíciles y por sus sabios consejos que los guardaremos por siempre.

AGREDECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Callao y principalmente a la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, por habernos permitido crecer y formarnos en ella, a través de los docentes quienes con su amplia experiencia y profesionalismo impartieron sus conocimientos con gran esfuerzo haciendo posible nuestra formación profesional.

A nuestro asesor, M.Sc. Alex Willy Pilco Nuñez que nos orientó en este importante proyecto y por los valiosos consejos para nuestra formación profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGREDECIMIENTO	v
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Descripción de la realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	12
1.2.1. Problema general	12
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Limitantes de la investigación	13
1.4.1. Limitante teórico	13
1.4.2. Limitante espacial	14
1.4.3. Limitante temporal	14
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.1.1. Antecedentes internacionales	15
2.1.2. Antecedentes Nacionales	17
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Remoción	19
2.2.2. Fenoles	19
2.2.3. Proceso de adsorción	20
2.2.4. Condiciones de operación	21

2.2.5.	Concentración inicial de fenol	21
2.2.6.	pH	21
2.2.7.	Tiempo de contacto.....	22
2.2.8.	Velocidad de agitación	22
2.3.	Conceptual.....	22
2.3.1.	Proceso de adsorción	22
2.3.2.	Biocarbón de cáscara de naranja.....	25
2.3.3.	Material adsorbente a base de cáscara de naranja	28
2.3.4.	Aguas residuales con fenoles	30
2.3.5.	Enfoque interdisciplinar de las ciencias ambientales	34
2.3.6.	Normativa legal	35
2.4.	Definición de términos básicos	37
III.	HIPOTESIS Y VARIABLES	42
3.1.	Hipótesis	42
3.1.1.	Hipótesis general	42
3.1.2.	Hipótesis específica	42
3.2.	Definición conceptual de variables.....	42
3.2.1.	Operacionalización de variables	43
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	44
4.1.	Tipo y diseño de investigación	44
4.1.1.	Tipo de investigación	44
4.1.2.	Diseño de investigación	44
4.2.	Método de investigación	49
4.3.	Población y muestra	49
4.3.1.	Población	49
4.3.2.	Muestra	50
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	50
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	50
4.6.	Análisis y procesamientos de datos.....	52
V.	RESULTADOS	53

5.1. Resultados descriptivos	53
5.1.1. Resultados de las características físico-químicos del agua sintética	53
5.1.2. Resultados de las características del biocarbón de cáscara de naranja en laboratorio SLAB S.A.C.	53
5.1.3. Resultados descriptivos de los experimentos	54
5.2. Resultados Inferenciales.....	60
5.2.1. Análisis de efecto preliminares para el modelo	60
5.2.2. Análisis de la varianza de los diseños factoriales	61
5.2.3. Análisis del modelo estadístico	64
5.2.4. Pruebas pos-hoc del modelo	64
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS _____	68
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	68
6.1.1. Contrastación con la hipótesis general	68
6.1.2. Contrastación con la hipótesis específica 1	68
6.1.3. Contrastación con la hipótesis específica 2	68
6.1.4. Contrastación con la hipótesis específica 3	69
6.1.5. Contrastación con la hipótesis específica 4	69
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	70
6.2.1. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación de concentración inicial de fenol.	70
6.2.2. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación del pH.	70
6.2.3. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación del tiempo de contacto.....	70
6.2.4. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación de la velocidad de agitación.....	71
6.3. Responsabilidad ética.....	71
CONCLUSIONES _____	72
RECOMENDACIONES _____	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	74
ANEXOS _____	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Etapas del proceso de adsorción	24
Tabla 2 Adsorbentes empleados para remover fenol.....	25
Tabla 3 Propiedades fisicoquímicas del biocarbón producido con diferentes materias primas.....	27
Tabla 4 Capacidades de absorción de varios adsorbentes basados en cáscara de naranja para la eliminación de metales.....	29
Tabla 5 Concentración de fenol en aguas residuales industriales	30
Tabla 6 Métodos convencionales en el tratamiento de fenol	34
Tabla 7 Definición conceptual de las variables	42
Tabla 8 Definición operacional de las variables	43
Tabla 9 Matriz de arreglo experimental con diseño factorial fraccionado completo.	48
Tabla 10 Técnicas analíticas e instrumentos	51
Tabla 11 Identificación de grupos funcionales	54
Tabla 12 Resultados de la matriz experimentales de los diferentes tratamientos factoriales.....	54
Tabla 13 Resultados descriptivos de las diferentes combinaciones de los factores de estudios	59
Tabla 14 Matriz ANOVA de la remoción de fenoles	62
Tabla 15 Indicadores de ajuste del diseño factorial del experimento	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ilustración de la interacción del adsorbente y el adsorbato.....	23
Figura 2 Propiedades y funciones del biocarbón.....	26
Figura 3 Mecanismos de interacción del biocarbón con los contaminantes.....	28
Figura 4 Ejemplo de efluentes producidos por las principales industrias	31
Figura 5 Fenoles y derivados del fenol (C ₆) comúnmente encontrados en aguas residuales industriales o fracciones aisladas de fuentes vegetales.....	32
Figura 6 Estructura del fenol	37
Figura 7 Diagrama de los procedimientos experimentales.....	45
Figura 8 Resultado de ensayo de espectroscopía infrarroja del biocarbón de cáscara de naranja.....	53
Figura 9 Efectos entre la remoción de fenoles y concentración inicial de fenol	56
Figura 10 Efectos entre la remoción de fenoles y pH.....	57
Figura 11 Efectos entre la remoción de fenoles vs. tiempo de contacto	57
Figura 12 Efectos entre la remoción de fenoles vs. velocidad de agitación	58
Figura 13 Gráfica de probabilidad seminormal de los efectos de los parámetros de estudio.....	60
Figura 14 Diagrama de Pareto	61
Figura 15 Gráfica de contorno de remoción de fenoles respecto a la concentración inicial de fenol y pH	63
Figura 16 Gráfico de efecto de la concentración inicial de fenol y el pH	63
Figura 17 Gráfica de la normalidad	65
Figura 18 Supuesto de homogeneidad de la varianza	66
Figura 19 Grafica de los residuales en secuencia del tiempo	67

RESUMEN

Los fenoles son contaminantes peligrosos que se encuentran en aguas residuales industriales de refinerías y que requieren un tratamiento antes de disponerse a un cuerpo receptor. El objetivo de esta investigación fue evaluar el proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio en la remoción de fenoles de una solución sintética. El biocarbón de la cáscara de naranja se tamizó a malla 20 (850 μm), se agregó 0.02 g de biocarbón de cáscara de naranja a las soluciones sintéticas de fenol (3 y 87 mg/L) en 100 mL, con un pH (4 y 10), se controló el tiempo de contacto (60 y 120 min) y la velocidad de agitación (130 y 200 rpm). Se utilizó un diseño factorial completo (2^4) y como software estadístico el Desing Expert 12. Los resultados indican que la concentración inicial de fenol presenta los efectos más significativos ($p < 0.05$); mientras que el pH, tiempo de contacto y la velocidad de agitación no tienen efectos significativos. También, se obtuvo un modelo estadístico representativo con un R^2 y R^2 ajustado de 0.9844, 0.9796, respectivamente. La máxima remoción fue de 98.21% (87mg/L, pH igual a 10, 60 min y 130 rpm). Se concluye que el proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja es una alternativa con alta capacidad de remover fenoles en aguas residuales industriales.

Palabras clave: Proceso de adsorción, biocarbón, remoción de fenoles, agua residual sintética.

ABSTRACT

Phenols are hazardous contaminants found in industrial wastewater from refineries that require treatment before being disposed of in a receiving body. The objective of this research was to evaluate the adsorption process with orange peel biochar at laboratory scale in the removal of phenols from a synthetic solution. The orange peel biochar was sieved at 20 mesh (850 μm), 0.02 g of orange peel biochar was added to the synthetic solutions of phenol (3 and 87 mg/L) in 100 mL, with a pH (4 and 10), the contact time (60 and 120 min) and the stirring speed (130 and 200 rpm) were controlled. A complete factorial design (2^4) was used and the Desing Expert 12 as statistical software. The results indicate that the initial concentration of phenol presents the most significant effects ($p < 0.05$); while the pH, contact time and agitation speed do not have significant effects. Also, a representative statistical model was obtained with an R^2 and adjusted R^2 of 0.9844, 0.9796, respectively. The maximum removal was 98.21% (87mg/L, pH equal to 10, 60 min and 130 rpm). It is concluded that the orange peel biochar adsorption process is an alternative with a high capacity to remove phenols in industrial wastewater.

Keywords: Adsorption process, biochar, phenol removal, synthetic wastewater.

INTRODUCCIÓN

Los compuestos fenólicos han sido incluidos como agentes contaminantes de mayor preocupación por las institucionales internacionales relacionadas con la protección ambiental. Los fenoles son altamente tóxicos y con grandes riesgos de afectar a la salud de organismos vivos.

La eliminación de los fenoles de efluentes industriales presenta un gran reto para los investigadores, por lo que en este trabajo de investigación se presenta como proceso de tratamiento de adsorción con biocarbón con cáscara de naranja para la remoción de fenoles en soluciones sintéticas.

El motivo de la elección del tema de investigación fue el escaso estudio de tratamiento de efluentes provenientes de la unidad de craqueo catalítico fluido (FCCU, por su sigla en inglés) de la industria de refinación de petróleo. Esta unidad es la fuente continua de contaminantes como son los fenoles, por lo tanto, se tomó como información de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental la concentración de fenoles de los efluentes que genera la FCCU de una refinería del Perú mostrando valores que superan los Límites Máximos Permisibles de efluentes líquidos establecidos para el subsector hidrocarburos. Se espera que el proceso de tratamiento aplicado en este trabajo de investigación se tome como referencia para estudios posteriores para el tratamiento de efluentes que contiene fenoles.

Para llevar a cabo las pruebas experimentales, se recolectó cáscara de naranja para su secado, pirólisis y tamizaje, obteniendo así el biocarbón; se procedió a preparar soluciones sintéticas de fenol; se agregó biocarbón de cáscara de naranja a las soluciones sintéticas con diferentes condiciones de operación de concentración inicial de fenol, unidades de pH, tiempo de contacto y la velocidad de agitación, obteniendo mediante proceso de adsorción diferentes porcentajes de remoción de fenoles.

Como resultado de esta investigación la concentración inicial de fenol presenta mayor efecto en la remoción de fenoles; a comparación del pH,

tiempo de contacto y la velocidad de agitación que tienen menor efecto en la remoción.

Se concluye que el proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja es una alternativa sostenible con alta eficiencia de remoción fenoles en soluciones sintéticas.

La problemática de las aguas residuales industriales a nivel internacional y nacional en contaminación con compuestos fenólicos para luego proponer al proceso de adsorción con cáscara de naranja como una alternativa prometedora en el tratamiento de las aguas residuales industriales con fenoles. Así mismo, considera los objetivos que permitieron obtener en su totalidad la información del trabajo.

Los fundamentos básicos, así como los antecedentes nacionales e internacionales, además de los conceptos básicos que abarca el marco teórico, en las bases teóricas se desarrolla normativa legal, enfoque ambiental, teoría de condiciones de operación, adsorción, biocarbón de cáscara de naranja, remoción, fenoles, concentración inicial de fenoles, pH, tiempo de contacto, velocidad de agitación.

Se planteó la hipótesis “evaluación del proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio en la remoción de fenoles de una solución sintética, 2022” y conlleva a la variable independiente de estudio “proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja” y la variable dependiente “remoción de fenoles”.

El diseño metodológico presentando en esta investigación de tipo básica, nivel explicativo, diseño cuasi experimental, así también se muestra las técnicas e instrumentos para la toma de datos y el procesamiento estadístico de estos datos, donde se usó el ANOVA como método estadístico para analizar los diferentes factores y nivel.

Los resultados descriptivos e inferenciales de la investigación.

La discusión de resultados para la contratación de la hipótesis y contrastación de resultados con otros estudios similares.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La Bahía de Amuay ubicada al este de la Península de Paraguaná en la costa noroccidental de Venezuela, la Bahía de Amuay es el ecosistema costero más famoso de la península, debido al hecho de ser un cuerpo de agua semicerrado, en cuya costa sur se ubica la refinería de Amuay, perteneciente a la empresa petrolera, lo cual ha generado impactos en el ambiente. La contaminación en la Bahía de Amuay, causada principalmente por la actividad petrolera, afecta la calidad de sus aguas, sedimentos y organismos. Los hidrocarburos y otras especies provenientes del proceso de refinación pueden pasar por uno o más de los siguientes procesos: disolverse en agua, dispersarse rápidamente, adsorberse en partículas suspendidas, bioacumularse y depositarse en organismos vivos, se acumula en contaminación por compuestos orgánicos (aceite, grasa, fenol) y metales pesados en depósitos superficiales en la Bahía de Amuay (Leal et al., 2016).

En la República Bolivariana de Venezuela, la explotación y transformación del petróleo es una actividad modelo productivo del país, se encuentran grandes centros refinadores y complejos petroquímicos cuyas aguas residuales contienen cantidades considerables de contaminantes orgánicos, principalmente hidrocarburos aromáticos, alifáticos, olefínicos, aceites y grasas, amoníaco, sulfuros, metales pesados y compuestos fenólicos, siendo estos de amenaza para el medio ambiente dada su elevada toxicidad. Estos efluentes deben ser tratados adecuadamente para su descarga en las respectivas redes de vertido o sistemas naturales, de acuerdo con los límites de concentración permitidos, las aguas residuales industriales que contienen compuestos fenólicos representan un problema serio de descarga debido a su baja biodegradabilidad y alta toxicidad. El fenol y sus derivados son letales para los peces en bajas concentraciones (0.5 mg/L) y cuando se bioacumula sus efectos a largo plazo son más graves, en tal sentido, la remoción de fenoles de las aguas residuales industriales tiene gran importancia ambiental (Abreu et al., 2016).

En el Perú, existen efluentes con un contenido fenólico superior a 0.003 ppm que corresponde al D.S 004 – 2017 MINAM Categoría 1: Poblacional y Recreacional Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable no siendo aptas para el consumo. Los lagos y ríos no deben superar los 2.56 ppm y las aguas costeras deben mantenerse por debajo de las 5.8 ppm establecidos en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Sin embargo, los fenoles son compuestos que forman parte de la producción en la cadena industrial peruana que generan productos importantes como plásticos, tintes, aglutinantes, adhesivos y biocidas (B. López et al., 2017). Estos fenoles son subproductos contaminantes descargados mayormente a la red de alcantarillado o a los recursos hídricos superficiales, sin dar el tratamiento adecuado, convirtiéndose en una gran preocupación para el uso de agua en el futuro (Patel y Desai, 2022).

Actualmente, en la refinería La Pampilla, los efluentes líquidos producidos durante la operación de las diversas unidades, son agrupados en 3 clases: aceitosos, químicos y sanitarios. Los efluentes aceitosos son tratados en los separadores gravimétricos API y CPI (Tratamiento Primario). El efluente de los separadores gravimétricos se une con la corriente de efluentes químicos y sanitarios, para conformar la corriente efluente total. Se ha enfocado, el problema de contaminación por el efluente líquido, considerando como parámetros contaminantes a los contenidos de aceites, sulfuros y fenoles (Osinergmin et al., 2020).

La industria de procesamiento de petróleo (refinería) consume grandes cantidades de agua y se necesitan aproximadamente 468 galones de agua para refinar un barril de petróleo crudo. Los compuestos fenólicos y otros compuestos orgánicos relacionados se encuentran naturalmente en los petróleos crudos y las principales fuentes de generación de efluentes que contienen fenoles dentro de una refinería son las unidades de desalinización y coquización retardada con un rango de concentración de 2500 a 5000 mg/L (Singh et al., 2021). En el Decreto Supremo N° 037-2008-PCM donde se Establecen Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el

Subsector Hidrocarburos, tiene como uno de los parámetros a medir: Fenoles para efluentes de refinerías FCC (Craqueo Catalítico Fluido).

La unidad de craqueo catalítico fluido (FCCU, del inglés Fluid Catalytic Cracking Unit) es una de las unidades tecnológicas más importantes que se utilizan en la industria de refinación de petróleo. Su función principal es la de transformar, por medio de reacciones de craqueo catalítico, un producto de masa molecular alta en otros de menor masa y puede decirse que es la base de la refinación moderna (Cepero Díaz y González Santos, 2018).

En las últimas décadas, La adsorción de solutos orgánicos en soluciones acuosas, ha sido de gran investigación y seguimiento en la aplicación del carbón activado, debido a las altas capacidades de adsorción de este material, con su estructura porosa, su área superficial y la estructura química de la superficie (Moreno et al., 2011). El biocarbón, es un material de adsorción potencial para contaminantes en aguas residuales industriales debido a la abundancia de grupos funcionales superficiales y fisicoquímicos (Qambrani et al., 2017), tiene un mayor potencial de remoción de fenoles inclusive una mayor eficiencia de adsorción que el carbón activado comercial (Singh et al., 2021). La utilización de la cascará de naranja es significativa y es posible debido a la abundante celulosa y lignina en la piel de naranja (Hashemian et al., 2014). En vista de la protección del medio ambiente y la valoración de residuos sólidos, es importante convertir la cáscara de naranja en biocarbón. Hasta el momento, existen pocas referencias de información sobre el biocarbón derivado de la cáscara de naranja que se usa para capturar fenoles de efluentes industriales. Por lo tanto, esta investigación busca experimentar procesos de operación en la remoción de fenoles en soluciones sintéticas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Qué efectos tiene la evaluación del proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio en la remoción de los fenoles de una solución sintética, 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué efectos tiene el parámetro de operación de concentración inicial de fenol en la remoción de fenoles de una solución sintética?
- ¿Qué efectos tiene el parámetro de operación del pH en la remoción de fenoles de una solución sintética?
- ¿Qué efectos tiene el parámetro de operación del tiempo de contacto en la remoción de fenoles de una solución sintética?
- ¿Qué efectos tiene el parámetro de operación de la velocidad de agitación en la remoción de fenoles de una solución sintética?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar los efectos del proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio en la remoción de los fenoles de una solución sintética, 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del parámetro de operación de concentración inicial de fenol en la remoción de los fenoles de una solución sintética.
- Determinar el efecto del parámetro de operación del pH en la remoción de fenoles de una solución sintética.
- Determinar el efecto del parámetro de operación del tiempo de contacto en la remoción de fenoles de una solución sintética.
- Determinar el efecto del parámetro de operación de velocidad de agitación en la remoción de fenoles de una solución sintética.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Limitante teórico

En la búsqueda de información se determinó la variable independiente de interés, considerando las definiciones de varios autores, el autor Edgar Serna define el sobre Proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja este concepto se relaciona con el proceso de operación en nuestro trabajo de investigación. Sin embargo, existen otros autores que

conceptualizan otros procesos químicos y físicos para la remoción de contaminantes.

1.4.2. Limitante espacial

Debido a la dificultad de tomas de muestras de efluentes que generan las refinerías en el país, se propuso la preparación de soluciones sintéticas conteniendo fenoles tomando como referencia los resultados de monitoreo de efluentes industriales de refinería realizados por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Las pruebas experimentales se realizaron en un sistema batch a escala de laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

1.4.3. Limitante temporal

Los resultados de las pruebas experimentales los cuales fueron ejecutados en el periodo de marzo - abril 2022, así mismo puede ser ejecutadas en cualquier fecha, temporadas o periodos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Lunagariya et al. (2022) en su artículo titulado “*Aplicación del Método Taguchi en el Proceso de Adsorción de Carbón Activado para la Eliminación de Fenol de las Aguas Residuales del Gasificador Cerámico*” tuvieron como objetivo la eliminación de fenol de las aguas residuales del gasificador cerámico (CGWW), es de suma importancia para salvaguardar los recursos hídricos naturales. La técnica de adsorción que usa carbón activado se emplea para disminuir los impactos del fenol, sin embargo, la carga de contaminación es muy alta y requiere un tratamiento previo mediante el proceso de coagulación-floculación. Los parámetros más determinantes son el tiempo (30–60 min), temperatura (30–60 °C) y líquido a sólido, relación L/S (5–15) y se prioriza en el siguiente orden L/S>Temperatura>Tiempo. Los resultados se predijeron para condiciones experimentales óptimas, es decir, tiempo 30 min, temperatura 45 °C a L/S 5 y eso demostró una eliminación de fenol del 96% de CGWW. Se concluye que el método Taguchi es una técnica prometedora, eficiente y rentable para la industria para minimizar los experimentos y maximizar la eficiencia de eliminación de fenol.

Afolabi et al. (2021) en su artículo titulado “*Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta en la Remoción de Cu^{+2} y Pb^{+2} de Soluciones Acuósas Usando Cáscara de Naranja*” tuvieron como objetivo evaluar la interacción de la concentración inicial, el pH, la dosis de adsorbente y el tamaño de partícula de cáscaras de naranja de los iones Cu^{+2} y Pb^{+2} . En la metodología muestran el uso de un diseño de superficie de respuesta (MSR) con un diseño central compuesto (DCC). Los resultados mostraron una validez del R^2 para el modelo polinomio del Cu^{+2} y Pb^{+2} de 0.9852 y 0.9433, respectivamente con máximas absorciones de 54.94 mg/g y 65.14 mg/g respectivamente, lo que sugiere que la cáscara de naranja tiene una mayor afinidad por el Pb^{+2} que por el Cu^{+2} . Las eficiencias máximas de Cu^{+2} y Pb^{+2} en las condiciones óptimas de las variables del proceso fueron del 88% y 90%, respectivamente.

Zhang et al. (2021) en su artículo titulado “*Aprovechamiento de Residuos de la Corteza de Acacia Mangium: Preparación de Carbón Activado y Adsorción de Aguas Residuales Fenólicas*” tuvieron como objetivo evaluar la adsorción de fenol mediante carbón activado de residuos de la corteza de Acacia mangium. La metodología muestra que el carbón activado se preparó con el método de ácido fosfórico en relación 1:2, prepararon concentraciones de cinco muestras de 1.5 g de polvo de carbón activado mezclado con solución de ácido fosfórico al 30, 40, 50, 60 y 70%, así también se manipularon la temperatura (300, 400, 500, 600 y 700 °C) y el tiempo de carbonización (60, 90, 120, 150 y 180 min). Los resultados indican que el mejor proceso es a una temperatura de carbonización de 500 °C y 90 min. En estas condiciones, el carbón activado obtenido es de 53.04 %, y el valor de adsorción de azul de metileno es de 6.0 mL/0.1 g. Se concluye que en líquido, la capacidad de adsorción del carbón activado aumenta con el contenido inicial de fenol, y el valor más alto ronda los 96.92 mg/g, que se obtiene a 25 °C.

Ververi y Goula, (2019) en su artículo titulado “*Subproducto de Cáscara de Granada y de Naranja como Nuevos Biosorbentes de Compuestos Fenólicos de Aguas Residuales de Almazara*” tuvieron como objetivo estudiar el potencial de la cáscara de granada y de naranja, tras la eliminación de su propio contenido fenólico, para la sorción de fenoles de las aguas residuales de las almazaras. En la metodología usada evaluaron la masa del sorbente (0.01–0.02 g/mL), la temperatura (20–60 °C), el pH de la solución (4–7), la concentración inicial de sorbato (50–500 mg/L) y el tamaño de partícula del sorbente sobre la absorción total de fenoles. Los resultados mostraron que las eficiencias de adsorción más altas obtenidas fueron 93.13 y 89.59% utilizando la cáscara de granada y de naranja, respectivamente. Se concluye que la eficiencia de remoción de fenoles totales fue máxima a pH 4.75 y mejoró al disminuir la dosis de adsorbentes, la concentración inicial de sorbato, la temperatura y el tamaño de las partículas de adsorbentes.

Hairuddin et al. (2019) en su artículo titulado “*Ruta Potencial del Biocarbón Magnético de Palmiste para la Remoción del Fenol en Aguas Residuales*” tuvieron como objetivo estudiar el biocarbón magnético de

palmiste para eliminar el fenol de las aguas residuales. En su metodología evaluaron parámetros como el pH, la velocidad de agitación, el tiempo de contacto y la dosis de biocarbón magnético. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para la mayor remoción (93.39%) de fenol se obtienen a pH 8, dosificación de biocarbón magnético de 0.6 g, velocidad de agitación de 180 rpm y tiempo de 60 min con la concentración inicial de 10 mg/L. Se reportan capacidades máximas de adsorción de 10.84 mg/g de fenol obedeciendo a un pseudo segundo orden. Concluyeron que el palmiste magnético puede ser un candidato potencial para la eliminación de fenol de las aguas residuales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Izaguirre y Vasquez (2021) en su tesis titulada “*Aplicación de las Algas Marinas para la Bioadsorción de Compuestos Fenólicos en Aguas Residuales*” tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la aplicación de las algas en la biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales. Usaron un diseño experimental de comparación de grupos. Los resultados mostraron que la dosis más adecuada es la de 30 g/L de cáscara de naranja el cual retiene 97.65% de Plomo, frente a la de 20 g/L de cáscara de naranja respectivamente que arroja una retención de 37.85%. Se concluyó que la dosificación de 30 g/L de cáscara de naranja es la óptima llegando cumplir el ECA-Agua.

Daza et al. (2019) en su tesis titulada “*Eficiencia de Remoción de As Utilizando Cáscara de Naranja y Tuna en Aguas del Río Rímac, Distrito San Mateo – 2019*” tuvo como objetivo usar como material adsorbente a la cáscara de naranja y de tuna para la remoción de Arsénico procedente de los efluentes residuales de las minerías. Se usó diferentes dosis de cáscara de naranja y tuna modificada químicamente con NaOH a 0.2 M y ClCa_2 a 0.1 M, en función a diferentes valores de pH y un tiempo de contacto de 8 h. Los resultados mostraron que la cáscara de naranja a una dosis de 0.5 g/L, en una solución a pH 5 y en un tiempo de 8 h, tiene una remoción de 99.28%, mientras, que la cáscara de tuna a una dosis de 0.5/L g, en una solución a pH 6 y en un tiempo de 8 h, una remoción de 97.5%. Por lo tanto, se concluye

que el tratamiento con cáscara de naranja es una alternativa favorable para descontaminar aguas con concentraciones de arsénico.

Calixto y Gaona (2019) en su tesis titulada *“Biosorción de Plomo II con Cáscara de Naranja (Citrus Sinensis) Aplicado a Efluentes Acuáticos”* tuvo como objetivo usar pectinas de los residuos de la cáscara de naranja para la Biosorción del Pb (II). La metodología muestra que prepararon 4L de una solución sintética a una concentración de 100 ppm en una columna fija de 6.5 cm de diámetro; 42.5 cm de longitud y una capacidad de 1.41 L a un flujo continuo. Usaron 153 g de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) empacada en mallas tul poliéster. Los resultados mostraron que la mejor remoción fue a 91.8% a un pH de 5 y un caudal de 2.2 L/min en 6 h.

Marín (2019) en su tesis titulada *“Obtención de Carbón Activado a Partir de la Cáscara de Naranja por Método de Activación Química para la Adsorción de Cloro y Materia Orgánica del Agua, en la Provincia de Jaén”* tuvo como objetivo evaluar las condiciones operacionales y la capacidad de adsorción del carbón activo de la cáscara de naranja. Se estudiaron tres factores, temperatura (300, 380 y 400 °C), tiempo (150, 180 y 240 min.) y concentración de ácido fosfórico en diferentes concentraciones (26 %, 50% y 80%). Los resultados mostraron que el mejor rendimiento fue de 80% de ácido fosfórico, en un tiempo de 150 min, con una temperatura óptima de 400 °C, removiendo hasta el 100% del cloro contenido en una muestra en condiciones de laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén.

Mendoza (2018) en su tesis titulada *“Efecto de la Granulometría y Peso de Cáscara de Citrus Sinensis (Naranja) en la Remoción de Plomo en Aguas de la Laguna de Pías - Patate, 2018”* tuvo como objetivo proponer un proceso que permita disminuir la concentración de plomo en aguas de la laguna de Pías mediante el tratamiento con cáscara de *Citrus sinensis* (naranja). Aplicaron un diseño experimental tipo bifactorial, teniendo factores al peso de la cáscara de naranja (5-10 g) y la granulometría (0.841; 0.400; 0.250 mm) con una muestra de 27 L. Los resultados mostraron que la granulometría de 0.841 mm y peso de 10 g de cáscara de naranja, lograron el mayor porcentaje de remoción de plomo hasta un 91.55% en un tiempo de 45 min, siendo este tratamiento el más efectivo.

2.2. Bases teóricas

Se realizó la búsqueda de información y no se encontró una definición de la variable remoción de fenoles. Si bien es común encontrar la definición del término remoción de compuestos orgánicos para el propósito de nuestro trabajo de investigación no se ha trabajado con dos o más compuestos orgánicos, por lo que tuvimos que especificar el compuesto orgánico. Por lo tanto, esto nos condujo a elaborar un nuevo constructo fundamentado en las teorías en relación al problema de investigación.

2.2.1. Remoción

La remoción de la concentración en compuestos no biodegradable, se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios en la estructura química de los contaminantes (Penagos et al., 2012).

La remoción de compuestos incluye la utilización de métodos de tratamiento de tipo físico, químico, biológico o la combinación de uno o varios de ellos (Cárdenas y Sánchez, 2013).

La definición conceptual de remoción de fenoles para la presente investigación se decidió por la autora Dayana Grisales Penagos, dado que aporta conceptos teóricos en la descontaminación de procesos de tratamientos convencionales, demostrando ser una metodología eficaz.

2.2.2. Fenoles

Son compuestos de alta toxicidad con efectos adversos sobre la biota y los seres humanos, tanto por su acumulación en la cadena alimentaria como por su persistencia en su entorno; por ello es necesario su tratamiento antes de ser liberados al medio ambiente (Huachi y Macas, 2014).

Los fenoles son compuestos contaminantes de carácter orgánico que se hallan presentes en diversos tipos de aguas residuales como industriales, tal es el caso de las aguas residuales de la industria textil, de alimentos como las que procesan el aceite de oliva, de la industria de pulpa y papel, de la farmacéutica, y de la producción de herbicidas e insecticidas (Elayadi et al., 2021).

Los fenoles son un grupo de sustancias potencialmente susceptibles a la ozonización. Los productos fenólicos (el fenol, los compuestos fenol-sustituidos, las quinonas y los poli fenoles) se caracterizan por la presencia de un grupo -OH

sobre el núcleo aromático. Este radical los hace fuertemente reactivos hacia el ozono por esto su oxidación, relacionada con el tratamiento de agua potable y el manejo de agua de desecho, ha sido extensamente estudiado (Forero, 2015).

El fenol es considerado como un contaminante peligroso en las aguas según la Agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos (EPA). Es por esto que las aguas contaminadas con este compuesto deben recibir un manejo a adecuado. Algunos de los tratamientos realizados por las petroquímicas incluyen técnicas físicas y químicas como coagulación, floculación y filtración para eliminar los contaminantes que se encuentran en suspensiones. Actualmente, existen tecnologías de remediación que permiten remover los fenoles de los sistemas tales como ozonización, uso de carbón activado, adsorción y oxidación química (Bernal Báez, 2017).

2.2.3. Proceso de adsorción

El fenómeno de adsorción es un proceso mediante el cual iones, átomos o moléculas de una sustancia (adsorbatos) en determinada fase son retenidos en la superficie de otra sustancia que se encuentra generalmente en fase sólida, denominada adsorbente. Los agentes adsorbentes contienen poros, o centros activos. Las propiedades de la superficie del biocarbón, como el área de superficie específica y su estructura porosa, permiten que se lleve a cabo la adsorción física de los contaminantes (Serna M, 2020).

Evaluación de adsorción del biocarbón obtenido en la pirolisis: Este proceso lleva, a su vez, dos etapas, a saber, realizar la curva de calibración Absorbancia Vs. concentración de azul de metileno y la posterior medición de las muestras tratadas con carbón activado (López et al., 2021).

La adsorción es una técnica presenta remoción de una amplia variedad de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posiblemente selectiva dependiendo de adsorbente de lo cual también depende su rendimiento, básicamente por la estructura física del mismo (Caviedes Rubio et al., 2015).

El proceso de adsorción se realiza con diversos materiales, generalmente microporosos, como las arcillas pilareadas, aluminas y carbones activados (Girón-pérez et al., 2016).

La definición conceptual de proceso de adsorción para la presente investigación se decidió por el autor Edgar Serna, dado que aporta conceptos teóricos en propiedades de la superficie y estructura porosa del biocarbón, permitiendo fundamentar la adsorción física de los contaminantes.

2.2.4. Condiciones de operación

Son varios los factores o parámetros que afectan el fenómeno de adsorción; entre ellos, destaca la materia prima que se utiliza para la obtención del biocarbón, así como la temperatura a la cual se produce la combustión de la biomasa. Adicionalmente, también influyen las características de la solución a tratar, el pH, la temperatura, la superficie, la dosis y el tamaño de partícula del biocarbón, y el tiempo de residencia (Serna M, 2020).

2.2.5. Concentración inicial de fenol

La concentración inicial y el tiempo de contacto, la concentración inicial de la solución y el tiempo de contacto también tienen una gran influencia en el proceso de adsorción para la eliminación de los fenoles. Ambos suelen estudiarse juntos, especialmente para establecer el tiempo de adsorción de equilibrio para diferentes concentraciones (Garba et al., 2019).

La concentración de los adsorbatos también es un factor que influye en los procesos de adsorción, tal es el caso que para soluciones con fenol que tienen concentraciones iniciales más altas, generalmente requieren tiempos de equilibrio más largos. Asimismo, Hameed y Rahman, (2008) observó que un aumento en la concentración inicial de fenol dio como resultado una mayor adsorción de fenol, su capacidad de adsorción en equilibrio aumentó de 23.44 a 140.68 mg/g con un aumento en las concentraciones iniciales de fenol de 25 a 200 mg/L. La remoción de fenoles de forma general es rápida al inicio luego es lenta y finalmente constante hasta un tiempo de equilibrio (Ren et al., 2011).

2.2.6. pH

El pH de la solución es un parámetro fundamental en el proceso de adsorción con el biocarbón, el cual depende del origen de éste y del tipo de contaminante que se desea remover (Présiga-López et al., 2020). La influencia del pH en la adsorción se debe a la variación del pH de la solución, que conduce

a una disparidad en el grado de ionización de la molécula adsorbente y las propiedades superficiales del adsorbente (Garba et al., 2019).

2.2.7. Tiempo de contacto

El tiempo de retención hidráulico también es uno de los parámetros importantes que afectan el proceso de adsorción del biocarbón. Algunos estudios indican que 3 h es el tiempo de equilibrio adecuado para que se lleve a cabo la debida absorción de los contaminantes (Présiga et al., 2020).

El tiempo de contacto es un parámetro operativo importante con un impacto significativo en la adsorción del adsorbato. El estudio de Lawal et al. (2021) mostró que para remover fenol se requería tiempos de contacto generalmente largos para alcanzar el equilibrio y lograr remover los fenoles.

Según Mohammed et al. (2018) sus resultados revelaron que la biosorción del fenol en tres biocarbones de pino tuvo un comportamiento cinético de dos etapas: en la primera, la adsorción de fenol aumentó significativamente hasta los primeros 60 min, en la segunda la adsorción disminuyó entre 60 y 180 min. El aumento significativo en la eficiencia de eliminación en la primera etapa indicó que hay una gran cantidad de sitios accesibles disponibles para que tenga lugar la adsorción.

2.2.8. Velocidad de agitación

La velocidad de agitación es un factor importante en el tratamiento, puesto que permite que el adsorbente y el adsorbato que contiene agua se mezclen de forma homogénea (Sabzehmeidani et al., 2021).

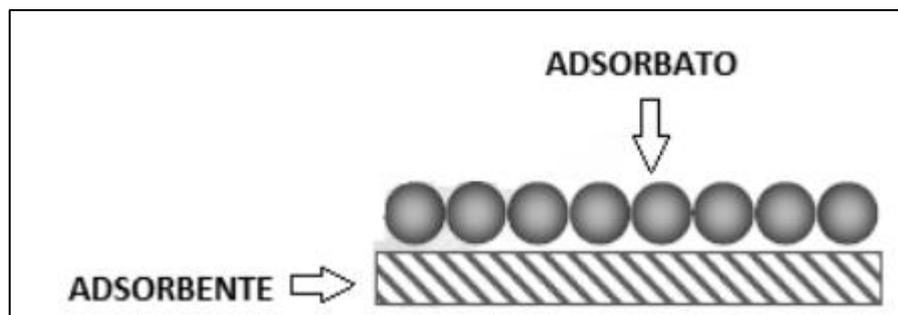
2.3. Conceptual

2.3.1. Proceso de adsorción

La adsorción es un fenómeno superficial que implica la transferencia del adsorbato el cual puede ser gas o líquido, a la superficie generalmente de un sólido adsorbente en el que es retenido como se muestra en la Figura 1 (Geankopolis, 2006). En ese sentido la adsorción es el proceso que implica el aumento de la concentración de masa del adsorbato (gas o líquido) en la superficie de un material adsorbente el cual en su mayoría es sólido (Aylas, 2018).

Figura 1

Ilustración de la interacción del adsorbente y el adsorbato



Nota: Adaptado de Modelamiento de las isotermas de bioadsorción del plomo (II) del efluente minero río Anticoná – cerro de pasco utilizando citrus sinensis (cáscara de naranja) por Bonilla, (2016).

La adsorción permite la separación de compuestos seleccionados, en comparación con tecnologías alternativas, la adsorción es atractiva por su relativa simplicidad de diseño, operación y ampliación, alta capacidad y tasa favorable, insensibilidad a sustancias tóxicas, facilidad de regeneración y bajo costo. Además, evita el uso de disolventes tóxicos y minimiza la degradación (Soto et al., 2011).

El método de adsorción es una tecnología eficaz para eliminar el fenol del agua, la versatilidad de esta tecnología radica en la eliminación de cualquier cantidad de fenol, ya sea a una concentración mínima, como un nivel de trazas o una concentración porcentual predeterminada (Mohamed et al., 2021).

a. Mecanismo de adsorción

De acuerdo con Mohamed (2011) el mecanismo de adsorción contempla las etapas mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1*Etapas del proceso de adsorción*

Etapas	Proceso
Etapa 1	En esta fase las moléculas del adsorbato se aproximan a la superficie externa del adsorbente.
Etapa 2	Se presenta cuando las moléculas del adsorbato se transportan desde la superficie del adsorbente a través de la estructura porosa hacia los sitios activos ubicados en la superficie interior de los poros del material adsorbente.
Etapa 3	Aquí se produce la adsorción en los sitios activos de la superficie internas de los poros.
Etapa 4	Cuando la molécula es adsorbida, esta puede migrar a la superficie de los poros a través de la difusión superficial.

Nota. Adaptado de Removal of organic compounds from water by adsorption and photocatalytic oxidation por Mohamed, (2011).

b. Factores que afectan la adsorción

i. pH

Los valores de pH son un factor importante ya que pueden cambiar la carga superficial de los materiales adsorbentes, el grado de ionización y especiación de los fenoles (Sun et al., 2019). La adsorción de la mayoría de los compuestos orgánicos es mayor en condiciones neutrales. Por otro lado, la adsorción de contaminantes orgánicos empleando materiales adsorbentes como el carbón activado aumenta al disminuir el pH (Cecen y Aktas, 2011).

Tran et al. (2016) muestra que la adsorción de Cd en el biocarbón de cáscara de naranja aún ocurre con el valor de pH inicial óptimo de 7.0. Teniendo como punto de partida a un pH inicial de biocarbón de 9.5. La mayoría de biocarbónes de cáscara de naranja cuando se encuentran a pH menores al pH inicial de biocarbón mejoran la absorción por que el biocarbón se carga negativamente.

Sin embargo, en las investigaciones de (Ververi y Goula, 2019)), la eficiencia de adsorción aumentó cuando el pH de la solución aumentó hasta 4.75 y disminuyó a valores de pH más altos. La adsorción de fenol hasta un pH de 4.0

sugiere que los iones de fenolato cargados negativamente se unen mediante atracción electrostática a los grupos funcionales cargados positivamente en la superficie del adsorbente, porque a este pH estarían expuestos más grupos funcionales con carga positiva. A un valor de pH superior a 4.75, parece que aumenta el número de sitios cargados negativamente, lo que debe ser menos favorable para la adsorción de iones fenolato debido a la repulsión electrostática.

La adsorción de fenoles del agua ha sido estudiada por diversos investigadores, los cuales han empleado diferentes tipos de materiales adsorbentes los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Adsorbentes empleados para remover fenol

Adsorbentes	Fuente
Montmorillonita	(Yapar y Yilmaz, 2005)
Alúmina activada	(Roostaei y Tezel, 2004)
Bentonita modificada con surfactante	(Alkaram et al., 2009)
Carbón activado comercial	(Sun et al., 2019)
Carbón activado basado en lodos de depuradora	(Mu'azu et al., 2017)
Fibras de carbón activado	(Liu et al., 2010)
Carbón activado derivado del aserrín	(Hameed y Rahman, 2008)

Nota. Tomado de A review of technologies for the phenolic compounds recovery and phenol removal from wastewater por .Mohamad Said et al., (2021).

2.3.2. Biocarbón de cáscara de naranja

Los residuos de naranja tales como la cáscara, contienen celulosa, pectina, hemilcelulosa y otros compuestos de bajo peso molecular como limoneno. Por tanto, poseen grupos funcionales activos como los carboxilos de las pectinas y los hidroxilos de la celulosa, susceptibles de unirse a los iones metálicos en disolución (Tejeda Benítez et al., 2014).

El biochar o biocarbón es un producto que se obtiene de la descomposición térmica de materiales orgánicos con o sin oxígeno, este proceso se le conoce como pirólisis y se realiza a temperaturas generalmente entre los 500 y 700 °C (García y Perez, 2019). El biocarbón derivado de residuos sólidos

municipales entre los que se encuentran residuos orgánicos como verduras y frutas posee un gran potencial en la purificación de aguas residuales por adsorción y catálisis (Li et al., 2022).

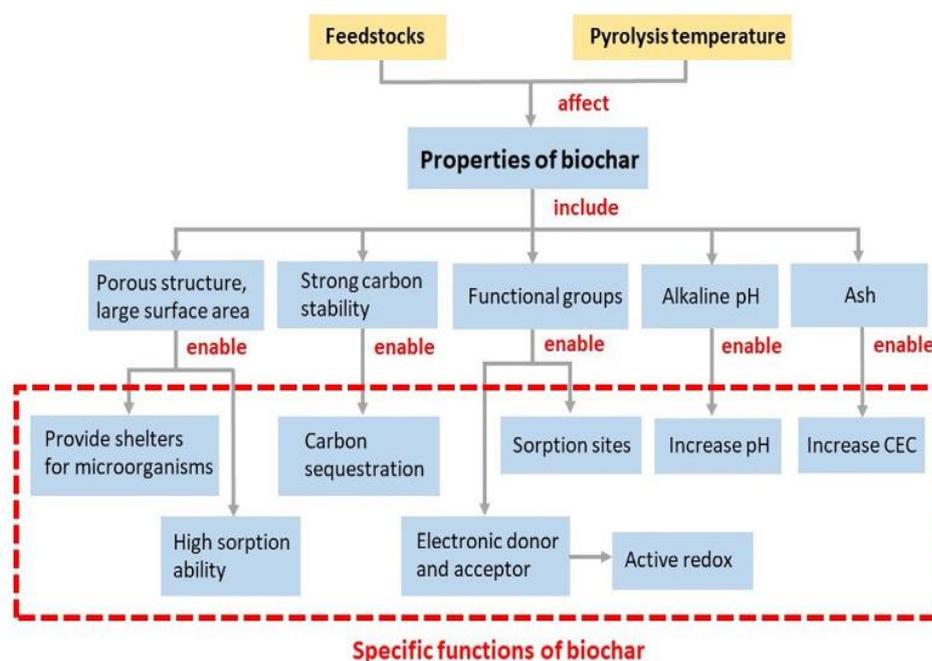
a. Propiedades fisicoquímicas del biocarbón

Los diferentes tipos de materia prima y la temperatura de pirólisis son dos factores que determinan las propiedades del biocarbón, incluidas las propiedades de la superficie, las estructuras, la composición elemental, la capacidad redox, la conductividad, el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) (Zhu et al., 2017). En ese sentido la porosidad del biocarbón y por tanto su gran superficie, influye en su capacidad de sorción (Iqbal et al., 2015).

Otras propiedades adicionales del biocarbón y sus funciones relevantes se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Propiedades y funciones del biocarbón



Nota. Extraído de The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review por Guo et al., (2020).

La mezcla de residuos sólidos municipales, los residuos de alimentos podrían emplearse para la fabricación de biocarbón. Las propiedades fisicoquímicas del biocarbón de diferentes materias primas se muestran en la

Tabla 3. En general, la superficie específica del biocarbón preparado con residuos sólidos orgánicos es alta. Los sitios más activos pueden estar expuestos en biocarbón derivado de residuos sólidos municipales, lo que muestra un potencial significativo para la eliminación de contaminantes.

Tabla 3

Propiedades fisicoquímicas del biocarbón producido con diferentes materias primas

Materia prima	Carbono fijo (%)	Contenido volátil (%)	Contenido de cenizas (%)	pH	Contenido del elemento (%)				Superficie específica (m ² /g)
					C	I	O	N	
Pericarpio de frutas	63.4	31.2	5.4	8.5	65.2	4.7	23.4	1.3	1.6
Cáscara de nuez	75.4	20.9	4.1	8.7	68.8	4.3	23.7	0.4	3.0
Cáscara de naranja	-	-	6.4	9.6	66.5	6.1	19.0	2.1	0.6
Cáscara de piña	-	-	6.6	8.6	68.6	4.3	19.7	0.9	0.5
Cáscara de pitaya	-	-	28.6	10.7	54.3	4.2	10.8	2.2	1.3
Desperdicio de alimentos, FeCl ₃	-	-	-	-	67.4	-	13.3	-	2.0
Residuos verdes de Conocarpus	-	-	-	-	-	-	-	-	334.6
Cáscara de plátano	-	-	-	-	90.0	5.7	-	3.8	388.0
Cáscara de huevo	-	-	-	-	-	-	-	-	467.5
Cáscara de plátano	-	-	-	-	29.6	-	36.4	-	954.2
Cáscara de naranja	-	-	-	-	63.0	-	23.0	-	1073.5

Nota. Extraído de Municipal solid waste derived biochars for wastewater treatment: Production, properties and applications por Li et al., (2022).

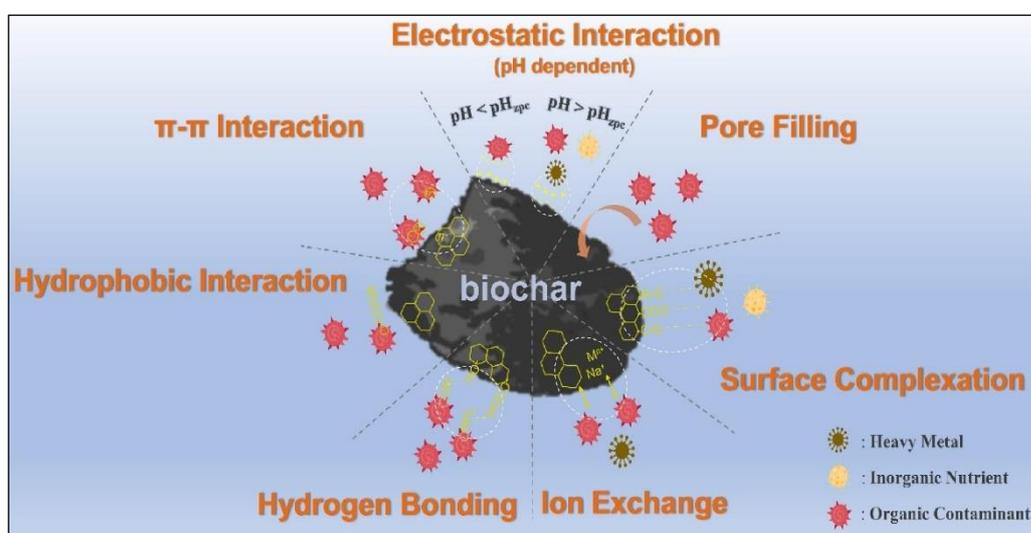
b. Mecanismos de interacción del biocarbón con los contaminantes

La adsorción de contaminantes orgánicos es una alternativa eficaz empleando biocarbón derivado de residuos sólidos urbanos debido a los microporos bien desarrollados y los abundantes grupos funcionales (Li et al.,

2022). El biocarbón producido a partir de residuos de alimentos fue fabricado mediante pirólisis a 700 °C para la adsorción de fenol, alcanzando una máxima eficiencia de adsorción del fenol de 14.6 mg/g (Lee et al., 2019).

Los sitios de los grupos -COOH , -C=O , -C=C , -OH y la estructura aromática del biocarbón derivado de residuos sólidos municipales podrían adsorber contaminantes a través de la interacción electrostática, la formación de complejos superficiales, el intercambio iónico, los enlaces de hidrógeno y π - π Interacción (Li et al., 2022).

Figura 3



Mecanismos de interacción del biocarbón con los contaminantes

Nota. Extraído de Municipal solid waste derived biochars for wastewater treatment: Production, properties and applications por (Li et al., 2022).

La cáscara de naranja es un potencial absorbente de contaminantes, es por ello que a través del método de pirolisis se usará estos residuos para elaborar biochar y tratar aguas con fenoles.

2.3.3. Material adsorbente a base de cáscara de naranja

Los residuos bioadsorbentes (cáscara de naranja, cáscara de plátano, cáscara de huevo, entre otros) se caracterizan porque las paredes celulares de estos contienen polisacáridos, proteínas y lípidos, por lo que existen grupos funcionales capaces de enlazar contaminantes como metales pesados en la superficie de estos materiales; entre los grupos funcionales presentes se pueden mencionar los grupos amino, carboxílico, hidroxílico, fosfato y tiol que difieren en

su afinidad y especificidad respecto de cada contaminante (Cardona et al., 2013).

La cáscara de naranja se genera en diversas industrias como también residuos municipales. La acumulación de residuos de naranja en las industrias y urbes ha dado lugar a problemas como la gestión y disposición de estos residuos. El estudio de este material ha sido ampliamente estudiado para la remoción de metales pesados, sin embargo, existen pocos estudios que se enfocan en la remoción de contaminantes orgánicos, tales como colorantes y compuestos fenólicos (Romero, 2013)

La cáscara de naranja de acuerdo con estudios ha demostrado ser eficaz por su composición de grupos funcionales en la adsorción de diversos contaminantes entre ellos fenoles. Dado que la cáscara de naranja está disponible sin costo en las industrias, muchos investigadores han estudiado su potencial como adsorbente para la remoción de diversos contaminantes en aguas residuales (Bhatnagar et al., 2015).

En la Tabla 4 se muestran algunos estudios y capacidades de adsorción de la cáscara de naranja para diversos contaminantes.

Tabla 4

Capacidades de absorción de varios adsorbentes basados en cáscara de naranja para la eliminación de metales

Tipo adsorbente	Metal	Cantidad adsorbida
Cáscara de naranja químicamente modificada	cobre (II)	289.0 mg/g
Cáscara de naranja modificada con ácido mercaptoacético	cobre (II)	70.67 mg/g
Cáscara de naranja modificada con KCl	Pb (II)	141.84 mg/g
Cáscara de naranja modificada con KCl	Zn (II)	45.29 mg/g
Cáscara de naranja sulfurada	Pb (II)	164 mg/g
Cáscara de naranja sulfurada	Zn (II)	80 mg/g

Nota. Tomado de Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification – A review (Bhatnagar et al., 2015).

2.3.4. Aguas residuales con fenoles

Se entiende a las aguas residuales como aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

En los efluentes de operaciones industriales como las refinerías de petróleo, plantas de coque, extracción de compuestos de azufre y nitrógeno del carbón también contienen compuestos fenólicos (Lin et al., 2018).

Por otra parte, los residuos municipales contribuyen a la descarga de compuestos fenólicos principalmente en sus plantas de tratamiento de agua y lixiviados en vertederos (Mohamad et al., 2021).

En la Tabla 5 se muestran algunos valores característicos de la concentración de fenol en diversos tipos de aguas residuales.

Tabla 5

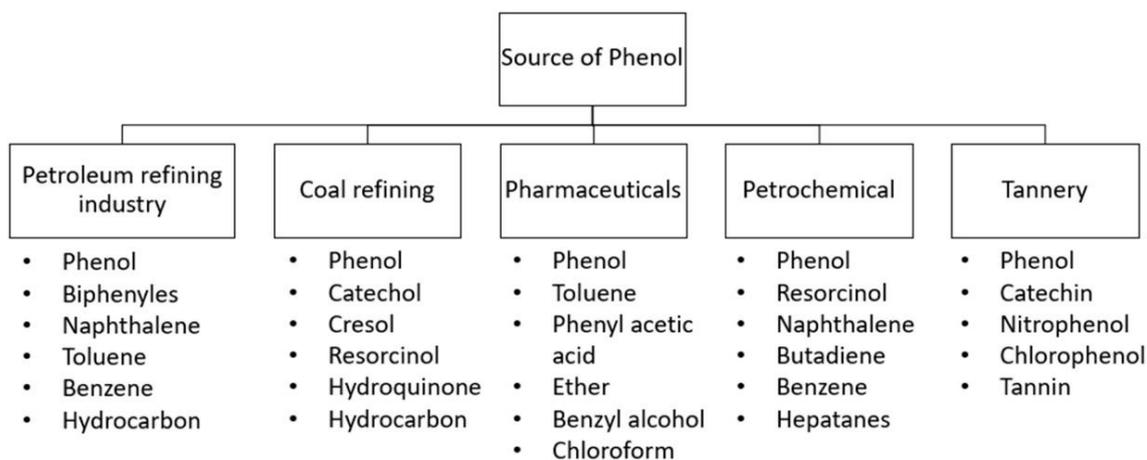
Concentración de fenol en aguas residuales industriales

Efluentes de industria/municipal	Concentración (mg/L)	Referencia
Refinería	94.11	(Steevensz et al., 2009)
Petroquímica	3.9-1230	(Musteret y Teodosiu, 2017)
Farmacéutica	0.2-1700	(Musteret y Teodosiu, 2017)
Lixiviados de relleno municipal	<0.04-1.1	(Kurata et al., 2008)
Pesticidas	3.9-1230	(Musteret y Teodosiu, 2017)
Pintura	0.2-1700	(Musteret y Teodosiu, 2017)
Refinerías	5.0-600	(Musteret y Teodosiu, 2017)

La Figura 4 muestra un ejemplo de los efluentes que contienen fenoles y sus compuestos sustituidos que se encuentran en sus aguas residuales producidos por las principales industrias.

Figura 4

Ejemplo de efluentes producidos por las principales industrias



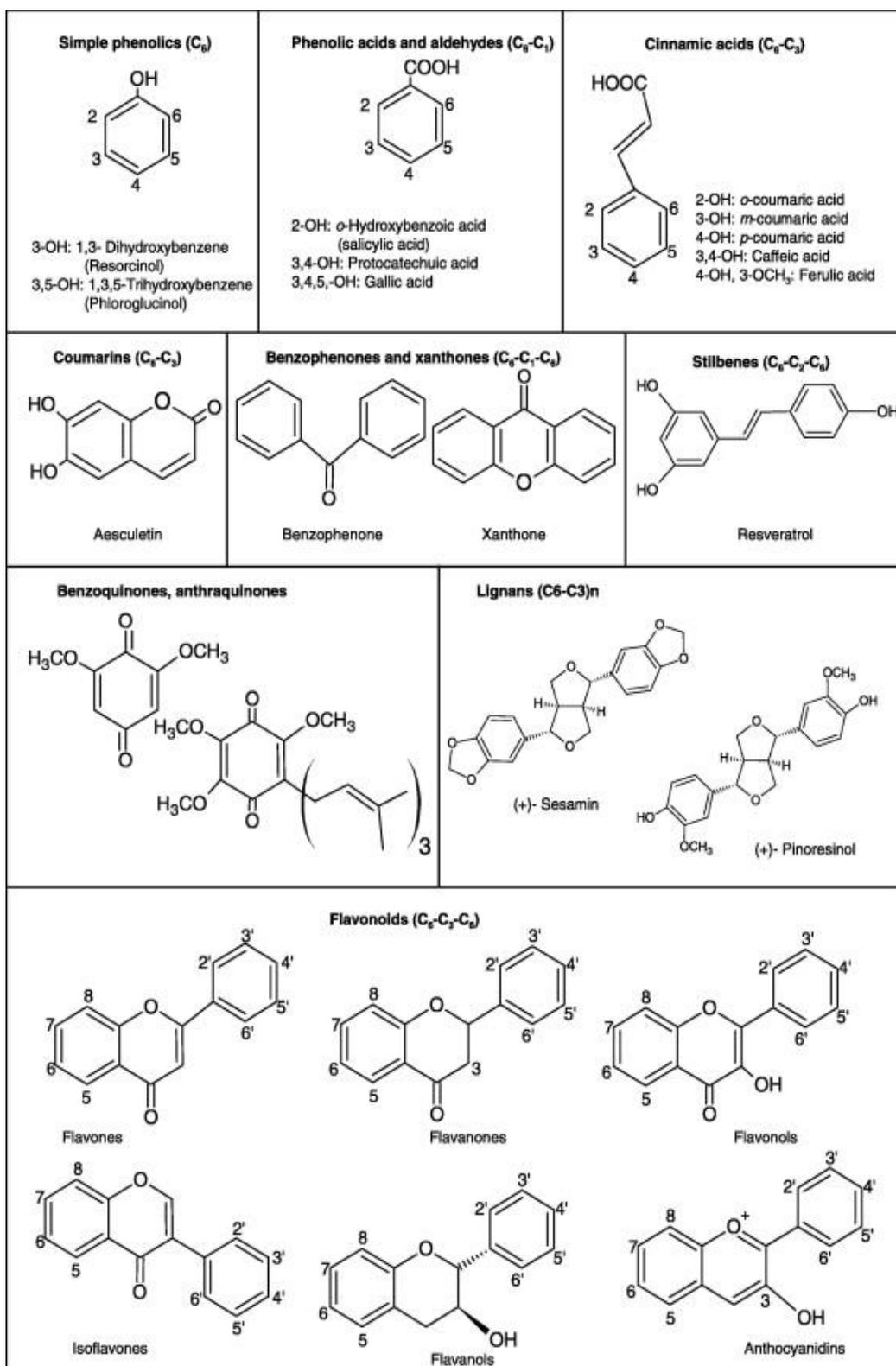
Nota. Tomado de A review of technologies for the phenolic compounds recovery and phenol removal from wastewater por Mohamad Said et al., (2021).

a. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son compuestos que tienen uno o más grupos hidroxilo en el esqueleto aromático (Malta y Liu, 2014). La Figura 5 presenta algunas familias de compuestos fenólicos generalmente considerados como adsorbatos. Los fenoles son compuestos orgánicos con fórmula general $ArOH$, donde Ar hace referencia a un compuesto aromático que puede tener sustituyentes (Supo, 2020).

Figura 5

Fenoles y derivados del fenol (C₆) comúnmente encontrados en aguas residuales industriales o fracciones aisladas de fuentes vegetales



Nota. Adaptado de Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review por Soto et al., (2011).

b. Tratamiento de las aguas residuales para la remoción de fenoles

Debido a los diversos problemas que pueden traer consigo las altas concentraciones de fenoles en ecosistemas ambientes acuáticos y los riesgos que implican para la salud humana, se ha venido investigado diversos tipos de alternativas de tratamientos para la remoción del fenol y sus derivados (Mohamad et al., 2021).

Existen diferentes alternativas de tratamiento para las aguas residuales que contienen fenoles tales como la coagulación-floculación (Elayadi et al., 2019), la infiltración-percolación (Almeida et al., 2018). También se tienen otras alternativas para remover fenoles a las tecnologías de membrana como biorreactor de membrana extractivo, ósmosis inversa y nanofiltración (Mohamad Said et al., 2021); tratamientos químicos como oxidación húmeda, oxidación electroquímica y degradación fotoquímica (Supo, 2020).

Sin embargo la mayoría de estas alternativas presentan varias limitaciones como la generación de gran cantidad de lodos, alto costo e incompleta remoción de los contaminantes (Elayadi et al., 2021). En ese sentido en los últimos años se ha venido estudiando como alternativa la adsorción (Papaoikonomou et al., 2019), la cual se considera un método de bajo costo, simple y efectivo para la eliminación de diferentes tipos de contaminantes entre ellos los fenoles (Ververi y Goula, 2019). En la Tabla 6 se muestran las ventajas y desventajas de algunas tecnologías de tratamiento de fenoles.

La mayoría de los adsorbentes evaluados en el proceso de adsorción son costosos, menos abundantes, lo que limita la aplicabilidad de este proceso, en ese sentido el emplear la cáscara de naranja para producir material adsorbente representa una alternativa sostenible (Farnane et al., 2020).

Tabla 6*Métodos convencionales en el tratamiento de fenol*

Tecnología	Función	Ventajas	Desventajas
Adsorción y extracción	Fenol separado por adsorción del compuesto en sólido o por miscibilidad líquida	Alta eficiencia El adsorbente o líquido gastado se puede reemplazar fácilmente	Requiere tratamiento adicional o disposición para el adsorbente y el líquido usado
Biodegradación	Aplicación de microorganismos para mineralizar fenol	Fácil de diseñar y mantener Transformación de fenol altamente tóxico en un derivado menos tóxico	Requiere un área grande para tanque o estanque. Tratamiento de baja concentración de fenol
Oxidación química	Iniciado por una reacción química entre el fenol y oxidantes fuertes como H ₂ O ₂ y O ₃ .	Capaz de tratar altas concentraciones de fenol Altamente eficiente cuando se combina con luz ultravioleta	Alto requerimiento de energía cuando se combina con luz ultravioleta Costo ineficaz debido a un suministro continuo de productos químicos y energía
Oxidación electroquímica	Usó electricidad para realizar la oxidación de fenol en su electrodo.	No se necesita reactivo químico Más fácil de operar y mantener	Altamente dependiente de la energía eléctrica. Reemplazo periódico de electrodos
Tratamiento enzimático	Polimerización de fenol por una enzima, molécula hecha de proteína	Proceso rápido Tratar selectivamente el contaminante objetivo, como el fenol en las aguas residuales.	Altamente dependiente de las condiciones de reacción Posibilidad de desactivación enzimática

Nota. Adaptado de A review of technologies for the phenolic compounds recovery and phenol removal from wastewater por Mohamad Said et al., (2021).

2.3.5. Enfoque interdisciplinar de las ciencias ambientales**a. Relación del Medio Ambiente con otras disciplinas (Física, Química, Matemáticas, Ecología, Economía, Geológico)**

Debido a la propia naturaleza del objeto de estudio de las Ciencias Ambientales (componentes físico-químicos, biológicos y sociales), las Ciencias Ambientales constituyen una disciplina de síntesis que integra las aportaciones parciales de diferentes disciplinas, entre las que destacan las ciencias naturales (Biología, Geología, Física y Química) junto con otras pertenecientes a las

ciencias sociales (Economía, Derecho, Ingeniería, Arquitectura, Historia), y es de vital importancia unificar los conocimientos de todas estas disciplinas, ya que los componentes del medio ambiente físico-químicos (atmósfera, hidrosfera, geosfera), biológicos (seres vivos o biosfera) y sociales (la humanidad o antroposfera) interactúan unos con otros, de forma que cualquier intervención en el medio arrastra repercusiones sobre todos los componentes del medio.

En conclusión, el estudio del medio ambiente es interdisciplinar y para enfocarlo se necesita una visión holística para poder estudiar todas las interacciones entre sus componentes y las posibles repercusiones, en caso de alterarse alguno de ellos.

2.3.6. Normativa legal

El presente trabajo de investigación se encuentra dentro del marco normativo ambiental y sectorial que se detalla a continuación:

- **Constitución Política del Perú**, en el artículo 2 establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.
- **Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente**, establece en el artículo 113, numeral 113.1, que toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente. En el numeral 113.2, se mencionan algunos objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental:
 - Preservar, conservar, mejorar y restaurar, según corresponda, la calidad del aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente,
 - Promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, las actividades de transferencia de conocimientos y recursos, la difusión de experiencias exitosas y otros medios para el mejoramiento de la calidad ambiental.
 - Por otro lado, en el artículo 123, indica que la investigación científica y tecnológica esté orientada, en forma prioritaria, a proteger la salud ambiental y prevenir el deterioro ambiental, tomando en cuenta el manejo de los fenómenos y factores que ponen en riesgo el ambiente.

- **Decreto Supremo N° 013-2009-MINAM**, aprueba la Política Nacional del Ambiente, que mediante el eje de política 2 “Gestión Integral de la Calidad Ambiental”, busca impulsar una adecuada calidad ambiental de los cuerpos de agua del país de acuerdo con estándares que permitan evitar riesgos a la salud y al ambiente.
- **Decreto Supremo N° 037-2008-PCM**, establece los Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos.
- **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM**, aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- **Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA**, aprueba el nuevo Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Recursos de Aguas Residuales Tratadas.
- **Límites máximos permisibles (LMP)** para vertidos de una planta de tratamiento de aguas residuales, el Ministerio del ambiente (2010) establece que son la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.
- **Estándares de calidad ambiental**, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) indica que son las medidas que establecen el nivel de concentración o de grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiental.

Es importante mencionar que actualmente no se cuentan con normas ambientales que regulen la descarga de efluentes líquidos en las industrias como papeleras, farmacéuticas, almazaras, procesadoras de madera, gasificación de carbón, textiles, resinas y residuos agroindustriales.

2.4. Definición de términos básicos

Fenoles

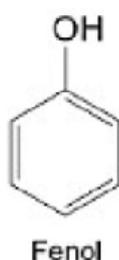
Son compuestos orgánicos derivados del benceno por sustitución de átomos de hidrógeno por grupos hidroxilo. El compuesto típico del grupo es el propio fenol C_6H_5-OH , debiendo descartarse los cresoles o metilfenoles ($CH_3-C_6H_4-OH$) y los tres difenoles isómeros pirocatequina, resorcina e hidroquinona, de fórmula general $C_6H_4(OH)_2$, así como compuestos fenólicos clorados formados por cloración de fenoles originalmente presentes en aguas brutas: el 2-cloro fenol, el 4-cloro fenol, el 2,4-dicloro fenol y el 2,4,6-tricloro fenol (Claramunt y Santos, 2013).

Fenol

El fenol tiene la estructura de benceno anillo aromático con OH unido a él (Philip y Bailey, 2001). El fenol es un sólido blanco con olor característico que al entrar en contacto con la piel provoca irritación. Cristaliza dando lugar a cristales incoloros, es bastante soluble en agua y tiene carácter ácido. Los puntos de fusión y ebullición de los fenoles son más altos que los de los correspondientes derivados bencénicos, como ocurría en los alcoholes alifáticos, debido a la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares entre los grupos hidroxilo (Claramunt y Santos, 2013).

Figura 6

Estructura del fenol



Adsorbato

Sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente. El adsorbato se adhiere sobre la superficie del adsorbente por un proceso de adsorción (García y Granillo, 2017).

Adsorbente

Material generalmente sólido usado para retener un gas o un líquido; generalmente se emplea el carbón activado debido a que posee un alta área superficial por unidad de masa (Crittenden et al., 2005).

Toxicidad

Se refiere a los efectos adversos que se manifiestan tras la administración por vía oral o cutánea de una sola dosis de dicha sustancia. Según Steiert y Crawford (1985), la toxicidad de los fenoles clorados depende de su estructura molecular, es decir, está en función a la cantidad y la posición de átomos de cloro en el anillo bencénico (Bellot et al., 2011).

Efluentes

Residual líquido, tratado o sin tratar, que se origina en un proceso industrial o actividad social y se dispone generalmente en los suelos o diversos cuerpos de agua superficiales o subterráneos (Martinez Barbeito y Garcia Villalon, 2011).

Límite Máximo Permisible

Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2012).

Agua Residual

Aguas resultantes de un proceso o actividad productiva cuya calidad se ha degradado, debido a la incorporación de elementos contaminantes (Martinez Barbeito y Garcia Villalon, 2011).

Contaminación

Cambio indeseable de las propiedades físicas, químicas y biológicas que puede provocar efectos negativos en los diferentes componentes del medio ambiente (Martinez Barbeito y Garcia Villalon, 2011).

Contaminante

Sustancia química, biológica o radiológica, en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en la atmósfera, agua, suelo, fauna o cualquier elemento natural altera y cambia su composición y condición natural (Martinez y Garcia, 2011).

Agua contaminada

Agua cuyos usos previstos se han comprometido como resultado del deterioro de su calidad original, producto de la incorporación de elementos contaminantes (Martinez y Garcia, 2011).

Carga contaminante

Cantidad de contaminante que se encuentran en los diferentes medios (suelos, agua, atmósfera), o que es liberada a los mismos en una unidad de tiempo (Martinez y Garcia, 2011).

Cuerpo receptor

Componente del medio ambiente que recibe los aportes de carga contaminante generados por la actividad económica y social (Martinez y Garcia, 2011).

Descarga

Disposición o adición de desechos o residuales a un medio receptor (Martinez y Garcia, 2011).

Descontaminación

Remoción de sustancias peligrosas tales como sustancias químicas nocivas, bacterias peligrosas u otros organismos, o material radioactivo de individuos, ambientes y mobiliarios expuestos en edificios, o el ambiente exterior (Ministerio del Ambiente, 2012).

Pirólisis

Descomposición de sustancias en ausencia de oxígeno mediante la aplicación de altas temperaturas (Martinez y Garcia, 2011).

FCC

La unidad de craqueo catalítico fluido (FCCU, del inglés Fluid Catalytic Cracking Unit) es una de las unidades tecnológicas más importantes que se utilizan en la industria de refinación de petróleo. Su función principal es la de transformar por medio de reacciones de craqueo catalítico, un producto de masa molecular alta en otros de menor masa y puede decirse que es la base de la refinación moderna (Cepero y González, 2018).

Residuos orgánicos

Se refiere a los residuos biodegradables o sujetos a descomposición. Pueden generarse tanto en el ámbito de gestión municipal como en el ámbito de gestión no municipal (Reglamento de La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2017).

Carbón activado

Material microcristalino que proviene de la descomposición térmica de madera, cortezas vegetales, carbón, etc., y tiene áreas superficiales de 300 a 1200 m²/g; Las sustancias orgánicas generalmente se adsorben por carbón activado (Geankopolis, 2006).

Fenoles

Los fenoles son compuestos contaminantes de carácter orgánico que se hallan presentes en diversos tipos de aguas residuales como industriales, tal es el caso de las aguas residuales de la industria textil, de alimentos como las que procesan el aceite de oliva, industria de pulpa y papel (Singh et al., 2021).

Valorización

Operación que busca que el residuo o los materiales que lo componen, sea reaprovechado y sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos (Decreto Legislativo que Prueba La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016).

Reaprovechamiento

En la gestión de los residuos sólidos, el reaprovechamiento está referido al proceso por el cual se obtiene un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye un residuo sólido. Son técnicas de reaprovechamiento: el reciclaje, la recuperación y la reutilización (Ministerio del Ambiente, 2012).

Reutilización

Técnica de reaprovechamiento de residuos sólidos referida a volver a utilizar el bien, artículo o elemento que constituye el residuo sólido para que cumpla el mismo fin para el que fue originalmente elaborado; permitiéndose de esa manera la minimización de la generación de residuos (Ministerio del Ambiente, 2012).

Residuos sólidos de ámbito de gestión municipal

Residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos (Ministerio del Ambiente, 2012).

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio remueve los fenoles de una solución sintética, 2022.

3.1.2. Hipótesis específica

- El parámetro de operación de la concentración inicial de fenol tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.
- El parámetro de operación del pH tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.
- El parámetro de operación del tiempo de contacto tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.
- El parámetro de operación de la velocidad de agitación tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

3.2. Definición conceptual de variables

Tabla 7

Definición conceptual de las variables

Variables	Definición Conceptual
Variable Independiente: Proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja.	El fenómeno de adsorción es un proceso mediante el cual iones, átomos o moléculas de una sustancia (adsorbatos) en determinada fase son retenidos en la superficie de otra sustancia que se encuentra generalmente en fase sólida, denominada adsorbente. Los agentes adsorbentes contienen poros, o centros activos. Las propiedades de la superficie del biocarbón, como el área de superficie específica y su estructura porosa, permiten que se lleve a cabo la adsorción física de los contaminantes (Serna, 2020).
Variable dependiente: Remoción de fenoles.	La remoción de la concentración en compuestos no biodegradable, se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios en la estructura química de los contaminantes (Penagos et al., 2012), estos compuestos son altamente tóxicos con efectos adversos sobre la biota y los seres humanos, tanto por su acumulación en la cadena alimentaria como por su persistencia en su entorno; por ello es necesario su tratamiento antes de ser liberados al medio ambiente (Huachi y Macas, 2014).

3.2.1. Operacionalización de variables

Tabla 8

Definición operacional de las variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICA	MÉTODO
Independiente: Proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja.	Condiciones de operación	Concentración inicial de fenol	3	Observación	Hipotético-deductivo
		pH	4		
		Tiempo de contacto	10		
			60		
		Velocidad de agitación	120		
			130		
			200		
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	TÉCNICA	MÉTODO
Dependiente: Remoción de fenoles	Porcentaje de remoción de fenoles	Porcentaje de remoción de fenoles	%	Observación	Hipotético-deductivo

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo es tipo básica, enfoque cuantitativo, el nivel explicativo porque se va a manipular los factores (concentración inicial de fenol, pH, tiempo de contacto y velocidad de agitación) para poder medir el efecto en la variable dependiente (remoción de fenoles) y de diseño experimental de 4 factores, 2 niveles y 3 réplicas.

4.1.1. Tipo de investigación

El presente proyecto de investigación de acuerdo con la tipología de investigación a desarrollar es del tipo básica, donde sustenta en el descubrimiento de nuevos conocimientos y contribuye a las bases de la investigación aplicada o tecnológica (Ñaupas et al., 2014). Presenta un enfoque cuantitativo el cual se caracteriza por utilizar métodos y técnicas cuantitativas y por ende tiene que ver con la medición, el uso de magnitudes, la observación y medición de las unidades de análisis, el muestreo, el tratamiento estadístico (Ñaupas et al., 2014). El nivel de la investigación es explicativa ya que prueba sus hipótesis con diseños ex-post-facto o con diseños experimentales o cuasi-experimentales (Ñaupas et al., 2014).

4.1.2. Diseño de investigación

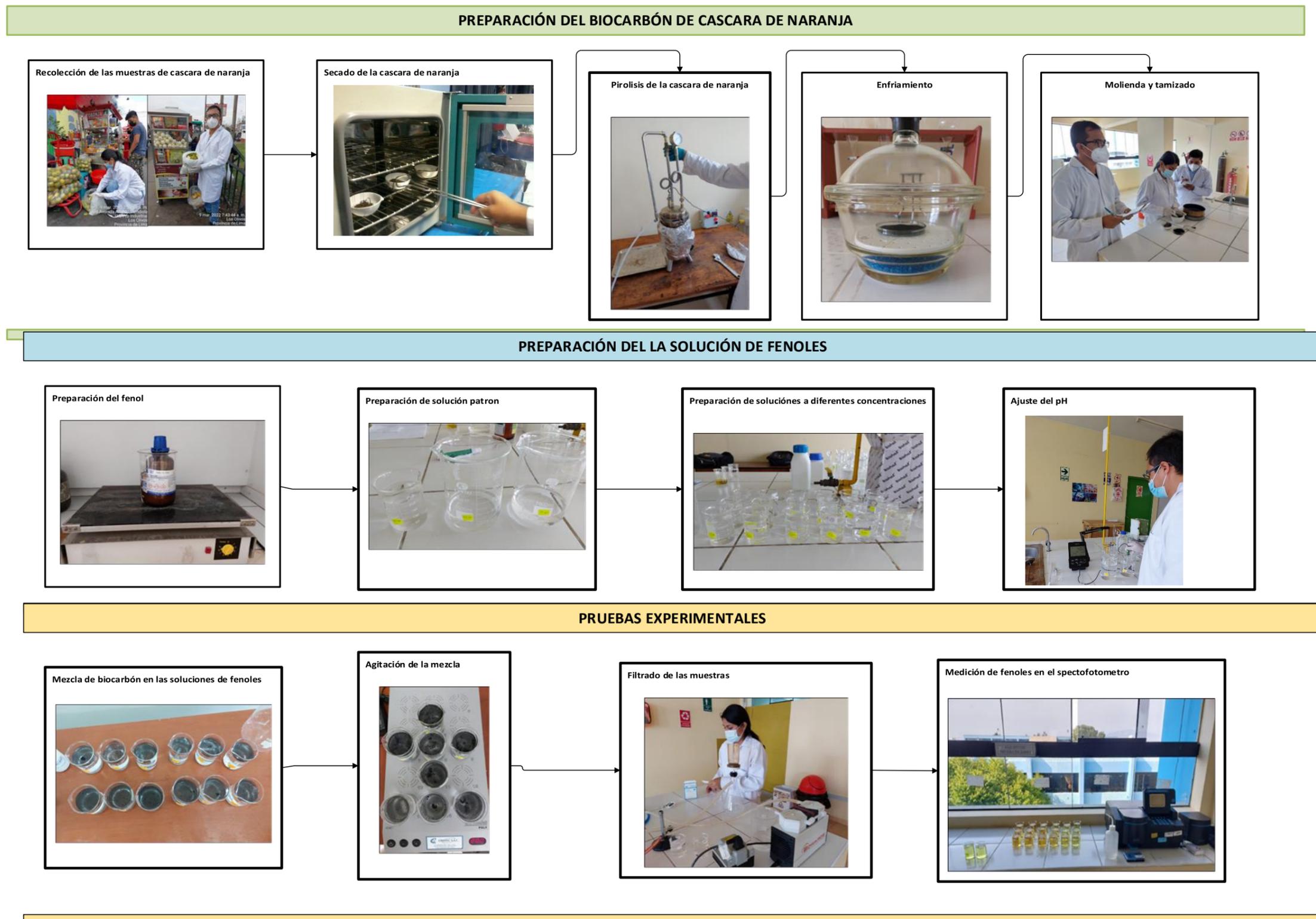
El diseño de investigación es experimental (cuasi - experimental). Es un diseño que trabaja con grupos ya formados, no aleatorizados, por tanto, su validez interna es pequeña porque no hay control sobre las variables extrañas. Estos diseños se aplican a situaciones reales en los que no se pueden formar grupos aleatoriamente, pero pueden manipular la variable experimenta (Ñaupas et al., 2014). Se manipulará la variable independiente (adsorción de biocarbón de cascará de naranja) para evaluar su efecto en la variable dependiente (Remoción de fenoles).

a. Plan del diseño de investigación

El plan del diseño de investigación consiste en el planteamiento de los procedimientos a desarrollar para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación. En la Figura 7 se muestra los pasos que se han desarrollado para la realización de la experiencia en laboratorios.

Figura 7

Diagrama de los procedimientos experimentales



i. Recolección de cáscara de naranja

El material de partida son las cáscaras de naranja de la variedad (*Citrus x aurantium L*), estas cáscaras son provenientes de los vendedores ambulantes y juguerías.

ii. Secado de las cáscaras de naranjas

Se realizó el proceso de secado de las cáscaras de naranjas recolectadas en secador convectivo con parámetros controlados de 2 h de tiempo a una temperatura de 70 °C, con un peso inicial de 260 g y un peso final de 150 g después del proceso de secado.

iii. Elaboración de biocarbón

Para la producción de biocarbón a base de cascará de naranja se adaptó la siguiente metodología:

- Las muestras secas se quemaron en un reactor de pirolisis de 4 L. El proceso de pirolisis se realizó en ausencia de O₂ a la temperatura 500 °C durante 1 h.
- Los materiales secos se pulverizaron en un mortero, se tamizó a través de un tamiz de malla 20 (850 µm), se empaco en bolsas de plástico selladas y se almaceno en un desecador hasta su uso posterior.
- Las muestras del biocarbón se caracterización en un laboratorio externo.

iv. Preparación de la solución sintética con fenoles

En la investigación se utilizó el reactivo fenol (Merck, Alemania). El compuesto se presenta en forma sólida, según especificaciones del fabricante, la pureza del compuesto es del 98%.

Teniendo conocimiento del grado de pureza del compuesto se preparó la solución contaminada con fenoles con una concentración de 3 a 87 mg/L tomando como referencia resultados de monitoreo de efluentes industriales en refinería realizado por el OEFA.

Para obtener la concentración deseada (3 - 87 mg/L), primero se preparó la solución madre de los fenoles, con una concentración de 87 mg/L. Para ello,

se disolvió 1 g de fenoles / 1 L de agua destilada y las soluciones de trabajo se obtuvo por diluciones de la solución madre. Utilizando la siguiente fórmula.

$$C_M \times V_x = C_m \times V_m$$

donde:

- C_M : Concentración de la solución madre (mg/L)
- C_m : Concentración de la muestra (mg/L)
- V_m : Volumen de la muestra (L)
- V_x : Volumen que se requiere para lograr la concentración deseada (L)

Posteriormente a las soluciones sintéticas de fenoles se ajustó el pH a 4 y 10 de acuerdo los valores propuestos en el diseño factorial. Los ajustes de pH se realizaron con las soluciones de H_2SO_4 0.1 M y NaOH 0.1 M.

vi. Agitación y filtrado de solución de fenoles

Se colocaron los vasos precipitados de 100 mL. de solución de fenoles con biocarbón en el agitador magnético a 130 rpm y 200 rpm a diferentes tiempos de contacto, 60 y 120 min. Posteriormente se procedió a utilizar el sistema de filtrado con una bomba de succión al vacío para la separación del biocarbón de la solución sintética.

vii. Medición de concentración final de fenoles

Se realizó la medición de la concentración final de fenoles de la solución filtrada utilizando el espectrómetro DR/4000 UV-VIS, aplicando el método Fotométrico Directo 5530 D. (APHA, 2017).

b. Diseño experimental

Para esta investigación se adoptó un diseño factorial completo de arreglo 2^4 con tres (3) réplicas, obteniéndose 48 tratamientos. Los factores son A: Concentración inicial de fenol, B: pH, C: Tiempo de contacto, D: Velocidad de agitación, cada uno con dos niveles.

Tabla 9*Matriz de arreglo experimental con diseño factorial fraccionado completo.*

Muestra aleatoria	Número de corridas	Masa biocarbón de cáscara de naranja (g)	Factor 1 A: Concentración inicial de fenol (mg/L)	Factor 2 B: pH unidad	Factor 3 C: Tiempo de contacto (min)	Factor 4 D: Velocidad de agitación (rpm)
19	1	0.02	3	10	120	130
27	2	0.02	3	4	60	200
11	3	0.02	87	10	60	130
10	4	0.02	87	10	60	130
1	5	0.02	3	4	60	130
3	6	0.02	3	4	60	130
4	7	0.02	87	4	60	130
43	8	0.02	3	10	120	200
9	9	0.02	3	10	60	130
36	10	0.02	87	10	60	200
35	11	0.02	87	10	60	200
14	12	0.02	3	4	120	130
31	13	0.02	3	10	60	200
33	14	0.02	3	10	60	200
7	15	0.02	3	10	60	130
34	16	0.02	87	10	60	200
38	17	0.02	3	4	120	200
12	18	0.02	87	10	60	130
26	19	0.02	3	4	60	200
28	20	0.02	87	4	60	200
25	21	0.02	3	4	60	200
29	22	0.02	87	4	60	200
44	23	0.02	3	10	120	200
41	24	0.02	87	4	120	200
45	25	0.02	3	10	120	200
16	26	0.02	87	4	120	130
15	27	0.02	3	4	120	130
17	28	0.02	87	4	120	130
42	29	0.02	87	4	120	200
37	30	0.02	3	4	120	200
23	31	0.02	87	10	120	130
18	32	0.02	87	4	120	130
2	33	0.02	3	4	60	130
32	34	0.02	3	10	60	200
20	35	0.02	3	10	120	130
13	36	0.02	3	4	120	130
39	37	0.02	3	4	120	200
48	38	0.02	87	10	120	200
5	39	0.02	87	4	60	130

Muestra aleatoria	Número de corridas	Masa biocarbón de cáscara de naranja (g)	Factor 1 A: Concentración inicial de fenol (mg/L)	Factor 2 B: pH unidad	Factor 3 C: Tiempo de contacto (min)	Factor 4 D: Velocidad de agitación (rpm)
47	40	0.02	87	10	120	200
24	41	0.02	87	10	120	130
21	42	0.02	3	10	120	130
40	43	0.02	87	4	120	200
30	44	0.02	87	4	60	200
46	45	0.02	87	10	120	200
8	46	0.02	3	10	60	130
6	47	0.02	87	4	60	130
22	48	0.02	87	10	120	130

El porcentaje de remoción (*PR*) de los contaminantes se determinó mediante comparación de sus mediciones inicial y final para cada prueba experimental, utilizando la siguiente ecuación:

$$PR = \frac{C_i - C_f}{C_i} 100$$

donde:

C_i : concentración inicial del contaminante (mg/L)

C_f : concentración final del contaminante (mg/L)

4.2. Método de investigación

El método de investigación aplicado será hipotético-deductivo, consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos (Bernal, 2010).

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población en el presente estudio de investigación corresponde a los 8 L de aguas residuales sintéticas con fenol que constituye a unidad de análisis.

La población está constituida por un conjunto de sujetos, objetos o hechos, que presentan características similares, que son medibles y que constituyen la unidad de investigación (Ñaupás et al., 2014).

4.3.2. Muestra

Corresponde a las alícuotas de 3.5 mL de aguas residuales sintéticas con fenol, preparadas en el laboratorio de análisis químico, a partir de agua destilada y el reactivo de fenol.

Esta fracción por ser representativa de la población permite la generalización de los resultados obtenidos de la muestra a toda la población. Por lo tanto, se puede considerar que la muestra como la parte seleccionada de una población o universo sujeto a estudio, y que reúne las características de la totalidad, por lo que permite la generalización de los resultados. Se debe controlar el tamaño y la selección de la muestra (Ñaupas et al., 2014).

El muestreo no probabilístico interviene el criterio del investigador para seleccionar a las unidades muestrales, de acuerdo con ciertas características que requiera la naturaleza de la investigación que se quiera desarrollar (Ñaupas et al., 2014).

Muestreo de elección razonada, este muestreo requiere que el investigador posea cierto conocimiento de la población de la cual se va a seleccionar la muestra. De acuerdo con este conocimiento el investigador proceder a seleccionar la muestra con la que va a trabajar (Ñaupas et al., 2014).

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Los experimentos se realizaron en el laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, en un periodo de dos meses, marzo – abril del año 2022.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

En cuanto a la técnica en la presente investigación se usó la observación experimental.

La observación experimental es un proceso sistemático que busca obtener información de la realidad, enfocándose en un objeto de investigación. Radica en ver y percibir hechos o fenómenos pudiendo emplear diversos instrumentos, pudiendo depender ello del fenómeno que se está estudiando (Alan, 2018)

Las técnicas analíticas de laboratorio e instrumentos que se emplearon en las mediciones se detallan en la Tabla 10.

Tabla 10

Técnicas analíticas e instrumentos

Parámetro	Unidades	Instrumentos	Técnica
Fenol	mg/L	Espectrofotómetro DR/4000 UV-VIS	Método fotométrico directo SM 5530 D. (APHA, 2017)
pH	-	Medidor de pH de mesa Edge HANNA - HI2020	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 H+ B, 23rd.Ed. 2017
Tiempo de contacto	min	Cronómetro	-
Velocidad de agitación	rpm	Variomag POLY 15	-

Para el análisis se utilizó el Espectrofotómetro de DR/4000 UV-VIS, debido a que los fenoles poseen en su estructura los grupos hidroxilo y halógenos (con electrones no enlazantes), esta característica hace que sus transiciones electrónicas se pueden observar claramente en la región UV-visible.

Los equipos, materiales y reactivos que fueron utilizados en laboratorio se detallan a continuación:

Equipos

- ✓ Agitador magnético Variomag POLY 15
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Estufa
- ✓ Tamiz
- ✓ Potenciómetro
- ✓ Espectrofotómetro DR/4000 UV-VIS
- ✓ Mufla
- ✓ Equipo de filtración
- ✓ Bomba de vacío de laboratorio (Edwards PM13194-8103)
- ✓ Desecador

Materiales

- ✓ Papel de filtro de fibra de vidrio
- ✓ Vasos precipitados de 1L y 100 mL
- ✓ Matraces
- ✓ Cáscara de naranja
- ✓ Pipeta de 10 mL
- ✓ Secador
- ✓ Reactor de pirólisis
- ✓ Mortero
- ✓ Pastilla magnética
- ✓ Pipeta
- ✓ Bagueta
- ✓ Luna de reloj

Reactivos

- ✓ Fenoles
- ✓ Hidróxido de amonio al 0.5 N
- ✓ Solución de H₂SO₄ 0.1 M
- ✓ Solución NaOH 0.1 M
- ✓ 4-aminoantipirina
- ✓ Ferrocianuro de potasio
- ✓ Agua destilada
- ✓ Solución tampón base

4.6. Análisis y procesamientos de datos

Para el diseño factorial completo y la estimación de los coeficientes para la función de respuesta del porcentaje de remoción de los fenoles se utilizó el software estadístico Design-Expert 12. La significación de la ecuación del modelo estadístico, los parámetros individuales y las interacciones de los factores se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) en los intervalos de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$). Se usó como estadístico el p-valor y se analizó el R^2 y R^2 ajustado, Así también, se obtuvo gráficos de contorno bidimensionales (2D) y respuestas de superficie tridimensionales (3D) para el modelo estadísticos.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Resultados de las características físico-químicas del agua sintética

La simulación de aguas reales con contenido fenólico de la industria de refinería estará representada por agua sintética. Las características del agua sintética con fenoles que se usó en el experimento fueron de 87 mg/L máximo y 3 mg/L mínimo.

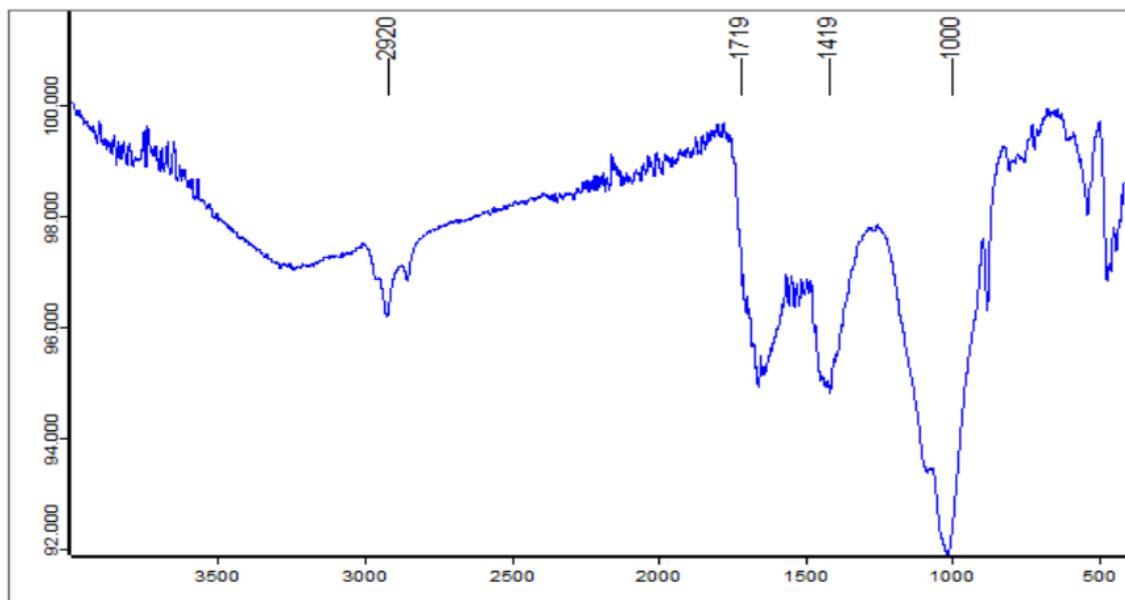
5.1.2. Resultados de las características del biocarbón de cáscara de naranja en laboratorio SLAB S.A.C.

La producción de biocarbón se elaboró mediante un horno pirolítico automatizado donde se puede controlar la temperatura de producción. Se produjo un total de 150 g de biocarbón de cáscara de naranja, para luego ser llevado como adsorbente en la experiencia en la remoción de fenoles.

El biocarbón fue analizado en el laboratorio SLAB S.A.C., la Figura 8 muestra los resultados de la caracterización del biocarbón de cáscara de naranja.

Figura 8

Resultado de ensayo de espectroscopía infrarroja del biocarbón de cáscara de naranja



Nota. Lado Horizontal (Número de Onda cm⁻¹)-Lado Vertical (Transmitancia %).

Tabla 11*Identificación de grupos funcionales*

Grupo	Grupos alcanos	Experimental
Número de onda (cm ⁻¹)	Zona de absorción "Torsión C-H". 2800-2950 cm ⁻¹	2920.0 cm ⁻¹
Grupo	Grupos carboxílicos	Experimental
Número de onda (cm ⁻¹)	Zona de absorción "Estiramiento C=O". 1700 cm ⁻¹	1718.9 cm ⁻¹
	Zona de absorción "Flexión C-O-H en el plano". 1430 cm ⁻¹	1419.1 cm ⁻¹
Grupo	Grupos éteres	Experimental
Número de onda (cm ⁻¹)	Zona de absorción "Torsión C-O-C" en el plano". 1300-1000 cm ⁻¹	1000.0 cm ⁻¹

Nota. Los resultados pertenecen a las muestras de biocarbón entregadas al laboratorio SLAB S.A.C.

5.1.3. Resultados descriptivos de los experimentos

Los resultados descriptivos permiten tener un primer acercamiento al comportamiento de los datos obtenidos del diseño experimental. La Tabla 12 muestra los 48 tratamientos experimentales. Los tratamientos fueron desarrollados por triplicados y manera aleatorizada.

Tabla 12*Resultados de la matriz experimentales de los diferentes tratamientos factoriales*

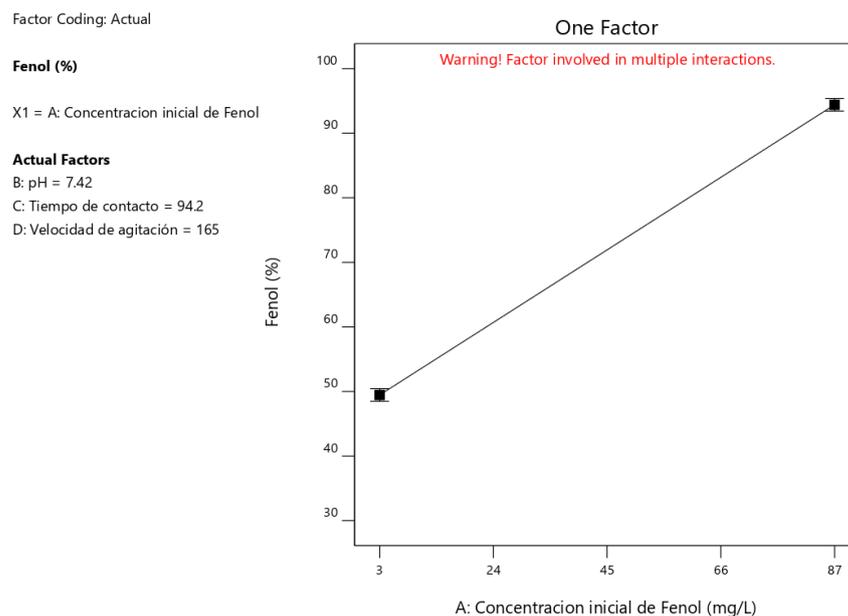
Número de corridas	Factor 1 A: Concentración inicial de fenol (mg/L)	Factor 2 B: pH unidad	Factor 3 C: Tiempo de contacto (Min)	Factor 4 D: Velocidad de agitación (rpm)	Remoción de fenoles (%)
1	3	10	120	130	45.53
2	3	4	60	200	51.74
3	87	10	60	130	95.86

Número de corridas	Factor 1 A: Concentración inicial de fenol (mg/L)	Factor 2 B: pH unidad	Factor 3 C: Tiempo de contacto (Min)	Factor 4 D: Velocidad de agitación (rpm)	Remoción de fenoles (%)
4	87	10	60	130	97.99
5	3	4	60	130	59.18
6	3	4	60	130	52.98
7	87	4	60	130	92.86
8	3	10	120	200	52.98
9	3	10	60	130	45.53
10	87	10	60	200	97.14
11	87	10	60	200	90.94
12	3	4	120	130	44.29
13	3	10	60	200	50.50
14	3	10	60	200	44.29
15	3	10	60	130	51.74
16	87	10	60	200	93.72
17	3	4	120	200	55.46
18	87	10	60	130	96.71
19	3	4	60	200	48.02
20	87	4	60	200	97.14
21	3	4	60	200	48.02
22	87	4	60	200	93.50
23	3	10	120	200	57.94
24	87	4	120	200	89.44
25	3	10	120	200	49.26
26	87	4	120	130	93.29
27	3	4	120	130	52.98
28	87	4	120	130	93.93
29	87	4	120	200	93.93
30	3	4	120	200	40.57
31	87	10	120	130	92.86
32	87	4	120	130	93.08
33	3	4	60	130	48.02
34	3	10	60	200	44.29
35	3	10	120	130	44.29
36	3	4	120	130	54.22
37	3	4	120	200	54.22
38	87	10	120	200	94.36
39	87	4	60	130	91.58
40	87	10	120	200	97.14
41	87	10	120	130	98.21
42	3	10	120	130	44.29
43	87	4	120	200	93.29
44	87	4	60	200	93.29
45	87	10	120	200	91.58
46	3	10	60	130	38.09
47	87	4	60	130	92.65
48	87	10	120	130	97.99

De la Tabla 12 se muestra los valores descriptivos de los diferentes tratamientos. De los tratamientos la mínima remoción es 38.09% que se da en las combinaciones de concentración de inicial de fenol=3mg/L, pH=10, tiempo de contacto=60 min, velocidad: 130 rpm y la máxima remoción es de 98.21% con combinaciones de concentración de inicial de fenol=87mg/L, pH=10, tiempo de contacto=60 min, velocidad: 130 rpm.

Figura 9

Efectos entre la remoción de fenoles y concentración inicial de fenol



Nota. Resultados obtenidos en el software estadístico Design Expert 12.

Se evidencia en la Figura 9 tiene un efecto positivo, lo que indica que para obtener la mejor condición de tratamiento se requiere trabajar con una concentración inicial de fenol (87 mg/L), para lograr la mayor remoción de 97% en las soluciones sintéticas de fenoles.

Figura 10

Efectos entre la remoción de fenoles y pH

Factor Coding: Actual

Fenol (%)

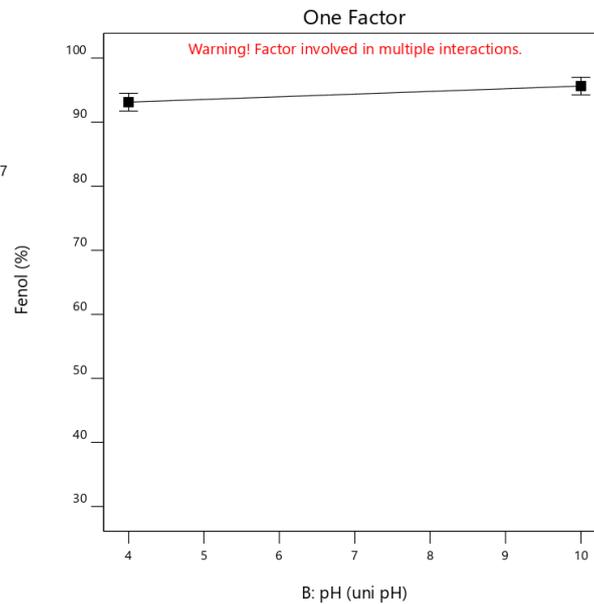
X1 = B: pH

Actual Factors

A: Concentracion inicial de Fenol = 87

C: Tiempo de contacto = 87

D: Velocidad de agitación = 158



Nota. Resultados obtenidos en el software estadístico Design Expert 12.

Se evidencia en la Figura 10 tiene un efecto positivo, lo que indica que para obtener la mejor condición de tratamiento se requiere trabajar con pH (10), para lograr la mayor remoción de 97% en las soluciones sintéticas de fenoles.

Figura 11

Efectos entre la remoción de fenoles vs. tiempo de contacto

Factor Coding: Actual

Fenol (%)

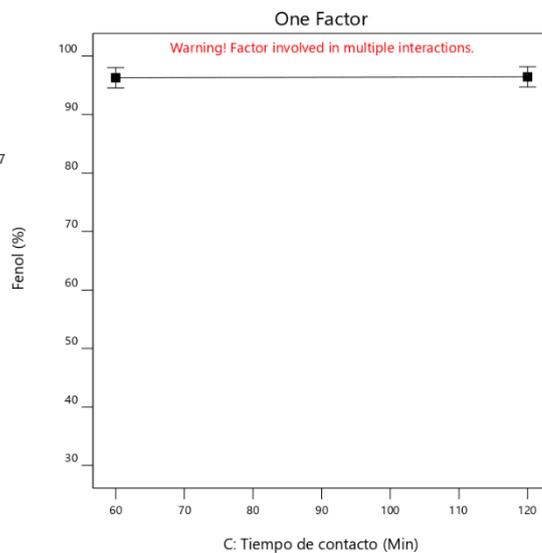
X1 = C: Tiempo de contacto

Actual Factors

A: Concentracion inicial de Fenol = 87

B: pH = 10

D: Velocidad de agitación = 137

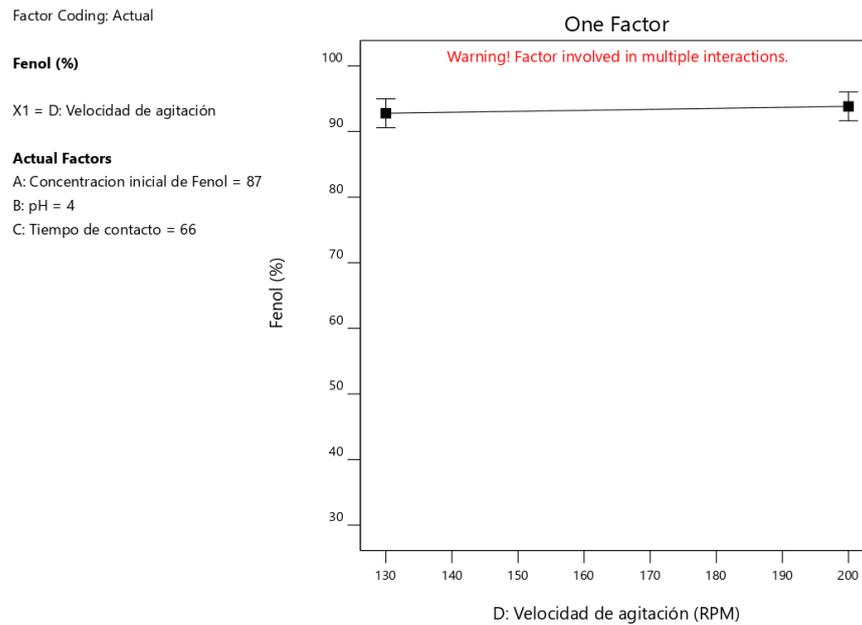


Nota. Resultados obtenidos en el software estadístico Design Expert 12.

Se evidencia en la Figura 11 tiene un efecto positivo, lo que indica que para obtener la mejor condición de tratamiento se requiere trabajar con tiempo de contacto (120 min), para lograr la mayor remoción de 98% en las soluciones sintéticas de fenoles.

Figura 12

Efectos entre la remoción de fenoles vs. velocidad de agitación



Nota. Resultados obtenidos en el software estadístico Design Expert 12.

Se evidencia en la Figura 12 tiene un efecto positivo, lo que indica que para obtener la mejor condición de tratamiento se requiere trabajar con velocidad de agitación (200 rpm), para lograr la mayor remoción de 98% en las soluciones sintéticas de fenoles.

Tabla 13

Resultados descriptivos de las diferentes combinaciones de los factores de estudios

Combinaciones	Velocidad de agitación (rpm)	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Concentración inicial de fenol=3mg/L, pH=4 , Tiempo de contacto=60 min	130	3	53.39	5.59	31.28	48.02	48.02	52.98	59.18	59.18
	200	3	49.26	2.15	4.62	48.01	48.01	48.02	51.74	51.74
Concentración inicial de fenol =3mg/L, pH=4 , Tiempo de contacto=120 min	130	3	50.5	5.41	29.23	44.29	44.29	52.98	54.22	54.22
	200	3	50.08	8.26	68.2	40.57	40.57	54.22	55.46	55.46
Concentración inicial de fenol =3mg/L, pH=10 , Tiempo de contacto=60 min	130	3	45.12	6.83	46.67	38.09	38.09	45.53	51.74	51.74
	200	3	46.36	3.58	12.82	44.29	44.29	44.29	50.5	50.5
Concentración inicial de fenol =3mg/L, pH=10 , Tiempo de contacto=120 min	130	3	44.707	0.716	0.513	44.294	44.294	44.294	45.534	45.534
	200	3	53.39	4.36	18.97	49.26	49.26	52.98	57.94	57.94
Concentración inicial de fenol =87mg/L, pH=4 , Tiempo de contacto=60 min	130	3	92.362	0.687	0.473	91.578	91.578	92.647	92.861	92.861
	200	3	94.64	2.16	4.68	93.29	93.29	93.5	97.14	97.14
Concentración inicial de fenol =87mg/L, pH=4 , Tiempo de contacto=120 min	130	3	93.431	0.445	0.198	93.075	93.075	93.289	93.93	93.93
	200	3	92.22	2.43	5.9	89.44	89.44	93.29	93.93	93.93
Concentración inicial de fenol =87mg/L, pH=10 , Tiempo de contacto=60 min	130	3	96.853	1.076	1.159	95.855	95.855	96.71	97.994	97.994
	200	3	93.93	3.11	9.65	90.94	90.94	93.72	97.14	97.14
Concentración inicial de fenol =87mg/L, pH=10 , Tiempo de contacto=120 min	130	3	96.35	3.03	9.16	92.86	92.86	97.99	98.21	98.21
	200	3	94.36	2.78	7.73	91.58	91.58	94.36	97.14	97.14

Se observa en la Tabla 13, Q3 tiene mayores porcentajes de remoción en los resultados de los tratamientos de combinación de las condiciones del proceso de adsorción; concentración inicial de fenol, pH, tiempo de contacto y velocidad de agitación.

5.2. Resultados Inferenciales

El trabajo de investigación es cuasiexperimental (un grupo control y un grupo de tratamientos). Se realizó la prueba de normalidad con datos < 50 usando Shapiro Wilk para determinar la distribución normal: p-valor > 0.05 (paramétricos).

Para analizar un diseño factorial se deben identificar los efectos factoriales significativos y separarlos de los efectos no significativos y determinar el error puro. Una vez que se seleccionan los términos, se puede probar la importancia del modelo en el análisis de la varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés).

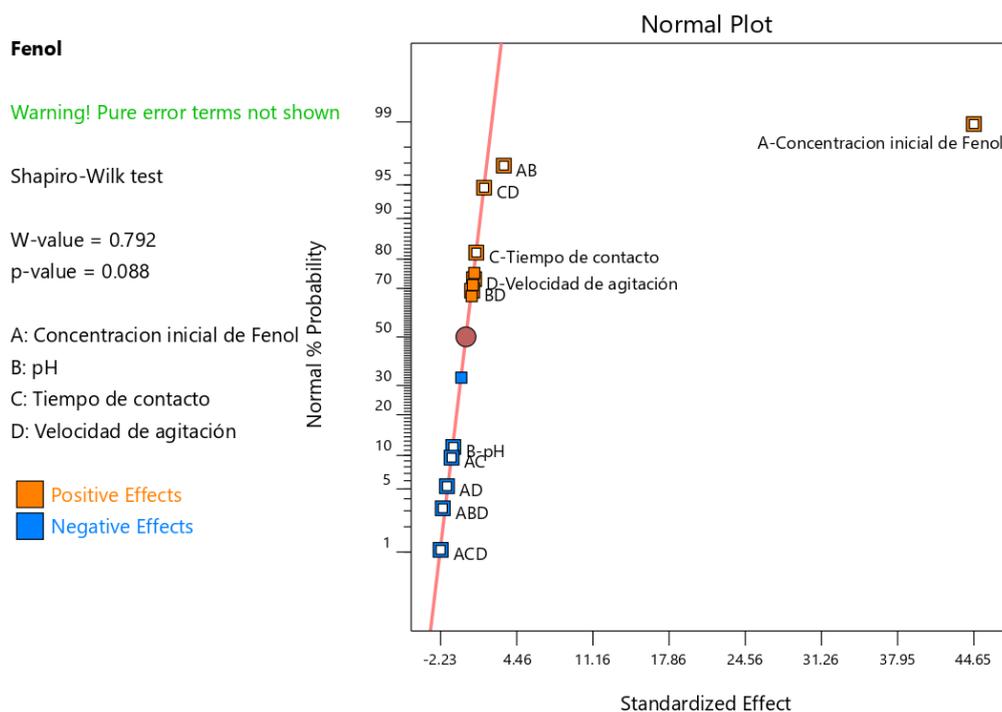
La Figura 13 muestra el p-valor mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), resultando una distribución normal de los datos. Por lo tanto, para la evaluación de la hipótesis se utilizó el ANOVA.

5.2.1. Análisis de efecto preliminares para el modelo

La Figura 13 muestra la codificación por colores de los efectos positivos y negativos, resultando que el factor A: concentración de fenoles y el factor AB: interacción de la concentración inicial de fenol y el pH tienen los mayores efectos positivos.

Figura 13

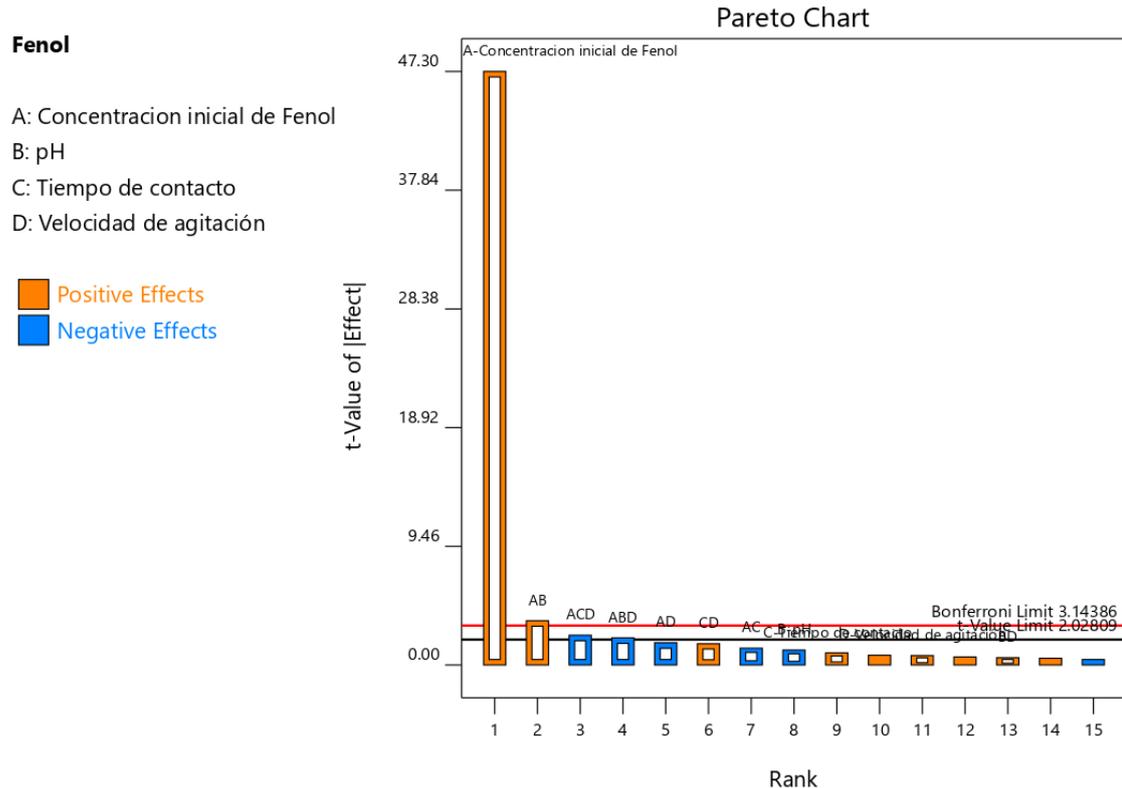
Gráfica de probabilidad seminormal de los efectos de los parámetros de estudio.



El diagrama de Pareto se muestra en la Figura 14, el factor A: concentración inicial de fenol y el factor AB: interacción de la concentración inicial de fenol y el pH, resultaron mayores al límite de 3.11, corroborando que los dos factores son los que más influyen en la remoción de fenoles.

Figura 14

Diagrama de Pareto



5.2.2. Análisis de la varianza de los diseños factoriales

De acuerdo con los resultados del ANOVA, los factores A, AB, ABD y ACD son los más significativos porque los p-valor son menores al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Mientras que los factores AC, AD, BD, CD, B, C y D no son significativos porque los p-valor son mayores al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo tanto, el modelo se expresará en función de los factores A, AB, ABD y ACD.

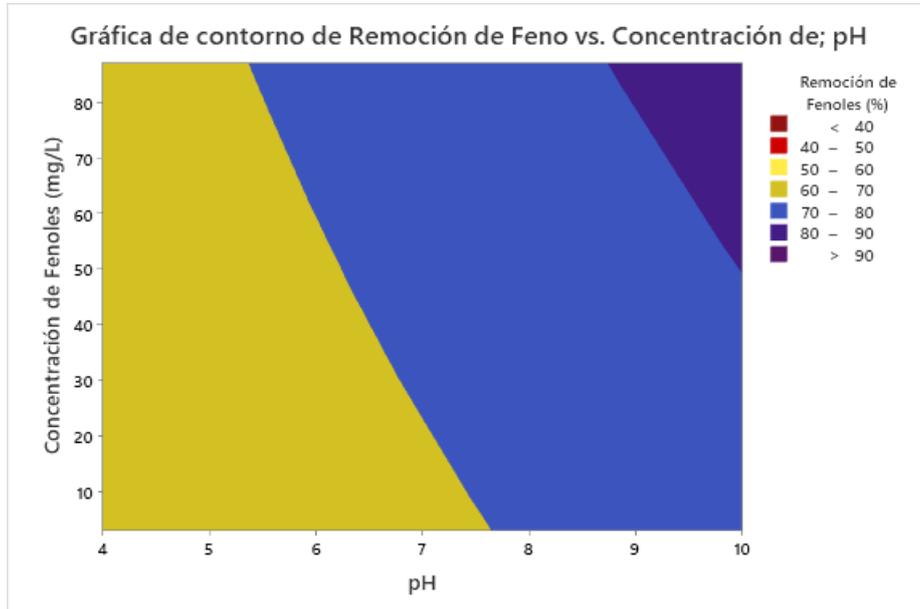
Tabla 14*Matriz ANOVA de la remoción de fenoles*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-valor	p-valor	
Modelo	24285.80	11	2207.80	206.49	< 0.0001	significativo
A-Concentración de inicial de fenol	23925.70	1	23925.70	2237.66	< 0.0001	
B-pH	14.99	1	14.99	1.40	0.2442	
C-Tiempo de contacto	9.87	1	9.87	0.9231	0.3431	
D-Velocidad de agitación	6.01	1	6.01	0.5620	0.4583	
AB	132.85	1	132.85	12.43	0.0012	
AC	19.15	1	19.15	1.79	0.1892	
AD	33.47	1	33.47	3.13	0.0853	
BD	3.55	1	3.55	0.3318	0.5682	
CD	30.40	1	30.40	2.84	0.1004	
ABD	49.97	1	49.97	4.67	0.0374	
ACD	59.84	1	59.84	5.60	0.0235	
Residual	384.92	36	10.69			
Falta de ajuste	15.76	4	3.94	0.3415	0.8479	no es significativo
Error	369.17	32	11.54			
Total	24670.72	47				

La Figura 15 muestra la gráfica de contorno, donde la concentración inicial de fenol mayor que 50 mg/L y pH mayor 8.8, conllevan a una remoción de fenoles entre 80 y 90%.

Figura 15

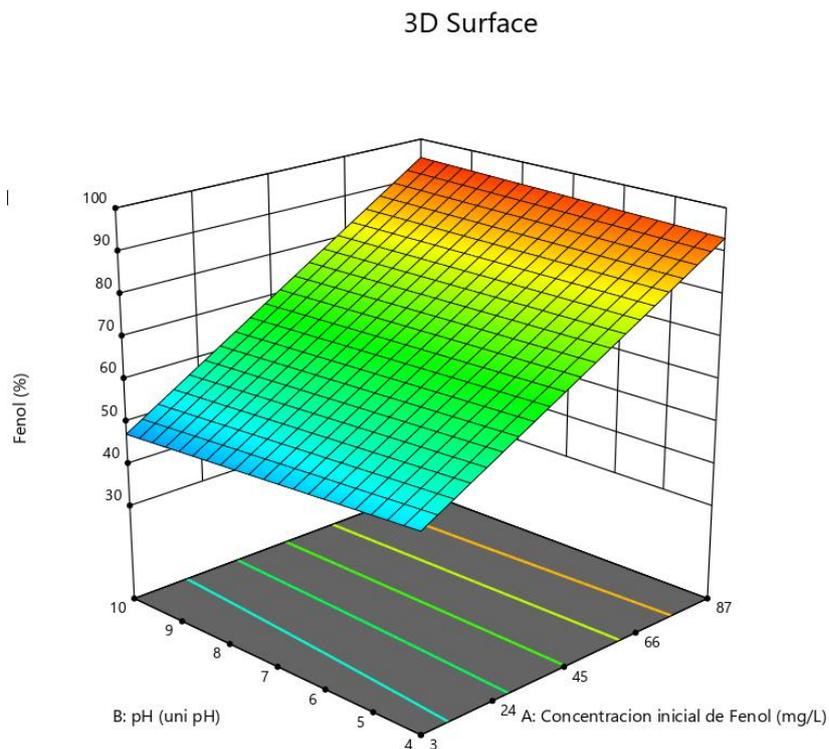
Gráfica de contorno de remoción de fenoles respecto a la concentración inicial de fenol y pH



La Figura 16 muestra la gráfica en 3D de la interacción de la concentración de inicial de fenol y el pH, se muestra que a mayor concentración de fenol mayor remoción de fenol y que existe mayor remoción de fenol a pH 10.

Figura 16

Gráfico de efecto de la concentración inicial de fenol y el pH



5.2.3. Análisis del modelo estadístico

La ecuación en términos de factores codificados se usó para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles de cada factor. De forma predeterminada, los niveles altos de los factores se codifican como +1 y los niveles bajos se codifican como -1. La ecuación codificada de la interacción de esta investigación es la siguiente:

$$\% \text{ Remoción de fenoles} = + 71.94 + 22.32A - 0.55B + 0.45C + 0.35D + 1.66AB - 0.63AC - 0.83AD + 0.27BD + 0.79CD - 1.02ABD - 1.11ACD$$

Para el ajuste del modelo se analizó los indicadores de ajustes del diseño experimental. La Tabla 15 muestra que el R^2 de 0.9844 está razonablemente de acuerdo con el R^2 ajustado de 0.9796; es decir, la diferencia es inferior a 0.0048.

Tabla 15

Indicadores de ajuste del diseño factorial del experimento

Indicadores	% Remoción de fenoles
R^2	0.9844
R^2 ajustado	0.9796

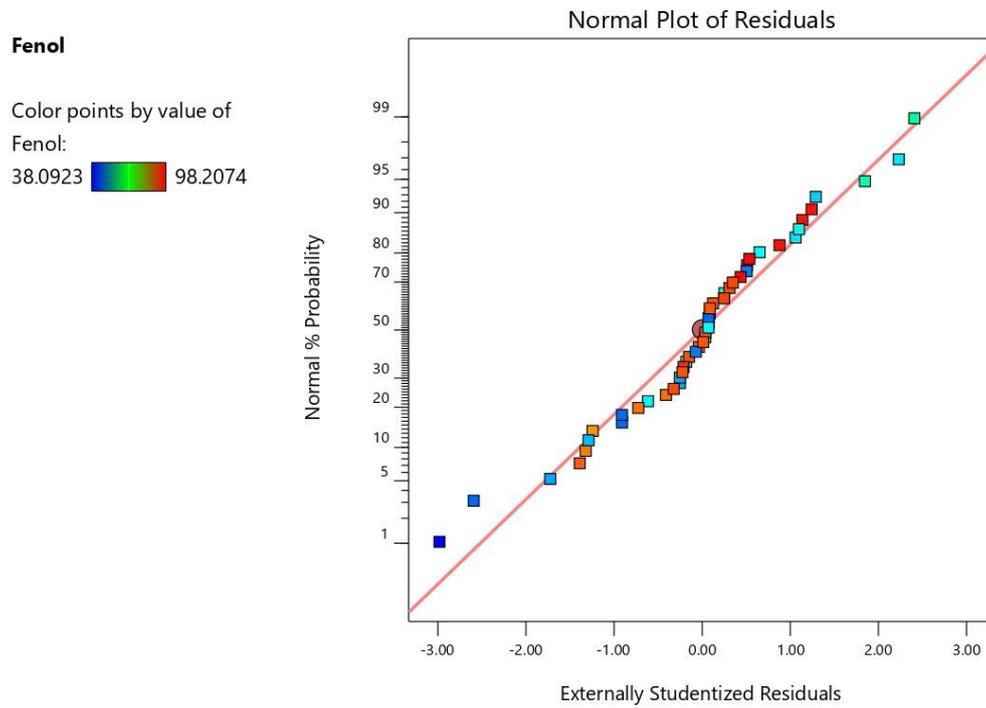
5.2.4. Pruebas pos-hoc del modelo

a. Análisis de la normalidad

La Figura 17 muestra una distribución de los errores con un ligero sesgo, la tendencia de la gráfica de probabilidad normal al lado izquierdo implica la distribución de los errores lo cual se muestra delgada; es decir, los residuales negativos no son tan grandes (en valor absoluto), concluyendo que esta gráfica no muestra una desviación marcada de la distribución normal.

Figura 17

Gráfica de la normalidad

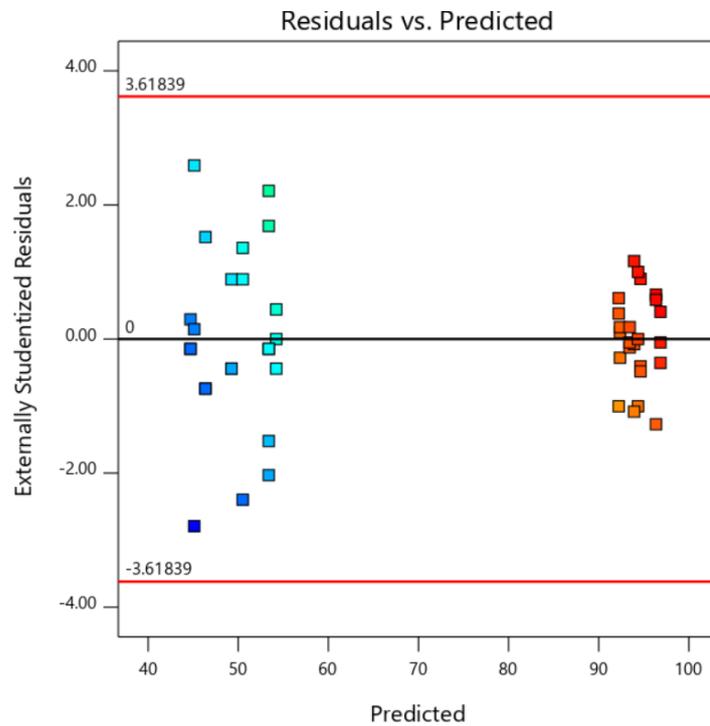


b. Homogeneidad de la varianza

En la Figura 18 se muestra los valores residuales y los valores ajustados para los datos del % remoción de fenoles, se evidencia 2 estructuras inusuales, pero no presentan una tendencia.

Figura 18

Supuesto de homogeneidad de la varianza

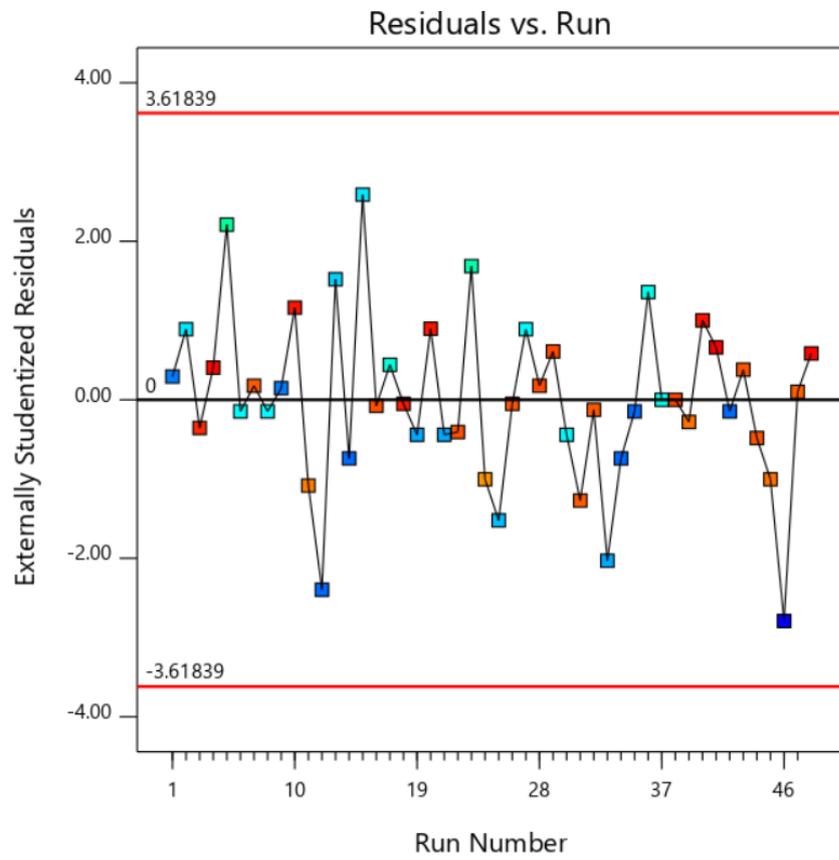


c. Residuales en secuencia en el tiempo

La grafica de los residuales en el orden temporal de la recolección de los datos es útil para detectar correlaciones entre los residuales. Una tendencia a tener corridas de residuales positivos y negativos indica una correlación positiva. En La Figura 19 se muestran los residuales y la secuencia en el tiempo de la recolección de los datos para el experimento de la remoción de fenoles, no hay razón para sospechar cualquier alteración de los supuestos de independencia o de una varianza constante.

Figura 19

Grafica de los residuales en secuencia del tiempo



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1. *Contrastación con la hipótesis general*

H₀: El proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio no remueve los fenoles de una solución sintética.

H₁: El proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio remueve los fenoles de una solución sintética.

El proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio remueve los fenoles de una solución sintética, a través del parámetro de operación de concentración inicial de fenol. Se rechaza la hipótesis nula (H₀) y acepta la alternativa (H₁).

6.1.2. *Contrastación con la hipótesis específica 1*

H₀: El parámetro de operación de la concentración inicial de fenol no tiene un efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética

H₁: El parámetro operación de la concentración inicial de fenol tiene un efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

Según la Tabla 14 se observa que el efecto de la concentración inicial del fenol tiene un efecto significativo (P-valor < 0.0001) en la remoción de fenoles; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H₀) y acepta la alternativa (H₁).

6.1.3. *Contrastación con la hipótesis específica 2*

H₀: El parámetro de operación del pH no tiene un efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

H₁: El parámetro de operación del pH tiene un efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

Según la Tabla 14 se observa que el efecto del pH no tiene un efecto significativo (P-valor = 0.2442) en la remoción de fenoles, dado que el P-valor es mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H₀) y se rechaza la alternativa. Sin embargo, la Tabla 14 muestra que el pH es

significativo (P-valor = 0.0012) cuando interactúa con la concentración inicial de fenol.

6.1.4. Contrastación con la hipótesis específica 3

H₀: El parámetro de operación del tiempo de contacto no tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

H₁: El parámetro de operación del tiempo de contacto tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

Según la Tabla 14 se observa que el efecto del tiempo de contacto no tiene un efecto significativo (P-valor = 0.3431) en la remoción de fenoles, dado que el P-valor es mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H₀) y se rechaza la alternativa. Sin embargo, la Tabla 14 muestra que el tiempo de contacto es significativo (P-valor = 0.0235) cuando interactúa con la concentración de inicial de fenol y con la velocidad de agitación.

6.1.5. Contrastación con la hipótesis específica 4

H₀: El parámetro de operación de la velocidad de agitación no tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

H₁: El parámetro de operación de la velocidad de agitación tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.

Según la Tabla 14 se observa que el efecto de la velocidad de agitación no tiene un efecto significativo (P-valor = 0.4583) en la remoción de fenoles, dado que el P-valor es mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H₀) y se rechaza la alternativa. Sin embargo, la Tabla 14 muestra que la velocidad de agitación es significativa (P-valor = 0.0374) cuando interactúa con la concentración inicial de fenol y con el pH.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

6.2.1. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación de concentración inicial de fenol.

Ververi y Goula (2019) en su estudio "*Subproducto de cáscara de granada y de naranja como nuevos biosorbentes de compuestos fenólicos de aguas residuales de almazara*", menciona que en un proceso adsorción con cáscara de granada (concentración inicial 0.01 g/mL) y cáscara de naranja (concentración inicial 0.02 g/mL) obtuvieron eficiencias de remoción de fenoles totales mayores que 93.13% y 89.59%, respectivamente. Mientras que en el presente trabajo de investigación se obtuvo que para las concentraciones iniciales de 3 mg/L y 87 mg/L resultaron eficiencias de remoción mayores que 38.09% y 89.44%, respectivamente.

6.2.2. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación del pH.

Ververi y Goula (2019) en su estudio "*Subproducto de cáscara de granada y de naranja como nuevos biosorbentes de compuestos fenólicos de aguas residuales de almazara*", menciona que en un proceso adsorción con cáscara de granada y cáscara de naranja a pH 4.75 obtuvieron eficiencias de remoción de fenoles totales mayores que 93.13% y 89.59%, respectivamente. Mientras que en el presente trabajo de investigación se obtuvo una remoción mayores que 40.57% a pH 4.

Hairuddin et al. (2019) en su estudio "*Ruta potencial del biocarbón magnético de palmiste para la remoción del fenol en aguas residuales*", menciona la condición óptima obtenida a pH 8 eficiente remoción de fenol igual a 93.39%. Mientras que en el presente trabajo investigación se obtuvo una remoción de 97% con pH 10.

6.2.3. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación del tiempo de contacto.

Hairuddin et al. (2019) en su estudio "*Ruta potencial del biocarbón magnético de palmiste para la remoción del fenol en aguas residuales*", menciona que la condición óptima obtenida a tiempo de contacto de 60 min con

eficiente remoción de fenol mayor a 93.39%. Mientras que en el presente trabajo de investigación se obtuvo una remoción de 97.14% con tiempo de contacto de 60 min.

Lunagariya et al. (2022) en su estudio “*Aplicación del método Taguchi en el proceso de adsorción de carbón activado para la eliminación de fenol de las aguas residuales del gasificador cerámico*” menciona la condición experimental óptimo con tiempo de contacto de 30 min tiene la mayor remoción de fenol de 96.0%. En el presente trabajo de investigación se obtuvo una remoción de 97.99% con tiempo de contacto de 120 min.

6.2.4. Para la remoción de fenoles de una solución sintética mediante el parámetro de operación de la velocidad de agitación.

Hairuddin et al. (2019) en su estudio “*Ruta potencial del biocarbón magnético de palmiste para la remoción del fenol en aguas residuales*”, menciona que la condición óptima con velocidad de agitación 180 rpm tiene la mayor remoción de fenol igual a 93.39%. En el presente trabajo de investigación para una velocidad de agitación de 130 rpm se obtuvo la mayor remoción de 98.21%.

6.3. Responsabilidad ética

La presente tesis titulada, “*Evaluación del Proceso de Adsorción con Biocarbón de Cáscara de Naranja a Escala Laboratorio en la Remoción de Fenoles de una Solución Sintética, 2022*” los tesisistas señalan que su responsabilidad ética, respeto, equidad y honestidad, cumplen fielmente con su autenticidad y confiabilidad en su fondo y forma con respecto a la autoría de otros estudios, con el código de ética de investigación aprobado por RDU N° 210-2017-CU, así como con la directiva N° 013-2018-R, ambas establecidas por la Universidad Nacional del Callao.

CONCLUSIONES

- Se evaluó el proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio en la remoción de los fenoles de una solución sintética. A partir de los tratamientos realizados se obtuvo una mínima y máxima remoción de 38.09% y 98.21%, respectivamente.
- Se determinó el efecto del parámetro de operación de concentración inicial de fenol en la remoción de los fenoles de una solución sintética. Su efecto fue significativo.
- Se determinó el efecto del parámetro de operación de pH en la remoción de los fenoles de una solución sintética. Su efecto fue no significativo.
- Se determinó el efecto del parámetro de operación del tiempo de contacto en la remoción de los fenoles de una solución sintética. Su efecto fue no significativo.
- Se determinó el efecto del parámetro de operación de la velocidad de agitación en la remoción de los fenoles de una solución sintética. Su efecto fue no significativo.

Aporte: Encontrar el mayor porcentaje de remoción de fenoles en condiciones óptimas de operación (concentración inicial de fenol, pH, tiempo de contacto y velocidad de agitación) con biocarbón de cáscara de naranja.

RECOMENDACIONES

- Trabajar empleando el diseño factorial completo, mayor a 3 réplicas por combinación de tratamientos para disminuir el porcentaje de error en los valores experimentales.
- Trabajar con soluciones en pH medio básico, para obtener mejores resultados de remoción.
- Trabajar con menor velocidad de agitación y tiempo de contacto, para obtener mejores resultados de remoción con la homogenización del adsorbato y adsorbente.
- Continuar con la investigación y aprovechar las propiedades fisicoquímicas del biocarbón como alternativas de tratamiento de adsorción de bajo costo. El empleo de biocarbón de cáscara de naranja es sostenible para el proceso de remoción de remoción de fenoles.
- Realizar microscopía electrónica de barrido (SEM) fotografías al biocarbón de cáscara de naranja después del proceso de adsorción, para poder evidenciar la estructura interna.
- Realizar estudios del proceso remoción de fenoles con factores como dosis de coagulante, pH, tiempo de contacto y otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, R., Perozo, J., Martínez, C., & Moran, H. (2016). Tratamiento de Aguas Residuales Fenólicas de Refinería por Métodos Electroquímicos. *Multiciencias*, 16(3), 239–247.
- Afolabi, F. O., Musonge, P., & Bakare, B. F. (2021). Application of the Response Surface Methodology in the Removal of Cu²⁺ and Pb²⁺ from Aqueous Solutions Using Orange Peels. *Scientific African*, 13, e00931. <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2021.E00931>
- Alan. (2018). Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica. *Editorial Utmach* (Vol. 1). <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestiacionCientifica.pdf>
- Alkaram, U. F., Mukhlis, A. A., & Al-Dujaili, A. H. (2009). The Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption Using Surfactant-Modified Bentonite and kaolinite. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.153>
- Ananias, M. V. J. (2019). Obtención de Carbón Activado a Partir de la Cáscara de Naranja por Método de Activación Química para la Adsorción de Cloro y Materia Orgánica del Agua, en La Provincia de Jaén. 1–79.
- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23 Edition).
- Aylas Orejón, E. (2018). Estudio de la Adsorción de Fenol, 4-nitrofenol y 4-clorofenol Utilizando Carbón Activado Modificado con Cobre. *Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Bellot, I., Mollinedo, P., Gemio, R., Morales, I., & Moraes, M. (2011). Fungi Chlorophenol Degradation. *Revista Boliviana de Química*, 28.
- Bernal Báez, A. N. B. (2017). Caracterización Cinética de un Consorcio Microalga-Bacteria con Potencial de Degradación de Fenol. 1–12.
- Bernal, C. (2010). Metodología de la Investigación Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales. *Pearson Educación* (Vol. 3, Issue Colombia).
- Bhatnagar, A., Sillanpää, M., & Witek-Krowiak, A. (2015). Agricultural Waste Peels as Versatile Biomass for Water Purification. *Chemical Engineering Journal*, 270, 244–271. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2015.01.135>
- Bonilla, H. (2016). Modelamiento de las Isotermas de Bioadsorción del Plomo (II) del Efluente Minero Río Anticoná – Cerro de Pasco Utilizando Citrus Sinensis (Cáscara de Naranja). *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
- Calixto Domínguez, C. M., & Gaona López, B. A. (2019). Biosorción de Plomo II con Cáscara de Naranja (citrus Cinensis) Aplicado a Efluentes Acuáticos. *Perú*.
- Cárdenas Calvachi, G. L., & Sánchez Ortiz, I. A. (2013). Nitrógeno en Aguas Residuales: Orígenes, Efectos y Mecanismos de Remoción para Preservar el Ambiente y la Salud Pública. *Universidad y Salud*, 72–88.

- Cardona-Gutiérrez, A. F., Cabañas-Vargas, D. D., & Zepeda-Pedreguera, A. (2013). Evaluación del Poder Biosorbente de Cáscara de Naranja para la Eliminación de Metales Pesados , Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1–9.
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. *Ingeniería y Región*, 13(1), 73. <https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- Cecen, F., & Aktas, O. (2011). Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment (Wiley-VCH (ed.); Issue July).
- Cepero Díaz, A. O., & González Santos, A. I. (2018). Estimación de Estado de Una Unidad de Craqueo Catalítico Fluido con Filtro Desaromatizado de Kalman. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 19(1), 11–23. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n1.002>
- Claramunt, M., & Santos, E. (2013). Principales Compuestos Químicos. <https://books.google.com.pe/books?id=yC0bCgAAQBAJ&pg=PT141&dq=fenoles&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi9ztnS0cn3AhVJBLkGHakgC7wQ6AF6BAgJEAl#v=onepage&q=fenoles&f=false>
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W. ., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2005). Water Treatment Principles and Design (H. John Wiley & Sons, Inc. (ed.); Third).
- Daza Montesinos, L. A., González Retamozo, R., Nicho Muñoz, M. A. R., & Tolentino Martínez, G. E. (2019). Eficiencia de Remoción de As Utilizando Cáscara de Naranja y Tuna en Aguas del Río Rímac, Distrito San Mateo– 2019. *Universidad César Vallejo*.
- De Almeida, M. S., Martins, R. C., Quinta-Ferreira, R. M., & Gando-Ferreira, L. M. (2018). Optimization of Operating Conditions for the Valorization of Olive Mill Wastewater Using Membrane Processes. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(22), 21968–21981. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2323-5>
- Elayadi, F., Boumya, W., Achak, M., Chhiti, Y., Alaoui, F. E. M. hamd., Barka, N., & Adlouni, C. El. (2021). Experimental and Modeling Studies of the Removal of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewater by Adsorption on Sugarcane Bagasse. *Environmental Challenges*, 4, 100184. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100184>
- Elayadi, F., El Adlouni, C., Achak, M., El Herradi, E., El Krati, M., Tahiri, S., Naman, M., & Naman, F. (2019). Effects of Raw and Treated Olive Mill Wastewater (OMW) by Coagulation-Flocculation, on the Germination and the Growth of Three Plant Species (Wheat, White Beans, Lettuce). *Moroccan Journal of Chemistry*, 7(1), 111–122.
- Farnane, M., Machrouhi, A., Khnifira, M., Barour, M., Elmoubarki, R., Abdennouri, M., Tounsadi, H., Qourzal, S., & Barka, N. (2020). Facile Nitric Acid Activation of Carob Seeds for Efficient Recovery of Heavy Metals from Water. *Desalination and Water Treatment*, 204(November), 174–188. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26256>

- Forero, Jorge Enrique, O. O. P. y R. F. (2015). Aplicación de Procesos de Oxidación Avanzada como Tratamiento de Fenol en Aguas Residuales Industriales de Refinería. *Revista Colombiana de Química*, 35(2), 215–224.
- Garba, Z. N., Zhou, W., Lawan, I., Xiao, W., Zhang, M., Wang, L., Chen, L., & Yuan, Z. (2019). An Overview of Chlorophenols as Contaminants and their Removal from Wastewater by Adsorption. *Journal of Environmental Management*, 241, 59–75. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.004>
- García, J., & Perez, Y. (2019). Eficiencia de Diversas Dosis de Biochar Elaborado con Cáscara de Naranja para la Adsorción de Plomo en Suelos Contaminados de la Ribera del Rio Rímac - 2019. *Universidad César Vallejo*.
- García, R. A., & Granillo, Y. A. (2017). Evaluación de Las Condiciones Operacionales en el Proceso de Preparación de Carbón Activado de Cáscara de Naranja Valencia (Citrus Sinensis Linn Osbeck). *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*.
- Geankopolis, C. (2006). Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación (C. E. Continental (ed.); 5ta edición).
- Girón-Pérez, M. I., Quintanilla-Vega, B., Ostrosky-Wegman, P., Biomédicas, I. D. I., Box, P. O., Universitaria, C., Df, M., & Investigación, U. I. De. (2016). Adsorción de Plomo de Efluentes Industriales Usando Carbones Activados Conhpo. 26(3), 221–228.
- Guo, X. xia, Liu, H. tao, & Zhang, J. (2020). The Role of Biochar in Organic Waste Composting and Soil Improvement. *Waste Management* (Vol. 102, pp. 884–899). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.003>
- Hairuddin, M. N., Mubarak, N. M., Khalid, M., Abdullah, E. C., Walvekar, R., & Karri, R. R. (2019). Magnetic Palm Kernel Biochar Potential Route for Phenol Removal from Wastewater. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(34), 35183–35197. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-06524-W>
- Hameed, B. H., & Rahman, A. A. (2008). Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption Onto Activated Carbon Prepared from Biomass Material. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2–3), 576–581. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.028>
- Hashemian, S., Salari, K., & Yazdi, Z. A. (2014). Preparation of Activated Carbon from Agricultural Wastes (Almond Shell and Orange Peel) for Adsorption of 2-Pic from Aqueous Solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1892–1900.
- Huachi Laura , Macas Ángela, M. G. (2014). Biodegradación de los Fenoles Presentes en el Extracto de Guarango (Caesalpinia Spinosa) y en los Colorantes Índigo Carmín, Naranja II y Rojo Fenol a Través de Trametes Versicolor y Aspergillus Niger.
- Iqbal, H., Garcia-Perez, M., & Flury, M. (2015). Effect of Biochar on Leaching of Organic Carbon, Nitrogen, and Phosphorus from Compost in Bioretention Systems. *Science of the Total Environment*, 521–522, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.060>
- Izaguirre Minaya, W. A., & Vasquez Bances, S. J. (2021). Remediación de Plomo

de la Quebrada Yarush Empleando Biofiltro de Cascara de Naranja en Recuay-2021.

- Kurata, Y., Ono, Y., & Ono, Y. (2008). Occurrence of Phenols in Leachates from Municipal Solid Waste Landfill Sites in Japan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 10(2), 144–152. <https://doi.org/10.1007/s10163-008-0200-x>
- Lawal, A. A., Hassan, M. A., Ahmad Farid, M. A., Tengku Yasim-Anuar, T. A., Samsudin, M. H., Mohd Yusoff, M. Z., Zakaria, M. R., Mokhtar, M. N., & Shirai, Y. (2021). Adsorption Mechanism and Effectiveness of Phenol and Tannic Acid Removal by Biochar Produced from Oil Palm Frond Using Steam Pyrolysis. *Environmental Pollution*, 269, 116197. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.116197>
- Leal, I., Mavarez, M., Rivas, B., Barrera, W., Loaiza, L., Hernández, R., & Chavier, R. (2016). Evaluación de Parámetros Químicos en Sedimentos de la Zona Norte de la Bahía de Amuay, Estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias ISSN*, 16(2), 125.
- Lee, C. G., Hong, S. H., Hong, S. G., Choi, J. W., & Park, S. J. (2019). Production of Biochar from Food Waste and its Application for Phenol Removal from Aqueous Solution. *Water, Air, & Soil Pollution 2019*, 230:3, 230(3), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S11270-019-4125-X>
- Li, N., He, M., Lu, X., Yan, B., Duan, X., Chen, G., Wang, S., & Hou, L. (2022). Municipal Solid Waste Derived Biochars for Wastewater Treatment: Production, Properties and Applications. *Resources, Conservation and Recycling*, 177, 106003. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.106003>
- Lin, J. C. Te, Sopajaree, K., Jitjanesuwan, T., & Lu, M. C. (2018). Application of Visible Light on Copper-Doped Titanium Dioxide Catalyzing Degradation of Chlorophenols. *Separation and Purification Technology*, 191, 233–243. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2017.09.027>
- Liu, Q. S., Zheng, T., Wang, P., Jiang, J. P., & Li, N. (2010). Adsorption Isotherm, Kinetic and Mechanism Studies of Some Substituted Phenols on Activated Carbon Fibers. *Chemical Engineering Journal*, 157(2–3), 348–356. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2009.11.013>
- López, B., Lopesa, G. H., Silva Costa Teixeira, A. C., Flores Barrera, C. E., & Pantoja, P. A. (2017). Condiciones Óptimas para Oxidar Fenol en Agua Vía los Procesos Fenton y Foto-Fenton. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(4), 437–441.
- López, M., Soledad, B., Delgado, J., & Aponte, G. (2021). Estudio de la Capacidad Adsorbente del Biocarbón Obtenido Mediante Tecnologías Apropriadas como Medio para Purificar Agua de Lluvia. *Revista Tekhné*, 24.2, 40–52. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/5034>
- Lunagariya, J., Chabhadiya, K., Pathak, P., & Mashru, D. (2022). Application of Taguchi Method in Activated Carbon Adsorption Process of Phenol Removal from Ceramic Gasifier Wastewater. *Environmental Challenges*, 6, 100450.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2022.100450>

- Malta, L. G., & Liu, R. H. (2014). Analyses of Total Phenolics, Total Flavonoids, and Total Antioxidant Activities in Foods and Dietary Supplements. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (Vol. 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00058-9>
- Martinez Barbeito, J., & Garcia Villalon, J. (2011). Diccionario. *Diccionario Tecnico Economico - Financiero - Actuarial. Ingles - Español*. <https://doi.org/10.4272/84-9745-025-6.ch1>
- Mendoza Quintos, D. J. (2018). Efecto de la Granulometría y Peso de Cáscara de Citrus Sinensis (Naranja) en la Remoción de Plomo en Aguas de la Laguna de Pias-Pataz, 2018. *Universidad César Vallejo*.
- Decreto Legislativo que Prueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Diario Oficial El Peruano 17 (2016).
- Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Pub. L. No. Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, 32 (2017).
- Ministerio del Ambiente. (2012). Glosario de Términos para la Gestión Ambiental Peruana. *Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental*, 0–396.
- Mohamad Said, K. A., Ismail, A. F., Abdul Karim, Z., Abdullah, M. S., & Hafeez, A. (2021). A Review of Technologies for the Phenolic Compounds Recovery and Phenol Removal from Wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 151, 257–289. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.05.015>
- Mohamed, E. (2011). Removal of Organic Compounds from Water by Adsorption and Photocatalytic Oxidation. *Université de Toulouse*.
- Mohammed, N. A. S., Abu-Zurayk, R. A., Hamadneh, I., & Al-Dujaili, A. H. (2018). Phenol Adsorption on Biochar Prepared from the Pine Fruit Shells: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamics Studies. *Journal of Environmental Management*, 226, 377–385.
- Moreno, J., Giraldo, L., & Gonzalez, J. (2011). Adsorción de Fenol en Soluciones Acuósas Empleando Monolitos de Carbón Activado de Cáscara de Coco: Isotermas y Cinéticas de Adsorción. *Afinidad*, 68(554), 290–295.
- Mu'azu, N. D., Jarrah, N., Zubair, M., & Alagha, O. (2017). Removal of Phenolic Compounds from Water Using Sewage Sludge-Based Activated Carbon Adsorption. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017, Vol. 14, Page 1094, 14(10), 1094. <https://doi.org/10.3390/IJERPH14101094>
- Musteret, C. P., & Teodosiu, C. (2017). Experimental Assesment of Nanofiltration for the Removal of Chlorophenols from Aqueous Effluents. *Environmental Engineering and Management Journal*, 16(4), 793–800. <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.080>
- Ñaupas, H., Mehía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). Metodología de la Investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis (Ediciones de la U (ed.); 4 Edición).
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*.

https://doi.org/https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

- Osinergmin, García-López, E., Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., MINEM, Perupetro, Energía Perú, Martínez, V. E., Grados, C., Pacheco, E., Barbosa, W., Carlo, G., Ramos, D., Serna, J., Scavino, S., & Ron, L. (2020). La Industria de los Hidrocarburos Líquidos en el Perú, 20 años de Aporte al Desarrollo del País. *Estadísticas de Producción de Petróleo en el Perú* (Vol. 85, Issue 1).
- Papaoikonomou, L., Labanaris, K., Kaderides, K., & Goula, A. M. (2019). Adsorption–Desorption of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewater Using a Novel Low-Cost _Biosorbent. *Environmental Science and Pollution Research* 2019, 28(19), 24230–24244. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-07277-2>
- Patel, J., & Desai, H. (2022). Removal of Phenol by Liquid-Liquid Extraction from Pharmaceutical Wastewater. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.435>
- Penagos, D. G., López, J. O., & Chaparro, T. R. (2012). Remoción de la Materia Orgánica y Toxicidad en Aguas Residuales Hospitalarias Aplicando Ozono. *DYNA (Colombia)*, 79(173 PART I), 109–115.
- Philip S. Bailey. (2001). *Química Orgánica: Conceptos y Aplicaciones*. <https://books.google.com.pe/books?id=rXvW2Y2130wC&pg=PA276&dq=fenoles&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwih7Mi00cn3AhXnL7kGHRMqDIQQ6AF6BAgCEAl#v=onepage&q=fenol&f=false>
- Présiga-López, D., Rubio-Clemente, A., & Pérez, J. F. (2020). Uso del Biocarbón como Material Alternativo para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 121–134. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>
- Qambrani, N. A., Rahman, M. M., Won, S., Shim, S., & Ra, C. (2017). Biochar Properties and Eco-Friendly Applications for Climate Change Mitigation, Waste Management, and Wastewater Treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 255–273.
- Ren, L., Zhang, J., Li, Y., & Zhang, C. (2011). Preparation and Evaluation of Cattail Fiber-Based Activated Carbon for 2,4-Dichlorophenol and 2,4,6-Trichlorophenol Removal. *Chemical Engineering Journal*, 168(2), 553–561. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.021>
- Romero, L. (2017). Preparación y Uso de Cáscaras de Naranja como Biosorbente para la Remoción de Compuestos Orgánicos. *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.*, 27.
- Roostaei, N., & Tezel, F. H. (2004). Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption. *Journal of Environmental Management*, 70(2), 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.11.004>
- Sabzehmeidani, M. M., Mahnaee, S., Ghaedi, M., Heidari, H., & Roy, V. A. L. (2021). Carbon Based Materials: A Review of Adsorbents for Inorganic and Organic Compounds. *Materials Advances*, 2(2), 598–627.
- Serna M, E. (2020). Investigación Formativa en Ingeniería. *Investigación Formativa en Ingeniería*.

- Singh, A. K., Bilal, M., Iqbal, H. M. N., Meyer, A. S., & Raj, A. (2021). Bioremediation of Lignin Derivatives and Phenolics in Wastewater with Lignin Modifying Enzymes: Status, Opportunities and Challenges. *Science of the Total Environment*, 777. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145988>
- Singh, R., Dutta, R. K., Naik, D. V, Ray, A., & Kanaujia, P. K. (2021). High Surface Area Eucalyptus Wood Biochar for the Removal of Phenol from Petroleum Refinery Wastewater. *Environmental Challenges*, 5, 100353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100353>
- Soto, M. L., Moure, A., Domínguez, H., & Parajó, J. C. (2011). Recovery, Concentration and Purification of Phenolic Compounds by Adsorption: A review. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 1–27. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.02.010>
- Steevensz, A., Al-Ansari, M. M., Taylor, K. E., Bewtra, J. K., & Biswas, N. (2009). Comparison of Soybean Peroxidase with Laccase in the Removal of Phenol from Synthetic and Refinery Wastewater Samples. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 84(5), 761–769. <https://doi.org/10.1002/JCTB.2109>
- Steiert, J. G., & Crawford, R. L. (1985). Microbial Degradation of Chlorinated Phenols. *Trends in Biotechnology*, 3(12), 300–305. [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(85\)90032-0](https://doi.org/10.1016/0167-7799(85)90032-0)
- Sun, J., Liu, X., Zhang, F., Zhou, J., Wu, J., Alsaedi, A., Hayat, T., & Li, J. (2019). Insight Into the Mechanism of Adsorption of Phenol and Resorcinol on Activated Carbons with Different Oxidation Degrees. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 563, 22–30. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2018.11.042>
- Supo, L. (2020). Degradación del Fenol en Aguas Residuales de Baños Químicos Portátiles del Sector Construcción Mediante Pseudomonas Aeruginosa Presentada. *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Tejeda Benítez, L., Tejeda Tovar, C., Marimón Bolívar, W., & Villabona Ortiz, Á. (2014). Estudio de Modificación Química y Física de Biomasa (Citrus Sinensis y Musa Paradisiaca) para la Adsorción de Metales Pesados en Solución. *Luna Azul*, 39, 124–142. <https://doi.org/10.17151/luaz.2014.39.8>
- Tran, H. N., You, S.-J., & Chao, H.-P. (2016). Effect of Pyrolysis Temperatures and Times on the Adsorption of Cadmium onto Orange Peel Derived Biochar. *Waste Management & Research*, 34(2), 129–138.
- Ververi, M., & Goula, A. M. (2019). Pomegranate Peel and Orange Juice By-Product as New Biosorbents of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewaters. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 138, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.03.010>
- Yapar, S., & Yilmaz, M. (2005). Removal of Phenol by Using Montmorillonite, Clinoptilolite and Hydrotalcite. *Adsorption 2005*, 10(4), 287–298. <https://doi.org/10.1007/S10450-005-4814-1>
- Zhang, F., Zhang, S., Chen, L., Liu, Z., & Qin, J. (2021). Utilization of Bark Waste Of Acacia Mangium: The Preparation Of Activated Carbon And Adsorption

of Phenolic Wastewater. *Industrial Crops and Products*, 160, 113157.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113157>

Zhu, X., Chen, B., Zhu, L., & Xing, B. (2017). Effects and Mechanisms of Biochar-Microbe Interactions in Soil Improvement and Pollution Remediation. *Environmental Pollution*, 227, 98–115.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.032>

ANEXOS

ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO	METODO
Evaluar los efectos del proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio en la remoción de los fenoles de una solución sintética, 2022.	El proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja a escala laboratorio remueve los fenoles de una solución sintética, 2022.	Independiente: Proceso de adsorción con biocarbón de cáscara de naranja	Condiciones de operación	Concentración inicial de fenol	mg/L	Espectrofotómetro DR/4000 UV-VIS	Hipotético-deductivo
				pH	Medio ácido Medio básico	Medidor de pH de mesa Edge HANNA - HI2020	
				Tiempo de contacto	Min	Cronómetro	
				Velocidad de agitación	rpm	Agitador magnético (Variomag POLY 15)	
OBJETIVOS EXPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO	METODO
• Determinar el efecto de la condición de operación de concentración inicial de fenoles en la remoción de los fenoles de una solución sintética.	• El parámetro de operación de la concentración inicial de fenol tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.	Dependiente: Remoción de fenoles	Porcentaje de remoción de fenoles	Porcentaje de remoción de fenoles	Porcentaje	Fórmula	Hipotético-deductivo
• Determinar el efecto del parámetro de operación del pH en la remoción de fenoles de una solución sintética.	• El parámetro de operación del pH tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.						
• Determinar el efecto del parámetro de operación del tiempo de contacto en la remoción de fenoles de una solución sintética.	• El parámetro de operación del tiempo de contacto tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.						
• Determinar el efecto del parámetro de operación de velocidad de agitación en la remoción de fenoles de una solución sintética.	• El parámetro de operación de la velocidad de agitación tiene efecto significativo en la remoción de fenoles de una solución sintética.						

ANEXO 2 Informe de ensayo IE-090522-01-04 de caracterización de biocarbón de cáscara de naranja



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

INFORME DE ENSAYO IE-090522-01-04

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : LUZ ALEJANDRA MONTES LEANDRO
1.2 RUC/DNI : 71510084

2. FECHAS

2.1 Inicio : 10 de mayo de 2022
2.2 Fin : 13 de mayo de 2022
2.3 Emisión de informe : 13 de mayo de 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

3.1 Temperatura : 20.2 °C
3.2 Humedad Relativa : 53 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1 Ensayo solicitado/ Técnica utilizada : Espectroscopia Infrarroja FTIR

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

5.1 Código de Muestra : S-3869
5.2 Tipo de Muestra : BIOCARBON NARANJA 500°C
5.3 Descripción : FIARN-PROYECTO DE TESIS II CICLO TALLER 2022
5.4 Lote : No Precisa
5.5 Fecha de Fabricación : No Precisa
5.6 Muestreo : Muestreado por el Cliente

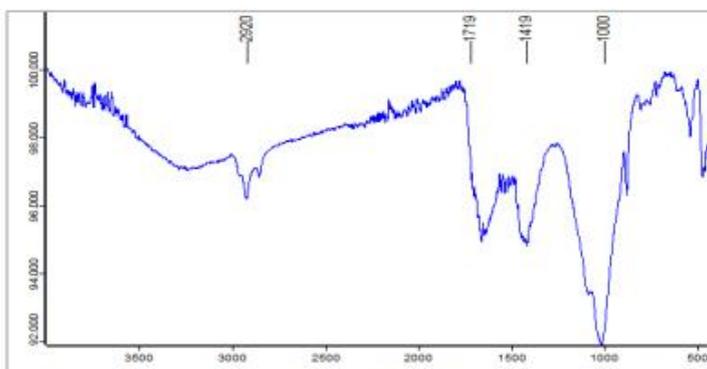
- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio.
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo - Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380 cm^{-1} a 4000 cm^{-1}



Nota: Lado Horizontal (Número de Onda cm^{-1})-Lado Vertical (Transmitancia %)
Figura N°1: Espectro Infrarrojo de la muestra

Tabla N°1: IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS FUNCIONALES

GRUPO	GRUPOS ALCANOS	Experimental
Número de onda (cm^{-1})	Zona de absorción "Torsión C-H". 2800-2950 cm^{-1}	2920.0 cm^{-1}
GRUPO	GRUPOS CARBOXILICOS	Experimental
Número de onda (cm^{-1})	Zona de absorción "Estiramiento C=O". 1700 cm^{-1}	1718.9 cm^{-1}
	Zona de absorción "Flexión C-O-H en el plano". 1430 cm^{-1}	1419.1 cm^{-1}
GRUPO	GRUPOS ÉTERES	Experimental
Número de onda (cm^{-1})	Zona de absorción " Torsión C-O-C". 1300-1000 cm^{-1}	1000.0 cm^{-1}

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

"FIN DEL DOCUMENTO"



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

ANEXO 3 Ficha técnica de medidor de pH de mesa EDGE HANNA - HI2020



Ficha Técnica del Producto Medidor multiparámetro edge® (Kit de pH)
Hanna Instruments SAS
www.hannacolombia.com

**Medidor multiparámetro edge-
® (Kit de pH)**
HI 2020



Descripción

Hanna Instruments se enorgullece en presentar el más innovador pH metro en el mundo: edge®.

El innovador diseño edge, expresa la visión de Hanna en cuanto a capacidad de diseño, producción integrada e investigación y desarrollo de clase mundial. edge es un equipo que mide **pH**, **Conductividad**, **Oxígeno Disuelto** y es increíblemente fácil de usar para lo cual nuestro equipo de trabajo utilizó todo su conocimiento en el desarrollo de esta nueva tecnología.

Especificaciones

Especificaciones de pH

Hanna Instruments SAS
www.hannacolombia.com

1

Rango	modo estándar: -2.00 a 16.00 pH, -2.000 a 16.000 pH; ±1000 mV modo básico: -2.00 a 16.00 pH; ±1000.0 mV
Resolución	modo estándar: 0.01 pH; 0.001 pH modo básico: 0.1 mV
Precisión (@25°C/77°F)	±0.01 pH; ±0.002 pH; ±0.2 mV
Puntos de Calibración	5 en modo estándar; 3 in modo básico
Buffers de Calibración	modo estándar: 1.68, 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01, 12.45 y dos buffers personalizados modo básico: 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01
Compensación de Temperatura	ATC (-5.0 to 100.0°C; 23.0 to 212.0°F)*
Diagnósticos de Electrodo	modo estándar: estado de la sonda, tiempo de respuesta y fuera del rango de calibración Diagnósticos de vidrio y unión de referencia (solo HI 11311 y HI 12301)

* Los límites de Temperatura serán reducidos a los límites de la sonda/sensor

** con la función de compensación de temperatura desactivada

Accesorios

Electrodos

- **HI 11310**, Electrodo de pH rellenable con sensor de temperatura, cerámica simple y doble unión. Recomendado para Laboratorio y uso general.
- **HI 11311**, Electrodo de pH rellenable con sensor de temperatura, cerámica simple, doble unión y matching pin. Recomendado para laboratorio y uso general.
- **HI 12300**, Electrodo de pH con sensor de temperatura, unión doble, relleno de gel y cuerpo de PEI. Recomendado para aplicaciones en campo.
- **HI 12301**, Electrodo de pH con sensor de temperatura, unión doble, relleno de gel, cuerpo de PEI y matching pin. Recomendado para aplicaciones de campo.
- **HI 10530**, Electrodo de pH rellenable con punta cónica, sensor de temperatura, triple cerámica, una unión y vidrio de baja temperatura. Recomendado para grasas, cremas y muestras de suelo.
- **HI 10430**, Electrodo de pH rellenable con doble unión, cerámica individual y vidrio de alta temperatura. Recomendado para pinturas, disolventes, ácidos y bases fuertes, muestras de alta conductividad y tampón Tris.
- **HI 763100**, Electrodo de conductividad con sensor de temperatura. Recomendado para uso general.
- **HI 764080**, Electrodo de oxígeno disuelto con sensor de temperatura. Recomendado para uso general.

Accesorios

- **HI 2000BC**, Cuna sobremesa para Edge.
- **HI 2000WC**, Cuna de pared para Edge.
- **HI 76404B**, Soporte para electrodo para Edge.
- **HI 75110/230**, Fuente alimentación UPS para Edge

Cómo pedir

HI 2020-01 (115V) y HI 2020-02 (230V), kits de pH incluyen:

- HI 11310 – Electrodo de pH rellenable con sensor de temperatura y cuerpo de vidrio
- 2 sachets de soluciones buffer pH 4
- 2 sachets de soluciones buffer pH 7
- 2 sachets de soluciones buffer pH 10
- Soluciones de limpieza de electrodos
- Certificado de Calidad

Ventajas

- Delgado, Diseño de peso liviano
- Multiparametro (Capacidad de medir pH , CE y OD)
- Tecnología de monitoreo del electrodo de pH (Sensor Check y Cal Check)
- Múltiples puntos de Calibración
- Sensor de Temperatura incorporado en todos los electrodos
- LCD Grande y de fácil lectura
- Pantalla Capacitiva
- Doble puerto USB
- Característica GLP
- Batería Recargable

Video

[Ver Video](#)

ANEXO 4 Ficha técnica de agitador magnético (VARIOMAG POLY 15)

Mezcladoras Thermo Scientific Variomag Poly 15 y multipunto

Mezcladoras totalmente libres de mantenimiento y desgaste disponibles en plataformas de hasta 15 posiciones

Estas mezcladoras de transmisión inductiva Variomag ofrecen nuestras conocidas características libres de mantenimiento y desgaste en una plataforma multipunto totalmente sincronizada:

- Ideales para aplicaciones de análisis de detección masivos y para otras aplicaciones que requieran varios puntos de mezcla
- Superficies de trabajo grandes, planas y fáciles de limpiar
- La aceleración de arranque gradual es suave y asegura un buen acoplamiento magnético
- La transmisión inductiva asegura una mezcla totalmente sincronizada en todas las posiciones



Variomag multipunto 15

Mezcladora multipunto Variomag Poly 15

- Control preciso por microprocesador con indicador digital brillante
- Permite recuperar fácilmente los últimos ajustes utilizados
- Resistente carcasa de acero inoxidable con revestimiento de polvo
- Velocidades de mezcla de hasta 990 rpm
- Permite procesar 15 vasos de precipitados de 250 mL o 6 matraces de 1 L

Mezcladora multipunto avanzada Variomag 6/15

- Grado de protección: IP64; se limpian fácilmente con agua corriente
- Control preciso por microprocesador con indicador digital brillante
- Carcasa de acero inoxidable hermética, fácil de limpiar y resistente a los productos químicos
- Permite recuperar fácilmente los últimos ajustes utilizados
- Los ajustes de potencia regulables están separados del control de la velocidad
 - Disminuye el consumo de energía
 - Disminuye la producción de calor
- Mezcla fluida y uniforme a velocidades tan bajas como de 80 rpm
- Velocidades de mezcla de hasta 2000 rpm
- Volúmenes de mezcla de hasta 3 L por multipunto

Modelo	Posiciones de mezcla	Referencia	Voltaje y tipo de enchufe	Velocidad (rpm)	Clase de protección	Ajustes de potencia (W)	Dimensiones (An x Fo x Al) (mm)	Peso (kg)
Poly 15	15	50094596	100-240 V	130-990	IP32	10	240 x 420 x 35	6
Multipunto 6	6	50093557	100-240 V	80-2000	IP64	5/10/15/20	240 x 420 x 35	7,5
Multipunto 15	15	50093538	100-240 V	80-2000	IP64	5/10/15/20	240 x 420 x 35	7,5

Las condiciones de funcionamiento son de -10 a +40°C con un 95% de HR
Las unidades de 100-240 V contienen un conjunto de cable con varios enchufes

ANEXO 5 Ficha técnica de espectrofotómetro DR/4000 UV-VIS

DR/4000 UV-VIS Spectrophotometer



The totally integrated, **complete** laboratory testing solution
that makes analysis easy, **accurate** and more
convenient than ever before.





Parameters, Methods,

The table below lists test ranges, methods of analysis and corresponding reagent sets for the DR/4000 Spectrophotometer. The complete procedure for each test is included in the manual supplied with the instrument. The ranges are given for the precalibrated instrument readout; higher ranges can be analyzed by sample dilution.

Test	Method	DR/4000 Range	EDL***	Cat. No.
Aluminum	Aluminum	0-0.800 mg/L	0.005	22420-00
Aluminum	Eriochrome Cyanine R	0-0.250 mg/L	0.002	26037-00
Aluminum, UniCell™	Chromazuril S	0.02 - 0.50	0.02	HCT 150†††
Ammonia, Free (Monochloramine and Nitrogen)	Indophenol	0.02-0.50 mg/L	--	28797-04
Ammonium, UniCell™	Indophenol	0.05-1.50 mg/L	0.05	HTC 100
Ammonium, UniCell™	Indophenol	1.50-45.0 mg/L	1.5	HTC 102
Arsenic (USEPA)	Silver Diethyldithiocarbamate	0-0.200 mg/L	NA	--
Barium	Turbidimetric	0-100 mg/L	NA	12064-66
Barium (AccuVac®)	Turbidimetric	0-100 mg/L	NA	25130-25
Benzotriazole	UV Photolysis	0-16.0 mg/L	0.3	21412-99
Boron	Carmin	0-14.0 mg/L	0.4	14170-99
Boron, LR	Azomethine-H	0-1.50 mg/L	0.02	26609-00
Bromine	DPD	0-4.50 mg/L	0.03	21056-69
Bromine (AccuVac®)	DPD	0-4.50 mg/L	0.02	25030-25
Cadmium	Dithizone	0-80 µg/L	1.3 µg/L	22422-00
Cadmium, UniCell™	Cadion/CN-	0.02 - 0.30	0.02	HCT 154†††
Chloramine, mono, LR	Indophenol	0-4.50 mg/L	0.09	28022-46
Chloramine, mono, HR	Indophenol	0-10.0 mg/L	0.1	28051-45
Chloride	Mercuric Thiocyanate	0-25.00 mg/L	0.24	23198-00
Chlorine, free (USEPA)	DPD	0-2.00 mg/L	0.01	21056-69
Chlorine, free (AccuVac®) (USEPA)	DPD	0-2.00 mg/L	0.01	25020-25
Chlorine, free, Test 'N' Tube™	DPD	0-5.00 mg/L	0.04	21056-45
Chlorine, free, HR	DPD	0-5.00 mg/L	0.02	14070-99
Chlorine, total (USEPA)	DPD	0-2.00 mg/L	0.01	21056-69
Chlorine, total (AccuVac®) (USEPA)	DPD	0-2.00 mg/L	0.01	25030-25
Chlorine, total, Test 'N' Tube™	DPD	0-5.00 mg/L	0.04	21056-45
Chlorine, total, ULR (USEPA)	DPD	0-500 µg/L	3 µg/L	25630-00
Chlorine, total, HR	DPD	0-5.00 mg/L	0.02	14064-99
Chlorine dioxide	DPD	0-5.00 mg/L	0.04	27709-00
Chlorine dioxide (AccuVac®)	DPD	0-5.00 mg/L	0.04	27710-00
Chlorine dioxide, LR	Chlorophenol Red	0-1.00 mg/L	0.02	22423-00
Chlorine dioxide, MR	Direct Reading	0-50 mg/L	0.6	--
Chlorine dioxide, HR	Direct Reading	0-1000 mg/L	2	--
Chlorophyll-a	Acetone Extraction	--	--	27480-00
Chromium, hexavalent (USEPA)	1,5-Diphenylcarbohydrazide	0-0.700 mg/L	0.006	12710-99
Chromium, hexavalent (AccuVac®) (USEPA)	1,5-Diphenylcarbohydrazide	0-0.700 mg/L	0.005	25050-25
Chromium, hexavalent (for soil)	1,5-Diphenylcarbohydrazide	0-0.700 mg/L	0.006	12710-99
Chromium, total	Alkaline Hypobromite Oxidation	0-0.700 mg/L	0.003	22425-00
Chromium, UniCell™	H ₂ PO ₄ , Peroxodisulfate, Diphenylcarbazide	0.03 - 1.00	0.3	HCT 156†††
Chromium, trivalent	Colorimetric	0-20.0 g/L	0.1 g/L	--
Cobalt	PAN	0-2.00 mg/L	0.01	26516-00
Color	ADM1	0-250 units Pt-Co	3 ADM1	--
Color, Gardner	ASTM D 6166-97	1-18 units	--	--
Color, True and Apparent	Platinum-Cobalt	0-500 units	2 units Pt-Co	--
Color, Tristimulus and Chromaticity	ASTM E 308-95	--	--	--
Color, Yellowness Index	ASTM E 313-96	--	--	--
Copper (USEPA)	Bicinchoninate	0-5.000 mg/L	0.021	21058-69†
Copper (AccuVac®) (USEPA)	Bicinchoninate	0-5.000 mg/L	0.020	25040-25†
Copper	Porphyrim	0-210.0 µg/L	1.4 µg/L	26033-00
Copper, autocatalytic	Colorimetric	0-3.00 g/L	--	1042-66
Copper, UniCell™	Bathocuproin	0.1 - 6.00	0.1	HCT 163†††
Cyanide	Pyridine-Pyrazolone	0-0.240 mg/L	0.0003	24302-00
Detergents, anionic	Crystal Violet	0-0.275 mg/L	0.005	24468-00
Fluoride (Reagent Solution) (USEPA)	SPADNS	0-2.00 mg/L	0.02	444-48††
Fluoride (AccuVac®) (USEPA)	SPADNS	0-2.00 mg/L	0.04	25060-25††
Fluoride, UniCell™	SPADNS	0.1 - 1.5	0.1	HCT 132
Formaldehyde	MBTH	0-500 µg/L	6 µg/L	22577-00
Hardness, total, ULR	Chlorophosphonazo	0-1000 µg/L	4 µg/L	26031-00
Hardness, calcium and magnesium as CaCO ₃	Calmagite Colorimetric	0-4.00 mg/L	0.03	23199-00
Hydrazine	p-Dimethylaminobenzaldehyde	0-600 µg/L	2.4 µg/L	1790-32
Hydrazine (AccuVac®)	p-Dimethylaminobenzaldehyde	0-600 µg/L	4.3 µg/L	25240-25
Iodine	DPD	0-7.00 mg/L	0.04	21056-69
Iodine (AccuVac®)	DPD	0-7.00 mg/L	0.04	25030-25
Iron	FerroZinc®	0-1.400 mg/L	0.004	2301-66
Iron, Ferrus	1,10-Phenanthroline	0-3.000 mg/L	0.008	1037-69
Iron, Ferrus (AccuVac®)	1,10-Phenanthroline	0-3.000 mg/L	0.007	25140-25
Iron, total (USEPA)	FerroVer®	0-3.000 mg/L	0.008	21057-69†
Iron, total (AccuVac®) (USEPA)	FerroVer®	0-3.000 mg/L	0.007	25070-25†
Iron, total	FerroMo™	0-1.800 mg/L	0.025	25448-00
Iron, total	TPIZ	0-1.800 mg/L	0.022	26087-99
Iron, total (AccuVac®)	TPIZ	0-1.800 mg/L	0.008	25100-25
Iron, UniCell™	Phenanthroline	0.1 - 5.00	0.1	HCT 159†††
Lead (USEPA)	Dithizone	0-300 µg/L	3 µg/L	22431-00†
Lead (LeadTrak™)	Fast Column Extraction	0-150 µg/L	2 µg/L	23750-00
Lead, UniCell™	PAR/CN-	0.1 - 2.00	0.1	HCT 152†††
Manganese, LR	PAN Method	0-0.700 mg/L	0.005	26517-00
Manganese, HR (USEPA)	Peroxidate Oxidation	0-20.0 mg/L	0.1	24300-00†
Mercury	Cold Vapor	0.1-2.5 µg/L	0.1 µg/L	26583-00
Metals Prep Set, UniCell™	--	--	--	HCT 200†††
Molybdenum, Molybdate, LR	Ternary Complex	0-3.00 mg/L	0.03	24494-00
Molybdenum, Molybdate, HR	Mercaptoacetic Acid	0-50.0 mg/L	0.1	26041-00
Molybdenum, Molybdate, HR (AccuVac®)	Mercaptoacetic Acid	0-50.0 mg/L	0.1	25220-25
Monochloramine	Salicylate	0-0.50 mg/L	0.003	26184-00
Monochloramine (AccuVac®)	Salicylate	0-0.50 mg/L	0.003	25210-98
Monochloramine (Free Ammonia and Nitrogen)	Indophenol	0.02-0.50 mg/L	--	28797-04
Nickel (USEPA)	Heptoxime	0-1.80 mg/L	0.01	22435-00†

Reagent Sets and Ranges

Parameters marked (USEPA) are USEPA-approved or accepted for reporting purposes; sample pretreatment may be required on some procedures. If no reagent set is listed for a parameter, order needed reagents and supplies separately.

Test	Method	DR/4000 Range	EDL***	Cat. No.
Nickel	PAN	0-1,000 mg/L	0.005	22426-00
Nickel, autocatalytic	Photometric	0-8.00 g/L	0.05 g/L	14321-98
Nickel, UniCell™	Dimethylglyoxime	0.1 - 6.00	0.1	HCT 167†††
Nitrate, UniCell™	Dimethylphenol	1.0-60.0 mg/L	1.0	HCT 106
Nitrogen, ammonia (USEPA)	Nessler	0-2,500 mg/L	0.017	24582-00††
Nitrogen, ammonia	Salicylate	0-0.80 mg/L	0.09	22437-00
Nitrogen, ammonia LR Test 'N Tube™	Salicylate	0-2,500 mg/L	0.031	26045-45
Nitrogen, ammonia HR Test 'N Tube™	Salicylate	0-50.0 mg/L	0.6	26069-45
Nitrogen, Monochloramine and Free Ammonia	Indophenol	0.02-0.50 mg/L	--	28797-04
Nitrogen, Nitrate	UV Direct Reading	0-10.2 mg/L	0.2	23213-53
Nitrogen, Nitrate, LR	Cadmium Reduction	0-0.50 mg/L	0.01	24298-00
Nitrogen, Nitrate, MR	Cadmium Reduction	0-5.0 mg/L	0.1	21061-69
Nitrogen, Nitrate, MR (AccuVac®)	Cadmium Reduction	0-5.0 mg/L	0.1	25110-25
Nitrogen, Nitrate, HR (AccuVac®)	Cadmium Reduction	0-30.0 mg/L	0.5	21061-69
Nitrogen, Nitrate, HR (AccuVac®)	Cadmium Reduction	0-30.0 mg/L	0.3	25110-25
Nitrogen, Nitrate HR Test 'N Tube™	Chromotropic Acid	0-30.0 mg/L	0.2	26053-45
Nitrogen, Nitrite, LR (USEPA)	Diazotization	0-0.3000 mg/L	0.0008	21071-69
Nitrogen, LR (AccuVac®) (USEPA)	Diazotization	0-0.3000 mg/L	0.004	25120-25
Nitrogen, Nitrite, LR Test 'N Tube™	Diazotization	0-0.5000 mg/L	0.0013	26083-45
Nitrogen, Nitrite, HR	Ferrous Sulfate	0-250 mg/L	1	21075-69
Nitrogen, total, UniCell™	Alkaline Digest/Dimethylphenol	5.0-40.0 mg/L	5	HCT 111*
Nitrogen, total Inorganic Test 'N Tube™	Titanium Trichloride Reduction	0-25.0 mg/L	0.3	26049-45 26045-45
Nitrogen, total Test 'N Tube™	Persulfate Digestion	0-25 mg/L	2	26722-45*
Nitrogen, total, HR Test 'N Tube™	Persulfate Digestion	10-150 mg/L	7	27141-00*
Nitrogen, total, Kjeldahl	Nessler	0-150 mg/L	1.2	24953-00†
Organics Constituents, UV Absorbing	Direct	--	--	26415-53
Oxygen demand, chemical, ULR	Reactor Digestion	0-40 mg/L	0.2	24158-25*
Oxygen demand, chemical (USEPA)	Reactor Digestion	0-150 mg/L	1.1	21258-25*
Oxygen demand, chemical, HR (USEPA)	Reactor Digestion	0-1500 mg/L	3	21259-25*
Oxygen demand, chemical, HR Plus	Reactor Digestion	0-15,000 mg/L	30	24159-25*
Oxygen demand, chemical	Manganese III Digestion	20-1000 mg/L	4	26234-25*
Oxygen, dissolved, LR (AccuVac®)	Indigo Carmine	0-1000 µg/L	10 µg/L	25010-25
Oxygen, dissolved, HR (AccuVac®)	HRDO	0-15.0 mg/L	0.1	25150-25
Oxygen, dissolved, Super HR (AccuVac®)	SHRDO	0-40.0 mg/L	0.2	25150-25
Oxygen Scavengers (DEHA)	Iron Reduction	0-500 µg/L	5 µg/L	24466-00
Ozone, LR (AccuVac®)	Indigo	0-0.25 mg/L	0.01	25160-25
Ozone, MR (AccuVac®)	Indigo	0-0.75 mg/L	0.01	25170-25
Ozone, HR (AccuVac®)	Indigo	0-1.50 mg/L	0.008	25180-25
Paladium	N,N'-Dimethylthiooxamide	0-250 mg/L	--	23123-00
PCB (in soil)	Immunoassay	--	--	25859-00**
Phenols (USEPA)	4-Aminoantipyrine	0-0.200 mg/L	0.001	22439-00††
Phosphate, UniCell™	Digestion - Molybdate/Ascorbic Acid	1.5-15.0 mg/L	1.5	HCT 121*
Phosphate, UniCell™	Digestion - Molybdate/Ascorbic Acid	6.0-60.0 mg/L	6	HCT 122*
Phosphonates	Persulfate/UV Oxidation	0-2.50 to 0-125 mg/L	0.045-2.25	24297-00
Phosphorus, acid hydrolyzable, Test 'N Tube™	Ascorbic Acid with Acid Hydrolysis	0-5.00 mg/L	0.17	27427-00*
Phosphorus, reactive	Molybdovanadate	0-45.0 mg/L	0.09	20760-32
Phosphorus, reactive (AccuVac®)	Molybdovanadate	0-45.0 mg/L	0.24	25250-25
Phosphorus, reactive, LR Test 'N Tube™ (USEPA)	Ascorbic Acid	0-5.00 mg/L	0.02	27425-45
Phosphorus, reactive (USEPA)	Ascorbic Acid	0-2,500 mg/L	0.045	21060-69
Phosphorus, reactive (AccuVac®) (USEPA)	Ascorbic Acid	0-2,500 mg/L	0.031	25080-25
Phosphorus, reactive	Amino Acid	0-30.00 mg/L	0.04	22441-00
Phosphorus, reactive, HR Test 'N Tube™	Molybdovanadate	0-100.0 mg/L	5.0	27673-45
Phosphorus, total, digestion (USEPA)	Acid Persulfate Digestion	--	--	2451-99
Phosphorus, total, LR Test 'N Tube™ (USEPA)	Ascorbic Acid with Acid Persulfate Digestion	0-3.50 mg/L	0.06	27426-45*
Phosphorus, total, HR Test 'N Tube™	Molybdovanadate with Acid Persulfate Digestion	0-100.0 mg/L	5.0	27672-45*
Platinum	N,N'-Dimethylthiooxamide	0-10 g/L	--	24596-00
Polyacrylic Acid	Absorption - Colorimetric	0-20.0 mg/L	0.2 - 0.3	22252-00
Potassium	Tetraphenylborate	0-7.0 mg/L	--	24591-00
Quaternary Ammonium Compounds	Direct Binary Complex	0-5.00 mg/L	0.11	24592-00
Selenium	Diaminobenzidine	0-1,000 mg/L	0.003	22442-00
Silica, HR	Silicomolybdate	0-100.0 mg/L	0.3	24296-00
Silica, LR	Heteropoly Blue	0-1,600 mg/L	0.01	24593-00
Silica, ULR	Heteropoly Blue	0-1000.0 µg/L	1.0 µg/L	25535-00
Silver	Colorimetric	0-0.700 mg/L	0.006	22966-00
Sulfate (USEPA)	SulfaVer® 4	0-70.0 mg/L	--	12065-99
Sulfate (AccuVac®) (USEPA)	SulfaVer® 4	0-70.0 mg/L	--	25090-25
Sulfate, UniCell™	Barium Sulfate Turbidity	40-150 mg/L	40	HCT 125
Sulfate, UniCell™	Barium Sulfate Turbidity	150-900 mg/L	150	HCT 126
Sulfide (USEPA)	Methylene Blue	0-800 µg/L	2.4 µg/L	22445-00
Surfactants, Anionic - see Detergents				
Tannin and Lignin	Tyrosine	0-9.00 mg/L	0.09	22446-00
Tolyltriazole	UV Photolysis	0-16.0 mg/L	0.4	21412-99
Total Organic Carbon, HR	Direct	100-700 mg/L	4	27604-45*
Total Organic Carbon, MR	Direct	15-150 mg/L	--	28159-45*
Total Organic Carbon, LR	Direct	0-20.0 mg/L	0.4	27603-45*
Trihalomethanes	THM Plus	6-200 ppb	6 ppb	27908-00
Toxicity	ToxTrak™	0-100% I	--	25972-00
TPH (in soil)	Immunoassay	10 and 100 ppm TPH	--	26026-00**
TPH (in water)	Immunoassay	--	--	26237-00**
Turbidity	Radiation Attenuation	0-5000 FAU	14 FAU	--
Volatile Acid	Esterification	0-2800 mg/L	12	22447-00
Zinc (USEPA)	Zincin	0-3,000 mg/L	0.009	24293-00†
Metals Prep Set				HCT 200

ULR indicates ultra-low range, LR indicates low range, MR indicates mid range, and HR indicates high range.

† Method requires digestion.
†† Method requires distillation.

††† UniCell™ metals tests require use of the Metals Prep Set HCT 200 and digestion with HR, MR or LR Reactor or CUD Reactor all ordered separately for total metal reading.

*Cal test requires digestion. Order the DRB 100 Reactor or CUD Reactor separately.

**Additional apparatus required. Microcell substrate 1-cm (48258-00); immunoassay sample cell (26239-00)

***Estimated Detection Limit, mg/L, unless stated otherwise.