



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr
(VI) en agua sintética, Lima-Perú, 2023

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental**

AUTORA:

Alcarraz Rosales, Judith Cecilia (orcid.org/0000-0001-5480-0917)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (orcid.org/0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Le dedico con todo mi corazón a mis padres que siempre fueron un ejemplo de valores, disciplina, esfuerzo, paciencia y amor, y por brindarme su apoyo en todos los aspectos durante el trayecto de mi carrera como futura profesional.

A mis familiares, que siempre me brindaron palabras de fortaleza durante mis altas y bajas en el desarrollo universitario, y que nunca dudaron de mi intelecto y mis valores como persona.

A mis amistades, que creyeron en mi potencial y me alentaron para culminar mi carrera profesional, siendo muchos de ellos ejemplos de esfuerzo, humildad, y de amistad verdadera.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme firmeza espiritual para la toma de mis decisiones.

A mis padres, por acompañarme a lo largo del camino de mi vida universitaria.

A mi asesora, la Mg. Rita Cabello Torres, ya que fue guía clave para la culminación exitosa de mi carrera profesional, al brindarme sus valiosos conocimientos, sus consejos a nivel personal y profesional y, sobre todo, por darme ánimo y fortaleza en cada momento que lo necesitaba.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CABELLO TORRES RITA JAQUELINE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr(VI) en agua sintética, Lima-Perú, 2023", cuyo autor es ALCARRAZ ROSALES JUDITH CECILIA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 19 de Noviembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CABELLO TORRES RITA JAQUELINE DNI: 08947396 ORCID: 0000-0002-9965-9678	Firmado electrónicamente por: RCABELLOTO15 el 15-12-2023 11:21:48

Código documento Trilce: TRI - 0655931



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, ALCARRAZ ROSALES JUDITH CECILIA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr(VI) en agua sintética, Lima-Perú, 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
ALCARRAZ ROSALES JUDITH CECILIA DNI: 70069913 ORCID: 0000-0001-5480-0917	Firmado electrónicamente por: JALCARRAZR el 26-12- 2023 18:18:38

Código documento Trilce: INV - 1561473

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	7
III. METODOLOGÍA.....	29
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	29
3.2. Variables y Operacionalización.....	31
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	31
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
3.5. Procedimientos.....	41
3.6. Método de análisis de datos.....	56
3.7. Aspectos éticos.....	56
IV. RESULTADOS.....	58
V. DISCUSIÓN.....	73
VI. CONCLUSIONES.....	81
VII. RECOMENDACIONES.....	83

REFERENCIAS

84

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla N°1.** Resumen las propiedades del cromo
- Tabla N°2.** Diseño ortogonal de Taguchi (L27) para 5 factores con 3 niveles
- Tabla N°3.** Instrumentos de recolección de datos.
- Tabla N°4.** Equipos y reactivos usados en la investigación.
- Tabla N°5.** Curva de calibración para la determinación de cromo hexavalente en el Espectrofotómetro UV-Vis
- Tabla N°6.** Rendimiento del proceso de molienda de la paja de arroz
- Tabla N°7.** Rendimiento del proceso de tamizaje de la paja de arroz y cantidad total de paja tamizada.
- Tabla N°8.** Rendimiento del proceso de hidrocarbonización de la paja de arroz y cantidad total de hidrocarbón producido.
- Tabla N°9.** Rendimiento del proceso de magnetización del hidrocarbón de paja de arroz y cantidad total de magnetizado producido.
- Tabla N°10.** Datos de porcentaje de remoción de Cr (VI) calculado a partir de los experimentos del diseño de Taguchi (L27).
- Tabla N°11.** Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido “Más grande es mejor” del análisis de método Taguchi (L27)
- Tabla N°12.** Respuesta para medias del análisis de método Taguchi (L27)
- Tabla N°13.** Capacidad de adsorción de los experimentos a una temperatura constante.
- Tabla N°14.** Datos para hallar la ecuación lineal de Langmuir.
- Tabla N°15.** Datos para hallar la ecuación lineal de Freundlich.
- Tabla N°16.** Datos de los parámetros termodinámicos de las isothermas.
- Tabla N°17.** Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción de diferentes adsorbentes para la eliminación de Cr (VI).

Tabla N°18. Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción de subproductos derivados de la producción de arroz en remoción de diferentes contaminantes.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Consecuencias del cromo en el ecosistema.
- Figura 2.** Interacción adsorbato y adsorbente.
- Figura 3.** Clasificación de los biorresiduos industriales y su composición estructural.
- Figura 4.** Evolución de residuos a base de lignocelulosa a través de los procesos hidrotermales.
- Figura 5.** Ubicación de pila de paja de arroz en la empresa “Nueva Estrella”, Camaná, Arequipa.
- Figura 6.** Recolección de paja de arroz en la empresa “Nueva Estrella”, Camaná, Arequipa.
- Figura 7.** Proceso de acondicionamiento de paja de arroz a tamaño de 250 μm .
- Figura 8.** Proceso de hidrocarbonización de paja de arroz.
- Figura 9.** Proceso de magnetización del hidrocarbón de paja de arroz.
- Figura 10.** Proceso de nitrogenación del hidrocarbón de paja de arroz magnetizado.
- Figura 11.** Preparación de solución madre de 1000 ppm de Cr +6 y de diluciones de 400, 200 y 25 mg/L
- Figura 12.** Preparación de soluciones de Cr (VI) para la generación de la curva de calibración.
- Figura 13.** Gráfica de la ecuación lineal de la curva de calibración de Cr (VI).
- Figura 14.** Factores: concentración inicial, pH, dosis de adsorbente y temperatura con sus respectivos niveles para el proceso de experimentación.
- Figura 15.** Muestras post experimentos colocados en envases para su posterior análisis.
- Figura 16.** Lectura de muestras en el espectrofotómetro UV-Visible.

Figura 17. Separación de fases hasta la obtención de sólido de hidrocarbón de paja de arroz.

Figura 18. Separación de fases hasta la obtención de sólido magnetizado de hidrocarbón de paja de arroz.

Figura 19. Gráfica de efectos principales para relaciones señal ruido: a más grande mejor.

Figura 20. Gráfica de efectos principales para medias de datos.

Figura 21. Cinética de pseudo primer orden de la adsorción de Cr (VI) respecto a tiempos de contacto entre 1 y 180 minutos.

Figura 22. Cinética de pseudo segundo orden de la adsorción de Cr (VI) respecto a tiempos de contacto entre 1 y 180 minutos.

Figura 23. Modelo lineal de la isoterma de Langmuir para la adsorción de Cr (VI) con paja de arroz.

Figura 24. Modelo lineal de la isoterma de Freundlich para la adsorción de Cr (VI) con paja de arroz.

Figura 25. Porcentaje de remoción máximo y mínimo del diseño ortogonal de Taguchi.

Figura 26. Capacidad de adsorción máxima y mínima del diseño ortogonal de Taguchi.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética. La investigación fue de tipo aplicada con un diseño experimental puro. La etapa pre experimental consistió en realizar 4 modificaciones: acondicionamiento de la paja de arroz, desarrollo de hidrocarbón, magnetización y dopaje con nitrógeno. Los experimentos de adsorción se llevaron a cabo mediante el diseño ortogonal de Taguchi (L27), el cual tenía 5 factores: concentración inicial, dosis, pH, tiempo y temperatura con 3 niveles cada uno. Se estudiaron a los modelos cinéticos de pseudo 1er y 2do orden y los modelos de isothermas de Langmuir y Freundlich, además, se calculó la eliminación de Cr (VI) mediante el porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción (mg/g). Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro UV-Visible durante toda la investigación. De los resultados se concluye, que el pH es un factor importante para una eficiente remoción de Cr (VI), y que el pH óptimo para el estudio fue de 2. Sobre los estudios de adsorción, fue el modelo cinético de pseudo 2do orden y el modelo de isoterma de Freundlich los que mejor representaron la interacción del proceso de adsorción. Por último, se obtuvo un valor máximo de 31.85 % en la remoción de Cr (VI) y una capacidad de adsorción máxima de 74.763 mg/g.

Palabras Clave: Adsorción, adsorbente, paja de arroz, Cr (VI), cromo hexavalente.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the application of rice straw as an adsorbent for the removal of Cr (VI) in synthetic water. The research was applied with a pure experimental design. The pre-experimental stage consisted of making 4 modifications: conditioning of rice straw, development of hydrocarbon, magnetization and nitrogen doping. The adsorption experiments were carried out using the Taguchi orthogonal design (L27), which had 5 factors: initial concentration, dose, pH, time and temperature with 3 levels each. The pseudo 1st and 2nd order kinetic models and the Langmuir and Freundlich isotherm models were studied, in addition, the removal of Cr (VI) was calculated through the removal percentage and the adsorption capacity (mg/g). The samples were read in a UV-Visible spectrophotometer throughout the investigation. From the results it is concluded that pH is an important factor for efficient removal of Cr (VI), and that the optimal pH for the study was 2. Regarding the adsorption studies, it was the pseudo 2nd order kinetic model and the Freundlich isotherm model best represented the interaction of the adsorption process. Finally, a maximum value of 31.85% was obtained in the removal of Cr (VI) and a maximum adsorption capacity of 74.763 mg/g.

Keywords: Adsorption, adsorbent, rice straw, Cr (VI), hexavalent chromium.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática sobre la contaminación del agua es algo evidente mundialmente, puesto que el agua es primordial para todos aquellos que vivimos en el planeta, ya que más de la séptima parte del 100 % de la superficie terrestre está compuesto de este elemento y la composición de agua de cualquier organismo vivo incluido el hombre también está distribuido de una manera similar (Qadri y Faiq, 2020). Una de las causas de esta contaminación se debe a la detección de iones de metales pesados en los sistemas hídricos superficiales, el cual proviene de fuentes geológicas o naturales, como la descomposición de las rocas que contienen ciertos tipos de metales, las erupciones de volcanes, los incendios forestales, entre otras, y de fuentes antropogénicas como de los efluentes domésticos e industriales, las actividades agrícolas, la minería, siendo las más conocidas (Sonone et al., 2021). Se menciona, que la inserción de estos iones metálicos en las aguas a altas concentraciones (cobre, plomo, arsénico, cadmio, cromo hexavalente, etc.) adicionado a elementos químicos recurrentes de estos procesos no son idóneos para realizar remediaciones en un corto plazo, siendo ello dañino para la biota de nuestro ecosistema (Belizario et al., 2019). Uno de estos metales que es potencialmente tóxico es el cromo (Cr), ya que tiene como origen los procesos naturales y las actividades del ser humano, como las industrias: galvánicas, siderometalúrgicas y de curtiembres (Xia S. et al., 2019) y en su forma de Cr (VI) es un carcinógeno ya conocido (Pakade et al., 2019), y es evidentemente un riesgo para todo ser vivo ante su exposición. Es por ello, con el fin de controlar los niveles de cromo en el ambiente acuático, la Agencia de Protección Ambiental ubicada en los Estados Unidos de América (EPA), ha definido niveles máximos de cromo total en aguas potables, con valor de 0.1 ppm (ATSDR, 2012).

Con el pasar de los años las investigaciones sobre la remediación por contaminación por cromo en aguas han ido incrementándose (Xia S. et al., 2019). Se conoce, que existen diferentes estrategias para tratar aguas con el fin de remover o iones de metales tóxicos, como son los métodos mecánicos, químicos, físicos, térmicos y biológicos (Elwakeel et al., 2020), y

dentro de estos métodos, es la de adsorción la que más ha sido empleada a causa de la simplicidad de sus operaciones y su bajo coste, entre otras motivaciones (Liu, Qiming et al., 2020). Por ello, en estos últimos años, los tratamientos que han tomado más relevancia para eliminación de cromo han sido empleando residuos lignocelulósicos mediante la adsorción, como en el estudio de Tejada, C.; Herrera, A. y Villabona, A. (2019) donde usó la corteza de un cítrico que fue modificada con cloruro cálcico y empleó a un subproducto lignocelulósico modificándolo con $C_6H_8O_7$, para adsorber cromo tóxico. Medina-Espinosa et al., (2021) por su parte, usó residuos de aserrín lignocelulósico de laurel, canelo y eucalipto, impregnados con nanopartículas de magnetita, para remover iones de cromo hexavalente, demostrando que el compuesto de laurel fue el que adsorbió iones de cromo (VI) de manera óptima. Así también, Marciano et al., (2021), preparó un hidrogel de gelatina relleno de celulosa de residuos de eucalipto tratado, para adsorber y eliminar de Cr (VI) en agua contaminada. Kharrazi et al., (2021) empleó carbón activado a partir de aserrín de olmo pre tratado para adsorber plomo (II) y cromo (VI) de aguas, donde la biomasa tratada con ácido clorhídrico. Wu, Zhenyu et al., (2022) experimentó con un adsorbente de hidrocarbón magnético de aserrín de álamo funcionalizado con polietilenimina de bajo costo y fácil recuperación en aguas, el cual exhibe una excelente capacidad de adsorción para rojo congo y cromo hexavalente. Qu J. et al., (2023) sintetizó hidrocarbón magnético a base de paja de maíz dopado con nitrógeno injertado con polietilenimina para remover de contaminantes en un sistema acuoso. Wu, Zhenyu et al., (2023) sintetizó madera comercial en forma de carbón activo magnéticamente para la eliminación de cromo tóxico, donde se obtuvo un porcentaje de remoción mayor a 88%. En otro estudio de Wu, Z. et al., (2023) se preparó un nuevo hidrocarbón a partir de biomasa de *Leersia hexandra* Swartz co-dopado con nitrógeno-fósforo mediante técnica de carbonización hidrotermal para adsorber y reducir eficientemente el cromo (VI) asistido por un ácido. Kim, Heegon et al., (2023) preparó un hidrocarbón derivado de la mazorca de maíz dopado con nitrógeno (N) mediante una carbonización hidrotermal asistida por NH_4Cl para la adsorber cromo hexavalentes y cobre (II) de agua

de forma simultánea. Khan, Monnis et al., (2019), experimentó con un hidrocarbón de bagazo de caña modificado por magnetización y nitrogenización para adsorber plomo (II) y cadmio (II) donde se lograron remociones de 75% y 80 % respectivamente.

Ante lo mencionado, se puede afirmar que se ha empleado una gran variedad de residuos a base de lignina y celulosa para descontaminar aguas de metales pesados como el cromo (VI). Sin embargo, existe un grupo de estos residuos, los que han llamado altamente la atención, y son las pajas de los cultivos, esto se debe, a que se pueden encontrar en grandes cantidades, por la composición de sus grupos funcionales y sobre todo porque son renovables y de bajo coste, no obstante, tiene sus limitaciones, ya que, trabajando en su estado natural, esta posee una capacidad de adsorción muy baja y tiende a liberar sustancias orgánicas que son solubles en sistemas acuosos, por lo que investigadores han adoptado medidas de modificación química para contrarrestar estos problemas (Ahmed, M.; Hameed, B. y Hummadi, E., 2021). La modificación química es una técnica de transformación o cambio en la superficie de un material, mediante el uso sales, ácidos o agentes alcalinos, que busca la mejora de las propiedades físicas y de sus grupos funcionales (Abegunde, S. et al., 2020).

Esta investigación tiene el propósito de contribuir con la ampliación de conocimiento sobre las últimas técnicas de pretratamiento de materiales lignocelulósicos destinados a usarlos como adsorbente de Cr (VI) en aguas contaminadas, la cual tiene un enfoque cuantitativo, ya que buscará el resultado más eficiente posterior a los experimentos planteados.

En primera instancia, el presente estudio investigativo se **justifica socialmente**, puesto que, el agua a tratar es un agua que tiene carga química de cromo hexavalente que no es apta para el consumo directo de la población, que es un compuesto que ha sido catalogado como causante de cáncer (ATSDR, 2012), y con este novedoso tratamiento se busca adsorber y remover este metal pesado del medio acuoso, para así tener un agua con propiedades óptimas según la categoría poblacional y recreacional del ECA peruano que es de 0,05 mg/L para cromo total y cromo (VI) (MINAM, 2017), y por ende, esté libre de impactos negativos y no sea un riesgo a la salud del

ser humano. Se **justifica económicamente**, porque es un tratamiento de bajo coste y efectivo, puesto que la materia prima principal a usar en los experimentos de sorción es fácil de conseguir, ya que es un residuo producto de las agroindustrias de la producción de arroz, así como el bajo coste de las sustancias químicas, reactivos y equipos a emplear. Asimismo, se realizarán los experimentos necesarios según las condiciones de operación pautadas para conseguir resultados óptimos en cuanto al porcentaje de remoción y la concentración final del cromo (VI), y con estos parámetros ya establecidos, se podrá extrapolar o aplicarse de manera general a un problema real sobre contaminación de aguas por cromo hexavalente. En cuanto a la **justificación medioambiental**, el presente estudio posee una perspectiva ecológica con viables mejoras a las técnicas convencionales para tratar sistemas acuosos contaminados por metales pesados, empleando residuos sólidos lignocelulósicos, y a su vez, este se rija a los valores indicados en la normativa ambiental nacional en vigencia y de esta manera, contribuir a la meta 6.3 de las ODS de la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, la cual busca que la calidad ambiental del agua mejore, reduciendo emisiones de productos químicamente peligrosos, e incrementando la reutilización de agua segura a nivel mundial (s.f.). Por último, el estudio, está **justificado metodológicamente**, porque se empleará los pasos o métodos de la investigación científica, consecuentemente, deberá cumplir obligatoriamente con todos los procedimientos planteados desde su formulación de la problemática hasta sus pertinentes conclusiones y/o recomendaciones, lo cual permitirá aportar a nuestra sociedad un panorama de nuevos conocimientos académicos y científicos, que buscan ser beneficiosos a nivel social, económica y ambientalmente.

Bajo este contexto, se plantea la formulación de la problemática mediante la **pregunta general**: ¿De qué manera se aplica la paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?, y como **problemas específicos** se tiene: **(1)** ¿Qué modificaciones físico-químicas se realizarán a la paja de arroz para su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?, **(2)** ¿Cuáles serán las condiciones

de operación que son óptimas en la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?, **(3)** ¿Qué modelo de cinética de adsorción se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?, **(4)** ¿Qué modelo de isoterma de adsorción representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?, y **(5)** ¿Cuánto fue la eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética?

Por todo lo señalado, el **objetivo general** de la investigación es: Evaluar la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética. Desplegándose los siguientes **objetivos específicos**: **(1)** Analizar las modificaciones físico-químicas que se realizarán a la paja de arroz para su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, **(2)** Determinar las condiciones de operación que optimizan la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, **(3)** Hallar el modelo de cinética de adsorción que se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, **(4)** Hallar el modelo de isoterma de adsorción que representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, y **(5)** Calcular cuánto fue la eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética.

Es por ello, que se plantea como **hipótesis general**: Existe una forma de aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción significativa de Cr (VI) en agua sintética. Así mismo, las **hipótesis específicas** de la investigación son: **(1)** Existe una modificación físico-química de la paja de arroz que optimiza su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, **(2)** Existen condiciones de operación que optimizan la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, **(3)** Existe un modelo de cinética de adsorción que se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética, **(4)** Existe un modelo de isoterma de adsorción que representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción

de Cr (VI) en agua sintética y **(5)** Existe una alta eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética.

II. MARCO TEÓRICO

Liu, Wenlong et al., (2023), produjo un bioadsorbente de paja de arroz modificado para remover cobre de aguas contaminadas. En la parte metodológica, para la caracterización, se analizó FTIR, RSA y SDRSA, y XRD, entre otros análisis. Se estudiaron al pH y a la dosificación del adsorbente. Para las cinéticas de adsorción, se trabajó con tiempos que oscilaban desde 0 hasta 1440 min, usando 0.1 g de adsorbente con una velocidad de 200 revoluciones por min a temperatura ambiente, con diversas concentraciones iniciales hasta un máximo de 270 miligramo por cada litro. Para las isotermas de adsorción, se trabajó bajo las ecuaciones de Freundlich y Langmuir. Se concluye que, para el efecto del pH, este tuvo mayor porcentaje de eliminación cuando su valor fue 5, y para el efecto de la dosis, entre mayor sea la dosis aplicada en la solución este era directamente proporcional al % de remoción. El valor más eficiente elegido fue 2.5 g/L. Por último, la ecuación cinética de 2do orden y la de Langmuir se adaptaron a los experimentos de adsorción de cobre en aguas.

Naik R.; Kumar, M. y Narsaiah, T. (2023), investigó la adsorción en aguas de metales pesados con biomásas de cáscaras de arroz y de naranja. En su metodología, como primer paso se pre trataron ambas biomásas. La cascarilla de arroz, se lavó, y se puso a secar durante 1 día, también se redujo su tamaño mediante molienda y se pasó por un tamiz para obtener partículas de 80 μm . En sus experimentos se combinaron cáscara de naranja y de arroz variando la dosis, el tiempo de contacto, el pH y la velocidad, los cuales sirvieron para determinar sus niveles óptimos y eficiencia en la adsorción. Se usó la ecuación de Redlich-Peterson para los ensayos y verificar si la isoterma se ajusta al proceso. Se empleó tal modelo porque se trabajará con 2 biomásas bajo diferentes combinaciones. Se concluye, que en el tiempo de contacto los adsorbentes tardaron hasta 2 horas en eliminar completamente Ni y el Cu, al igual que su porcentaje de eliminación. Para la dosis del adsorbente de cáscara de arroz para Ni y Cu, esta eliminación se hace más eficiente al agregar mayor volumen de adsorbente agregado. Para las RPM, se experimentaron con velocidades que variaron de 50 hasta 400 rpm, encontrándose mayor eliminación a rpm más bajas. Sobre los efectos

de los factores, en la adsorción se evidenció que, el valor del pH, fue 10 con el que se obtuvo la mayor tasa de eliminación, y la menor tasa fue con 4. Para las dosis, se pueden remover con más eficiencia los metales a dosis de 1 hasta 11 g en 100 mililitros de agua contaminada. La isoterma de Redlich Peterson, tuvo una eficiente de correlación (R^2) alto, demostrándose también que la eficiencia cuando se combinan las 2 biomásas fue más del 99% para ambos metales estudiados.

Sakhiya, A.; Vijay, V. y Kaushal, P. (2023), removieron arsénico y manganeso en aguas contaminadas al transformar paja de arroz en biocarbón. En la metodología primero pre trataron la paja antes de realizar sus experimentos, el cual consistió en lavarla con agua destilada, luego fue secada al sol durante 4 a 5 horas, y seguido a ello se secó por el tiempo de 120 min en un horno a 70°C de temperatura. Luego se procedió a convertirlo a biocarbón. Para la caracterización se realizó un análisis FTIR y SEM. Se usaron las ecuaciones de las isothermas de Freundlich y Langmuir bajo distintas concentraciones de inicio de los metales, y para la cinética, se aplicaron las ecuaciones de los modelos de 1er y 2do orden. Se realizaron experimentos para ver el predominio de 4 factores: la concentración de inicio, dosificación, pH y el tiempo. Para ajustar el pH, se usó HCL o solución de NaOH a 0.1 M cada uno. De sus resultados, se infiere que, para el pH, se visualizó una buena tasa de adsorción cuando su valor es 6, y su eficiencia recae cuando este factor es mayor a 6. Para la dosificación, se tuvo mayor eficiencia a 0,1 g. Para el tiempo de contacto hasta los primeros 20 min existió una remoción de manera rápida, pero luego de ese tiempo esta remoción fue incrementando lentamente hasta los 60 min. Para las eficiencias en la adsorción de Arsénico y el Manganeso, se tuvo 86.98% y 87.66% respectivamente, en un sistema acuoso de 50 mililitros. La ecuación del modelo de isoterma de Langmuir se ajustó al proceso de adsorción del estudio en sistema acuoso, y el modelo de cinética de adsorción de 2do orden. Finalmente, su tasa de eliminación fue buena para reducir el riesgo de enfermedades carcinogénicas, pero no cumple con los requisitos según estándares de la OMS.

Qu, Jianhua et al., (2023), carbonizó hidrotermalmente paja de maíz el cual fue magnetizado y saturado con nitrógeno, además de ser incrustado con polietilenimina (PEI) para remover cromo (VI) y un compuesto orgánico en aguas. Según su metodología, el polvo de paja de maíz se combinó con urea y se ingresó por 5 horas a un reactor a temperatura de 200°C en una mufla. Luego se magnetizó y nitrogenizó agregando lo anterior a una mezcla de amoníaco, cloruro ferroso tetrahidratado cloruro férrico hexahidratado y amoníaco, y se colocó a agitación durante ½ hora y a una velocidad de 300 rpm. Por último, se injertó con PEI. Para hallar la concentración de metal en agua, se empleó un espectrofotómetro UV. Para los experimentos, se realizaron prueba de lotes con dosis fijas a tiempo de contacto de 120 min. Para su caracterización, se examinó por FTIR, SEM, XRD entre otros. Para la cinética, se estudiaron a las ecuaciones de 1er, 2do orden, y a Avrami, y para las isothermas con las ecuaciones de Sips, Freundlich y Langmuir. De los resultados se infiere, que el pH óptimo para remover Cr (VI) fue 2. Los experimentos para adsorción de Cr ⁺⁶ se alinearon mejor al modelo de Avrami con un R²= 0.9812, y para isothermas, fue el modelo de Sips que tuvo mejor ajuste con las 3 temperaturas experimentadas con R² de 0.98587, 1.00000, 0.99998 para 25, 40, y 55 °C respectivamente.

Wu, Zhenju et al., (2023), sintetizó magnéticamente un carbón activado para remover cromo hexavalente a través de un tratamiento de adsorción. Según su metodología, el carbón activado de madera se compró y el agua contaminada se preparó disolviendo dicromato de potasio agua libre de iones para obtener una solución madre de cromo hexavalente de 1000 mg por litro. El pretratamiento consistió en tamizarlo y añadirlo a una solución de HNO₃ durante ½ día. Este se lavó y se llevó a ebullición por 120 min, seguido a ello se volvió a lavar con agua libre de iones hasta alcanzar un pH 7, fue secado a una temperatura de 105°C. Para magnetizar se realizó una combinación de sulfato ferroso heptahidratado y cloruro férrico hexahidratado, se agitó a alta velocidad y se ajustó a un pH 12, se dejó reposar durante 4 horas a 95°C sumergido en agua (baño maría), se dejó enfriar y se separó por filtración. Finalmente, la parte sólida puso a secar, se molió y se tamizó. En la parte

experimental, se estudió la temperatura, la concentración y el tiempo. Para la caracterización se emplearon análisis FTIR, BET, XRD, XPS y VMS. Para las cinéticas de adsorción, fueron estudiados los modelos de 1er, 2do orden, el de difusión intrapartícula y el de Elovich. Para las isothermas se estudió al modelo de Temkin, Freundlich y Langmuir. De los resultados se concluyen que los parámetros óptimos fueron a un pH 2, la dosis en un rango de 1 a 3.5 gramos por litro, y 12 horas para el tiempo. Los experimentos se ajustaron al modelo de 2do orden y al modelo de Langmuir.

Bhadoria, Prakash et al., (2022), preparó un bioadsorbente de paja de arroz que fue modificado para eliminar eficientemente zinc (II) y cadmio (II) en aguas contaminadas. Según la metodología, antes de modificar la biomasa, ésta en su estado natural fue lavada para eliminar cualquier residuo impregnado como polvo, luego se redujo en tamaño de 1 – 2 pulgadas para una mejor manipulación. Se prepararon 3 tipos de adsorbentes. Para su caracterización se realizaron análisis de espectroscopía FTIR y análisis SEM. Y para la cantidad de metal en el agua residual pre y post experimento, se analizó por el espectrómetro de adsorción atómica. Se empleó el diseño de Box Behnken, donde estudiaron a 4 factores: dosis, concentración del metal, pH y tiempo de contacto, a 3 niveles cada uno y con 3 réplicas. En los experimentos el pH fue ajustado con NaOH y HCl, ambos a 0.01 N, la velocidad usada fue 180 revoluciones por minuto y luego pasó por filtración. Se consideró el modelo de isoterma de Freundlich. Se efectuó el análisis de varianza ANOVA para estudios estadísticos. De sus resultados, el adsorbente de paja que se convirtió en biocarbón tuvo mayor tasa de remoción frente a los otros 2 adsorbentes, un 84.84% para Zn (II) y 88.08% para Cd (II), para ello, se consideraron las siguientes condiciones óptimas: para zinc (II) fue a una dosis de 0.10 gramos, a una concentración de 40 ppm, pH 6, y 150 minutos de tiempo de contacto, y para cadmio (II) una dosis de 0.55 gramos, concentración de 10 ppm, pH 2, y 157.5 minutos de tiempo. Por último, la ecuación de la isoterma Freundlich se ajusta al tratamiento del estudio.

Cao, Fengming et al., (2022), preparó paja de arroz en forma de bola cubierta de un polímero orgánico para la adsorción de cromo tóxico del agua. Según la metodología, primero se prepararon las esferas y luego se recubrió a través de polimerización oxidativa con monómero de pirrol. Para los experimentos de adsorción, las concentraciones se midieron por espectrofotometría de difenilcarbazida a 540 nm. Se halló la eficiencia y la capacidad de adsorción. Se realizó estudio de columna de lecho fijo. Para caracterizarlo, se realizaron análisis FTIR, SEM, BET, XPS entre otros. Para la cinética, se trabajaron los modelos de difusión intrapartícula y los de 1er y 2do orden. Para las isothermas se estudió a Temkin, Langmuir y Freundlich. De sus resultados se concluye, que en el análisis FTIR afirma que el polímero fue adherido correctamente a la superficie de la paja de arroz. En los espectros XPS se hallaron cromo (III) y (VI) en la biomasa post tratamiento, también se infiere que el cromo hexavalente pasó a disminuirse debido a que se convirtió a cromo (III) que es menos tóxico. Para análisis BET, el tamaño de poro de la biomasa modificada con el polímero fue más uniforme que la de biomasa sin modificar. Los experimentos se describieron mejor con la ecuación cinética de 2do orden y la ecuación de Langmuir. El pH por sobre la eficiencia fue inversamente proporcional, ya que a mayor sea este su valor, el rendimiento se reducía, así que el más óptimo fue un pH 3 con 100% de eficiencia en la adsorción de cromo tóxico. Con respecto a los iones de interferencia, fue el H_2PO_4 el que hacía disminuir el efecto de eliminación de cromo hexavalente y esto se debió a que ambos tienen carga iónica parecida y el Cl^- tuvo una repercusión negativa aún más grande para el proceso de remoción del metal estudiado.

Hossain N.; Nizamuddin, S. y Shah, K. (2022), experimentaron con cascarilla de arroz modificados para adsorber metales pesados. Según su metodología, para el pre tratamiento, se redujo de tamaño y se tamizó. Ello se carbonizó hidrotermalmente dentro de un reactor a un tiempo, temperatura y velocidad determinada, con atmósfera de N_2 . Seguido a ello, se enfrió y filtró. Luego pasó por un tratamiento con hidróxido de potasio (KOH) la cascarilla en su estado natural y la cascarilla hidrocarbonizada. Por

otro lado, se preparó otro adsorbente con nanopartículas de plata. Se preparó las aguas sintéticas con sales que poseían estos metales pesados. Para la caracterización de su morfología se realizó análisis SEM. En la parte experimental se trabajó con pH de 2.9, temperatura de 28 °C, tamaños de partícula de 0.5 hasta 2 mm, dosis de 0.5 g, y concentraciones iniciales de 100 mililitros por gramo. Para determinar la cantidad de metales pesados pre y post tratamiento de adsorción, se usó un espectrómetro de absorción atómica, con duplicidad en ambos casos. Para hallar el modelo de cinética que se alinea al tratamiento se emplearon varios modelos, empleando a 3 adsorbentes (el modificado hidrotermalmente, al que se le agregó hidróxido de potasio y el otro con nanopartículas de plata). De los resultados se concluye que, en el primer ensayo, el mayor grado de remoción para cobre (II), plomo (II) y zinc (II) resultó con el adsorbente hidrocarbonizado, y para la eliminación de manganeso (II) y hierro (III) fue más eficiente con el hidrocarbón modificado con plata en la primera prueba, sin embargo, para el segundo ensayo, la máxima eficiencia para todos los metales del estudio se logró con el adsorbente hidrocarbonizado. Finalmente, el modelo de difusión intrapartícula fue el que tuvo mejor ajuste.

Islam, Izaz et al., (2022), desarrolló un biocarbón de paja de arroz que fue modificado para la eliminación de cromo (VI) en aguas. Según la metodología, se lavó con HCl y NaOH y se enjuagó con agua libre de iones. La biomasa se dejó secar, se pirolizó, se trituró y se tamizó, obteniéndose así biocarbón de paja de arroz. Para la modificación se empleó soluciones de cloruro férrico y sulfato ferroso. Para agua a descontaminar, prepararon una solución patrón de Cr hexavalente con concentración de 1000 miligramos por litro. Se estudió al tiempo de contacto, pH y dosificación. Asimismo, se verificó la eficacia del procedimiento y la capacidad de adsorción, ello a temperatura ambiente, con distintas dosis y concentraciones iniciales. Para caracterizarlo se realizaron análisis SEM, EDS y FTIR. Para la cinética, se usaron las ecuaciones de primer y segundo orden; y se trabajó con los modelos de Sips, Freundlich y Langmuir para sus isotermas. Se concluye, que para el análisis SEM el FMRSB tiene macro

poros en su estructura y una heterogeneidad en su morfología superficial. Para EDS mostró que el BC fue modificado con hierro exitosamente. Para el análisis FTIR se visualizaron varios grupos que contiene oxígeno y carbono en la mayoría, siendo Fe-O la que nos confirma que la modificación con óxido de hierro se realizó sin inconvenientes. Las condiciones óptimas del experimento, fueron principalmente a un pH 3, dosificación de 0.02 gramos por litro, y tiempo de contacto de 3 horas, resultando una eficiencia del 90.9 %. Los modelos que se ajustan mejor al proceso de adsorción del biocarbón modificado para remover el cromo (VI) fueron el PSO para cinética y la isoterma de Sips.

Liu, Zhiyuan et al., (2022), preparó mediante carbonización hidrotermal un adsorbente de paja de arroz que es eficiente para adsorber de iones de mercurio de aguas. Según la metodología, se acondicionó y pre trató. Ello consistió en lavar, secar, reducir su tamaño mediante trituración y pasar por tamizaje. Seguidamente se mezcló con un ácido y se colocó en una autoclave. Luego se filtró, y el sólido separado se unió con hidróxido de potasio y se dispuso en un horno con N₂. En la parte experimental, se deseó conocer el comportamiento de factores como el pH, dosis de adsorbente y iones que interfieren en el rendimiento del proceso y como se vinculan a su capacidad de adsorción. Para la caracterización se empleó análisis SEM, FTIR, XRD entre otros. Se estudiaron las cinéticas con los modelos de difusión intrapartícula, 1er y 2do orden. Para las isotermas, se estudiaron a Langmuir y Freundlich a 3 temperaturas distintas. Obtenido los resultados, se dedujo, que la tasa de adsorción de la biomasa que se modificó, tuvo mayor valor a la que no fue modificada, infiriéndose que el KOH favoreció al tratamiento. La dosis óptima fue de 0.4 gramos por cada litro, y el pH que mejor dio resultado fue 4. Respecto a la cinética, los experimentos se ajustaron mejor al modelo de PSO que los otros y en las isotermas de adsorción, fue la ecuación de Langmuir el que describió mejor el tratamiento a las 3 temperaturas, dando valores de R² mayores a 0.99 cada una, por lo que en general, una buena alternativa sería solo trabajar a 25 °C ahorrándose así energía.

Wu, Zhengde et al., (2022), empleó un hidrocarbón a base de aserrín de álamo modificado por magnetización y recubierto por PEI para adsorber cromo hexavalente y colorante de sistemas acuosos. Según su metodología, se hidrocarbonizó biomasa de aserrín mediante un reactor hidrotermal obteniéndose HTC, para magnetizarlo fue tratado con cloruro de hierro (III) hexahidratado, aquí se consigue el MHTC y por último se le agrega PEI resultando finalmente en un MHTCP. Para la parte experimental, se empleó la biomasa modificada en una relación de 1 a 5 en la solución acuosa preparada con cromo hexavalente a 100 ppm a un pH 2, agitándose de medio a 1 día a una temperatura de 30 °C. Para la caracterización se emplearon análisis XRD, SEM, FTIR y TEM principalmente. Se estudiaron las cinéticas de adsorción de 1er, 2do orden y Elovich. Para las isotermas, se estudiaron bajo los modelos de Langmuir y Freundlich a 3 temperaturas. Se infiere de la investigación, que el valor de la capacidad de adsorción para el cromo hexavalente fue de 287.7 mg/g como máximo, siendo este un valor muy alto respecto a otras investigaciones. En los experimentos de cinética para el cromo hexavalente se alinearon mejor al modelo de Elovich con un coeficiente de determinación (R²) de 0.9946 a una concentración de 50 ppm, asimismo, la isoterma de adsorción que se alineó mejor fue Freundlich a 30 °C. Por último, se comprobó mediante la caracterización que el cromo hexavalente se redujo a cromo (III) el cual es menos tóxico y muy beneficioso.

Chen, Yiliang et al., (2020), desarrolló nanocompuesto a base de paja de arroz para adsorber cobre (II) en aguas para su eliminación. Según su metodología, en su acondicionamiento, se quitaron las hojas y cáscaras, y se redujo en tamaños inferiores a 4 milímetros y se dejó secar al ambiente. Luego se preparó la paja de arroz cargada de óxido de titanio hidratado (RS-HTO). Para la parte experimental, se estudiaron factores como la concentración del sorbato, el pH y la dosis. Se halló el % de remoción y su capacidad de adsorción. La cantidad de metal en el agua, se midió con un espectrómetro de absorción atómica. Para la caracterización se realizó análisis SEM, BET y XPS. Se concluye, que, para las dosis, cantidades

inferiores a 0.1 gramos se tuvo una tasa de remoción muy cerca del 100%. Para el pH se tuvo una mayor capacidad máxima del adsorbente teniendo un pH que oscilaba entre 6.5 hasta 7.5. Los experimentos se alinearon mejor a la ecuación cinética de 2do orden y al modelo de Langmuir.

Khan, Monnis et al., (2019), realizó un hidrocarbón a base de bagazo de caña modificado por magnetización y nitrogenación para eliminar plomo divalente y cadmio divalente del agua. Según su metodología, se pretrató lavando con agua desionizada, secando a 30 °C toda la noche, y se redujo en tamaño menor a 10 milímetros. Para obtener hidrocarbón, se sumergió en 100ml de H₂O₂ unos 5 gramos del bagazo pretratado, todo ello en el reactor. Se puso a calentar durante 3 horas a 200 °C con presión autógena, luego se dejó enfriar y se convirtió a polvo con mortero. Para magnetizar se empleó cloruro férrico hexahidratado y cloruro ferroso tetrahidratado, se agregó NH₃, se filtró magnéticamente y luego se procedió a lavar. Para nitrogenar, se agregó una solución de urea, seguidamente se lavó abundantemente con agua desionizada y después con etanol, se separó, y se dejó secar en un horno a 65°C. Para medir la cantidad de metal en la solución acuosa, se empleó un espectrofotómetro de AA. Para sus experimentos, se trabajó con dosis de 0.01 gramos, a temperatura ambiente, a 100 revoluciones por minuto, y se halló la capacidad de adsorción (mg/g) así como el % de adsorbato removido. También buscó estudiar al pH, la concentración a 3 temperaturas, el tiempo y la dosificación. En la caracterización, se realizó análisis XRD, FTIR, TEM, SEM, EDXS, XPS, VSM y un analizador de potencial zeta. Se estudiaron las cinéticas de 1er y 2do orden. Para las isothermas se estudió a Temkin, Freundlich y Langmuir y a 3 temperaturas. Se concluyó, que se logró remociones de 80% y 75% para cadmio y plomo respectivamente. Por otro lado, la capacidad de adsorción para el cadmio fue 323 miligramos/gramo y para el plomo 357 miligramos/gramo a 45°C. Los experimentos se alinearon mejor a la cinética de 2do orden y a la ecuación de Langmuir.

Li, Yin et al., (2019), produjo un hidrocarbón de paja de arroz para adsorber metales pesados y otros compuestos. Según su metodología, primero se

preparó el hidrocarbón. Este consistió en colocar paja de arroz en agua destilada en proporción de 1 a 10, luego pasó a un reactor de microondas hermético, durante 70 minutos hasta una temperatura de 200 °C. Se dejó enfriar y se realizó filtración. Estos sólidos se lavaron con etanol primero y después con agua destilada, de 1 y 3 veces respectivamente (30 mililitros de cada uno), finalmente se secó durante 8 horas a una temperatura de 100 grados Celsius. En sus experimentos de adsorción, se trabajaron con masas de 0.06 g y volumen de solución de 30 mililitros, a concentraciones iniciales y temperaturas establecidas, a velocidad de 170 rpm. La cantidad de metal en el agua, se halló con un espectrómetro de absorción atómica. Para caracterizarlo se analizó por BET, FTIR y SEM. Para el modelo de isothermas se estudió a Langmuir y Freundlich. De los resultados se puede concluir, que ambas isothermas estudiadas se ajustan a los experimentos de adsorción en cuestión. Según su caracterización, el adsorbente de paja de arroz hidrocarbonizado, tiene la ventaja de poseer en su estructura diferentes sitios donde pueden realizarse la adsorción de diversos contaminantes, por lo que se vuelve un adsorbente altamente conveniente y con potencial.

Marco Conceptual

La contaminación acuática por iones metálicos es ocasionada particularmente por intervención del hombre y también de manera natural, lo cual está impactando negativamente en la salud del hombre y la inocuidad de los alimentos. En este último, se transgrede la seguridad por el uso de estas aguas para el riego de lechuga, brócoli, calabaza, papa entre otros, que posteriormente reportan presencia de plomo, mercurio, cromo, arsénico, cadmio, etc, al analizar estas hortalizas. Así también, debido a la acumulación y a la movilidad de estos a partir del medio ambiente a los cuerpos de agua, se han hallado diferentes metales en peces, carnes, leche, mariscos, ostras y moluscos, en concentraciones distintas (Reyes, Yulieth et al., 2016, p. 67).

Estos iones metálicos poseen una densidad elevada y es tóxico para el ser humano según la cantidad que ingrese en ellos. Estos metales a su vez pueden estimular cambios paulatinos por sus consecuencias negativas en

las plantas. Dentro de algunos metales pesados tenemos: el mercurio, arsénico, cobre, cromo, zinc, plomo, plata, entre otros (Ministerio del Ambiente, 2012, p. 33). A lo referido, los metales pesados tóxicos, son distinguidos como metales pesados no esenciales y los más conocidos son: el mercurio (Hg), el plomo (Pb), y el semi-metal arsénico (As). Se menciona, que existe una causa que influye en el grado de toxicidad de estos compuestos metálicos, y es el estado de valencia en el que se encuentran cada uno, un claro ejemplo de ello es que el arsénico (III) y cromo (VI) son más peligrosos que el arsénico (V) y el cromo (III) (Ferrer, A., 2003).

Enfocándonos en este último, el cromo es un metal pesado notable que se halla en el suelo, sitios de residuos o desechos, aguas subterráneas y superficiales del planeta. El Cr existe en el medio ambiente en 2 estados de valencia (**Tabla N°1**): Cr (VI) y Cr (III) (Wu et al., 2009 como se citó en Alanya, S., 2022).

La generación de Cromo (VI) se origina de manera natural y a causa de las actividades del ser humano (**Fig. 1**), como las industrias: galvánicas, siderometalúrgicas y de curtiembres (Xia S. et al., 2019) y en su forma de Cr(VI) es un precursor del cáncer (Pakade, V.; Tavengwa, N. y Madikizela, 2019), siendo un riesgo para todo ser vivo ante su exposición.

Tabla N°1. Resumen las propiedades del cromo.

Propiedad	Indicador	Unidad
Fórmula química	Cr	-
Masa atómica	51,996	g/mol
Estado de oxidación	+2,+3,+6	-
Densidad	7,19	g/ml
Punto de ebullición	2665	°C
Punto de fusión	1875	°C

Fuente: PRTR España, Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

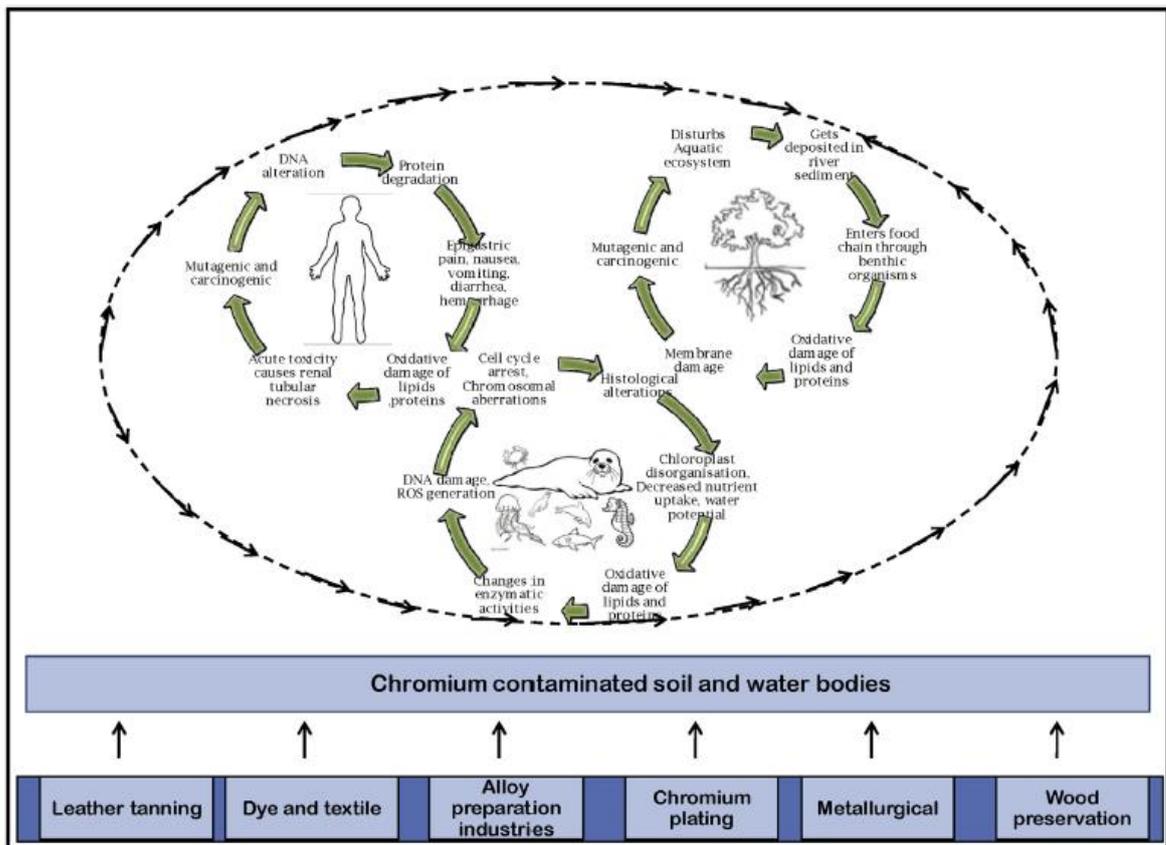


Figura 1. Consecuencias del cromo en el ecosistema (Sinha et al., 2018).

De manera global, existen numerosos métodos para la remover metales pesados, donde se pueden encontrar técnicas convencionales y no convencionales como: la precipitación química, oxidación-reducción, filtración por membrana, intercambio iónico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación, tratamiento electroquímico, coagulación – floculación, electrocoagulación, adsorción y bioadsorción (Pabón, S., et al., 2020, pp.10,12).

Al encontrarse cromo (VI) en los sistemas acuosos, diferentes estudiosos han empleado diversas técnicas para lograr un entorno libre de estos iones, como los métodos de adsorción, la degradación foto catalítica, tecnología de membranas, entre muchos más, lo cuales han sido investigados exhaustivamente para lograr resultados óptimos en su eficiencia y de bajo coste, encontrándose que el proceso de adsorción es el más popular siendo eficiente con altos porcentajes de eliminación (Karimi-Maleh, H., et al., 2021).

La adsorción es una transferencia de masa (**Fig. 2**) en el que se transportan solutos desde una fase líquida a la superficie de una fase sólida (Rashid, R., et al., 2021) y es a través de interacciones fisicoquímicas, que las especies adsorbidas se unen a la superficie sólida (Manchisi et al., 2020 como se citó en Rashid, R., et al., 2021). Este tratamiento es un enfoque exitoso para la eliminación de contaminantes en todo el mundo, ya que es de bajo costo, tiene un alto rendimiento y su diseño operativo es sencillo, removiendo contaminantes emergentes de las aguas residuales empleándose en forma de carbón activado, nanoadsorbentes, biocarbón mejorado, entre otros (Senthil, B. y Senthil, P., 2021).

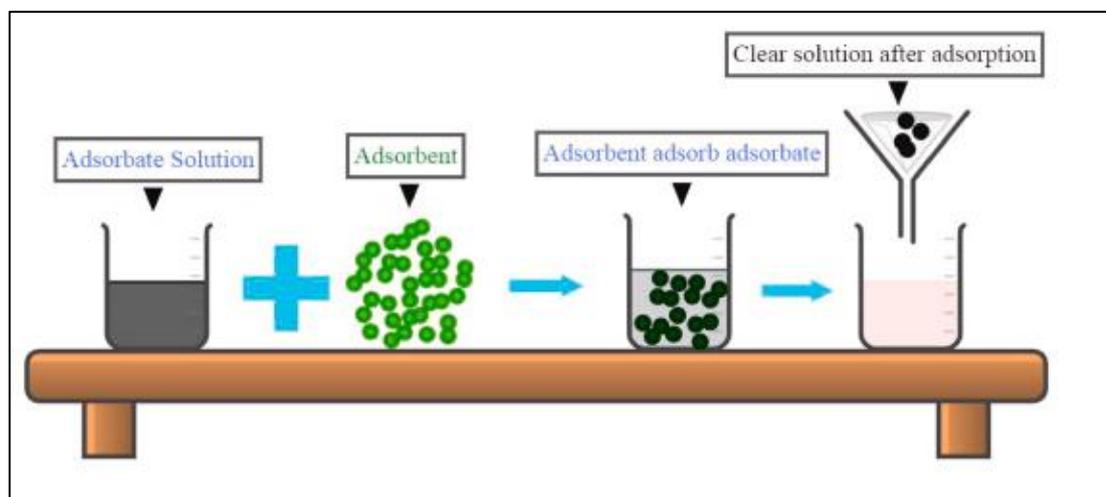


Figura 2. Interacción adsorbato y adsorbente (Santander et al, 2021).

La bioadsorción es definida como la capacidad de extracción de contaminantes que contienen algunos sistemas acuosos, mediante el empleo de materiales biológicos vivos o inertes, esto a través de vías de absorción mediadas metabólicamente o fisicoquímicas espontáneas (Derco, J. y Vrana, B., 2018). Su proceso consta de 2 fases: una fase sólida y una fase líquida donde se tiene disuelto la sustancia que será adsorbida. Para que este proceso se pueda realizar exitosamente, debe haber una afinidad grande del contaminante con los grupos funcionales del adsorbente (Tejada, C.; Villabona, A. y Garcés L., 2015, p. 112).

Tejada, C.; Villabona, A. y Garcés L., (2015), también refiere, que este fenómeno puede influirse de manera buena o mala, por factores como pH

temperatura, tamaño de las partículas o sencillamente por la interferencia de otros iones, siendo estos factores importantes en la captación de metales según sus condiciones (p.p. 113,114).

Las condiciones de operación en la adsorción son fundamentales ya que estos afectan directamente a los costos de tratamiento. La adsorción mediante lotes discontinuos es uno de los principales procedimientos utilizados para el tratamiento del agua, puesto que es útil a nivel de laboratorio para la optimización de algunos factores como el pH, dosis, tiempo de equilibrio, tiempo de contacto, concentración de contaminantes, entre los principales (Dotto, G. y McKay, G.; 2020).

El valor del pH en el agua es un factor primordial tanto en la adsorción de iones aniónicos o catiónicos, ya que la adsorción de cationes es buena cuando el valor del pH está por encima de 4.5, mientras que los aniones prefieren pH en un rango de 1.5 hasta 4 (Tejada, C.; Villabona, A. y Garcés L., 2015).

La dosis es un factor muy importante ya que este parámetro al ser incrementado proporciona mayor cantidad de sitios de adsorción, los cuales sirven de refugio para los iones del adsorbato en el cual se está trabajando, por lo tanto, la remoción también se incrementará (Bilal, M. et al., 2021).

La concentración inicial, está directamente relacionada a la eficiencia en la remoción, ya que este último irá aumentando según también se incremente la concentración inicial de los iones de metal, y esto se debe a que la masa contaminante se traslada hacia las superficies del adsorbente empleado, y una vez que estas llenen su capacidad, se obstruirían y se impediría la continuidad de la adsorción de contaminantes. (Hayati et al., 2017; Mohan et al., 2017 como se citó en Xinyu, C. et al., 2022)

Tiempo de contacto, es otro factor relevante en los experimentos, ya que mientras este se prolonga, también se incrementa el porcentaje de remoción de los contaminantes, pero esto solo sucede hasta que se logra un estado de equilibrio, por ende, ello permitirá describir la cinética de la adsorción (Bilal, M. et al., 2021).

El porcentaje de remoción está directamente influenciado por la concentración inicial los metales pesados en la solución. La eficiencia de eliminación de los materiales a base de carbono generalmente aumenta con el incremento de las concentraciones iniciales de metales pesados hasta cierto punto, y luego decae (Hayati et al., 2017). Debido a que la alta concentración inicial aumenta la transferencia de masa de metales pesados a las superficies del adsorbente, y una vez que las superficies están saturadas con suficiente metal pesado, las interacciones de esos metales pesados libres con los adsorbentes a base de carbono se verían obstaculizadas (Mohan et al., 2017).

El aumento de la temperatura puede ocasionar un cambio en la morfología y/o superficie del sorbente, deteriorando el material, ocasionándose una pérdida de capacidad en el proceso de sorción (Tejada, C.; Villabona, A. y Garcés L., 2015). Este parámetro es estudiado a través de las isothermas de adsorción, este proceso en su gran parte se realiza a temperaturas del medio ambiente, para así aminorar los costos del proceso (Liu y Wang, 2009 como se citó en Tamay, A., 2019, p.26).

El modelo de isoterma de adsorción de Langmuir (**Ecuación 1**) y el modelo de isoterma de adsorción de Freundlich (**Ecuación 2**), son comúnmente los que más se han estudiado en los tratamientos de adsorción de iones metálicos tóxicos empleando como adsorbentes principales a biomásas (Tejada, C.; Villabona, A. y Garcés L., 2015).

El modelo de isoterma de Langmuir, parte de 3 supuestos: (1) Que la adsorción entre los adsorbatos y adsorbentes ocurre en forma de adsorción en monocapa. (2) Que todas las zonas de adsorción en la capa más externa del adsorbente tienen una capacidad de sorción equitativa. (3) Que el proceso de adsorción solo está vinculado con la interrelación entre el adsorbato y la capa más externa del adsorbente (Wang, T. et al., 2022). Su ecuación es la siguiente (Lavado et al., 2020):

Ecuación 1:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x}b} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x}}$$

En dónde: b es la constante que relaciona la afinidad entre el sorbente y el sorbato (L/mg), C_e es la concentración del metal en el equilibrio (mg/L), q_e es la capacidad de biosorción del metal que se encuentra en el equilibrio (mg/g), y $q_{m\acute{a}x}$ es la constante que está relaciona con la máxima capacidad de biosorción (mg/g) (Lavado, et al., 2020).

En contraste, Freundlich difiere a Langmuir, el cual supone que los sólidos de la superficie del adsorbente no son uniformes en temperatura y pueden tener varias capas. Su ecuación es la siguiente (Lavado, et al., 2020):

Ecuación 2:

$$\ln(q_e) = \ln(K_F) + \frac{1}{n} \ln(C_e)$$

En dónde: n es una constante adimensional que se relaciona con la afinidad entre el adsorbato y el adsorbente, q_e es la capacidad de biosorción en el equilibrio (mg/g), K_F es la constante de equilibrio de la isoterma de Freundlich (mg/g(L/mg)^{1/n}), y C_e es la concentración de equilibrio del metal en la fase líquida (mg/L) (Lavado et al, 2020).

Sobre los modelos cinéticos de adsorción, se menciona, que estos permiten explicar el proceso de adsorción mediante un pronóstico de información esencial del material usado como adsorbente, como su capacidad de adsorción y el tiempo de equilibrio principalmente (Kumar, P. y Chauhan, M., 2019). Es así, que se han propuesto algunos modelos cinéticos como el del modelo cinético de pseudo 1er orden y el de 2do orden con los que se puede describir el mecanismo por el que transcurre el proceso mencionado (Tejada, C.; Villabona, A. y Garcés L., 2015, p. 114).

El modelo de Lagergren o de Pseudo Primer orden, supone que el control del porcentaje de adsorción depende del esparcimiento del adsorbato en la superficie del adsorbente (**Ecuación 4A y 4B**) (Wang T. et al., 2022). Su

ecuación se describe mediante la siguiente (Lagergren, 1898 como se citó en Wang, J. y Guo, X., 2020):

Ecuación 4 (A):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 * t$$

La ecuación también se representa de la siguiente manera (Kumar, P. y Chauhan, M., 2019):

Ecuación 4 (B):

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2.303} * t$$

En dónde: k_1 es la constante de velocidad de la adsorción de pseudo primer orden (min^{-1}), q_e es la cantidad de soluto que fue adsorbido en el equilibrio (mg/g) y q_t es la cantidad de soluto que fue adsorbido en la superficie del adsorbente en cierto tiempo (mg/g), (Kumar, P. y Chauhan, M., 2019).

El modelo de Pseudo-segundo orden, se emplea para acomodar algunos procedimientos de adsorción que requieren más tiempo para llenar los sitios de sorción. Se presume que la tasa de adsorción está influenciada por la interacción de los lugares de adsorción en la capa más externa del adsorbente a lo largo del proceso (**Ecuación 5**) (Wang, T. et al., 2022). Su ecuación es la siguiente:

Ecuación 5:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 * q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

En dónde: k_2 es la constante de velocidad de la adsorción de pseudo segundo orden ($\text{mg/g} * \text{min}$), q_t es la cantidad de soluto que fue adsorbido en la superficie del adsorbente en cualquier tiempo (mg/g) y q_e es la cantidad de soluto que fue adsorbido en el equilibrio (mg/g) (Wang, J. y Guo, X., 2020).

La capacidad de adsorción del biosorbente, se especifica como la masa de adsorbato que es adsorbida por una unidad de masa de adsorbente. Este cálculo, resulta de la sustracción o resta de los datos de concentración del metal en la solución pre y post tratamiento, sin ignorar el volumen al cual se trabajó el proceso, en unidad de litros y la dosis de adsorbente en unidad de gramos (**Ecuación 6**) (Tamay, A., 2019, p.21). Siguiendo la misma línea, el porcentaje o eficiencia de remoción del biosorbente se puede hallar, a través, de una ecuación que usa datos de concentración inicial y la de equilibrio del sorbato en la solución, multiplicado por 100 (**Ecuación 7**) (Tamay, A., 2019, p.22). A continuación, se muestran las fórmulas correspondientes:

Ecuación 6:

$$C_q(\text{mg/g}) = \frac{C_0(\text{mg/l}) - C_f(\text{mg/l})}{M(\text{g})} \times V(\text{l})$$

Ecuación 7:

$$\%R = \frac{C_0(\text{mg/l}) - C_f(\text{mg/l})}{C_0(\text{mg/l})} \times 100\%$$

En dónde: C_q es la capacidad de adsorción en (mg/g), C_0 y C_f son las concentraciones inicial y final de metal en solución, V es el volumen en (L) de solución de la muestra, M es la masa en (g) del adsorbente empleado (Tamay, A., 2019, p.22).

En los últimos 10 años, se han experimentado diferentes biosorbentes a partir de biomasa compuesta por lignina y celulosa, y se ha comprobado su capacidad para eliminar este tipo de contaminantes (Santander, P. et al., 2021).

La paja de arroz, es conocido como un subproducto del arroz que es merma de la industria del arroz de su proceso de pre limpieza, el cual permanece en

los campos después de la cosecha (Moliner, C.; Bove, D. y Arato, E., 2022). Se compone principalmente por la lignina, celulosa y hemicelulosa, los que aportan casi el 90 % del contenido de materia seca (Bisla, V. et al., 2020, p. 194). En países como la India, para poder eliminar esta paja de arroz, recurren a la quema en el campo, lo que provoca la contaminación del aire, en consecuencia, afectando gravemente a la salud pública y al clima del planeta. Es por ello, que ecologistas están aplicando diversas alternativas para un nuevo uso y más amigable ambientalmente (Binod et al., 2010 como se citó en Bisla, V. et al., 2020). Es así, que se han realizado investigaciones con diferentes métodos de preparación de adsorbentes a partir de cáscara y paja de arroz para la adsorción de iones metálicos pesados y colorantes peligrosos, con el fin de aminorar su efecto nocivo sobre el ambiente, siendo estos modificados bajo diferentes procesos fisicoquímicos o experimentando en su estado natural (Sahoo et al., 2021).

Un reactor hidrotermal es un recipiente hermético que está compuesto externamente por acero inoxidable 304 e internamente contiene un envase de teflón PTFE el cual tiene muy buena resistencia térmica (a corto plazo hasta 300°C). En conjunto, este dispositivo se recomienda trabajar hasta un máximo de 200°C a presiones menores o iguales de 3Mpa (Zhengzhou Wollen Instrument Equipment Co., Ltd., 2023).

La carbonización hidrotermal es un pretratamiento que nace de la necesidad de mejorar las características a nivel estructural y la composición de la materia prima o biorresiduo a tratar y darle un valor agregado. En este proceso, son los parámetros de temperatura y tiempo los que definen la efectividad de la hidrocarbonización (Zhuang, X. et al., 2022). Este tratamiento tiene una ventaja importante a diferencia a otros tratamientos termoquímicos, y es que aquí las temperaturas con las que se trabaja son relativamente más bajas a la de los tratamientos comúnmente conocidos (González, J. et al., 2022). Los residuos que se pueden emplear en este tratamiento son 3 (**Fig. 3**): a) materiales que no son lignocelulósicos, b) materiales lignocelulósicos y c) materiales con alto contenido de cenizas

(Zhuang, X. et al., 2022). Asimismo, según literatura, se pueden obtener productos sólidos, gases y líquidos (González, J. et al., 2022).

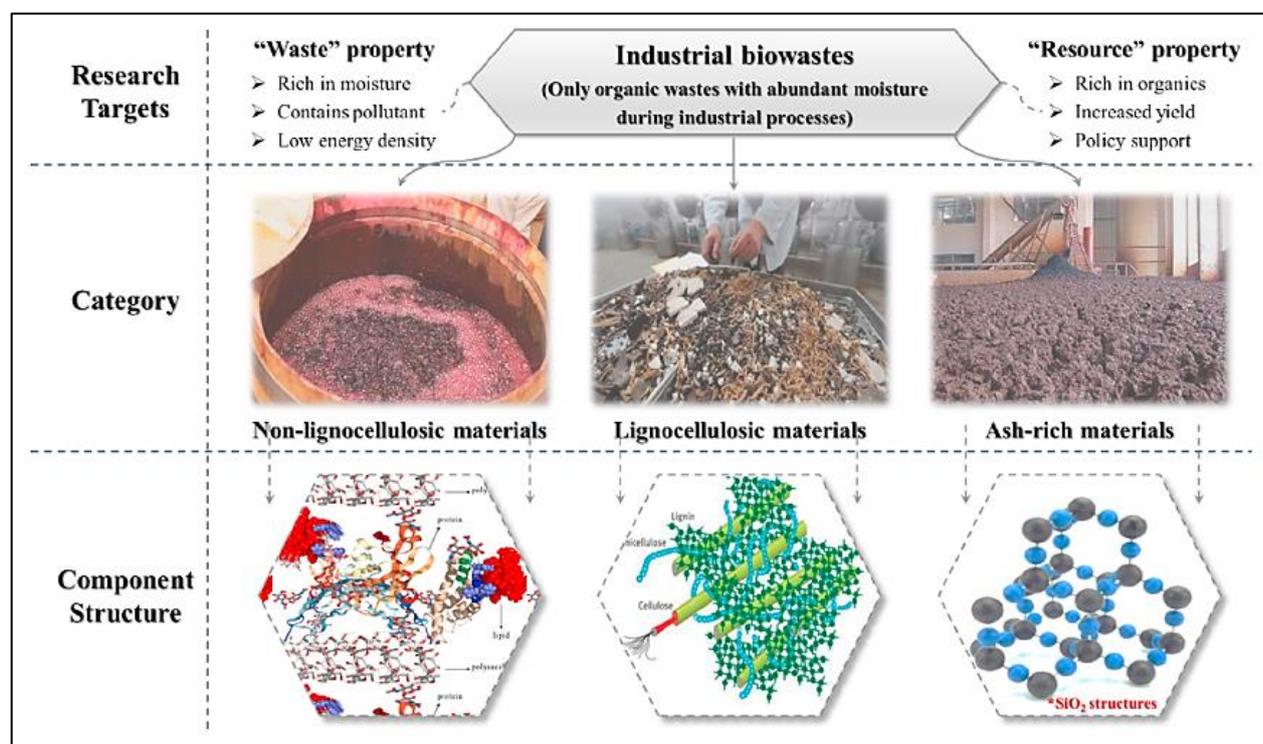


Figura 3. Clasificación de los biorresiduos industriales y su composición estructural (Zhuang, X. et al., 2022).

Para la hidrocarbonización de residuos lignocelulósicos (**Fig. 4**), es recomendable disolver la materia a emplear en una solución y trabajarla hasta un máximo de 200°C de temperatura, a tiempos prolongados. Posteriormente, para su caracterización, se debe emplear principalmente análisis XRD, XPS y FTIR (Zhuang, X. et al., 2022).

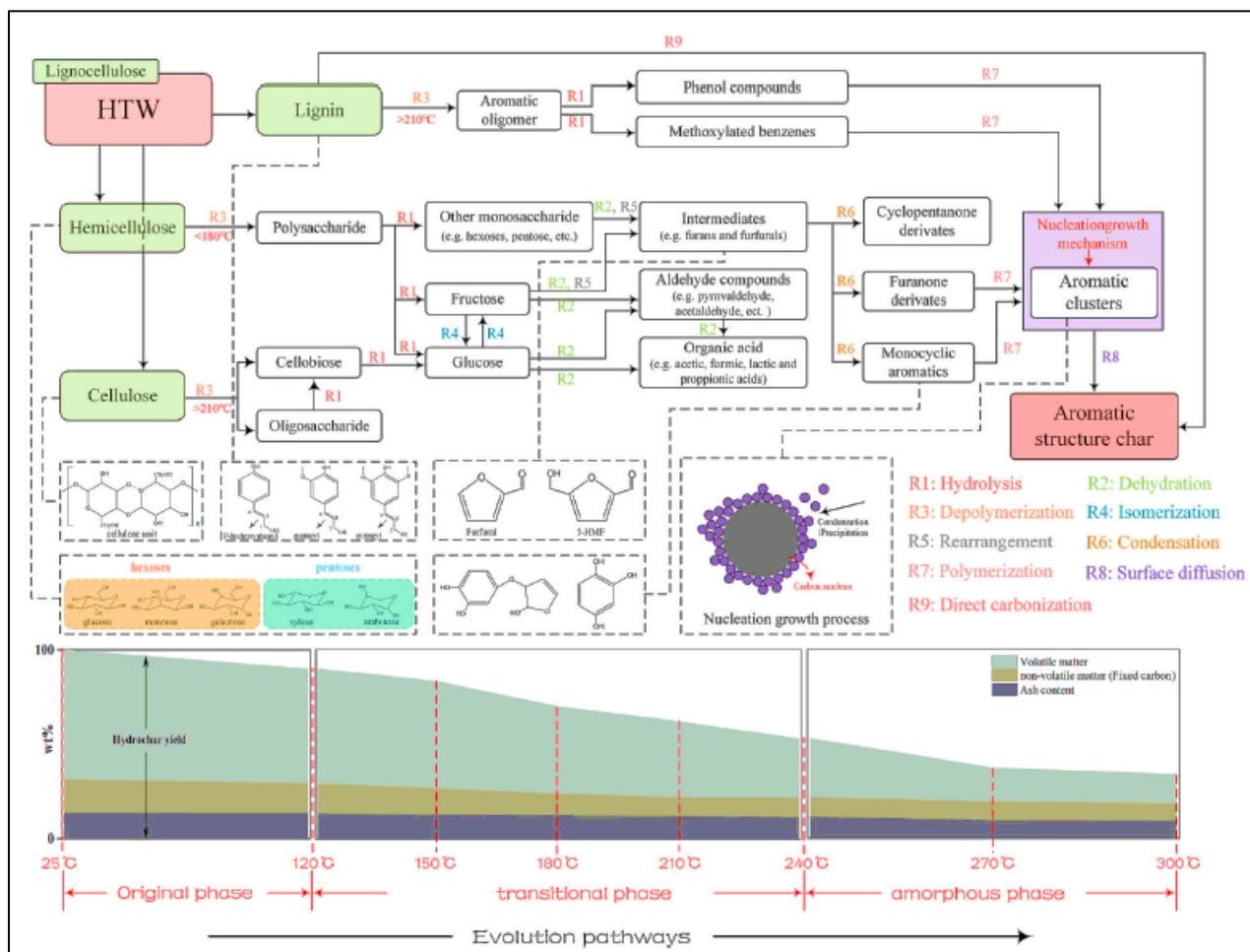


Figura 4. Evolución de residuos a base de lignocelulosa a través de los procesos hidrotermales (Zhuang, X. et al., 2022).

El uso de agua residual simulada o de agua sintética en reemplazo del agua residual real es muy conveniente ya que permite asegurar su reproducibilidad y comparación de los distintos tratamientos que se deseen realizar al tener a disposición siempre un agua con las características fisicoquímicas deseadas. Su preparación se ejecuta de acuerdo a un protocolo estandarizado, de modo, que esta agua posea iguales características fisicoquímicas que un agua residual que requiera ser tratada por un sistema de purificación común (Castellanos, 2019, p. 17).

Base legal

Ley N°28611. En esta Ley General del Medio Ambiente, se habla sobre el derecho y el deber esencial de todo ser humano, el de vivir en un entorno

pleno adecuándolo para el desarrollo de la vida, así también, el hombre tiene la obligación de usar racionalmente los recursos naturales a fin de aportar a una buena gestión del medioambiental y a protegerla, como a todo lo que lo compone.

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Decreto donde la máxima entidad gubernamental ambiental aprueba un estándar de calidad para agua para diferentes usos. Para la Subcategoría A - Categoría 1, se consideran a aquellas aguas que pueden ser potabilizadas por diferentes tratamientos, desde la desinfección hasta un tratamiento avanzado.

Decreto Supremo N° 031-2010-SA. El cual es un reglamento sobre la calidad del agua para que el ser humano pueda consumirlo, donde se instauran disposiciones con el fin de garantizar su inocuidad, prevenir los causales de riesgos a nivel sanitario, resguardando y promoviendo la salud y buen vivir de los ciudadanos.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, puesto que tiene como fin utilizar o emplear los conocimientos, principios o enfoques teóricos adquiridos (Narváez y Villegas, 2014). La investigación se basa en la adsorción de contaminantes a través de biomásas en un sistema acuoso, mediante en el enfoque teórico de las isothermas de adsorción, como los modelos de Langmuir y Freundlich, los cuales relacionan mediante sus ecuaciones, a la capacidad de adsorción, la concentración del metal, la constante que está relacionada con la máxima capacidad de adsorción y a la constante que explica la afinidad del adsorbente con el adsorbato (Tejada, Villabona & Garcés, 2015; (Hincapié, Cardona y Ríos, 2018; Lavado et al., 2020; Wang T. et al., 2022). Así también, se basa en los modelos de las cinéticas de adsorción de pseudo 1er orden y pseudo 2do orden, que mediante datos de la capacidad de adsorción y el tiempo de equilibrio predicen el proceso de adsorción entre el sorbente y el sorbato en estudio (Tejada, Villabona y Garcés, 2015; Kumar y Chauhan, 2019; Wang J. y Guo X., 2020; Wang T. et al., 2022). Así mismo, se considerará la metodología aplicada por Khan et al., (2019), con algunas modificaciones, en donde se estudió parámetros como: concentración inicial del adsorbato, el pH del medio acuoso, la dosificación de adsorbente, los tiempos de contacto y las distintas temperaturas a las cuales serán sometidas los experimentos.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño del actual estudio es experimental, ya que se aplican experimentos. Para ser considerado así, Narváez y Villegas (2014) mencionan que deben reunir 3 requisitos indispensables los cuales son: El empleo de 1 o más variables independientes (V.I), calcular el

predominio de la (V.I) ante la denominada variable dependiente (V.D.) y la validez interna del escenario experimental.

La tipología de este diseño es el experimental puro, ya que cumple con los requisitos mencionados por Hernández Sampieri, R. (1991) que son 1) la operación premeditada de la variable independiente y 2) evaluar el efecto que tiene la variable manipulada sobre la V.D. Estos diseños llegan a tener de 1 o más variables tanto dependientes como independientes. Asimismo, pueden emplearse pre experimentos y post experimentos para examinar el progreso de las variables de estudio antes y después del tratamiento realizado (Hernández Sampieri, R., 2014, p. 141).

Con la finalidad de obtener las condiciones óptimas para la remover Cr (VI) en agua sintética mediante el adsorbente de paja de arroz, se empleará el diseño experimental de taguchi (L27) (Mosoarca et al.,2020) que compone 5 factores controlables (concentración inicial del metal, dosificación de adsorbente, tiempo de contacto, pH, y temperatura) con 3 niveles cada uno, teniendo un bloque de 27 corridas (**Tabla N°2**) del cual se realizarán 2 réplicas para mayor precisión en los resultados, dando un total de 54 corridas en laboratorio.

Tabla N°2. Diseño ortogonal de Taguchi (L27) para 5 factores con 3 niveles.

N ° de Experimentos	Concentración inicial de solución con Cr 6+ (mg/L)	Dosis de HCPAm-N (g)	Tiempo de contacto (min)	pH	Temperatura (C°)
1	25	0.010	1	2	25
2	25	0.010	1	2	35
3	25	0.010	1	2	45
4	25	0.025	120	7	25
5	25	0.025	120	7	35
6	25	0.025	120	7	45
7	25	0.050	240	10	25
8	25	0.050	240	10	35
9	25	0.050	240	10	45

10	200	0.010	120	10	25
11	200	0.010	120	10	35
12	200	0.010	120	10	45
13	200	0.025	240	2	25
14	200	0.025	240	2	35
15	200	0.025	240	2	45
16	200	0.050	1	7	25
17	200	0.050	1	7	35
18	200	0.050	1	7	45
19	400	0.010	240	7	25
20	400	0.010	240	7	35
21	400	0.010	240	7	45
22	400	0.025	1	10	25
23	400	0.025	1	10	35
24	400	0.025	1	10	45
25	400	0.050	120	2	25
26	400	0.050	120	2	35
27	400	0.050	120	2	45

Elaboración Propia.

3.2. Variables y Operacionalización

En el presente estudio se trabajará con 2 variables, las cuales son:

- Variable Independiente: Aplicación de paja de arroz como adsorbente
- Variable Dependiente: Remoción de Cr (VI) en agua sintética

Las definiciones tanto conceptual y operacional de las variables se describen en la matriz de consistencia, que se reflejan en el Anexo N° 1.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Un universo o una población reúne a todos aquellos individuos que tienen en común ciertas características (Hernández Sampieri, 2014, p.174).

La población en la presente investigación la conforman 3 litros de solución madre de Cr (VI) de concentración de 1000 ppm o mg/L (Islam et al., 2022).

3.3.2 Muestra

Hernández Sampieri, R. (2014), refiere que la muestra es particularmente un subgrupo o subconjunto de elementos que cuenta con las características de la población.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se usaron 1.35 litros de los 3 litros de aguas preparadas para la ejecución de los ensayos del diseño experimental planteado, el cual consistió en usar 25 mililitros de cada una de las soluciones preparadas y ejecutar 27 experimentos con duplicidad.

3.3.3 Muestreo

Se usó la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia, puesto que Otzen & Manterola (2017), mencionan que esta técnica nos permite elegir aquellos casos posibles que pueden ser incluidos en la investigación, esto se fundamenta en la fácil accesibilidad y la cercanía de los sujetos para el investigador.

Considerando este concepto, el muestreo se realizó del agua sintética constituida de cromo (VI) que fue preparada en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo - Lima Este, Filial Lima.

3.3.4 Unidad de análisis

La unidad de estudio o análisis es el objeto que tiene una característica de interés del investigador el cual será observado y/o medido (Castro, E., 2019).

Por tal motivo, en la presente investigación, la unidad de análisis fue el agua sintética cargada de cromo hexavalente.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnica de Recolección de Datos

Los métodos o técnicas de recojo de datos constituyen procedimientos y actividades que permiten que el investigador adquiera información útil y necesaria para dar respuesta a la interrogante de su estudio (Hernández, S. y Duana, D., 2020).

Una de estas técnicas en una investigación cuantitativa, es la de observación, que se define como una acción establecida en la cual se aprecia la realidad abordada y enriquece en ampliamente a la investigación mediante la obtención de datos que son representados de manera estadística sin perder la objetividad (Jiménez, L., 2020).

En este estudio se optó por elegir este método, ya que se realizó un registro periódico de los datos experimentales en el Laboratorio de Biotecnología mediante fichas de registro de datos.

3.4.2 Instrumento de Recolección de Datos (IRD)

Grinnell, Williams y Unrau (2009) citado por Hernández Sampieri, (2014) señala que un instrumento que permite medir o recolectar datos apropiado es aquel en el cual se registran información perceptible como datos que constituyen fidedignamente las variables que el investigador tiene pautado para su estudio (p. 199).

Los instrumentos que se emplearon en la presente tesis fueron las hojas o fichas de registro de datos, formatos que fueron elaborados por el investigador donde se anotará la información captada de la observación (**Tabla N°3**) y el análisis constante del comportamiento de los tratamientos a desarrollar.

Tabla N°3. Instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Instrumentos de recolección de datos
Observación y análisis	Ficha N° 1. Registro de resultados post experimentos de adsorción de cromo (VI) con paja de arroz con duplicidad. Anexo N° 02.
	Ficha N° 2: Registro de datos para hallar la cantidad de Cr (VI) retenidos por mPAHC-N o la capacidad de biosorción (q_e , mg/g). Anexo N° 03.
	Ficha N° 3: Registro de datos de concentración para hallar las isothermas y cinéticas la adsorción de Cr (VI) sobre paja de arroz a diferentes temperaturas. Anexo N° 04.
	Ficha N° 4: Registro de coeficientes y constantes para hallar ajuste de las isothermas de adsorción. Anexo N° 05.
	Ficha N° 5: Registro de coeficientes y constantes para hallar ajuste de las cinéticas de adsorción. Anexo N° 06.

Elaboración Propia.

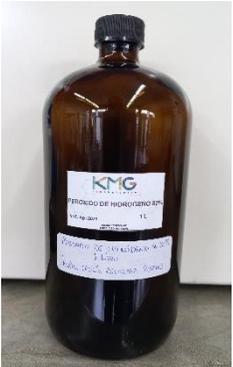
3.4.3 Equipos y reactivos

Tabla N°4. Equipos y reactivos usados en la investigación.

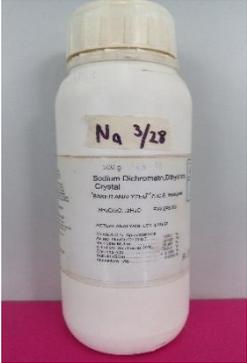
N°	NOMBRE	ESPECIFICACION	CARACTERISTICAS	USO	IMAGEN
1	Estufa Digital	Marca: Raypa Modelo: DAF 43 Serie: 53039 País: España	Este equipo trabaja con secado de convección natural de aire, a un rango de 5°C por arriba de la temperatura a condiciones de ambiente hasta 250 °C como máximo y posee temporizador programable hasta 500 horas como máximo.	Secado de paja de arroz a 70 °C.	
2	Estufa de Secado Digital	Marca: BINDER Modelo: ED 115E3 Serie: 16 -10040 País: Alemania	Es útil para tareas de secado y esterilización a una temperatura máxima de 300 °C y posee temporizador programable en min, horas y días.	Calentamiento de reactor de síntesis hidrotermal a 200°C para obtener hidrocarbón de paja de arroz.	
3	Estufa de Secado Digital	Marca: DAIHAN - KR Modelo: Thermostable OF-50 Serie: 100286516 AD005 País: Korea	Se emplea principalmente para realizar procesos de secado, esterilización, cocción, acondicionamiento, precalentamiento, entre otros. Este equipo trabaja con un rango de 5°C por arriba de la temperatura a condiciones de ambiente hasta 250 °C como máximo y posee temporizador programable hasta 99 horas y 59 min.	Secado de: hidrocarbón de paja de arroz a 70 °C, magnetizado de hidrocarbón paja de arroz a 60 °C y de nitrogenado magnetizado de hidrocarbón paja de arroz a 65 °C.	

4	Balanza Digital	Marca: OHAUS Modelo: PAJ4102 Serie: B328536055 País: EE.UU.	Balanza de precisión básica, que puede realizar una lectura mínima de 0.01 g y una lectura de 4.100 g como máximo.	Pesado de paja de arroz pre y post secado.	
5	Balanza Analítica	Marca: SARTORIUS Modelo: QUINTIX224-1S Serie: 34650280 País: Alemania	Balanza analítica con lectura de 0.0001 g hasta 220 g como máximo.	Pesado de: reactivos, hidrocarbón de paja de arroz, magnetizado de hidrocarbón paja de arroz y de nitrogenado magnetizado de hidrocarbón paja de arroz.	
6	Agitador magnético	Marca: DLAB Modelo: MS 7-H550-PRO Serie: MN6T007599 País: China	Este equipo agitador trabaja con velocidades de 100 hasta 1500 rpm, y se puede calentar hasta 550 °C como máximo. Si la temperatura a trabajar es menor a 100°C, la precisión de la lectura garantizada es de ± 1 °C.	Agitación de soluciones: Para magnetizar hidrocarbón de paja de arroz a 1100 rpm a 80°C y para dopar con nitrógeno el magnetizado de paja de arroz hidrocarbonizado mediante la urea a 200 rpm y 50 °C durante 8 horas.	

7	Centrífuga Electrónica	Marca: Boeco Modelo: SC-8 Serie: 0000398-02 País: Alemania	<p>Este equipo tiene espacio para 8 tubos de 15 ml, trabaja con velocidades de 100 rpm hasta 6000 rpm como máximo y además tiene un temporizador que es programable desde 1 hasta 99 minutos continuamente.</p>	<p>Centrifugado de soluciones: Para separar fases sólidas y líquidas del resultado de la magnetización del hidrocarbón de paja de arroz y de la nitrogenación del magnetizado de paja de arroz hidrocarbonizado, ambos con velocidad de trabajo de 5500 rpm durante 5 min por corrida.</p>	
8	Medidor portátil de pH	Marca: HANNA Modelo: HI 8424 Serie: J0050457 País: Rumania	<p>Este instrumento de respuesta rápida, mide pH y temperatura con un alto grado de precisión.</p>	<p>Medición de pH de soluciones</p>	
9	Destilador	Marca: GFL Modelo: 2002 Serie: 10806110 I País: Alemania	<p>Equipo que destila agua a una potencia de 2 litros por hora, con capacidad de reserva de 4 litros</p>	<p>Destilación de agua para emplear en los procesos pre y post experimentales del estudio.</p>	

10	Espectrofotómetro UV-Visible	Marca: Thermo Fisher Scientific Modelo: G10S UV-Vis Serie: 2L5R059149 País: EE.UU.	<p>Este equipo se puede realizar diversos experimentos empleando la zona visible del espectro, como determinación del color y mediciones de concentración entre otros.</p>	<p>Se realizaron lecturas de concentración de cromo hexavalente en aguas sintéticas pre y post experimentos.</p>	
11	Peróxido de hidrógeno al 30%	Marca: Chemilab Fórmula química: H ₂ O ₂ País: Perú	<p>Esta solución se emplea comúnmente en laboratorio como un agente oxidante en la síntesis de compuestos orgánicos y además se es usado como catalizador en reacciones químicas.</p>	<p>La solución de peróxido de hidrogeno se diluyó al 10% y se empleó para realizar proceso de hidrocarbonización en el reactor de síntesis hidrotermal.</p>	
12	Solución de Amoniaco al 25 %	Marca: Chemilab Fórmula química: NH ₃ País: Perú	<p>Esta solución se usa en el tratamiento de madera, algodón; aguas residuales; entre otros.</p>	<p>La solución de amoniaco, se utilizó en el proceso de magnetización del hidrocarbón de paja de arroz.</p>	

13	Etanol absoluto	Marca: Chemical Soluciones Fórmula química: C_2H_5OH Peso Molar: 46.07 g/mol País: Perú	<p>El etanol absoluto se emplea en la industria como solvente en técnicas analíticas, reactivo, en la síntesis de algunos productos químicos y en la preparación de soluciones y reactivos, entre otros usos.</p>	<p>El etanol se usó para realizar como último lavado en las fases de magnetización y nitrogenación de la paja de arroz.</p>	
14	Cloruro Ferroso Tetrahidratado	Marca: Chemilab Soluciones Fórmula química: $FeCl_2 \cdot 4 H_2O$ Peso Molar: 198.81 g/mol País: Perú	<p>Este reactivo, actúa como agente floculante reductor en tratamientos de aguas residuales, principalmente para aguas que poseen cromato.</p>	<p>Este reactivo se utilizó en el proceso de magnetización del hidrocarbón de paja de arroz.</p>	
15	Cloruro Férrico Hexahidratado	Marca: J.T.Baker Fórmula química: $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ Peso Molar: 270.30 g/mol País: Perú	<p>Este reactivo, se usa mayormente para tratar aguas potables y residuales, puesto que es un buen floculante.</p>	<p>Este reactivo se utilizó en el proceso de magnetización del hidrocarbón de paja de arroz.</p>	

16	Urea	Marca: Chemilab Soluciones Fórmula química: $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ Peso Molar: 60,06 g/mol País: Perú	<p>La urea tiene un alto contenido de nitrógeno a comparación de otros fertilizantes nitrogenados sólidos que se utilizan comúnmente y por eso motivo se emplea en demasía en la producción industrial.</p>	<p>Este reactivo se utilizó en el proceso de nitrogenación del hidrocarbón de paja de arroz magnetizado.</p>	
17	Dicromato de Sodio Dihidratado	Marca: J.T.Baker Fórmula química: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Peso Molar: 298 g/mol País: Perú	<p>El dicromato de Na, es usado como agente oxidante fuerte en síntesis orgánicas.</p>	<p>Este reactivo se utilizó para preparar la solución patrón de Cr+6 de 1000 mg/L.</p>	

Elaboración Propia.

3.4.3 Validación de Instrumentos

La validación de los instrumentos de esta investigación, se realizó mediante una evaluación por valoración de expertos, que tienen amplio conocimiento en la línea de investigación al cual pertenece el estudio, para que los resultados obtenidos, sean empleados de manera eficiente, aportando al servicio de la investigación y la ciencia. La evaluación se presentó a 3 expertos en el tema, los cuales calificaron todas las fichas elaboradas por el investigador para su estudio. Fue necesario que el experto realice 1 evaluación por cada instrumento de recolección de datos (**Anexo 7 al 12**).

3.5. Procedimientos

A. Recolección de Biomasa

La paja de arroz fue recolectada de la empresa “Nueva Estrella” dedicada al procesamiento de arroz, ubicada en el distrito de Camaná, provincia de Arequipa. Previo a su recolección, se verificó que la biomasa se encontrara en estado óptimo a nivel visual, para así evitar su descomposición con prontitud (**Fig. 5 y 6**).



Figura 5. Ubicación de pila de paja de arroz en la empresa “Nueva Estrella”, Camaná, Arequipa (Elaboración Propia).



Figura 6. Recolección de paja de arroz en la empresa “Nueva Estrella”, Camaná, Arequipa (Elaboración Propia).

B. Modificaciones Físico químicas de la paja de arroz

B.1 Acondicionamiento de la paja de arroz

La paja se cortó en trozos de 5 cm aproximadamente (Bhadoria, Prakash et al., 2022) para que posteriormente los procesos de lavado y secado se realicen de manera uniforme. Una vez reducido su tamaño de manera manual, la paja se lavó 4 veces con agua destilada en un recipiente limpio hasta eliminar cualquier partícula que genere suciedad (Naik R.; Kumar, M. y Narsaiah, T., 2023) (Bhadoria, Prakash et al., 2022), se escurrió en una coladera y fue colocada en bandejas metálicas distribuyéndolas en 1 capa visiblemente pareja, es decir, evitando que se aglomeren unas sobre otras. Luego, se secó en una estufa digital durante 2 horas a 70°C (Sakhiya, A.; Vijay, V. y Kaushal, P., 2023). Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar en un desecador por unos 10 minutos como mínimo y

luego se trituró en una procesadora para reducir su tamaño lo máximo posible. Finalmente se empleó un tamiz N°60 (Liu, Zhiyuan et al.,2022) para obtener partículas menores o iguales a 250 μm (**Fig. 7**), y se reservó herméticamente en bolsas ziploc.



Figura 7. Proceso de acondicionamiento de paja de arroz a tamaño de 250 μm
(Elaboración Propia).

B.2 Desarrollo de hidrocarbón (HC) a partir de paja de arroz (PA)

Para obtener el hidrocarbón de paja de arroz (**Fig. 8**), se aplicó la metodología de Khan et al., (2019) con ciertos cambios. La paja de arroz se transformó usando un reactor de síntesis hidrotermal que contiene dentro una tubería de teflón de 150 cm. de capacidad. Para ello, se pesó 5 g de PA en una balanza analítica y se agregó a la tubería de teflón, asimismo, se midió en una probeta 100 mililitros de solución de peróxido de hidrógeno al 10% y se adicionó al envase de teflón, asegurándonos que la biomasa esté sumergida en su totalidad,

y luego se selló el reactor herméticamente. Seguido a ello, se ingresó el reactor a una estufa de secado digital y se calentó a una temperatura de 200 °C por 3 horas, en condiciones de presión autógena. Pasado este tiempo, el reactor cerrado se dejó enfriar dentro de la estufa durante 4 horas. Para separar la fase sólida de la líquida se usó el método físico de decantación, en donde se trasvasó la mezcla del reactor a un vaso de precipitado de 250 mililitros, dejándolo reposar durante 6 horas, luego se separó cuidadosamente la fase líquida con una jeringa y el precipitado fue secado en una estufa durante 4 horas a 70 °C. Transcurrido el tiempo se pasó a un desecador. Por último, se pulverizó manualmente con mortero y mazo, y lo resultante se reservó en un recipiente hermético.



Figura 8. Proceso de hidrocarbonización de paja de arroz (Elaboración Propia).

B.3 Magnetización de hidrocarbón de paja de arroz (HCPA)

Para la magnetización de HCPA (Fig. 9), se aplicó la metodología de Khan et al., (2019) con algunas modificaciones.

En un matraz de Erlenmeyer de 250 mililitros de capacidad, se agregó 1 gramo de hidrocarbón de paja de arroz y 200 ml de agua desionizada, y se mezcló en un agitador magnético a 100 rpm durante 10 min a condiciones de temperatura ambiente. Seguidamente, se añadió 2.36 gramos de cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y 1.18 gramos de cloruro ferroso tetrahidratado ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) a una velocidad de 100 rpm calentando la mezcla hasta 80 °C durante 30 minutos en atmósfera de gas nitrógeno. Transcurrido el tiempo, con una pipeta se adicionó gota a gota 40 mililitros de solución de amoníaco al 25% incrementando su velocidad de agitación hasta 1100 rpm manteniendo la temperatura a 80 °C durante 20 minutos adicionales. Culminado el procedimiento, la mezcla se trasvasó a un vaso de precipitado de 250 mililitros al cual previamente se le colocó un imán de manera externa para que el sólido precipite en el fondo del recipiente. Se dejó reposar durante 15 minutos como mínimo. Posteriormente, se separó la fase líquida con una jeringa, teniendo precaución de que ninguna partícula del híbrido negro se vuelva a mezclar con el líquido que se está desechando. Este precipitado negro se lavó 3 veces con 100 mililitros de agua libre de iones y se separó en una centrifuga a 5500 rpm durante 15 minutos en tubos de falcon. El líquido separado fue desechado, repitiendo el procedimiento hasta obtener un pH neutro. Continuando, el sólido negro se enjuagó 2 veces con etanol, agregando 3ml a cada tubo de falcon, se homogenizó y se centrifugó a 5500 rpm por 15 min, separando en un recipiente el líquido residual. Por último, los tubos que contienen el sólido de color marrón oscuro fueron colocados en una rejilla y se ingresó a una estufa para su secado a una temperatura de 60 °C por 2 horas como mínimo.



Figura 9. Proceso de magnetización del hidrocarbón de paja de arroz (Elaboración Propia).

B.4 Dopaje con nitrógeno del hidrocarbón magnético de paja de arroz (HCPAm)

Para el procedimiento de dopaje con nitrógeno del HCPAm (Fig. 10), se aplicó las técnicas de Khan M. et al., (2019) bajo modificaciones. Para introducir agentes que contienen nitrógeno sobre la superficie de HCPAm, se empleó un agitador magnético y una barra magnética de 60mm, el cual se colocó dentro de un vaso de precipitado de 1 L. Allí se introdujo 45 g de urea (NH_2CONH_2), 900 ml de agua destilada y 9 g de HCPAm, y se disolvió a 200 rpm durante 8 horas a una temperatura de 50°C . Pasado el tiempo, el vaso de precipitado se le colocó encima de un magneto y se dejó reposar durante 30 minutos hasta que el sólido magnetizado de la mezcla se haya precipitado completamente. Luego, la fase líquida se retiró cuidadosamente con una jeringa, y al HCPAm dopado con nitrógeno se lavó 3 veces con 200 ml de agua destilada para eliminar los excedentes de urea que no hayan

reaccionado en el proceso, adicional a ello, también fue lavado 2 veces con etanol. Culminando, el HCPAm-N fue secado en estufa a 65 °C por unas 8 h.

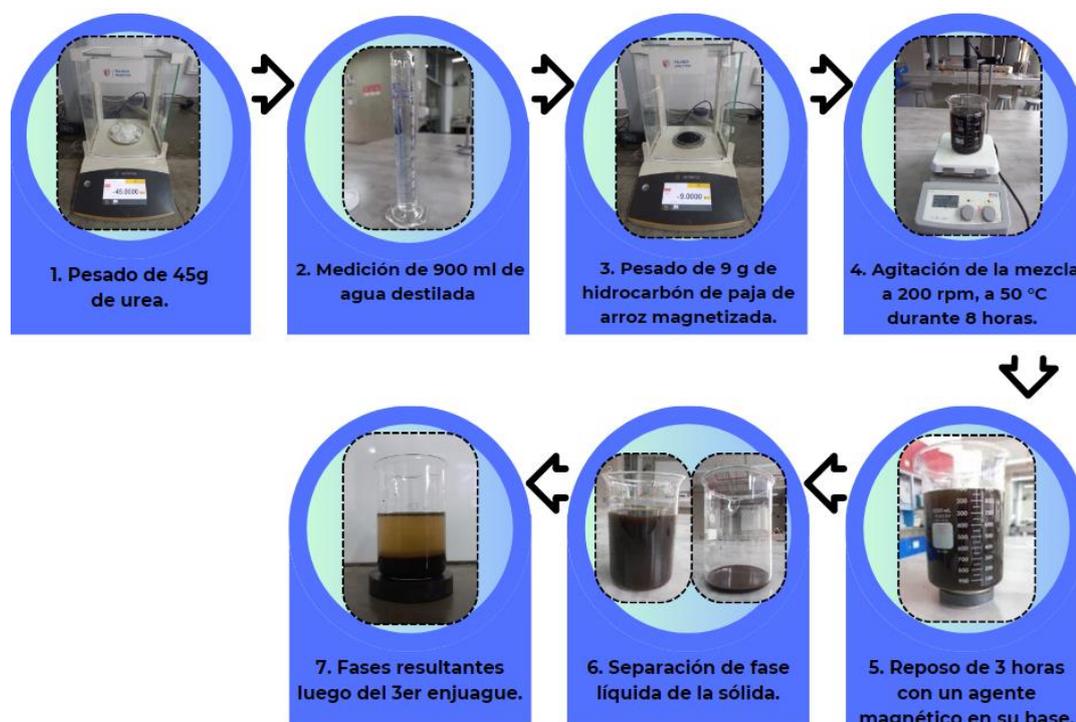


Figura 10. Proceso de nitrogenación del hidrocarbón de paja de arroz magnetizado (Elaboración Propia).

C. Experimentos de adsorción

C.1 Preparación de soluciones sintéticas de Cr (VI)

Antes de iniciar con los experimentos de adsorción, se necesitó preparar una solución madre de 1000 mg/L de Cr (VI), para ello, se realizaron los siguientes cálculos:

Datos:

Peso molecular del $K_2Cr_2O_7$: 294.185 g/mol
 Peso molecular del Cr: 51.9961 g/mol

Desarrollo:

$Cr_2 \rightarrow 1g \rightarrow 103.9922 gK_2Cr_2O_7$
 $X_1 \rightarrow 294.185 g$

$$X_1 = \frac{1 \text{ g de Cr}_2 \times 294.185 \text{ g de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{103.9922 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$X_1 = 2.8289 \text{ g de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$$

Según los cálculos realizados, para obtener una concentración de 1000 mg/L de Cr 6+, se necesitó pesar 2.8289 g de K₂Cr₂O₇, el cual fue disuelto en 1 litro de agua destilada, y fue reservado en un envase adecuado y en condiciones de refrigeración para conservar sus propiedades.

Por otra parte, para preparar las diluciones de 25, 200 y 400 mg/L, se añadieron 25 ml, 200 ml y 400 ml de la solución patrón en fioles de 1 litro respectivamente, aforando con agua destilada (**Fig. 11**).

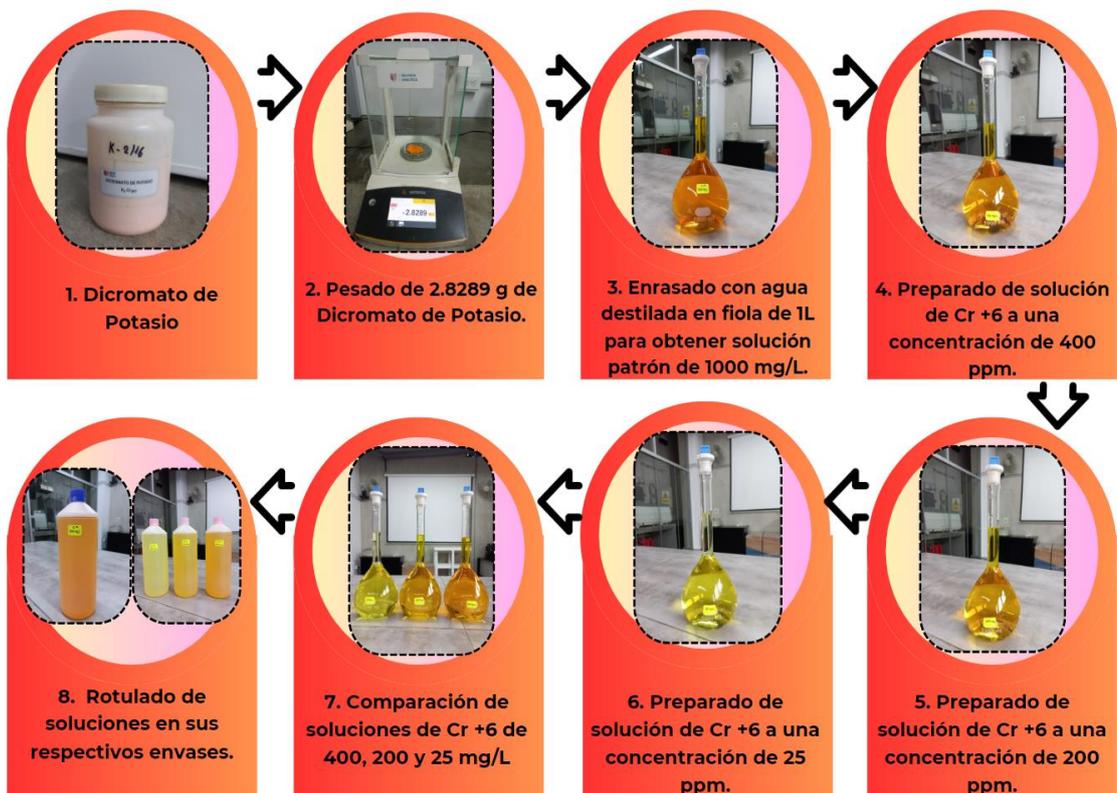


Figura 11. Preparación de solución madre de 1000 ppm de Cr +6 y de diluciones de 400, 200 y 25 mg/L (Elaboración Propia).

C.2 Generación de la curva de calibración de Cr (VI):

- **Preparación de solución hija patrón**

Para la curva de calibración se preparó una solución estándar de 5 mg/L a partir de la solución patrón de 1000 mg/L. El volumen requerido se calculó de la siguiente manera:

Datos:

Concentración de solución patrón	(C ₁): 1000mg/L
Volumen de solución patrón	(V ₁): ?
Concentración de solución estándar	(C ₂): 5 mg/L
Volumen de solución estándar	(V ₂): 100 ml

Desarrollo:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 5 \text{ mg/L} \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{5 \text{ mg/L} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ ml}$$

$$V_1 = 500 \mu\text{l}$$

Según lo calculado, para preparar la solución estándar de 5 mg/L de concentración de Cr (VI), se necesitó una alícuota de 500 microlitros de la solución patrón de 1000 mg/L, que se agregó a una fiola de 100 ml de capacidad y fue aforada con agua destilada.

- **Preparación de soluciones para la curva de calibración**

Para elaborar la curva de calibración (**Fig. 13**), se tuvo que preparar una solución estándar de 5 mg/L y una solución ácida

de difenilcarbazida que se realizó mediante APHA-AWWA-WEF (2012) método 3500-Cr B. Seguidamente, se trasvasaron alícuotas de la solución estándar de 5 mg/L a 10 fioles de 50 ml que fueron rotuladas con códigos de I al X, con volúmenes de 0.25 ml hasta 8 ml para preparar soluciones con concentraciones oscilantes de 0.025 mg/L a 0.8 mg/L respectivamente (**Tabla N°5**). Una vez introducida las cantidades mencionadas a las fioles, se agregó agua destilada para homogenizar el medio sin llegar a enrasar, luego se añadió 2.5 ml de la solución ácida de difenilcarbazida a cada una de ellas y se terminó de aforar hasta los 50 ml con agua libre de iones. Asimismo, en otra fiola de 50 ml, se añadió 2.5 ml de difenil y se enrasó solo con agua destilada, lo que servirá como blanco testigo para las lecturas (**Fig. 12**).

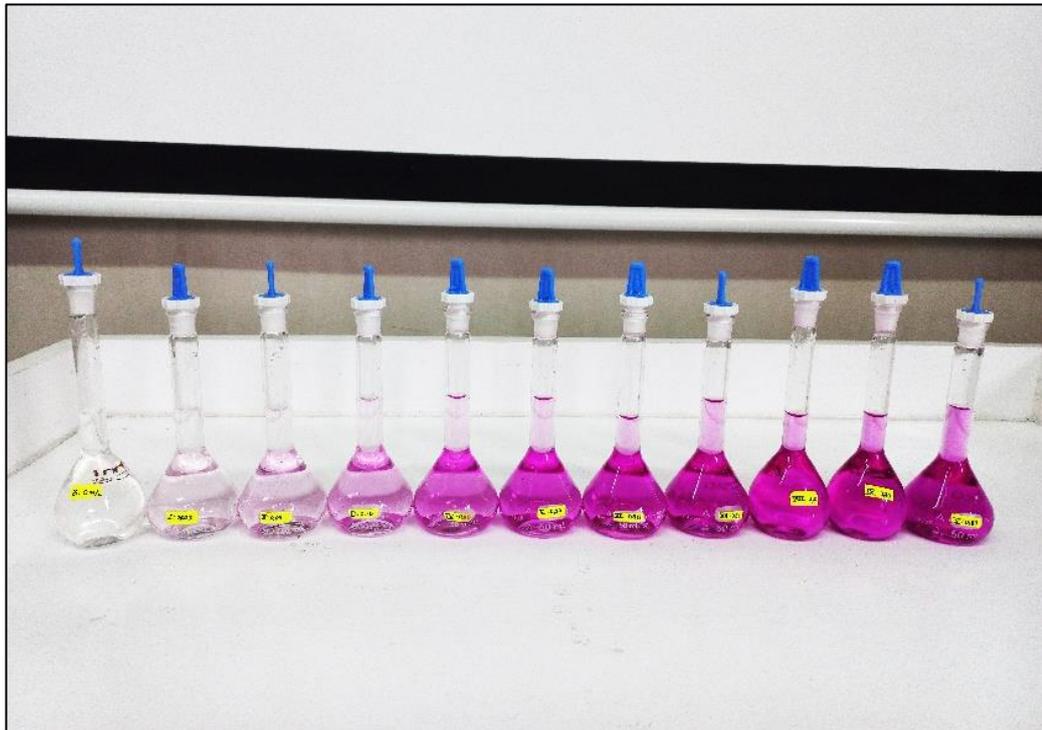


Figura 12. Preparación de soluciones de Cr (VI) para la generación de la curva de calibración (Elaboración Propia).

Tabla N°5. Valores de curva de calibración para la determinación de cromo hexavalente en el Espectrofotómetro UV-Visible

Código	Concentración (mg/L)	Solución hija de 5mg/L (ml)	Solución ácida de difenilcarbazida (ml)	Agua D.I. (ml)	Absorbancia
B	0	0	2.5	47.50	0
I	0.025	0.25	2.5	47.25	0.029
II	0.05	0.50	2.5	47.00	0.044
III	0.10	1	2.5	46.50	0.069
IV	0.20	2	2.5	45.50	0.130
V	0.30	3	2.5	44.50	0.193
VI	0.40	4	2.5	43.50	0.258
VII	0.50	5	2.5	42.50	0.323
VIII	0.60	6	2.5	41.50	0.372
IX	0.70	7	2.5	40.50	0.437
X	0.80	8	2.5	39.50	0.488

Elaboración Propia.

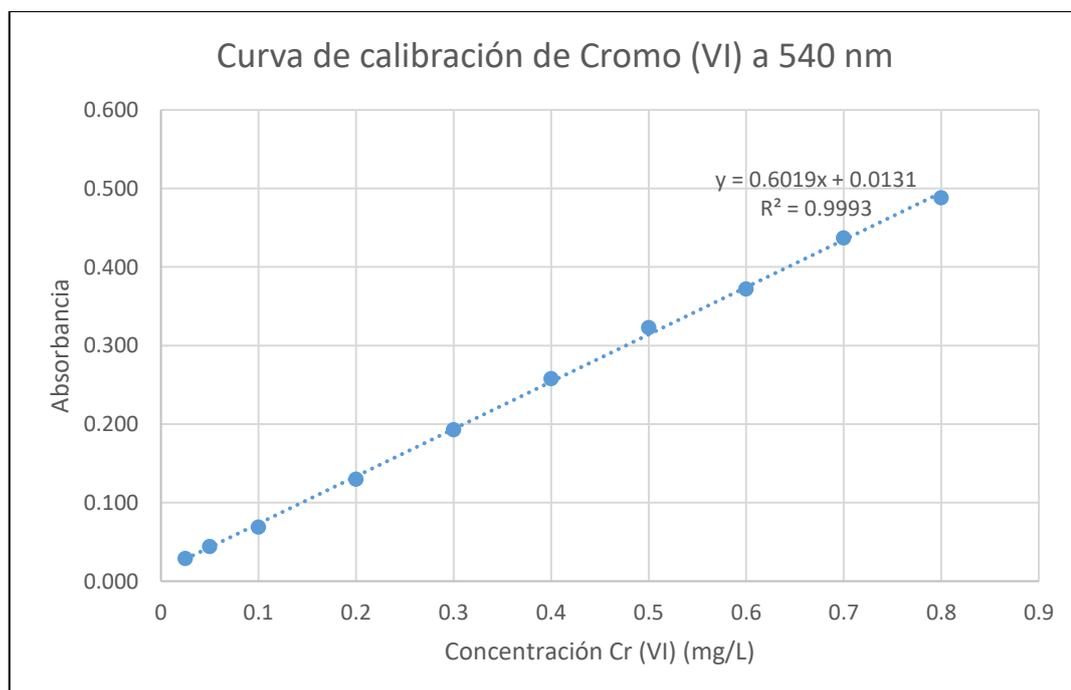


Figura 13. Gráfica de la ecuación lineal de la curva de calibración de Cr (VI) (Elaboración Propia).

Interpretación de la ecuación lineal:

Sea:

$$y = mx + b$$

Dónde:

x = concentración de la muestra en mg/L

y = absorbancia de la muestra

m = pendiente de la recta = 0.6019

a = intercepto = 0.0131

De los datos obtenidos de la curva de calibración, se identificaron los elementos de la ecuación, como el valor de la pendiente ($m = 0.6019$), el valor del intercepto ($a = 0.0131$) y además se obtuvo el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9993$), valor muy cercano a 1, lo cual justifica la linealidad de la ecuación. Estos valores fueron reemplazados en la fórmula " $x = (y - a) / m$ ", donde la absorbancia está definida por "y", y el valor de la concentración es "x" en unidades de mg/L, Para obtener los valores finales de concentración de las muestras analizadas, a "x" se le multiplicó por el factor dilución correspondiente a cada una de las lecturas.

C.3 Determinación de las condiciones óptimas

Para determinar las mejores condiciones para la remoción de Cr (VI) en agua sintética mediante el adsorbente modificado de paja de arroz, se realizaron experimentos basados en el diseño ortogonal de Taguchi (L27) (**Tabla N°2**) donde se evaluaron 5 factores controlables de 3 niveles cada uno y con 2 repeticiones, dando un total de 54 experimentos (**Fig. 14**). Estos experimentos se prepararon en vasos de precipitado de 50 ml de capacidad, en donde se colocó 25 mililitros de solución de Cr (VI) con concentración inicial de 25 mg/L, 200 mg/L y 400 mg/L, la cual previamente se ajustó con ácido clorhídrico a 1M (HCl) y con hidróxido de sodio a 1M (NaOH) para obtener pHes iniciales de 2, 7 y 10, añadiendo dosis de 0.01 g, 0.025 g, 0.05 g de HCPAm-N, a un tiempo de contacto de 1 min, 120 min y 240 min, con temperaturas de 25 C°, 35 C° y 45 C°, empleando

un agitador magnético de temperatura controlable y una barra magnética de 10 mm, con una velocidad de agitación de 200 rpm. Culminado el tiempo, se retiró la barra magnética del vaso de precipitado con un agente magnético externo.

Posteriormente, para separar las fases, los vasos de precipitados se dejaron en reposo durante 15 minutos encima de un magneto, lo cual permitió separar la mayor parte de sólidos de la solución. Para terminar de separar totalmente los sólidos de la solución, la fase líquida se colocó en tubos de falcon, y se centrifugaron durante 45 min a una velocidad de 5500 rpm. Culminado el tiempo, se reservó la fase líquida en recipientes debidamente rotulados y se mantuvo en refrigeración para su posterior análisis (Fig. 15).

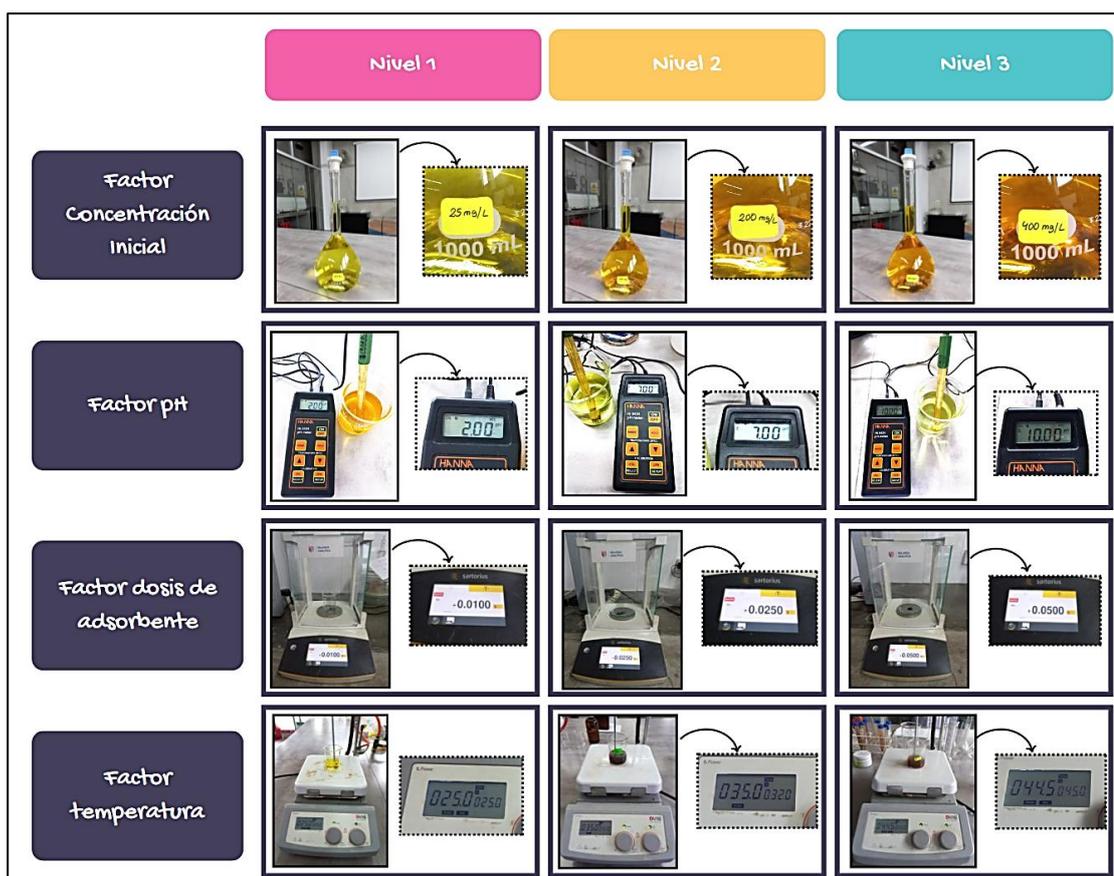


Figura 14. Factores: concentración inicial, pH, dosis de adsorbente y temperatura con sus respectivos niveles para el proceso de experimentación (Elaboración Propia).



Figura 15. Muestras post experimentos colocados en envases para su posterior análisis
(Elaboración Propia).

Para hallar la concentración residual de Cr^{6+} en medio acuoso, se calculó mediante espectrofotometría UV Visible (**Fig. 16**) con solución ácida de difenilcarbazida a 540 nm (Cao et al., 2022).



Figura 16. Lectura de muestras en el espectrofotómetro UV-Visible (Elaboración Propia).

C.3 Determinación de los estudios de adsorción

Para hallar los modelos de isothermas y cinéticas de adsorción se siguió la metodología de Khan et al., (2019) con modificaciones. En primer lugar, en vasos de precipitados de 50 ml de capacidad se colocaron 25 mililitros de la solución de Cr (VI) a concentraciones iniciales de 25, 50, 75, 100, 150, 200 y 250 mg/g con pH 2 y se agregó 0.025 g del adsorbente, a una velocidad de agitación de 200 rpm en todos los casos a tiempos de contacto de (1, 5, 10, 30, 60, 120 y 180 min) a una temperatura de 45 C° y por duplicado. Teniendo los resultados, estos se graficaron las ecuaciones las isothermas de Langmuir y Freundlich, y las cinéticas de pseudo primer y segundo orden.

3.6. Método de análisis de datos

Para analizar la concentración inicial y final de la solución que contiene cromo hexavalente, se empleó el método instrumental de la espectrofotometría UV Visible a 540 nm con difenilcarbazida. Estadísticamente se efectuó un análisis de diseño Taguchi en el programa Minitab 21 para los datos resultantes del diseño experimental planteado y la influencia de cada uno de los factores en la eficiencia de la remoción del Cr (VI). Para graficar los modelos isotérmicos de adsorción y los modelos de cinética, fue necesario usar el software de Microsoft Excel de Office 16.

3.7. Aspectos éticos

Como futuro egresado de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental, me comprometo a respetar y ceñirme al código de ética de mi casa de estudios, que por resolución del consejo universitario N° 0470-2022/UCV, denominada: Código de Ética en Investigación de la Universidad César Vallejo, el cual tiene como objetivo de fomentar la integridad a nivel científico de los estudios investigativos que son ejecutados en el ámbito universitario, desempeñando un alto rigor científico, con sentido de honestidad y responsabilidad, asegurando conocimiento científico fidedigno, y protegiendo los derechos de los autores y la propiedad intelectual de los investigadores y otros partícipes, esto quiere decir que en el proceso investigación, debemos ser conscientes de las limitaciones a nivel de conocimientos, puesto que de esa manera evitaremos en el plagio. El mantener la independencia durante la investigación científica, es importante, puesto que, al no dejarnos influenciar por situaciones irrelevantes nuestra investigación, transmitimos confianza y credibilidad de los resultados obtenidos.

Para la redacción de la presente tesis, se tuvo como referencia la ISO 690 que nos da un alcance de cómo realizar correctamente las citaciones y referencias de las fuentes de investigación. Así mismo, para asegurar la originalidad y autenticidad, el estudio se evaluó previamente en el software

Turnitin, para autenticar que no se está duplicando parcialmente o la totalidad del contenido.

Por último, como futura profesional ambiental, la prioridad está en salvaguardar el medio ambiente y la biodiversidad. Ello debe reflejarse mediante el buen uso, cuidado y gestión de los recursos renovables y no renovables, y el correcto manejo de los residuos generados durante la investigación.

IV. RESULTADOS

OE1: Analizar las modificaciones físico-químicas que se realizarán a la paja de arroz para su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.

Para la elaboración del adsorbente de paja de arroz, se realizaron 4 modificaciones, los cuales se detallan a continuación:

Acondicionamiento de la paja de arroz

La paja fue cortada en trozos de 5 cm aprox., luego se lavó con agua destilada, se escurrió en una coladera, fue colocada en bandejas metálicas distribuyéndolas uniformemente y se secó en una estufa digital durante 2 horas a 70°C. Luego se dejó enfriar en un desecador por unos 10 minutos y posteriormente se trituró en una procesadora para reducir su tamaño. Finalmente se tamizó para obtener partículas menores a 250 μm (**Fig. 7**).

El proceso de molienda se realizó 6 veces a lo cual se tuvo un rendimiento promedio del 98.70% (**Tabla N°6**). Para el tamizaje, se realizó 15 veces el procedimiento, puesto que, el rendimiento en cada proceso era menor a lo esperado y se tenía que reprocesar la merma que no cumplía con el tamaño de la malla. En total se obtuvo 203.36 gramos de paja de arroz, con un rendimiento promedio de 27.01 % (**Tabla N°7**).

Tabla N°6. Rendimiento del proceso de molienda de la paja de arroz

Número de procesos	Peso inicial de paja (gramos)	Peso de paja molida (gramos)	Rendimiento
1	32.15	32.1	99.84%
2	33.00	32.99	99.97%
3	37.25	37.07	99.52%
4	25.98	25.86	99.54%
5	63.24	61.33	96.98%
6	33.45	32.22	96.32%
Rendimiento Promedio			98.70%

Elaboración propia.

Tabla N°7. Rendimiento del proceso de tamizaje de la paja de arroz y cantidad total de paja tamizada.

Número de procesos	Peso de paja molida (gramos)	Peso final de paja tamizada (gramos)	Rendimiento
1	32.10	10.22	31.84%
2	32.99	5.45	16.52%
3	37.07	14.16	38.20%
4	25.86	11.22	43.39%
5	61.33	14.45	23.56%
6	32.22	8.09	25.11%
7	49.31	9.68	19.63%
8	62.92	15.26	24.25%
9	62.36	11.40	18.28%
10	97.61	19.38	19.85%
11	102.69	28.80	28.05%
12	73.89	22.03	29.81%
13	51.86	16.40	31.62%
14	35.46	9.11	25.69%
15	26.34	7.71	29.27%
Peso total		203.36	-
Rendimiento Promedio		-	27.01%

Elaboración propia.

Desarrollo de hidrocarbón (HC) a partir de paja de arroz (PA)

La paja de arroz se transformó en hidrocarbón empleando un reactor de síntesis hidrotermal de 150 cm³ de capacidad. En la tubería de teflón se ingresó 5 g de paja de arroz y se agregó 100 mililitros de solución de peróxido de hidrógeno al 10%, luego se selló el reactor herméticamente. Seguido a ello, el reactor se colocó en una estufa a 200 °C durante 3 horas. Se dejó enfriar durante 4 horas. La mezcla se dejó reposar durante 6 horas y se separó cuidadosamente la fase líquida, y se secó en estufa el precipitado sólido (**Fig. 17**).



Figura 17. Separación de fases hasta la obtención de sólido de hidrocarbón de paja de arroz
(Elaboración Propia).

El rendimiento total del hidrocarbón de paja de arroz con respecto a la paja inicial introducida al reactor fue del 37.11% (**Tabla N°8**), es decir, para obtener 50 gramos de HCPA se realizaron 27 veces el proceso de hidrocarbonización y se empleó 135 gramos de paja de arroz pulverizada de 250 μm .

Tabla N°8. Rendimiento del proceso de hidrocarbonización de la paja de arroz y cantidad total de hidrocarbón producido.

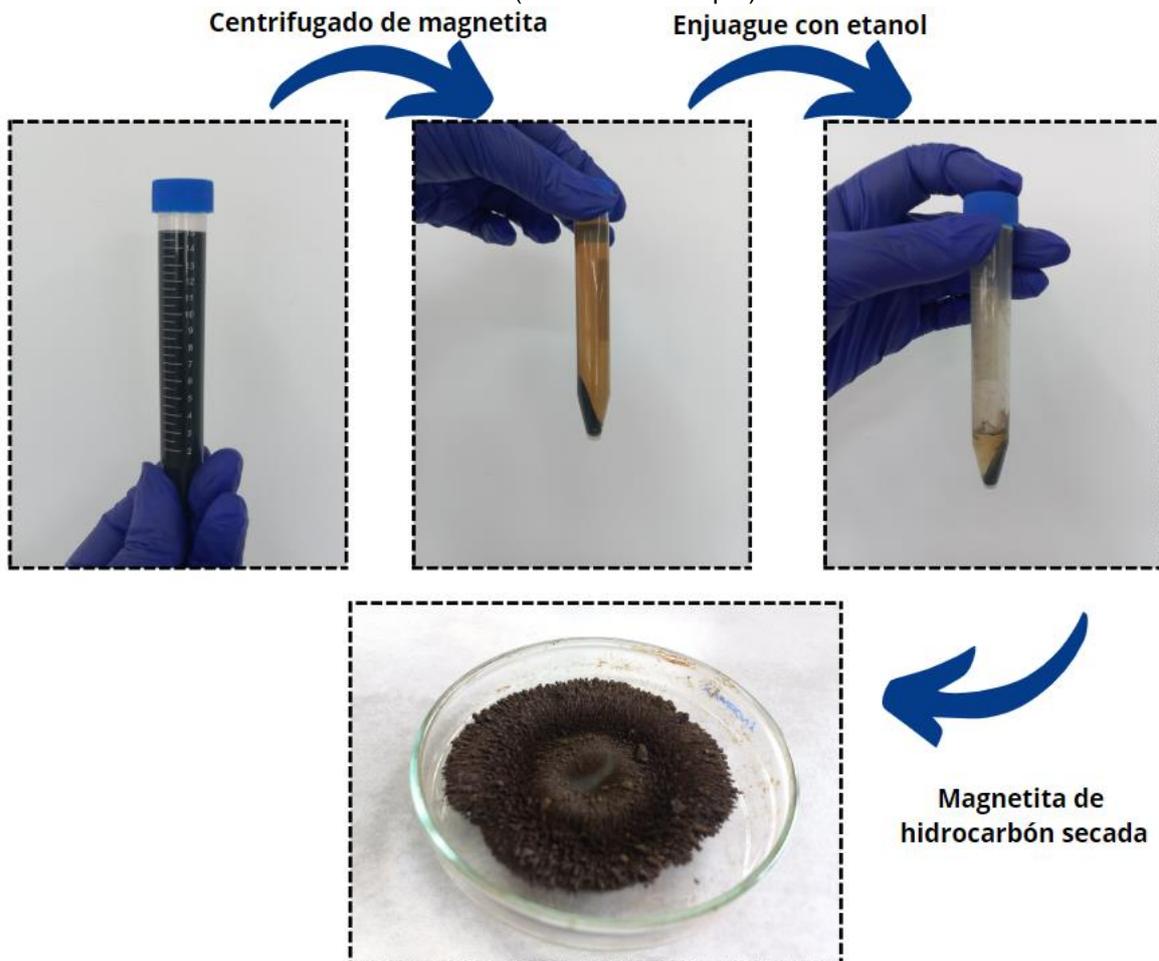
Número de veces	Peso inicial de paja tamizada (gramos)	Peso final de hidrocarbón (gramos)	Rendimiento
1	5.00	1.76	35.20%
2	5.00	1.81	36.20%
3	5.00	1.84	36.80%
4	5.00	1.88	37.60%
5	5.00	1.89	37.80%
6	5.00	1.83	36.60%
7	5.00	1.87	37.40%
8	5.00	1.81	36.20%
9	5.00	1.82	36.40%
10	5.00	1.91	38.20%
11	5.00	1.89	37.80%
12	5.00	1.86	37.20%
13	5.00	1.92	38.40%
14	5.00	1.88	37.60%
15	5.00	1.81	36.20%
16	5.00	1.84	36.80%
17	5.00	1.78	35.60%
18	5.00	1.80	36.00%
19	5.00	1.87	37.40%
20	5.00	1.83	36.60%
21	5.00	1.91	38.20%
22	5.00	1.88	37.60%
23	5.00	1.86	37.20%
24	5.00	1.90	38.00%
25	5.00	1.91	38.20%
26	5.00	1.87	37.40%
27	5.00	1.88	37.60%
Suma total		50.11	-
Rendimiento Promedio		-	37.12%

Elaboración propia.

Magnetización de hidrocarbón de paja de arroz (HCPA)

En este procedimiento se trabajó en una cámara de gases. Se empleó 1 gramo de hidrocarbón y 200 ml de agua destilada con 2.36 gramos de cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y 1.18 gramos de cloruro ferroso tetrahidratado ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) que fueron calentados hasta $80\text{ }^\circ\text{C}$ en atmósfera de N_2 . Luego se adicionó 40 mililitros de solución de amoníaco al 25%. Culminado el procedimiento, la mezcla se trasvasó a un vaso y se le colocó debajo un imán para que el sólido precipite de manera más rápida. Posteriormente, se separó la fase líquida de la sólida. El precipitado se lavó 3 veces con agua destilada y se separó en una centrifuga en tubos de falcon. Continuando, el sólido se enjuagó 2 veces con etanol, y se terminó de separar. El precipitado fue secado a $60\text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas como mínimo (**Fig. 18**).

Figura 18. Separación de fases hasta la obtención de sólido magnetizado de hidrocarbón de paja de arroz (Elaboración Propia).



El rendimiento total del proceso de magnetizado de hidrocarbón de paja de arroz respecto al hidrocarbón introducido al inicio fue del 200. 56% en promedio (**Tabla N°9**), es decir, que como mínimo se duplica el peso al término de cada procedimiento. Para obtener 50 gramos de HCPA magnetizada se empleó 25 gramos de hidrocarbón de paja de arroz pulverizada.

Tabla N°9. Rendimiento del proceso de magnetización del hidrocarbón de paja de arroz y cantidad total de magnetizado producido.

Número de veces	Peso inicial de hidrocarbón (gramos)	Peso final de magnetizado (gramos)	Rendimiento
1	1.00	1.94	194.00%
2	1.00	2.05	205.00%
3	1.00	1.96	196.00%
4	1.00	1.98	198.00%
5	1.00	2.00	200.00%
6	1.00	1.97	197.00%
7	1.00	2.04	204.00%
8	1.00	1.97	197.00%
9	1.00	1.99	199.00%
10	1.00	1.98	198.00%
11	1.00	2.03	203.00%
12	1.00	2.01	201.00%
13	1.00	2.05	205.00%
14	1.00	2.03	203.00%
15	1.00	1.99	199.00%
16	1.00	2.01	201.00%
17	1.00	2.08	208.00%
18	1.00	2.06	206.00%
19	1.00	1.96	196.00%
20	1.00	1.98	198.00%
21	1.00	2.05	205.00%
22	1.00	1.99	199.00%
23	1.00	1.97	197.00%
24	1.00	2.01	201.00%
25	1.00	2.04	204.00%
Suma total		50.14	-
Promedio		-	200.56%

Elaboración propia.

Dopaje con nitrógeno del hidrocarbón magnético de paja de arroz

En esta última modificación, se empleó un agitador magnético y una barra magnética de 60mm. En un vaso de precipitado de 1 L se agregó 45 g de urea (NH_2CONH_2), 900 ml de agua destilada y 9 g de HCPAm, y fue disuelta a 200 rpm durante 8 horas a 50° C. Culminado el tiempo, el vaso se colocó encima de un magneto durante 30 minutos. Luego, la fase líquida se retiró cuidadosamente y el sólido fue lavado 3 veces con agua destilada, asimismo, fue lavado 2 veces con etanol. Por último, el HCPAm-N fue secado en estufa a 65 °C por 8 horas.

El rendimiento promedio del proceso de nitrogenación fue en total del 100%. Adicional a ello, se pudo observar un cambio de textura que tuvo el magnetizado después de haberlo dopado con nitrógeno, puesto que se sentía más suave al momento de pulverizarla que a la magnetita generada en el paso anterior. Este cambio se debe principalmente a que la urea contiene grupos amida y puede formar enlaces de hidrógeno, lo que altera las propiedades mecánicas de la magnetita.

OE2: Determinar las condiciones de operación que optimizan la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.

Una vez realizada las lecturas de absorbancias en el espectrofotómetro UV-Visible, estas fueron reemplazadas en la ecuación lineal que se generó de la curva de calibración, ello para obtener un valor de concentración. Seguidamente, a este valor se le multiplicó por el factor de dilución de cada muestra para obtener la concentración final real de las muestras problema. Finalmente, con este resultado se calculó el porcentaje de remoción de Cr (VI) (**Tabla N°10**), el cual fue necesario para analizar el diseño de Taguchi en Minitab y obtener tanto de la respuesta de señal de ruido y para medias de los factores respecto al porcentaje de remoción (**Tabla N°11 y 12**), como gráficos correspondientes al diseño (**Fig. 19 y 20**).

Tabla N°10. Datos de porcentaje de remoción de Cr (VI) calculado a partir de los experimentos del diseño de Taguchi (L27).

FACTORES DE DISEÑO DE TAGUCHI					Porcentaje de Remoción (%):
Concentración inicial (mg/L) (Ci) Teórica	Dosis de adsorbente (g)	Tiempo de contacto (min)	pH de la solución	Temperatura (C°)	
25	0.010	1	2	25	13.44%
25	0.010	1	2	35	21.66%
25	0.010	1	2	45	27.26%
25	0.025	120	7	25	1.75%
25	0.025	120	7	35	3.85%
25	0.025	120	7	45	6.30%
25	0.050	240	10	25	5.36%
25	0.050	240	10	35	12.87%
25	0.050	240	10	45	15.73%
200	0.010	120	10	25	6.33%
200	0.010	120	10	35	7.32%
200	0.010	120	10	45	8.50%
200	0.025	240	2	25	20.52%
200	0.025	240	2	35	28.64%
200	0.025	240	2	45	31.85%
400	0.010	240	7	25	1.97%
400	0.010	240	7	35	6.10%
400	0.010	240	7	45	7.09%
400	0.050	120	2	25	19.40%
400	0.050	120	2	35	22.44%
400	0.050	120	2	45	27.01%

Elaboración propia.

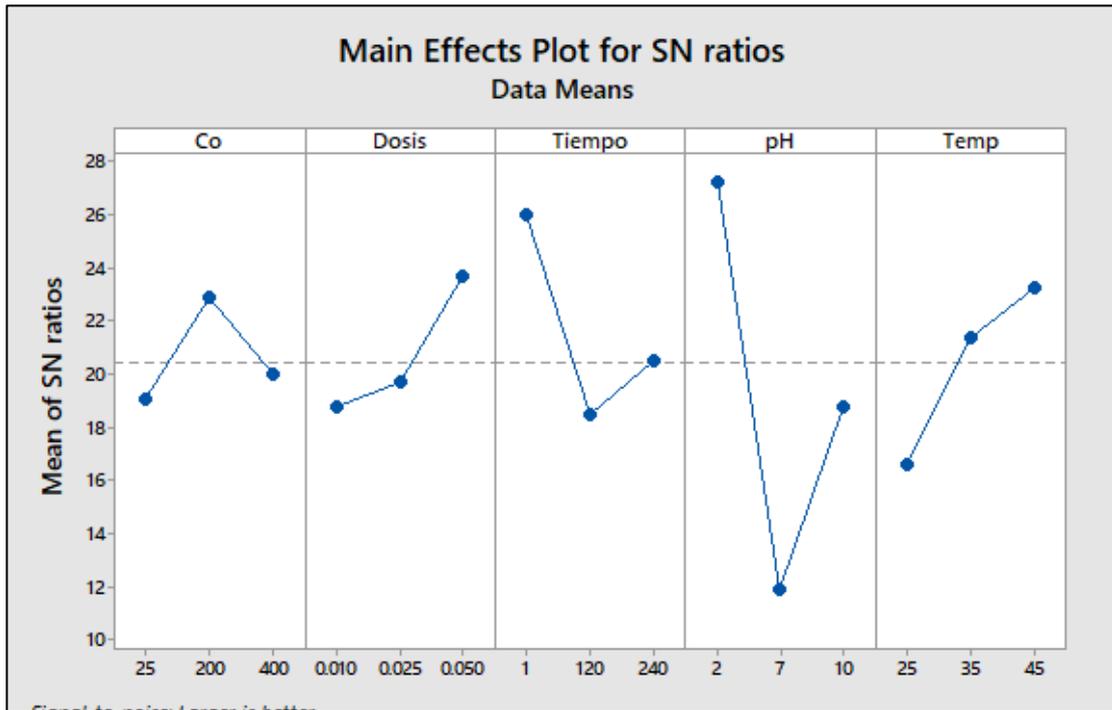


Figura 19. Gráfica de efectos principales para relaciones señal ruido: a más grande mejor (Elaboración Propia).

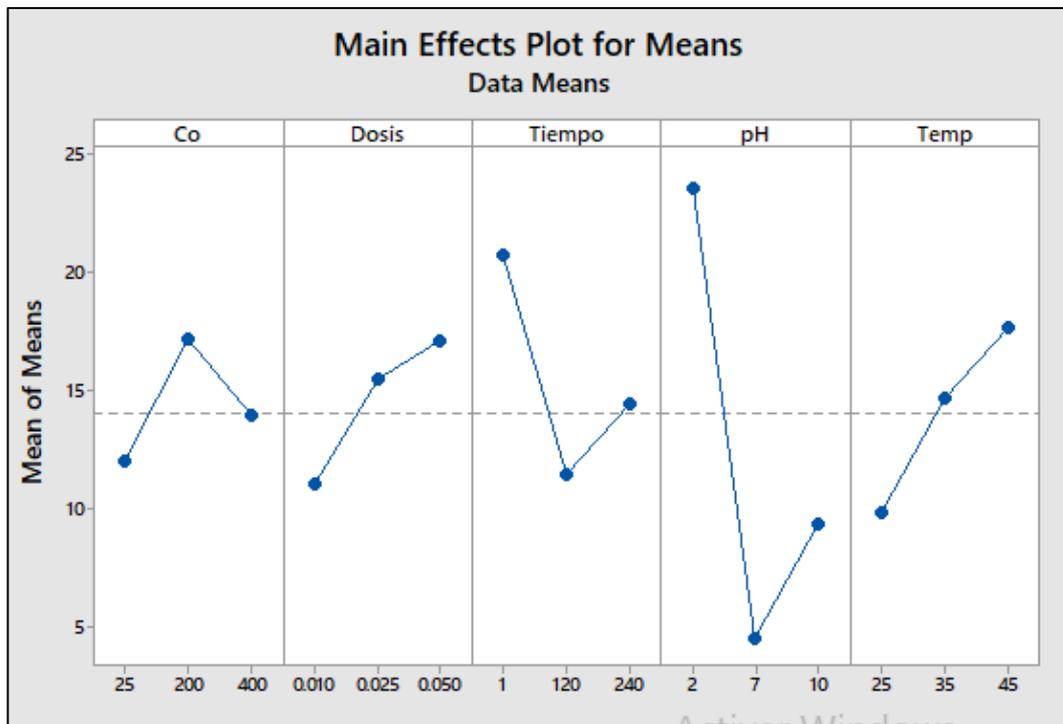


Figura 20. Gráfica de efectos principales para medias de datos (Elaboración Propia).

En las **Figuras 19 y 20**, se puede observar que en algunos de los factores de los gráficos tienen una pendiente similar, y esto se refleja en los factores que tienen mayor pendiente: el pH y el Tiempo, esto significa que al ser manipuladas influyen más sobre el porcentaje de remoción de cromo hexavalente. Es por ello, que para maximizar la robustez es recomendable emplear el menor valor del factor de pH (2), y el menor valor del factor tiempo (1 min). Asimismo, para temperatura se debería considerar trabajar con su valor más alto que sería 45°C.

Tabla N°11. Tabla de respuesta para relaciones de señal a ruido “Más grande es mejor” del análisis de método Taguchi (L27)

Level	Co	Dosis	Tiempo	pH	Temp
1	19.03	18.72	26	27.2	16.56
2	22.89	19.67	18.43	11.86	21.4
3	20	23.69	20.53	18.77	23.28
Delta	3.86	4.96	7.57	15.34	6.71
Rank	5	4	2	1	3

Elaboración propia.

Tabla N°12. Respuesta para medias del análisis de método Taguchi (L27)

Level	Co	Dosis	Tiempo	pH	Temp
1	12.024	11.074	20.787	23.58	9.824
2	17.193	15.485	11.433	4.51	14.697
3	14.002	17.135	14.459	9.352	17.677
Delta	5.169	6.061	9.353	19.07	7.853
Rank	5	4	2	1	3

Elaboración propia.

En las **Tablas N° 11 y 12**, se puede constatar que el factor pH provoca una mayor variación en el porcentaje de remoción de Cr (VI) por el adsorbente de paja de arroz modificada, y esto está expresado por el valor del estadístico Delta, el cual tiene el mayor valor en pH, y según su clasificación, este sería el factor más significativo, seguido del tiempo. Es decir, si se quiere tener mejores resultados, se debería priorizar esta variable. Cabe

resaltar que los valores de las tablas de respuesta para relaciones de señal ruido y de respuesta para medias tiene una clasificación muy similar.

OE3: Hallar el modelo de cinética de adsorción que se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética. La cinética de adsorción fue estudiada según los modelos de Pseudo 1er y 2do orden (**Fig. 21 y 22**), los cuales sirven para explicar el mecanismo de adsorción a través del tiempo de equilibrio y la capacidad de adsorción del adsorbente, dando un pronóstico importante del mismo (Kumar, P. y Chauhan, M., 2019).

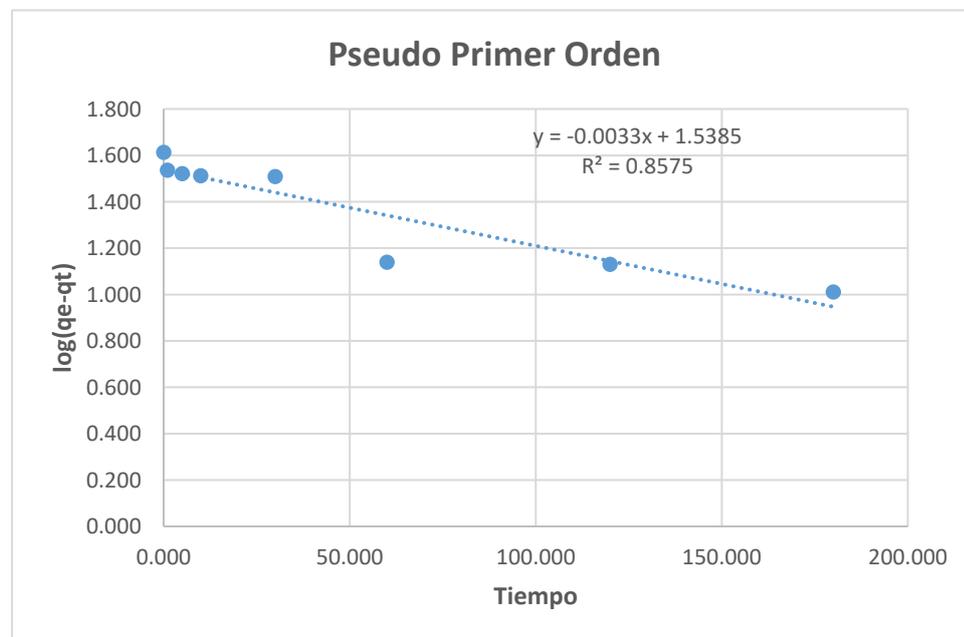


Figura 21. Cinética de pseudo primer orden de la adsorción de Cr (VI) respecto a tiempos de contacto entre 1 y 180 minutos (Elaboración Propia).

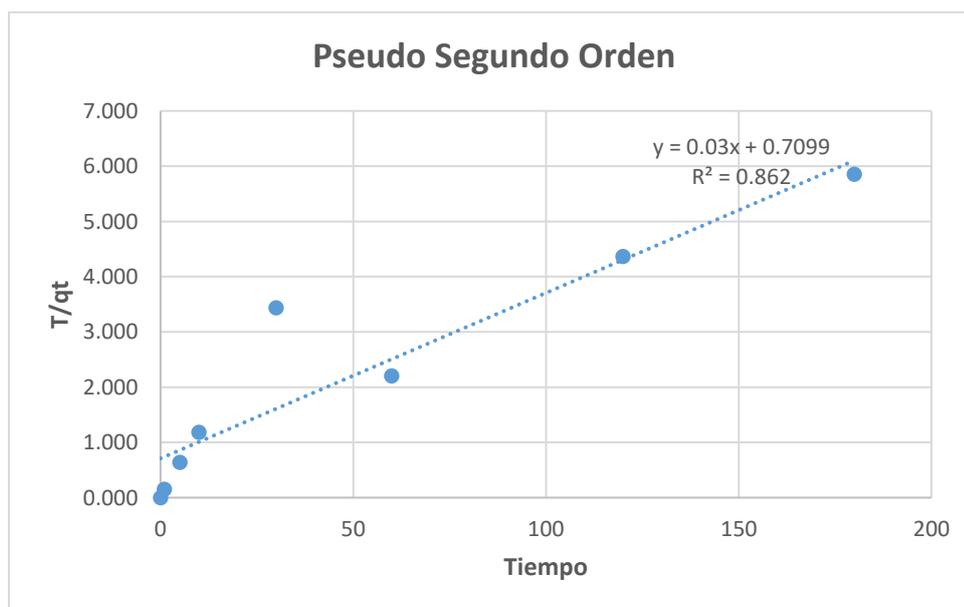


Figura 22. Cinética de pseudo segundo orden de la adsorción de Cr (VI) respecto a tiempos de contacto entre 1 y 180 minutos (Elaboración Propia).

OE4: Hallar el modelo de isoterma de adsorción que representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.

Las isotermas de adsorción del cromo hexavalente empleando paja de arroz modificada, se construyen a partir de las capacidades de adsorción de los experimentos. Esta capacidad relaciona la concentración inicial, la concentración final, la masa del adsorbente y el volumen del adsorbato (**Tabla N°13**), (Tamay, A., 2019, p.21), conformando la siguiente fórmula:

$$C_q(\text{mg/g}) = \frac{C_0(\text{mg/l}) - C_f(\text{mg/l})}{M(\text{g})} \times V(\text{l})$$

En dónde:

C_q = capacidad de adsorción en (mg/g)

C_0 y C_f = concentraciones inicial y final de Cr (VI) en la solución (mg/L)

V = volumen de solución de la muestra problema (L)

M = masa del adsorbente empleado (g)

Las isothermas se trabajaron con concentraciones iniciales teóricas de 25, 50, 75, 100, 150, 200 y 250 mg/L, a un pH 2, con 0.025 gramos de adsorbente y 0.025 L de solución de Cr (VI) a una temperatura de 45 °C.

Tabla N°13. Capacidad de adsorción de los experimentos a una temperatura constante.

Concentración Inicial (mg/L)	Concentración Final (mg/L)	Capacidad de adsorción (mg/g)
267.874	199.629	68.245
212.577	158.166	54.411
172.006	116.295	55.711
103.381	70.361	33.020
76.416	45.682	30.734
48.995	32.381	16.614
22.246	7.377	14.869

Elaboración propia.

De estos cálculos se pueden hallar datos para graficar las isothermas de Langmuir y Freundlich (**Tabla N°14 y 15**) (**Fig. 23 y 24**).

Tabla N°14. Datos para hallar la ecuación lineal de Langmuir.

N°	Concentración en el equilibrio (Ce) (mg/L)	Ce/qe (g/L)
1	199.629	2.925
2	158.166	2.907
3	116.295	2.087
4	70.361	2.131
5	45.682	1.486
6	32.381	1.949
7	7.377	0.496

Elaboración propia.

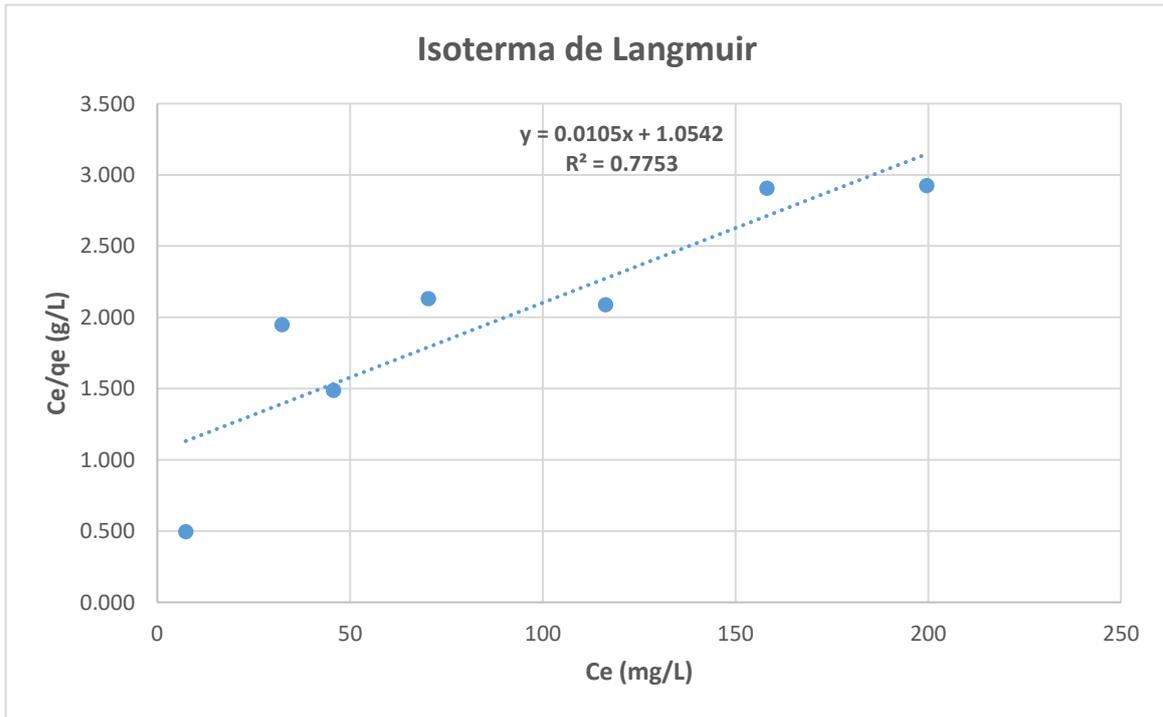


Figura 23. Modelo lineal de la isoterma de Langmuir para la adsorción de Cr (VI) con paja de arroz (Elaboración Propia).

Tabla N°15. Datos para hallar la ecuación lineal de Freundlich.

N°	Log Ce	Log qe
1	2.300223631	1.834
2	2.199113132	1.736
3	2.065561043	1.746
4	1.847332003	1.519
5	1.659745109	1.488
6	1.510290257	1.220
7	0.867879783	1.172

Elaboración propia.

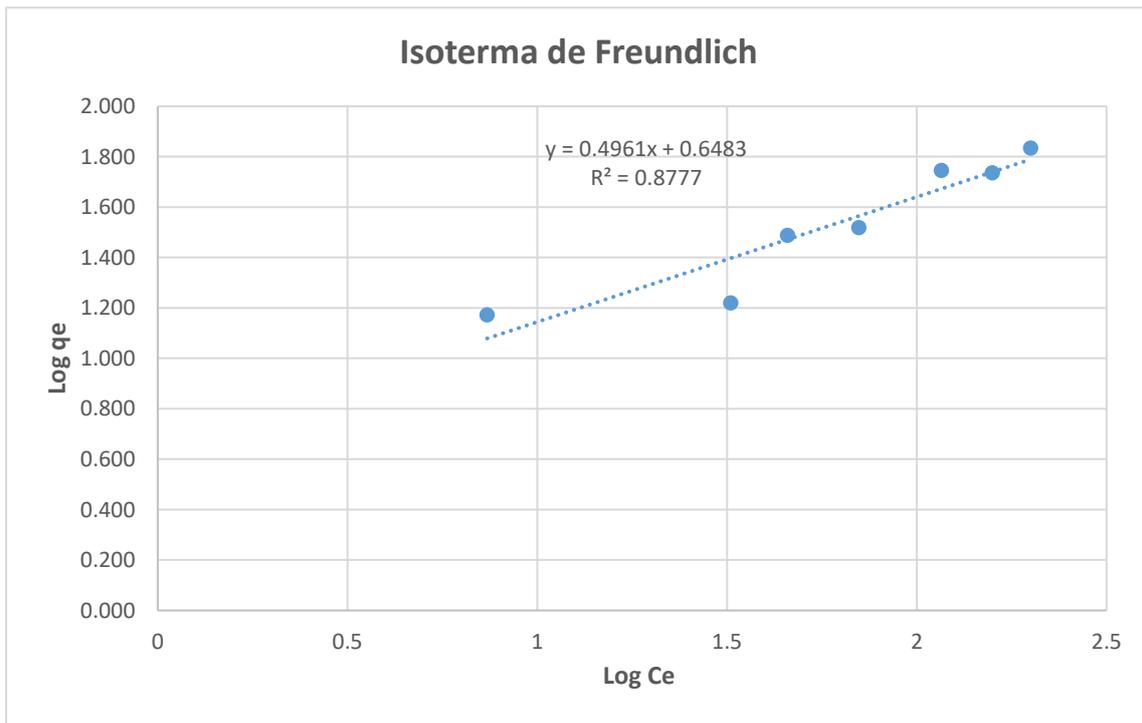


Figura 24. Modelo lineal de la isoterma de Freundlich para la adsorción de Cr (VI) con paja de arroz (Elaboración Propia).

De los gráficos de las isotermas, se identificaron los parámetros para cada una de ellas (**Tabla N°16**), mostradas a continuación:

Tabla N°16. Datos de los parámetros termodinámicos de las isotermas.

Modelo de Isoterma	Parámetros	Valores de parámetros
Langmuir	qmáx (mg/g)	95.238
	b (L/mg)	0.010
	R ²	0.7753
Freundlich	KF (mg/g(L/mg) ^{1/n})	4.4494
	n	2.016
	1/n	0.4961
	R ²	0.8777

Elaboración propia.

OE5: Calcular cuánto fue la eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética.

Mediante los experimentos del diseño ortogonal de Taguchi planteado en la investigación, se calcularon los porcentajes remoción de Cr (VI) (**Fig. 25**) y la capacidad de adsorción (**Fig. 26**) en cada uno de los experimentos.

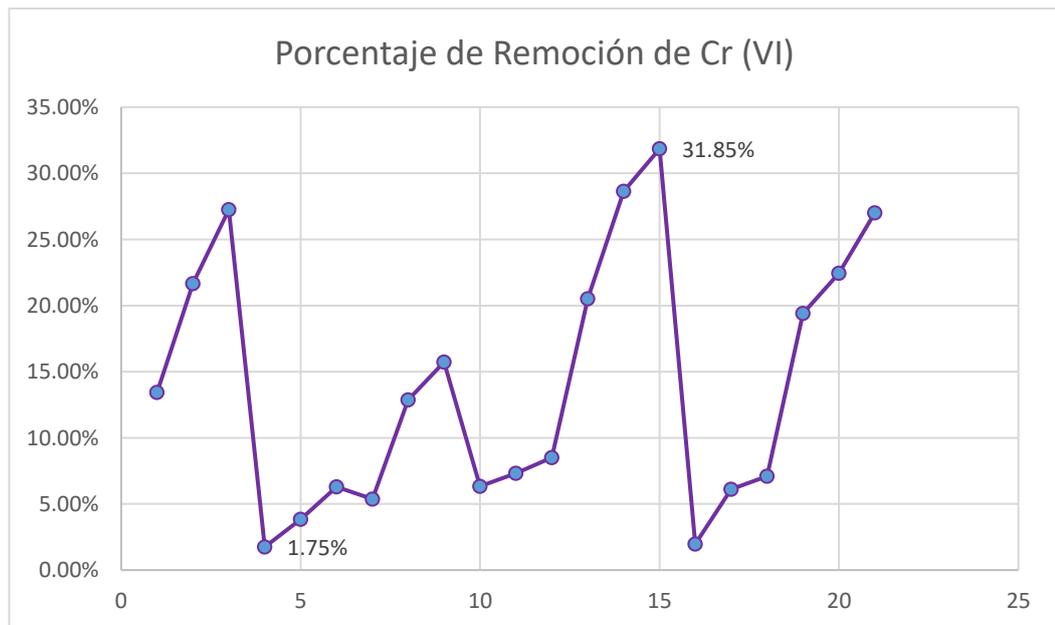


Figura 25. Porcentaje de remoción máximo y mínimo del diseño ortogonal de Taguchi (Elaboración Propia).

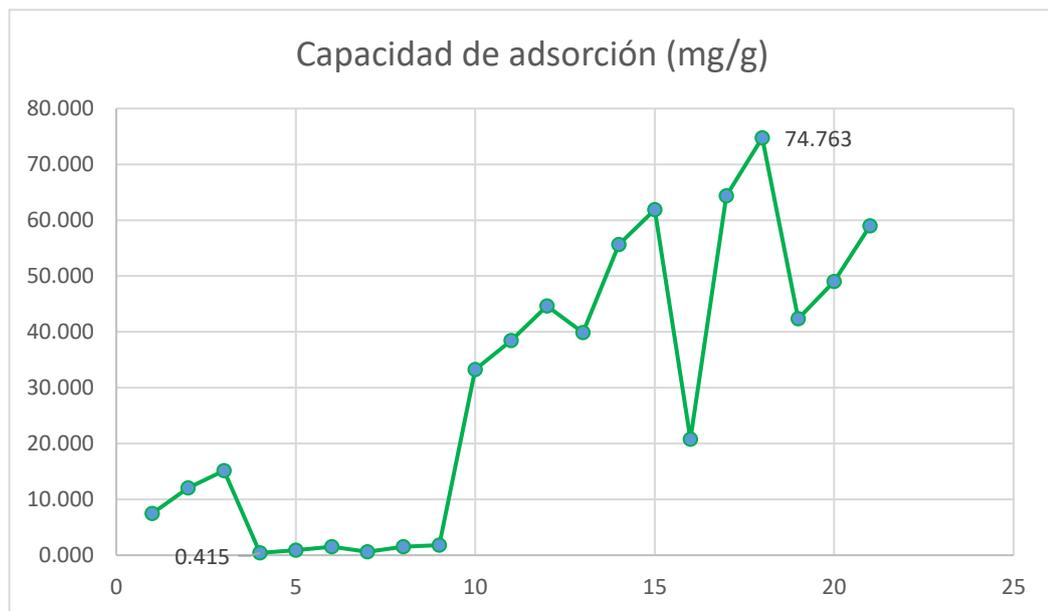


Figura 26. Capacidad de adsorción máxima y mínima del diseño ortogonal de Taguchi (Elaboración Propia).

V. DISCUSIÓN

OE1: Analizar las modificaciones físico-químicas que se realizarán a la paja de arroz para su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.

Acondicionamiento de la paja de arroz

Para el acondicionamiento o preparación de la paja de arroz se siguieron las metodologías planteadas por diversos autores como: Bhadoria, Prakash et al., (2022), que realizó cortes de hasta 2 pulgadas para la fácil manipulación del residuo lignocelulósico, Naik R.; Kumar, M. y Narsaiah, T., (2023), que lavaron la paja con agua desionizada, así como Sakhiya, A.; Vijay, V. y Kaushal, P., (2023) que también lavaron con este tipo de agua para eliminar partículas físicas que generen suciedad y posterior a ello secaron la paja de arroz a 70°C en un horno durante 2 horas. Por último, se consideró el procedimiento de Liu, Zhiyuan et al., (2022), que trituró la materia prima y tamizó en malla N°60.

En la **Tabla N°6** se observa que el proceso de molienda tuvo rendimiento promedio del 98.70%. En la **Tabla N°7**, el rendimiento promedio del proceso de tamizaje fue del 27.01 %. A estos resultados, no se han encontrado estudios que detallen el rendimiento de los procesos mencionados.

Desarrollo de hidrocarbón (HC) a partir de paja de arroz (PA)

De esta modificación mediante el uso del reactor hidrotermal, se observa que en la **Figura 17**, el hidrocarbón de paja de arroz tiene un color pardo, el cual coincide con en el estudio de Khan, Monnis et al., (2019), quien empleó bagazo de caña de azúcar y menciona que resultado del proceso de hidrocarbonización, el sólido obtenido tiene una apariencia de color parduzca.

De la **Tabla N°8**, se conoce que el rendimiento promedio en la obtención de hidrocarbón de paja de arroz es de 37.12%, el cual es muy similar al estudio de Li, Yin et al., (2019), puesto que sus valores de rendimiento de la producción de hidrocarbón de paja de arroz oscilan entre 31.81 % y 42.53%. Esta pequeña diferencia de valores, pudo deberse al tipo y a la cantidad de

líquido empleado en el proceso, siendo que en el actual estudio se usó 1 gramo de paja por cada 20 ml de peróxido de hidrógeno al 10%, a diferencia del estudio de Li, Yin et al., (2019) que la proporción de sólido – líquido fue de 1 gramos de paja de arroz por cada 10 ml de agua destilada.

Magnetización de hidrocarbón de paja de arroz (HCPA)

De la **Figura 18**, se visualiza que el magnetizado de hidrocarbón de paja arroz es de color marrón oscuro, sin embargo, en la investigación de Khan, Monnis et al., (2019) de donde se aplicó esta metodología, menciona que el precipitado resultante de la magnetización es de color negro.

Por otro lado, el lavado del hidrocarbón magnetizado con agua destilada es importante, ya que de esta manera se está asegurando la eliminación de impurezas como sales, y otro tipo de residuos solubles en agua que no hayan reaccionado durante el proceso. Así mismo, el enjuague con etanol concentrado ayuda a que el magnetizado quede libre de residuos de agua y esta pueda ser secada en su totalidad de una manera más eficiente.

Según la **Tabla N°9** el rendimiento promedio del proceso de magnetizado de hidrocarbón de paja de arroz fue del 200. 56%. Para este resultado, no se ha encontrado investigaciones que detallen el rendimiento de tal procedimiento.

Dopaje con nitrógeno del hidrocarbón de paja de arroz

El rendimiento total del proceso de nitrogenación fue en total del 100%. Respecto al procedimiento de lavado con agua destilada Khan, Monnis et al., (2019) indica que se realiza puntualmente para eliminar cualquier urea de forma sólida que no haya reaccionado en el proceso de dopaje.

Por otra parte, se pudo observar un cambio de textura que tuvo el magnetizado después de haberlo dopado con nitrógeno, puesto que se sentía más suave al momento de pulverizarla que a la magnetita generada en el paso anterior. Este cambio pudo ocasionarse principalmente a que la urea contiene grupos amida y puede formar enlaces de hidrógeno, lo que altera las propiedades mecánicas de la magnetita.

OE2: Determinar las condiciones de operación que optimizan la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.

De las **Figuras 19 y 20**, que son las gráficas de efectos principales para relaciones señal ruido y para efectos principales para medias de datos, obtenidas del análisis del diseño de Taguchi (L27) se puede observar que son similares, y esto se refleja en los factores que tienen mayor pendiente: el factor pH y el factor Tiempo, esto significa que influyen más sobre el porcentaje de remoción de cromo hexavalente. Para maximizar la robustez es recomendable usar el menor valor del factor de pH (2), y el menor valor del factor tiempo (1 min). Asimismo, para temperatura se debería considerar trabajar con su valor más alto que sería 45°C.

En las **Tablas N° 11 y 12**, se puede constatar que el factor pH provoca una mayor variación en el porcentaje de remoción de Cr (VI) por el adsorbente de paja de arroz modificada, y esto está expresado por el valor del estadístico Delta, el cual tiene el mayor valor en pH, y según su clasificación, este sería el factor más significativo, seguido del tiempo. Es decir, si se quiere tener mejores resultados, se debería priorizar esta variable. Cabe resaltar que los valores de las tablas de respuesta para relaciones de señal ruido y de respuesta para medias tiene una clasificación muy similar.

Un estudio que tiene una tendencia semejante es la de Wu, Zhenyu et al., (2023), en donde plantea trabajar con un pH = 2, puesto que favorecía la remoción del Cr (VI) con el adsorbente empleado y un tiempo de 12 horas. Del mismo modo con Qu, Jianhua et al., (2023), la tasa de eliminación de Cr (VI) por el adsorbente alcanzó su máximo valor con pH = 2. Al igual, en la investigación de Li, Panyu et al., (2020), donde se encontró que el proceso de eliminación de Cr (VI) era más eficiente en soluciones acuosas ácidas y se logró eliminar en su totalidad el Cr (VI) con un pH = 2. Así como Wu, Zhengde et al., (2022), refirió que las mejores condiciones de pH en donde se captaba más Cr (VI) es en pH = 2, ya que en pH = 1 la capacidad de adsorción se reducía.

El pH ácido de soluciones acuosas considerado óptimo en los casos mencionados, se debe a que existe diversos grupos que contienen O, como los grupos hidroxilo, éster y carboxilo en la superficie del adsorbente y forman enlaces de hidrógeno con HCrO_4^- en la solución. Además, porque existen grupos Fe – OH para enlazarse con H^+ del medio, por lo que a nivel superficial las partículas se cargan de manera positiva y protonada, formando una reacción electroestática con los aniones que contienen cromo en la solución acuosa (Tai et al., 2022; Zeng et al., 2021 como se citó en Wu, Zhenyu et al., 2023).

OE3: Hallar el modelo de cinética de adsorción que se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.

De las **Figuras 21 y 22** se interpreta que el modelo cinético de pseudo segundo orden es el que mejor se ajusta al proceso de adsorción, ya que el valor de su R^2 es 0.862, mientras que el de pseudo 1er orden es 0.8575.

De manera semejante, ocurrió en la investigación de Li, Panyu et al., (2020), en donde el proceso de uso de adsorbente del biocarbón microporoso de desechos de cocina respecto a la adsorción de Cr (VI) fue mejor descrita por la cinética de pseudo 2do orden, lo que sugiere que el proceso fue controlado por quimisorción y señala que existen reacciones redox entre el Cr (VI) y los sitios activos sobre el adsorbente. Similarmente, en el estudio de Wu, Zhenyu et al., (2023), los experimentos de adsorción se ajustaron mejor al modelo cinético de pseudo 2do orden, con un coeficiente de R^2 de 0.999 que indica que la remoción de cromo hexavalente fue básicamente por quimisorción.

En contraste con Wu, Zhengde et al., (2022), que es el modelo de Elovich el que mejor se ajusta a los datos cinéticos de Cr (VI) por su valor de R^2 muy cercano a 1.

OE4: Hallar el modelo de isoterma de adsorción que representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.

Las **Figuras 23 y 24**, representan la ecuación linealizada de las isothermas de Langmuir y Freundlich respectivamente, sin embargo, es la isoterma de Freundlich la que más se ajusta al proceso de adsorción del presente estudio, ya que su coeficiente de determinación es 0.8777, el cual es más cercano a 1 a comparación del valor del coeficiente de determinación (R^2) de la isoterma de Langmuir, y esto significa que proceso de adsorción de Cr (VI) respecto al adsorbente de paja de arroz se da en multicapas. En la **Tabla N°16** se observa que el valor “n” es mayor a 1, lo que anuncia que la paja de arroz tiene una capacidad de adsorción favorable al adsorber el Cr (VI).

Resultados similares se encontró en la investigación de Qu, Jianhua et al., (2023), que usó como adsorbente un hidrocarbón magnético dopado con nitrógeno e injertado con polietilenimina para eliminar Cr (VI) del agua, y comprobó que son los modelos de Freundlich y Sips los que representan mejor al proceso de adsorción de su estudio, trabajando a temperaturas de 25, 40 y 50 °C. Así mismo, Wu, Zhengde et al., (2022), quien empleó hidrocarbón a base de aserrín de álamo modificado por magnetización y recubierto por PEI para adsorber cromo hexavalente en aguas, encontró que el modelo de Freundlich era el más adecuado para describir la adsorción de Cr(VI) a una temperatura de 30 °C.

En contraparte, Wu, Zhenyu et al., (2023), al magnetizar carbón activado para remover Cr (VI), tuvo como resultado que el modelo de Langmuir era el que mejor representaba el proceso de adsorción del Cr (VI), esto supone que, al ocurrir la adsorción en la superficie del adsorbente, esta solo puede adsorber 1 átomo o 1 molécula.

OE5: Calcular cuánto fue la eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética.

En la **Figura 25** se puede observar que el valor más alto en porcentaje de remoción de Cr (VI) de todos los experimentos fue de 31.85 % y el valor más bajo fue 1.75 %, así mismo, en la **Figura 26** se visualiza que el valor más

alto en capacidad de adsorción de todos los experimentos fue de 74.763 mg/g y el valor más bajo fue de 0.415 mg/g.

Otros estudios que modificaron diversos adsorbentes para la remoción de Cr (VI) (**Tabla N°17**), obtuvieron porcentajes de eliminación mayores a 85 % y capacidades de adsorción que oscilaron de 45.3 mg/g hasta 526.1 mg/g, que son mostrados a continuación:

Tabla N°17. Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción de diferentes adsorbentes para la eliminación de Cr (VI).

Adsorbente	Adsorbato	Remoción	Capacidad de adsorción (mg/g)	Autor (es)
<i>Biocarbón microporoso de residuos de cocina dopado con N y O</i>	Cr (VI)	-	526.1	Li, Panyu et al., (2020),
<i>Hidrocarbón magnéticos de paja de maíz</i>	Cr (VI)	> 85 %	205.37	Qu, Jianhua et al., (2023)
<i>Carbón activado magnético</i>	Cr (VI)	88.8 %	45.3	Wu, Zhenyu et al., (2023)
<i>Hidrocarbón de aserrín de álamo magnetizado y recubierto por PEI</i>	Cr (VI)	-	287.7	Wu, Zhengde et al., (2022)
<i>Bola de fibra de paja de arroz recubierta con polipirrol.</i>	Cr (VI)	-	122.15	Cao, Fengming et al., (2022)
<i>Biocarbón de paja de arroz modificado</i>	Cr (VI)	90.9	45.45	Islam, Izaz et al., (2022),

Elaboración propia.

De esta tabla se puede deducir que las principales modificaciones realizadas a estos adsorbentes para remover cromo hexavalente fueron como hidrocarbón magnético, biocarbón y carbón activado magnético, resultando capacidades de adsorción y porcentajes de remoción eficientes.

Además, existen algunos autores que removieron diferentes metales pesados, colorantes entre otros contaminantes, mediante la modificación de

la paja de arroz y cascarilla de arroz (**Tabla N°18**), como los detallados a continuación:

Tabla N°18. Porcentaje de remoción y capacidad de adsorción de subproductos derivados de la producción de arroz en remoción de diferentes contaminantes.

Adsorbente	Adsorbato	Remoción	Capacidad de adsorción (mg/g)	Autor (es)
<i>Hidrocarbón de paja de arroz</i>	Rojo Congo	-	222.1	Li, Yin et al., (2019),
	Clorhidrato de berberina	-	174.0	
	2-naftol	-	48.7	
	Zn (II)	-	112.8	
	Cu (II)	-	144.9	
<i>Bioadsorbente de paja de arroz modificado</i>	Cu (II)	98.2 %	26.7	Liu, Wenlong et al., (2023)
<i>Biocarbón de paja de arroz mediante</i>	As	> 85 %	4.51	Sakhiya, A.; Vijay, V. y Kaushal, P. (2023)
	Mn		3.61	
<i>Hidrocarbón magnéticos de paja de maíz</i>	BPA	> 85 %	180.79	Qu, Jianhua et al., (2023)
<i>Cáscaras de arroz y de naranja</i>	Ni	99.36 %	-	Naik R.; Kumar, M. y Narsaiah, T. (2023),
	Cu (II)	99.1 %	-	
<i>Paja de arroz modificada (biocarbón)</i>	Cd (II)	88.08 %	-	Bhadoria, Prakash et al., (2022),
	Zn (II)	84.84 %	-	
<i>Hidrocarbón de cascarilla de arroz modificado con hidróxido de potasio (KOH)</i>	Cu (II)	92.99 %	7.14	Hossain N.; Nizamuddin, S. y Shah, K. (2022),
	Pb (II)	98.47 %	9.02	
	Zn (II)	99.18 %	8.53	
<i>Hidrocarbón de cascarilla de arroz modificado con KOH y nanopartículas de Ag</i>	Mn (II)	98.30 %	0.98	
	Fe (III)	97.99 %	1.66	

<i>Biocarbón nanoporoso de paja de arroz</i>	Hg	-	209.65	Liu, Zhiyuan et al., (2022),
<i>Biocarbón de paja de arroz modificado con óxidos de Fe y Mn</i>	Cd (II)	50 %	120.77	Tan, Wen-Tao et al. (2022)
<i>Biocarbón de paja de arroz</i>	Pb (II)	60 %	17.93	Sakhiya, A.; Vijay, V. y Kaushal, P. (2022)
	Zn (II)	70 %	25.73	

Elaboración propia.

De lo presentado, se puede inferir que residuos derivados de la producción de arroz como la paja y la cascarilla, han sido modificados de diferentes formas para la eliminación de sustancias nocivas para la salud de sistemas acuosos y que han tenido resultados positivos en cuanto a su capacidad de adsorción y al porcentaje de remoción, y de este último se rescata que la eliminación de algunos contaminantes ha podido acercarse al 100%.

VI. CONCLUSIONES

Se realizaron 4 modificaciones físico-químicas a la paja de arroz, el cual el resultante se empleó como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética. La primera modificación fue un acondicionamiento que se le dio a la paja de arroz respecto a limpieza, secado y tamaño, y sirviera de base para las modificaciones posteriores. La segunda fue la hidrocarbonización de la paja con peróxido de hidrógeno dentro de un reactor hidrotermal. La tercera consistió en magnetizar con cloruros de hierro, solución de amoníaco y en atmósfera de nitrógeno, y la última, radicó en la dopación con nitrógeno al producto magnetizado del proceso anterior mediante la urea. En todos los procesos se tuvo en cuenta el porcentaje de rendimiento, puesto que, es útil para calcular la cantidad de materia prima que se usará realmente para obtener nuestro adsorbente final.

Para determinar las condiciones de operación que optimizan la aplicación del adsorbente para eliminar Cr (VI) en agua sintética, se usó el diseño de Taguchi (L27), el cual, al analizarlo estadísticamente, nos presentó que el pH óptimo para mejorar la remoción de Cr (VI) es el de valor 2, así como, un tiempo de 1 min, temperatura de 45°C, seguido de dosis de 0.05 gramos y con concentración de 200 mg/L, siendo el pH el factor de más relevancia en los resultados de las gráficas. Esto coincide altamente con otros estudios donde realizaron remoción de Cr (VI) con diferentes adsorbentes, que demostraron que la eliminación de Cr (VI) se da de manera eficiente en soluciones acuosas ácidas por debajo de 3.

El modelo de cinética que mejor se ajustó al proceso de adsorción de la investigación fue la de pseudo 2do orden, lo que refiere que el proceso fue controlado por procesos de adsorción química (quimisorción) y que existirían reacciones redox entre el Cr (VI) y los sitios activos sobre el adsorbente de paja de arroz.

El modelo de isoterma que mejor se ajustó al proceso de adsorción fue la isoterma de Freundlich, lo que presume una capacidad de adsorción en diversas capas del adsorbente.

El porcentaje máximo de remoción de Cr (VI) fue 31.85 % y la mejor capacidad de adsorción de todos los experimentos fue de 74.763 mg/g.

VII. RECOMENDACIONES

- Trabajar con pH 2 como factor establecido y plantear un diseño factorial con menos factores y otros niveles.
- Experimentar con otros tiempos de adsorción, ya que los experimentados fueron 1 min, 120 min y 240 min.
- Probar una agitación mayor a 200 rpm y emplear una barra magnética de mayor tamaño en el agitador magnético, puesto que se observó en los experimentos que la magnetita al ser dosificada en pocas cantidades era atraída a la barra magnética de 10 mm, se aglomeraba y no se distribuían de manera uniforme, lo que pudo haber influido en el proceso de adsorción del Cr (VI).
- En los estudios cinéticos y de isotermas, se sugiere experimentar con una mayor cantidad de tiempos y concentraciones, y aplicar otros modelos como el de Temkin y Sips para isotermas, así como el de Elovich y el de Difusión de Intrapartículas para las cinéticas de adsorción.
- Realizar caracterizaciones como FTIR, XRD, SEM y TEM del material adsorbente pre y post experimentos, para conocer de manera superficial y profundidad las propiedades del adsorbente y poder entender la interacción entre adsorbente y adsorbato en estudio.

REFERENCIAS

1. AGENCIA para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades - ATSDR en español. División de Toxicología y Ciencias de la Salud. Septiembre 2012. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf
2. AHMED, M.; Hameed, B. y Hummadi, E. Insight into the chemically modified crop straw adsorbents for the enhanced removal of water contaminants: A review. *Journal of Molecular Liquids* [en línea]. 15 mayo 2021, vol. 330 [Fecha de consulta: 08 julio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016773222100341X>
ISSN: 0167-7322
3. ALANYA, Sindolfo. Remoción de cromo (VI) empleando nanopartículas de Fe₃O₄ en las aguas sintéticas de curtiembre preparadas a nivel laboratorio Huancayo 2021. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2022. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91812>
4. BELIZARIO, Germán [et al]. Determinación del contenido de Fósforo y Arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del Río Coata, afluente del lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química* [en línea]. 30 diciembre 2019, vol. 36, n.º 5. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v36n5/v36n5_a04.pdf
ISSN: 2078-3949
5. BHADORIA, Prakash [et al]. Preparation of modified rice straw-based bio-adsorbents for the improved removal of heavy metals from wastewater. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [en línea]. Octubre 2022, vol. 29. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554122001462>
ISSN: 2352-5541
6. BILAL, Muhammad [et al]. Recent advances in applications of low-cost adsorbents for the removal of heavy metals from water: A critical review *Separation and Purification Technology* [en línea]. 1 diciembre 2021, vol. 278, N.º 1. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2023]. Disponible en

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586621012181>
ISSN: 1383-5866
7. BISLA, Vivek [et al]. Green and novel adsorbent from rice straw extracted cellulose for efficient adsorption of Hg (II) ions in an aqueous medium. International Journal of Biological Macromolecules [en línea]. 2020, vol.161, pp. 194-203 [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813020334784>
ISSN: 0141-8130
8. CABALLERO Romero, Alejandro. Metodología integral innovadora para planes y tesis [en línea]. México: Cengage Learning Editores S.A., 2014 [fecha de consulta: 02 julio de 2023]. Capítulo 3. La investigación científica. Disponible en: https://www.academia.edu/37236030/Metodologia_integral_innovadora_para_planes_y_tesis_ALEJANDRO_CABALLERO_ROMERO
ISBN: 978-607-519-182-9
9. CAO, Fengming [et al]. High efficient adsorption accompanied by in-situ reduction of Cr(VI) removal by rice straw fiber ball coated with polypyrrole. Applied Surface Science [en línea]. 1 febrero 2022, vol. 575. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433221026313>
ISSN: 0169-4332
10. CASTELLANOS Díez, Héctor. Tratamiento de aguas residuales sintéticas mediante fotocatalisis y procesos de oxidación avanzados. Tesis (Ingeniero Químico). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2019. 71 pp. Disponible en https://oa.upm.es/56812/1/TFG_HECTOR_CASTELLANOS_DIEZ.pdf
11. CASTRO E. Bioestadística aplicada en investigación clínica: conceptos básicos. Revista Médica Clínica Las Condes [en línea]. enero – febrero 2019, vol. 30, n.º 1. p. 50-65. [Fecha de consulta: 09 julio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864019300045>
ISSN: 0716-8640
12. CHEN, Xinyu [et al]. Isotherm models for adsorption of heavy metals from water - A review. Chemosphere [en línea]. Noviembre 2022, vol. 307, part.

- 1.[Fecha de consulta: 13 de julio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653522020380>
ISSN: 0045-6535
- 13.CHEN, Yiliang [et al]. Hydrated titanium oxide nanoparticles supported on natural rice straw for Cu (II) removal from water. Environmental Technology & Innovation [en línea]. Noviembre 2020, vol. 20. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186420314437>
ISSN: 2352-1864
- 14.DERCO, Jan y Vrana, Branislav. Biosorption [en línea]. 1a ed. London, United Kingdom: IntechOpen, 2018 [fecha de consulta: 27 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/58112>
ISBN: 978-1-78923-473-2
- 15.DOTTO, Guilherme y McKay, Gordon. Current scenario and challenges in adsorption for water treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Agosto 2020, vol. 8, n.º 4. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720303365>
ISSN: 2213-3437
- 16.ELWAKEEL, Khalid [et al]. Perspectives regarding metal/mineral-incorporating materials for water purification: with special focus on Cr(VI) removal. Materials Advances [en línea]. 01 junio 2020, vol. 1 n.º 6. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ma/d0ma00153h>
ISSN: 2633-5409
- 17.FERRER, Ana. Intoxicación por metales. Anales Sis San Navarra [en línea]. 2003, vol. 26, suppl.1. pp.141-153. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v26s1/ocho.pdf>
ISSN 1137-6627
- 18.HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto. Metodología de la Investigación [en línea]. 1ra ed. México: McGRAW – HILL. Interamericana de México S.A., 1991. [fecha de consulta: 02 julio de 2023]. Capítulo 6. Diseños experimentales de investigación: Preexperimentos, experimentos “verdaderos” y

- cuasiexperimentos. Disponible en: https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf ISBN: 968-422-931-3
19. HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto. Metodología de la Investigación [en línea]. 6a ed. México: McGRAW-HILL, INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2014 [fecha de consulta: 02 julio de 2023]. Capítulo 1. Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> ISBN: 978-1-4562-2396-0
20. HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto. Metodología de la Investigación [en línea]. 6a ed. México: McGRAW-HILL, INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2014 [fecha de consulta: 02 julio de 2023]. Capítulo 8. Selección de la muestra. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> ISBN: 978-1-4562-2396-0
21. HERNÁNDEZ, Sandra & DUANA, Danae. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA [en línea]. 2020, vol. 9, n.º17, pp. 51-53 [Fecha de consulta: 02 julio de 2023]. Disponible en <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/6019/7678> ISSN: 2007-4913
22. HINCAPIÉ, Cardona y Ríos [et al]. Absorption thermodynamic study of azoic dye with by means of a lignocellulosic waste in aqueous medium. Ingeniería y Desarrollo [en línea]. 2018, vol. 36, n.º 1, p. 97-118. [Fecha de consulta: 07 de julio de 2023]. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612018000100097&script=sci_abstract&tlng=en ISSN: 2145-9371
23. HOSSAIN, N.; Nizamuddin, S. y Shah K. [et al]. Thermal-chemical modified rice husk-based porous adsorbents for Cu (II), Pb (II), Zn (II), Mn (II) and Fe (III) adsorption. Journal of Water Process Engineering [en línea]. Abril 2022, vol. 46. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714422000630> ISSN: 2214-7144

24. ISLAM, Izaz [et al]. Kinetic studies and adsorptive removal of chromium Cr(VI) from contaminated water using green adsorbent prepared from agricultural waste, rice straw. European Journal of Chemistry [en línea]. 2022, vol. 13, n.º 1. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en https://www.eurjchem.com/index.php/eurjchem/article/view/2189/pdf_2189
ISSN: 2153-2257
25. JIMÉNEZ, L. Impacto de la investigación cuantitativa en la actualidad. Convergence Tech [en línea]. 2020, vol. 4, n.º 1, p. 59-68. [Fecha de consulta: 08 julio de 2023]. Disponible en <https://revista.sudamericano.edu.ec/index.php/convergence/article/view/35/2> ISSN: 2737-6087
26. KARIMI-MALEH, Hassan [et al]. Recent advances in removal techniques of Cr(VI) toxic ion from aqueous solution: A comprehensive review. Journal of Molecular Liquids [en línea]. 01 mayo 2021, vol. 329. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732220373049>
ISSN: 0167-7322
27. KHAN, Moonis [et al]. Heteroatom-doped magnetic hydrochar to remove post-transition and transition metals from water: Synthesis, characterization, and adsorption studies. Chemosphere [en línea]. marzo 2019, vol. 218 [Fecha de consulta: 21 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653518323178>
ISSN 0045-6535
28. KIM, Heegon [et al]. Synergistic effect in simultaneous removal of cationic and anionic heavy metals by nitrogen heteroatom doped hydrochar from aqueous solutions. Chemosphere [en línea]. mayo 2023, vol. 323 [Fecha de consulta: 21 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523005362>
ISSN: 0045-6535
29. KUMAR P. y Chauhan M. Adsorption of chromium (VI) from the synthetic aqueous solution using chemically modified dried water hyacinth roots. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. agosto 2019, vol. 7, n.º 4 [Fecha de consulta: 08 de julio de 2023]. Disponible en

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343719303410?via%3Dihub> ISSN: 2213-3437
30. LAVADO [et al]. Biosorción de plomo (II) en solución acuosa con biomasa de los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). Revista Colombiana de Química [en línea]. 06 noviembre 2020, vol. 49, n.º 30, [Fecha de consulta: 03 de junio de 2023]. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/85823>
ISSN: 2357-3791
31. LI, Feiyue [et al]. Removal of aqueous Cr (VI) by Zn- and Al-modified hydrochar. Chemosphere [en línea]. diciembre 2020, vol. 260. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520318051>
ISSN: 0045-6535
32. LI, Panyu [et al]. Enhanced Cr (VI) removal by waste biomass derived nitrogen/oxygen co-doped microporous biocarbon. Environmental Science and Pollution Research [en línea]. 17 Diciembre 2019, vol. 27. [Fecha de consulta: 30 de noviembre de 2023]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-07330-0>
ISSN: 0944-1344
33. LIU, Qiming [et al]. Superior adsorption capacity of functionalised straw adsorbent for dyes and heavy-metal ions. Journal of Hazardous Materials [en línea]. 15 enero 2020, vol. 382. [Fecha de consulta: 17 de julio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438941930994X>
ISSN: 0304-3894
34. LI, Yin [et al]. Microwave assisted hydrothermal preparation of rice straw hydrochars for adsorption of organics and heavy metals. Bioresource Technology [en línea]. febrero 2019, vol. 273, n.º 9. [Fecha de consulta: 02 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418314883>
ISSN: 0960-8524
35. LIU, Wenlong [et al]. Facile production of highly active rice straw bioadsorbent to remove Cu in wastewater. BioResources [en línea]. 13 abril

- 2023, vol. 18, n.º 2. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BRJ/article/view/22470/381>
ISSN: 3709-3723
36. LIU, Zhiyuan [et al]. Nanoporous biochar with high specific surface area based on rice straw digestion residue for efficient adsorption of mercury ion from water. *Bioresource Technology* [en línea]. Setiembre 2022, vol. 359. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852422008008>
ISSN: 0960-8524
37. MARCIANO [et al]. Biodegradable gelatin composite hydrogels filled with cellulose for chromium (VI) adsorption from contaminated water. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea]. 30 de junio 2021, vol. 181 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813021006516>
ISSN: 0141-8130
38. MEDINA-Espinosa, Tanya [et al]. Adsorptive Removal of Chromium (VI) from Synthetic Waters using Magnetic Lignocellulosic Composites. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science* [en línea]. noviembre 2021, vol. 897, n.º 1 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.proquest.com/docview/2607342529/fulltextPDF/FDDC9E735C0840CDPQ/1?accountid=37408> ISSN: 1755-1307
39. MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). Aprueban Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Lima: Diario el Peruano, 2019. pp. 17 – 31.
40. MINISTERIO del Ambiente (Perú). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Lima: Diario el Peruano, 2017. pp. 10 – 19.
41. MOLINER, Cristina; Bove, Dario y Arato, Elisabetta. Co-Incineración de pellets de paja y madera de arroz: Una estrategia sostenible para la valorización del arroz sobrante. *Energies* [en línea]. 2020, vol. 13. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2023]. Disponible en

- https://www.lifelibernitrate.com/wp-content/uploads/2020/11/Cast_energies-13-05750.pdf
42. MOSOARCA, G. et al. Syringa vulgaris leaves powder a novel low-cost adsorbent for methylene blue removal: Isotherms, kinetics, thermodynamic and optimization by Taguchi method. Scientific reports [en línea]. 19 octubre 2020, vol. 10, n.º 1. p. 1-9. [Fecha de consulta: 09 julio de 2023]. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41598-020-74819-x>
ISSN: 2045-2322
43. NAIK, R.; Kumar, M. y Narsaiah, T. Removal of heavy metals (Cu & Ni) from wastewater using rice husk and orange peel as adsorbents. Materials Today: Proceedings [en línea]. 2023, vol. 72, part. 1. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322040640>
ISSN: 2214-7853
44. NARVÁEZ, Oscar & Villegas, Lilia. Introducción a la investigación: guía interactiva [en línea]. Veracruz: Universidad Veracruzana. 2014. [fecha de consulta: 02 julio de 2023]. Unidad 1. Sección 5. Cuadro de tipos de Investigación. Disponible en <https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>
ISBN: 978-607-502-359-5
45. ORGANIZACIÓN de las Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
46. OTZEN, Tamara & MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International Journal of Morphology [en línea]. marzo 2017, vol. 35, n.º 1, pp. 227-232 [Fecha de consulta: 02 julio de 2023]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
ISSN:0717-9502
47. PABÓN, S. [et al.]. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Entre Ciencia e Ingeniería [en línea]. enero-junio 2020, vol. 14, n.º 27. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2023]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14->

[27-9.pdf](#)

ISSN: 2539-4169

48. PAKADE, V.; Tavengwa, N. y Madikizela, L. Recent advances in hexavalent chromium removal from aqueous solutions by adsorptive methods. RSC Advances [en línea]. 21 agosto 2019, vol. 9, n.º 45, pp. 26142-26164. [Fecha de consulta: 21 de junio de 2023]. Disponible en <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/RA/C9RA05188K>
49. QADRI, Rizwana y FAIQ, Muneeb A. Freshwater Pollution: Effects on Aquatic Life and Human Health [en línea]. Singapore: Springer, 18 julio 2019 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. pp. 15-26. Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8277-2_2 ISBN: 9789811382772
50. QU, Jianhua [et al]. A novel PEI-grafted N-doping magnetic hydrochar for enhanced scavenging of BPA and Cr(VI) from aqueous phase. Environmental Pollution [en línea]. 15 de marzo 2023, vol. 321 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749123001446> ISSN: 0269-7491
51. RASHID, R. [et al]. A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method. Environmental Science and Pollution Research [en línea]. Febrero 2021, vol. 28, n.º 8, [Fecha de consulta: 03 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.proquest.com/docview/2489440914?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true> ISSN: 0944-1344
52. REGISTRO Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. PRTR España. Disponible en <https://prtr-es.es/Cr-Cromo-y-compuestos,15606,11,2007.html>
53. REPOSITORIO Digital del Ministerio del Ambiente. Ministerio del Ambiente. 2012. Disponibilidad en: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/405> Glosario de términos para la formulación de proyectos ambientales. Perú.

54. REYES, Yulieth [et al.]. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo [en línea]. julio-diciembre 2016, vol. 16, n.º 2. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2023]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
ISSN: 2422-4324
55. SAHOO [et al]. Rice husk and rice straw based materials for toxic metals and dyes removal: a comprehensive and critical review. International Journal of Environmental Analytical Chemistry [en línea]. 06 diciembre 2021, pp.1-23. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03067319.2021.2003349>
ISSN: 0306-7319
56. SAKHIYA, A.; Vijay, V. y Kaushal, P. Development of rice straw biochar through pyrolysis to improve drinking water quality in arsenic and manganese contaminated areas. Surfaces and Interfaces [en línea]. Febrero 2023, vol. 36. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468023022008410>
ISSN: 2468-0230
57. SAKHIYA, A.; Vijay, V. y Kaushal, P. Efficacy of rice straw derived biochar for removal of Pb⁺² and Zn⁺² from aqueous: Adsorption, thermodynamic and cost analysis. Bioresource Technology Reports [en línea]. Febrero 2022, vol. 17. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X2100298X>
ISSN: 2589-014X
58. SANTANDER, Paola [et al]. Lignin-based adsorbent materials for metal ion removal from wastewater: A review. Industrial Crops and Products [en línea]. setiembre 2021, vol. 167, [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669021002740>
ISSN: 0926-6690
59. SENTHIL, B. y SENTHIL, P. Application of adsorption process for effective removal of emerging contaminants from water and wastewater, Environmental Pollution [en línea]. 1 Julio 2021, vol. 280, [Fecha de consulta:

- 03 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121005777>
ISSN: 0269-7491
60. SINHA [et al]. Chromium tolerance, bioaccumulation and localization in plants: An overview. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 15 enero 2018, vol. 206. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717310204>
ISSN: 0301-4797
61. SONONE [et al]. Water Contamination by Heavy Metals and their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health through Food Chain. *Letters in Applied NanoBioScience* [en línea]. 30 junio 2021, vol. 10, n.º 2. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Mahipal-Singh-Sankhla/publication/344872496_Water_Contamination_by_Heavy_Metals_and_their_Toxic_Effect_on_Aquaculture_and_Human_Health_through_Food_Chain/links/5f95719ca6fdccfd7b7d734a/Water-Contamination-by-Heavy-Metals-and-their-Toxic-Effect-on-Aquaculture-and-Human-Health-through-Food-Chain.pdf
ISSN: 2284-6808
62. TAMAY Crespo, Andrea. Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la Corona de Piña (Ananas Comosus) para la remoción de metales pesados. Tesis (Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2019. 82 pp. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17182/1/UPS-CT008215.pdf>
63. TAN, Wen-Tao [et al]. Enhancing Cd (II) adsorption on rice straw biochar by modification of iron and manganese oxides. *Environmental Pollution* [en línea]. Mayo 2022, vol. 300. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122001130>
ISSN: 0269-7491

64. TEJADA, C.; Herrera, A. y Villabona, A. Assessment of Chemically Modified Lignocellulose Waste for the Adsorption of Cr (VI). *Revista Facultad de Ingeniería* [en línea]. 03 de diciembre 2019, vol. 29, n°. 54 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413962511004>
ISSN: 2357-5328
65. TEJADA, C.; Villabona, A. y Garcés L. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas* [en línea]. enero-junio, 2015, vol. 18, n.º 34, pp. 109-123 [Fecha de consulta: 2 de junio de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a10.pdf>
ISSN: 0123-7799
66. WANG, Jianlong y Guo, Xuan. Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 15 mayo 2020, vol. 390, [Fecha de consulta: 09 de julio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420301448>
ISSN: 0304-3894
67. WANG, Tong [et al]. Application of lignin adsorbent in wastewater Treatment: A review. *Separation and Purification Technology* [en línea]. 1 diciembre 2022, vol. 302, [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586622016719>
ISSN: 1383-5866
68. WU, Z. [et al]. Efficient adsorption and reduction of Cr(VI) in water using one-step H₃PO₄-assisted prepared *Leersia hexandra* Swartz hydrochar. *Materials Today Sustainability* [en línea]. marzo 2023, vol. 21 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258923472200152X>
ISSN: 2589-2347
69. WU, Zhengde [et al]. Ultra-high selective removal of CR and Cr(VI) from aqueous solutions using polyethyleneimine functionalized magnetic hydrochar: Application strategy and mechanisms insight. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. 15 de noviembre 2022, vol. 448 [Fecha de

- consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894722029527>
ISSN: 1385-8947
70. WU, Zhenyu [et al]. Synthesis of novel magnetic activated carbon for effective Cr (VI) removal via synergistic adsorption and chemical reduction. *Environmental Technology & Innovation* [en línea]. mayo 2023, vol. 30 [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186423000883>
ISSN: 2352-1864
71. XIA S. [et al]. A critical review on bioremediation technologies for Cr(VI)-contaminated soils and wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [en línea]. 21 enero 2019, vol. 49, n.º 12. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2018.1564526>
ISSN: 1547-6537
72. ZHUANG, Xiuzheng [et al]. A review on the utilization of industrial biowaste via hydrothermal carbonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Febrero 2022, vol. 154. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2023]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121011448>
ISSN: 1364-0321

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Título: Aplicación de Paja de Arroz como Adsorbente para la Remoción de Cr(VI) en Agua Sintética, Lima-Perú, 2023								
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDIDA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	VI: Aplicación de Paja de Arroz como Adsorbente	La paja de arroz es actualmente empleada para adsorber diferentes contaminantes en aguas residuales y su modificación puede mejorar su eficiencia de adsorción en estos sistemas acuosos, debido al cambio en sus estructuras multifuncionales y a sus propiedades de poro mejoradas (Ahmed, Hameed y Hummadi, 2021)	La paja de arroz será transformada de acuerdo al método de Khan et al., (2019), el cual consta de acondicionarlo previamente antes de transformarlo. En esta primer parte se lavará, secará y triturará la biomasa. Posteriormente, se convertirá en hidrocarbón en un reactor de síntesis hidrotermal, luego se magnetizará y por último se le nitrogenará. Así es como se obtendrá una biomasa modificada lista para experimentar en laboratorio, y sirva para determinar sus condiciones de operación óptimas, los ajustes de los modelos de cinéticas e isotermas de adsorción.	Modificación físico-química de la paja de arroz	Acondicionamiento	Nominal
¿De qué manera se aplica la paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?	Evaluar la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.	Existe una forma de aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción significativa de Cr (VI) en agua sintética.					Carbonización hidrotermal	Nominal
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas					Magnetización	Nominal
PE1: ¿Qué modificaciones físico-químicas se realizarán a la paja de arroz para su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?	OE1: Analizar las modificaciones físico-químicas que se realizarán a la paja de arroz para su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.	HE1: Existe una modificación físico-química de la paja de arroz que optimiza su aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.					Dopaje con nitrógeno	Nominal
PE2: ¿Cuáles serán las condiciones de operación que son óptimas en la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?	OE2: Determinar las condiciones de operación que optimizan la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.	HE2: Existen condiciones de operación que optimizan la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.				Condiciones de operación	pH= 2, 7, 10	Ordinal
PE3: ¿Qué modelo de cinética de adsorción se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?	OE3: Hallar el modelo de cinética de adsorción que se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.	HE3: Existe un modelo de cinética de adsorción que se ajusta mejor al aplicar paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.					Ci: 25 mg/L, 200 mg/L, 400 mg/L	Ordinal
PE4: ¿Qué modelo de isoterma de adsorción representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?	OE4: Hallar el modelo de isoterma de adsorción que representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.	HE4: Existe un modelo de isoterma de adsorción que representa la aplicación de paja de arroz como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.					Temperatura: 25C°, 35C°, 45C°	Ordinal
PE5: ¿Cuáles son las características de la paja de arroz que es aplicada como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética?	OE5: Realizar la caracterización de la paja de arroz aplicada como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.	HE5: Existen características de la paja de arroz que evidencian su buena aplicación como adsorbente para la remoción de Cr (VI) en agua sintética.					Tiempo de contacto: 1 min,120 min,240 min	Ordinal
PE6: ¿Cuánto fue la eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética?	OE6: Calcular cuánto fue la eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética.	HE6: Existe una alta eliminación de Cr (VI) al aplicar paja de arroz como adsorbente para su remoción en agua sintética.					Dosificación: 0.010 g, 0.025 g, 0.050 g	Ordinal
						Modelo de cinética de adsorción	Pseudo-Primer orden	Ordinal
			Pseudo-Segundo orden	Ordinal				
			Modelo de Isoterma de adsorción	Isoterma de Langmuir	Ordinal			
				Isoterma de Freundlich	Ordinal			
			Eliminación de Cr (VI)	Porcentaje de remoción de Cr (VI)	Ordinal			
				Capacidad de adsorción de Cr(VI) (mg/L)	Ordinal			
			VD: Remoción de Cr (VI) en Agua Sintética	La remoción de Cr (VI) a través de distintos mecanismos de adsorción se debe en gran parte al aprovechamiento de sus características biológicas, químicas y físicas y a sus tendencias de poder disolverse en soluciones acuosas (Pakade, Tavengwa y Madikizela, 2019)	La eliminación de cromo hexavalente, se calculará, hallando su porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción de cada experimento.			

Anexo N° 03. Ficha N° 2: Registro de datos para hallar la cantidad de Cr (VI) retenidos por el adsorbente.

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		Ficha de Registro N° 2					
Título:	Aplicación de Paja de Arroz como Adsorbente para la Remoción de Cr (VI) en Agua Sintética, Lima, 2023						
Línea de investigación:	Tratamiento y Gestión de los Residuos						
Investigador:	Alcarráz Rosales, Judith Cecilia				Fecha:	___/___/2023	
Asesor:	Cabello Torres, Rita Jaqueline				Lugar:	Laboratorio de Biotecnología - Universidad César Vallejo	
Proceso:	Registro de datos para hallar la cantidad de Cr (VI) retenidos por HCPAm-N.						
Código de Experimento	Datos					Capacidad de biosorción (mg/g) : $q_e = ((C_o - C_f) * V) / M$	Porcentaje de Remoción (%): $\%R = ((C_o - C_f) / C_o) * 100$
	Co (mg/L) Teorica	Co (mg/L) Practica	Cf (mg/L)	Volumen (L)	Masa (g)		
E1							
E2							
E3							
E4							
E5							
E6							
E7							
E8							
E9							
E10							
E11							
E12							
E13							
E14							
E15							
E16							
E17							
E18							
E19							
E20							
E21							
E22							
E23							
E24							
E25							
E26							
E27							

Anexo N° 04. Ficha N° 3: Registro de datos de concentración para hallar las isothermas y cinéticas la adsorción de Cr (VI) sobre paja de arroz.

 Ficha de Registro N° 3							
Título:	Aplicación de Paja de Arroz como Adsorbente para la Remoción de Cr (VI) en Agua Sintética, Lima, 2023						
Línea de investigación:	Tratamiento y Gestión de los Residuos						
Investigador:	Alcarraz Rosales, Judith Cecilia						
Asesor:	Cabello Torres, Rita						
Fecha:	___/___/2023						
Proceso:	Registro de datos de concentración para hallar las isothermas y cinéticas la adsorción de Cr (VI) sobre paja de arroz.						
Lugar:	Laboratorio de Biotecnología - Universidad César Vallejo						
PRIMERA RÉPLICA							
	TIEMPO DE CONTACTO (min) A 45 °C						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
CONCENTRACIÓN INICIAL (mg/L)	Ci1						
	Ci2						
	Ci3						
	Ci4						
	Ci5						
	Ci6						
	Ci7						
SEGUNDA RÉPLICA							
	TIEMPO DE CONTACTO (min) A 45 °C						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
CONCENTRACIÓN INICIAL (mg/L)	Ci1						
	Ci2						
	Ci3						
	Ci4						
	Ci5						
	Ci6						
	Ci7						

Anexo N° 05. Ficha N° 4: Registro de coeficientes y constantes para hallar ajuste de las isotermas de adsorción.

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		Ficha de Registro N° 4	
Título:	Aplicación de Paja de Arroz como Adsorbente para la Remoción de Cr (VI) en		
Línea de investigación:	Tratamiento y Gestión de los Residuos		
Investigador:	Alcarraz Rosales, Judith Cecilia	Fecha:	___/___/2023
Asesor:	Cabello Torres, Rita Jaqueline	Lugar:	Laboratorio de Biotecnología - Universidad César Vallejo
Proceso:	Registro de coeficientes y constantes para hallar ajuste de las isotermas de adsorción.		
Modelo de Isotermas de adsorción	Datos de parámetros de isotermas		
Langmuir			
q _{máx} (mg/g)			
b (L/mg)			
R ²			
Freundlich			
KF (mg/g(L/mg) ^{1/n})			
n			
1/n			
R ²			



FICHA DE EVALUACIÓN N°1

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Espinoza Farfán.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Matriz de Consistencia
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 40231227



FICHA DE EVALUACIÓN N°2

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Espinoza Farfán.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°1
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 40231227



FICHA DE EVALUACIÓN N°3

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Espinoza Farfán.
 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°2
 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

-

90 %

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 40231227



FICHA DE EVALUACIÓN N°4

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Espinoza Farfán.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°3
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 40231227



FICHA DE EVALUACIÓN N°5

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Eduardo Espinoza Farfán.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°4
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 40231227



FICHA DE EVALUACIÓN N°1

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Fernando Sernaque Aucchuassi.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Matriz de Consistencia
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 07268863



FICHA DE EVALUACIÓN N°2

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Fernando Sernaque Aucchuassi.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°1
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 07268863



FICHA DE EVALUACIÓN N°3

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Fernando Sernaque Aucchuassi.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°2
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 07268863



FICHA DE EVALUACIÓN N°4

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Fernando Sernaque Aucchuassi.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°3
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 07268863



FICHA DE EVALUACIÓN N°5

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Fernando Sernaque Aucchuassi.
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°4
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

DNI: 07268863



FICHA DE EVALUACIÓN N°1

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Matriz de Consistencia
 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
DNI 40323063



FICHA DE EVALUACIÓN N°2

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°1
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
DNI 40323063



FICHA DE EVALUACIÓN N°3

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°2
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
DNI 40323063



FICHA DE EVALUACIÓN N°4

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°3
- 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
DNI 40323063



FICHA DE EVALUACIÓN N°5

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente e Investigador– Universidad César Vallejo –Lima Este
 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Ingeniería Ambiental
 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de Registro N°4
 1.5. **Autor (A) de Instrumento:** Alcarraz Rosales, Judith Cecilia

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

--

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 20 de noviembre del 2023

Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales
DNI 40323063