

Estudio de la cascarilla de arroz como carbón activado frente a la adsorción y remoción de metales pesados de efluentes industriales - Cajamarca – Perú

Study of rice husk as activated carbon against the adsorption and removal of heavy metals from industrial effluents - Cajamarca - Peru

¹Neison Roncal-Solis, ¹Cinthia Villanueva-Guevara y ¹ Julián Díaz-Ruiz.

¹Ingeniero Ambiental egresado de la Facultad Ingeniería, Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. E-roncalsolis16@gmail.com, villanuevacinty20@gmail.com , julian.diaz@upn.edu.pe

Resumen: En el presente estudio que forma parte de la tesis publicada en el repositorio de la Universidad Privada del Norte cuyo título es; *Eficiencia del carbón activado de cascarilla de arroz como adsorbente en remoción de metales pesados de efluentes industriales* [1]; se demuestra que actualmente los metales pesados, presentes en el agua generan impactos negativos al desarrollo sostenible, esta investigación tuvo un enfoque no experimental transversal, seleccionando investigaciones para el objeto de estudio comprendiendo cuatro tesis y un artículo científico referente a las propiedades físicas y químicas de la cascarilla de arroz, en esta investigación se buscó demostrar la eficiencia de este procedimiento, explorando estudios realizados en los últimos 10 años obteniendo resultados que su efectividad varía dependiendo a ciertos factores, influyendo el tiempo de contacto del carbón activado para adsorber el metal, y tipo de metal pesado a tratar demostrando mayor poder de adsorción en el cadmio y plomo, así mismo en otros metales en menor escala, determinado que a mayor dosis de carbón activado y tiempo mejor será el porcentaje de remoción, llegando a la conclusión que logrando aplicar este método se tendría un impacto positivo para afrontar diversos problemas ambientales de metales pesados presentes en el agua.

Palabras claves: Carbón activado, metales pesados, cascarilla de arroz y adsorción [1].

Abstract: In the present study that is part of the thesis published in the repository of the Universidad Privada del Norte whose title is; *Efficiency of activated carbon from rice husk as an adsorbent in the removal of heavy metals from industrial effluents*, it is shown that currently heavy metals, present in the water, generate negative impacts on sustainable development, this research had a non-experimental transversal approach, selecting research for the object of study comprising four theses and a scientific article referring to the physical and chemical properties of the rice husk, in this investigation it was sought to demonstrate the efficiency of this procedure, exploring studies carried out in the last 10 years obtaining results that its effectiveness varies depending on certain factors, influencing the contact time of the activated carbon to adsorb the metal, and the type of heavy metal to be treated, showing greater adsorption power in cadmium and lead, as well as in other metals on a smaller scale, determined that at higher doses of activated carbon and time the better the pore removal stage, reaching the conclusion that applying this method would have a positive impact to address various environmental problems of heavy metals present in the water.

Key words: Activated carbon, heavy metals, rice husks and adsorption [1].

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema global, donde los metales pesados son los más influyentes en la degradación de los recursos naturales, específicamente en el agua, entre estos se encuentran el arsénico, cadmio, mercurio, cromo y plomo; estos vienen a ser relevantes en los sistemas acuáticos debido a su toxicidad y acumulación en los organismos, asimismo en la biomagnificación a través de la cadena trófica [2]. Por lo expuesto anteriormente esta investigación está orientada a demostrar la eficiencia del carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz, como medio adsorbente ante la presencia de diferentes metales pesados de efluentes de agua provenientes de procesos industriales [1].

II. METODOLOGÍA

Tipo de investigación

El presente estudio tuvo un enfoque no experimental transversal porque no se manipulan deliberadamente las variables independientes; es decir estas se basan en categorías, conceptos, variables, sucesos, fenómenos o contextos que ya ocurrieron o se dieron sin la intervención directa del investigador. En esta investigación se recolectaron datos de otros estudios teniendo en cuenta el factor del tiempo [5]. Donde la investigación no experimental se realiza sin manipular las variables.

Población y muestra

Población

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerden con una serie de especificaciones [5]. De acuerdo al estudio realizado, la población está dada por todas las investigaciones que tengan una finalidad de evaluar, analizar o estudiar la eficiencia del carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz como medio adsorbente para la remoción de metales pesados en el agua, para lo cual en esta investigación los estudios fueron obtenidos de

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.257>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

las bases de datos de los últimos 10 años de los repositorios de Ebsco, Google académico, y ProQues, [1].

Muestra

La muestra ha sido elegida a criterio y conveniencia de los investigadores, como lo mencionan [6]. Una muestra puede ser obtenida de dos tipos: Probabilística a y no probabilística, donde en las técnicas de muestreo no probabilístico por conveniencia permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos, por consecuente la selección de los objetos de estudio dependerá de los criterios que el investigador considere. Por lo tanto, para determinar a los elementos de la muestra se tuvo en cuenta los siguientes criterios de inclusión de investigaciones.

Tesis, artículos de investigaciones e informes que se encuentran en los repositorios institucionales de diferentes universidades a nivel nacional e internacional, encontrados mediante la ecuación de búsqueda con los operadores booleanos y al mismo tiempo de manera empírica con las palabras claves: Carbón activado, cascarilla de arroz, remoción y metales pesados, considerando de esta manera 5 investigaciones de los cuales cuatro son tesis, y un artículo de investigación referente a las propiedades físicas y químicas de la cascarilla de arroz, cuyas estas investigaciones fueron publicadas en los últimos 10 años publicadas con el idioma español [1].

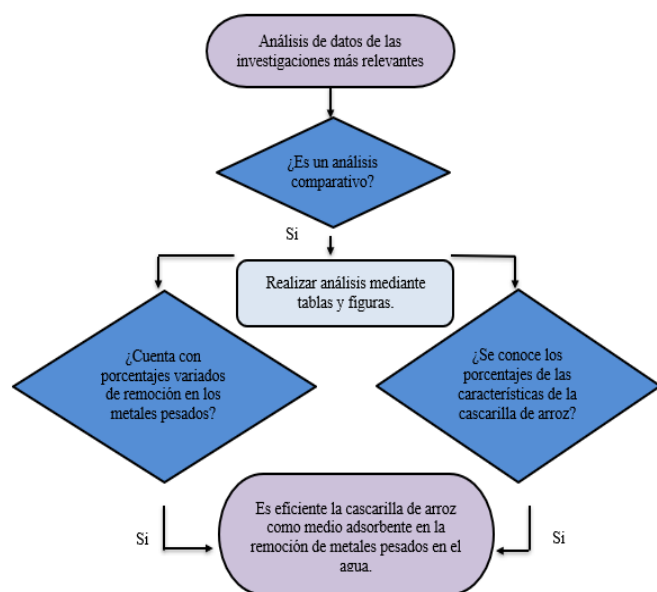


Figura 3. Diagrama de flujo de investigación bibliográfica [1].

Materiales

Para el análisis de la literatura científica se empleó las herramientas de base electrónica de Ebsco, ProQues, Google académico y otros., teniendo en consideración como base científica la adsorción de metales pesados a base del carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz, y

aplicado en recursos hídricos que han sido alterados de su medio natural por diferentes actividades antropogénicas. Asimismo, para realizar la investigación y selección de artículos se utilizó laptop, cuaderno y lapiceros [1].

Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Técnicas de análisis de datos

Una técnica de análisis documental concentrada en los documentos relacionados a la aplicación del carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz en la remoción de metales pesados. Instrumento de análisis de datos instrumento para analizar los datos fue el software Microsoft Excel, para el procesamiento de datos [1].

III. RESULTADOS

A continuación, se muestran resultados que se obtuvieron en el estudio de la eficiencia que tiene el carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz en la remoción de metales pesados, para lo cual se tomó estudios que cumplan con los objetivos planteados, así mismo también se especifica la composición química que tiene este insumo y de qué manera influye en la remoción de metales pesados [1].

Tabla 1. Capacidad de remoción de metales pesados en estudios analizados [1].

Metal pesado	Cita bibliográfica	Capacidad de remoción %	ID
Plomo	(Guevara, 2018) [7]	96.04%	7
	(Alcántara, 2018) [2]	96.80%	7
Cadmio	(Guevara, 2018) [7]	95.89%	6
	(Navarrete et al, 2014) [8]	94.2%	5
Arsénico	(Alcántara, 2018) [2]	85.1%	4
	(Navarrete et al, 2014) [8]	76.58%	4
Cobre	(Alcántara, 2018) [2]	58.2%	3
Hierro	(Alcántara, 2018) [2]	76.43%	2
Zinc	(Cavero, 2020) [9]	54.42%	1
Cromo		90%	
	(Doria et al, 2016) [6]		1

Nota. Esta tabla 1 muestra todos los autores de los estudios relevantes, para la eficiencia de la remoción de metales descritos [1].

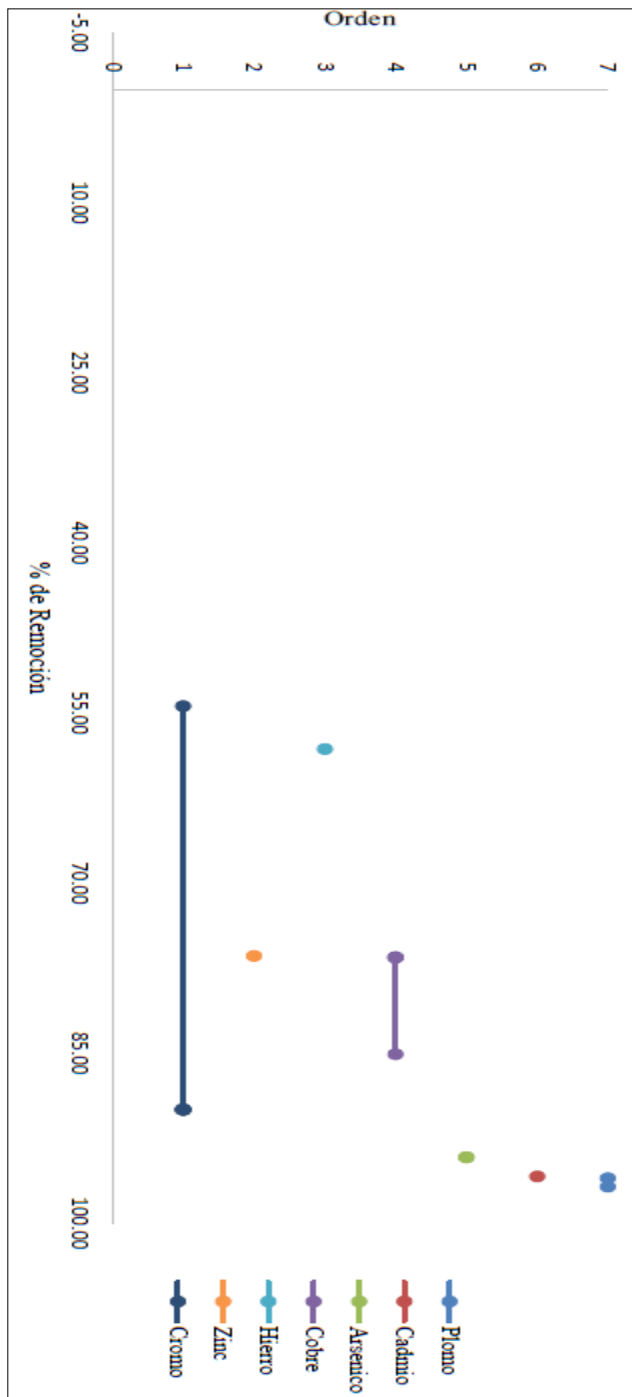


Figura 2. Estudios analizados y su capacidad de remoción de metales pesados [1].

Nota. En la figura 2 se puede evidenciar los 5 estudios que se tomó para realizar esta investigación, así mismo la capacidad de remoción que se tuvo en cada uno de ellos en diferentes metales pesados, estos fueron estrictamente analizados y escogidos ya que estos cumplen con los objetivos planteado, determinado que en los estudios más eficiente fue la remoción del Plomo, Cadmio, Arsénico, y

Cromo, en el caso del plomo se pudo evidenciar que si se aplicaba 1g más de carbón activado de la cascarilla de arroz se lograba superar el ECA de categoría 3 ya que, a mayor porcentaje de concentración y tiempo a la vez, habrá mejor porcentaje de remoción de mencionados metales pesados, así mismo se especifica el orden de acuerdo a la remoción de cada metal pesado donde la más eficiente remoción fue en el plomo el cual se le otorgo el orden número 7, de la misma forma se le agrego el orden a los demás metales pesados tomando en cuenta su capacidad de remoción [1].

Comportamiento del plomo

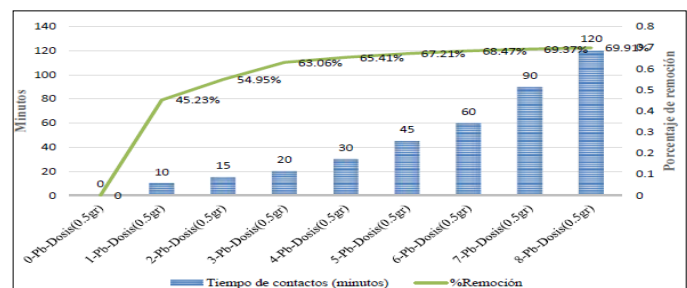
En estudios realizados acerca del comportamiento del plomo frente a la aplicación del carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz para su remoción se obtuvieron los siguientes resultados en 0.5gr 1gr y 3gr respectivamente.

Tabla 2. Remoción del plomo con la aplicación de 0.5gr de carbón activado [1].

Número de muestras estudiadas y dosis aplicada	Tiempo de contactos (minutos)	%Remoción
0-Pb-Dosis(0.5gr)	0	0
1-Pb-Dosis(0.5gr)	10	45.23%
2-Pb-Dosis(0.5gr)	15	54.95%
3-Pb-Dosis(0.5gr)	20	63.06%
4-Pb-Dosis(0.5gr)	30	65.41%
5-Pb-Dosis(0.5gr)	45	67.21%
6-Pb-Dosis(0.5gr)	60	68.47%
7-Pb-Dosis(0.5gr)	90	69.37%
8-Pb-Dosis(0.5gr)	120	69.91%

Nota. En esta tabla 2 se muestra la dosis de carbón activado: Fue 0.5gr para remover el plomo en un transcurso de 120 minutos, así mismo de qué manera fue ascendiendo su porcentaje de remoción, ante esto se puede terminar que la dosis aplicada debe ser mayor así mismo el tiempo [1].

Figura 3. Tiempo de contacto con respecto a la remoción del Pb con una dosis de 0.5gr de carbón [1].



Nota. En la figura 3 se puede evidenciar el comportamiento que tuvo el plomo con la aplicación de 0.5gr de cascarilla de arroz, y en que magnitudes se fue removiendo con respecto al tiempo, inicialmente en 10 minutos removió

45.23% de este metal, teniendo en cuenta que a mayor tiempo de contacto mayor será la remoción, logrando evidenciar que en el último tiempo que fue 120 minutos y se logró remover 69.91% de mencionado metal [1].

Tabla 3. Remoción de plomo con 1gr de carbón activado

Número de muestras estudiadas y dosis aplicada	Tiempo de contactos (minutos)	%Remoción
0-Pb-Dosis(1gr)	0	0
1-Pb-Dosis(1gr)	10	65.41%
2-Pb-Dosis(1gr)	15	70.27%
3-Pb-Dosis(1gr)	20	75.14%
4-Pb-Dosis(1gr)	30	78.38%
5-Pb-Dosis(1gr)	45	80.54%
6-Pb-Dosis(1gr)	60	81.44%
7-Pb-Dosis(1gr)	90	82.16%
8-Pb-Dosis(1gr)	120	83.24%

[1].

Nota. En esta tabla se evidencia la cantidad de dosis que fue aplicada para remover el plomo en el transcurso de 120 minutos, de la misma manera se presenta como fue evolucionando su porcentaje de remoción con el transcurrir del tiempo, se determina que la dosis aplicada es muy poco para la remoción de este metal en el tiempo dado si es apto [1].

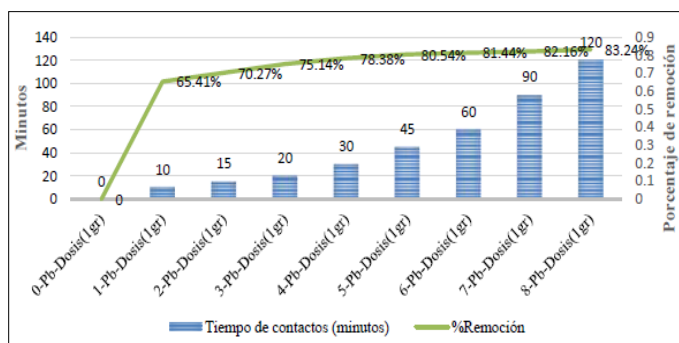


Figura 4. Tiempo de contacto con respecto a la remoción del Pb con 1gr de dosis de carbón [1].

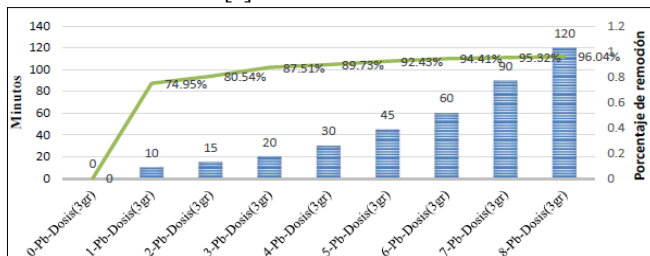
Nota. En la figura 4 se evidencia el tiempo de contacto con respecto a la remoción del plomo para lo cual en este experimento analizado la dosis de aplicación del carbón activado de la cascarilla de arroz fue 1gr en tiempo inicial de 10 minutos pudo remover un 65.41% de este metal y finalizando en un tiempo de 120 minutos se logró remover 83.24% de mencionado metal [1].

Tabla 4. Remoción del plomo con 3gr de carbón activado [1].

Número de muestras estudiadas y dosis aplicada	Tiempo de contacto (minutos)	%Remoción
0-Pb-Dosis(3gr)	0	0
1-Pb-Dosis(3gr)	10	74.95%
2-Pb-Dosis(3gr)	15	80.54%
3-Pb-Dosis(3gr)	20	87.51%
4-Pb-Dosis(3gr)	30	89.73%
5-Pb-Dosis(3gr)	45	92.43%
6-Pb-Dosis(3gr)	60	94.41%
7-Pb-Dosis(3gr)	90	95.32%
8-Pb-Dosis(3gr)	120	96.04%

Nota. En la tabla 4 se demuestra la aplicación de la dosis de 3gr de carbón activado para la remoción del plomo presente en el agua en un transcurso de 120 minutos, así mismo de qué manera fue evolucionando el porcentaje de remoción con el transcurrir del tiempo, en las tablas anteriores su dosis fue menor y en este caso que se aplicó más gramos de carbón activado el porcentaje de remoción fue mayor [1].

Figura 5. Tiempo de contacto con respecto a la remoción del Pb con 3gr dosis de carbón activado [1].



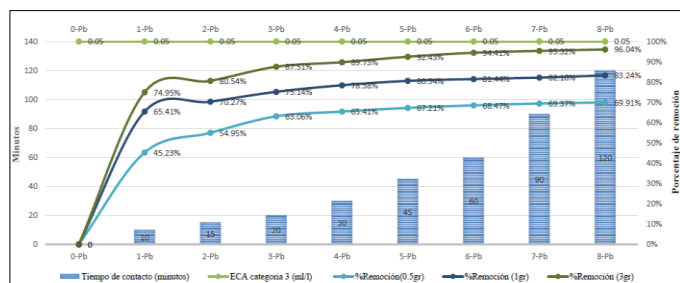
Nota. En la figura 5 se puede evidenciar el tiempo de contando respecto a la remoción del plomo el cual se aplicó 3gr de carbón activado dando como resultado último 96.04% de remoción, en este caso hay una gran diferencia que hay respecto a los anteriores análisis [1].

Tabla 5. Asimilación del carbón activado en diferentes dosis frente a la remoción del Plomo [1].

Promedio de muestras estudiadas	Tiempo de contacto (minutos)	ECA Categoría 3 (ml/l)	%Remoción(0.5gr)	%Remoción (1gr)	%Remoción (3gr)
0-Pb	0	0.05	0	0	0
1-Pb	10	0.05	45.23%	65.41%	74.95%
2-Pb	15	0.05	54.95%	70.27%	80.54%
3-Pb	20	0.05	63.06%	75.14%	87.51%
4-Pb	30	0.05	65.41%	78.38%	89.73%
5-Pb	45	0.05	67.21%	80.54%	92.43%
6-Pb	60	0.05	68.47%	81.44%	94.41%
7-Pb	90	0.05	69.37%	82.16%	95.32%
8-Pb	120	0.05	69.91%	83.24%	96.04%

Nota. En la tabla 5 se demuestra la aplicación del carbón activado en diferentes dosis para la remoción del plomo, donde se puede determinar qué tan eficiente fue removiendo este metal, el tiempo aplicado máximo para las tres dosis fue de 120 minutos, también se realizó una comparación con el ECA 3, como se pudo evidenciar que a mayor dosis de y a mayor tiempo de contacto el porcentaje de remoción [1].

Figura 6. Tiempo de contacto con respecto a la remoción del Pb con diferentes dosis de carbón activado [1].



Nota. En la figura 6 se evidencia el tiempo de contacto con respecto a la remoción del plomo teniendo en cuenta la aplicación de diferentes dosis de carbón activado de 0.5gr, 1gr, y 3gr logrando tener resultados más eficientes con la aplicación de dosis de 3gr, donde se logró remover un 96.04% de este metal que mucho mayor comparando con las otras dosis, así mismo se realizó una comparación de la remoción con el ECA categoría 3 [1].

Comportamiento del Cadmio

Tabla 6. Remoción del Cadmio con 0.5gr de carbón activado de la cascarilla de arroz [1].

Promedio de muestras	Tiempo de contactos (minutos)	%Remoción
0-Cd-Dosis(0.5gr)	0	0
1-Cd-Dosis(0.5gr)	10	49.35%
2-Cd-Dosis(0.5gr)	15	56.28%
3-Cd-Dosis(0.5gr)	20	62.99%
4-Cd-Dosis(0.5gr)	30	66.88%
5-Cd-Dosis(0.5gr)	45	69.70%
6-Cd-Dosis(0.5gr)	60	73.81%
7-Cd-Dosis(0.5gr)	90	77.06%
8-Cd-Dosis(0.5gr)	120	79.44%

Nota. En la tabla 6 se puede ver la dosis aplicada de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz para la remoción del cadmio con un determinado tiempo de 120 minutos y de qué forma fue su evolución en la remoción de este metal [1].

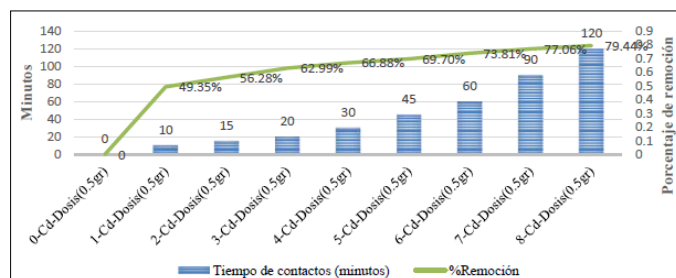


Figura 7. Tiempo de contacto con respecto a la remoción del Cadmio aplicando 0.5gr de carbón [1].

Nota. En la figura 7 se evidencia el comportamiento del cadmio con respecto al tiempo y porcentaje en este experimento estudiado se usó la aplicación de 0.5gr de carbón activado de remoción, determinando que en su tiempo inicial que fue 10 minutos se logró remover 49.35% de este metal y finalmente en 120 minutos se logró remover 79.44 % de mencionado metal [1].

Tabla 7. Remoción del Cadmio con 1gr de carbón activado [1].

Promedio de muestras	Tiempo de contactos (minutos)	%Remoción
0-Cd-Dosis(1gr)	0	0
1-Cd-Dosis(1gr)	10	66.02%
2-Cd-Dosis(1gr)	15	71.21%
3-Cd-Dosis(1gr)	20	78.14%
4-Cd-Dosis(1gr)	30	82.03%
5-Cd-Dosis(1gr)	45	85.50%
6-Cd-Dosis(1gr)	60	88.10%
7-Cd-Dosis(1gr)	90	88.74%
8-Cd-Dosis(1gr)	120	89.18%

Nota. En la tabla 7 se muestra la dosis de 1gr de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz para la remoción del cadmio en un tiempo determinado de 120 minutos así mismo se expresa en porcentajes la cantidad removida desde el primer minuto hasta el último [1].

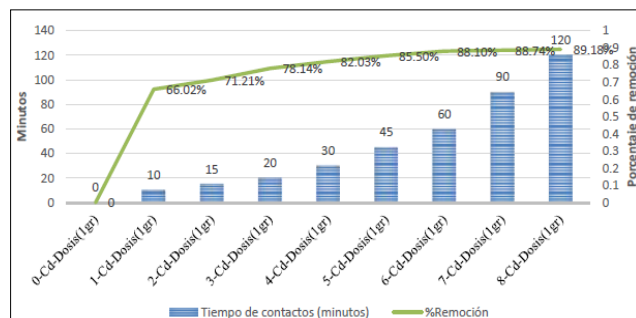


Figura 8. Tiempo de contacto con respecto a la remoción del Cadmio con dosis de 1gr de carbón [1].

Nota. En la figura 8 se evidencia que, con la dosis de 1gr de carbón activado, en su menor contacto de removió un 66.02% de cadmio y en su mayor tiempo de contacto removió un 89.18% de este metal, determinando que a

mayor dosis de carbón activado mayor será el porcentaje de remoción [1].

Tabla 8. Remoción del Cadmio con 3gr de carbón activado [1].

0-Cd-Dosis(3gr)	0	0
1-Cd-Dosis(3gr)	10	71.86%
2-Cd-Dosis(3gr)	15	76.62%
3-Cd-Dosis(3gr)	20	81.39%
4-Cd-Dosis(3gr)	30	84.85%
5-Cd-Dosis(3gr)	45	88.74%
6-Cd-Dosis(3gr)	60	90.91%
7-Cd-Dosis(3gr)	90	93.29%
8-Cd-Dosis(3gr)	120	95.89%

Nota. En la tabla 8, muestra la dosis aplicada de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz de 3gr para la remoción del Cadmio en un transcurso de 120 minutos así mismo esta expresado en porcentajes la cantidad removida en el transcurso del pasar de los minutos [1].

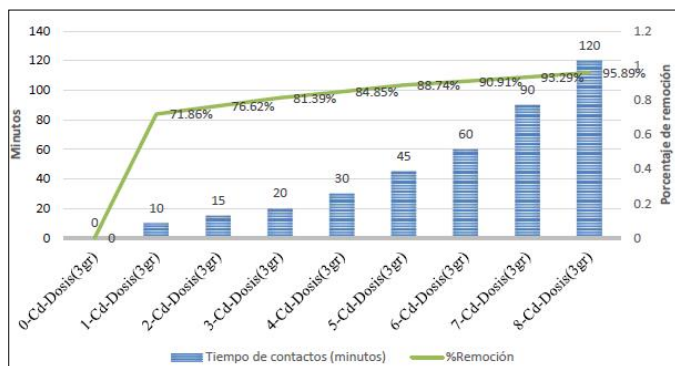


Figura 9. Tiempo de contacto con respecto a la remoción de Cadmio con dosis de 3g [1].

Nota. En la figura 9 se evidencia con la dosis de 3gr de carbón activado en el estudio realizado se obtuvo que en su menor tiempo de contacto de removió un 71.86% de cadmio y en su mayor tiempo de contacto removió un 95.89% de este metal, respecto al anterior sus resultados son más elevados [1].

Tabla 9. Asimilación del carbón activado en diferentes dosis frente a la remoción del Cadmio y su comparación con el ECA de categoría 3 [1].

Promedio de muestras	Tiempo de contacto (minutos)	ECA categoría 3 (ml/l) Riego restringido	ECA categoría 3 (ml/l) Bebida de animales	%Remoción(0.5gr)	%Remoción (1gr)	%Remoción (3gr)
0-Cd	0	0.01	0.05	0	0	0
1-Cd	10	0.01	0.05	49.35%	66.02%	71.86%
2-Cd	15	0.01	0.05	56.28%	71.21%	76.62%
3-Cd	20	0.01	0.05	62.99%	78.14%	81.39%
4-Cd	30	0.01	0.05	66.88%	82.03%	84.85%
5-Cd	45	0.01	0.05	69.70%	85.50%	88.74%
6-Cd	60	0.01	0.05	73.81%	88.10%	90.91%
7-Cd	90	0.01	0.05	77.06%	88.74%	93.29%
8-Cd	120	0.01	0.05	79.44%	89.18%	95.89%

Nota. En la tabla 9, muestra las diferentes dosis aplicadas de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz frente a la remoción del Cadmio, donde la dosis fue más eficaz en el transcurrir de un total de tiempo de 120 minutos, comparando con las ECA de categoría 3 vigentes y actualizados, para determinar su eficacia y comportamiento con el cadmio [1].

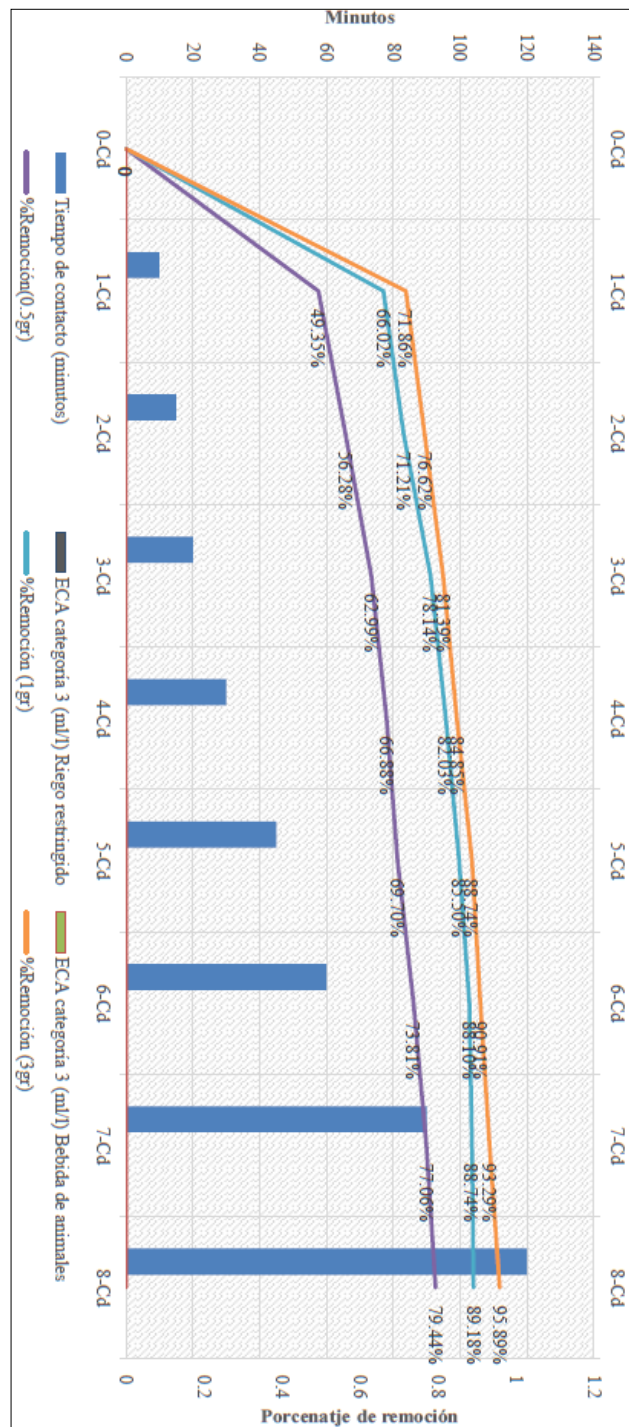


Figura10. Capacidad de remoción del Cadmio aplicando la cascarilla de arroz en diferentes dosis [1].

Nota. En la figura 10 se evidencia las diferentes dosis que se aplicó para la remoción del cadmio, siendo más eficiente la dosis de 0.3gr que logro remover hasta un 95.89% este metal, así mismo se realizó una comparación con los estándares de calidad ambiental actualizados en agua de categoría 3 que es para riego de cultivos y bebida de animales, obteniendo como resultado que se puede utilizar este proyecto ante una problemática de contaminación con este tipo de metal [1].

Comportamiento del Arsénico y el Plomo

Tabla 10. Concentración inicial y final de los metales de As y Cu y el porcentaje de remoción [1].

Metales	Concentración inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L)	% de remoción
Arsénico	0.0600	0.0035	94.2
Cobre	0.0629	0.0094	85.1

Nota. la tabla 10 se muestra la concentración inicial de dos metales pesados y con la aplicación del carbón activado de la cascarilla de arroz se puede evidenciar una concentración final y por consecuencia la cantidad de remoción expresado en porcentajes [1].

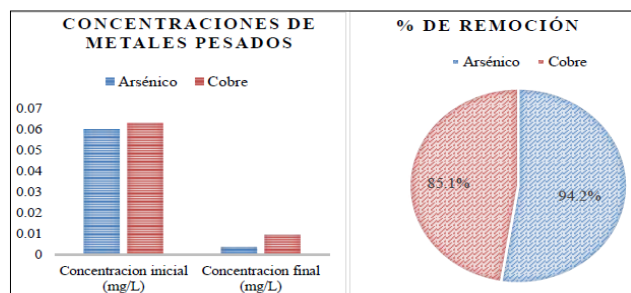


Figura 11. Remoción del Cobre y el Arsénico [1].

Nota. La figura 11 se evidencia las diferencias de las concentraciones iniciales y finales en el proceso de remoción, donde el cobre aplicando este proceso se logró remover un 94.2% mientras que en el arsénico se logró remover un 85.1% [1].

Comportamiento del Hierro

Tabla 11. Remoción del Hierro con la aplicación de 2gr de carbón activado [1].

Muestra	Tiempo (minutos)	pH	Fe (ml/L)	% Remoción
1-Fe	0	5.68	83.894	
2-Fe	5	6.0	40.62	51.58 %
3-Fe	15	6.0	36.14	56.92 %
4-Fe	25	6.2	34.69	58.65 %
5-Fe	35	6.0	34.54	58.82 %

Nota. La tabla 11 se demuestra el comportamiento que tuvo el hierro con la aplicación de 2gr de carbón activado en el transcurrir de un tiempo de 35 minutos, así mismo su concentración inicial de este metal y después de ser sometido al tratamiento, de la misma forma el porcentaje de remoción que fue aumentando exponencialmente, y por último también influyó en el pH donde inicialmente es ácido y con el método dado este se proyecta a ser neutro [1].

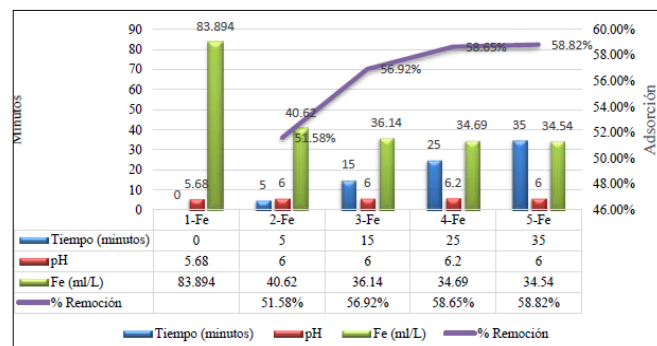


Figura 12. Remoción del hierro respecto al tiempo de contacto [1].

Nota. La gráfica 12 se puede observar la concentración inicial del Hierro que es 83.894ml/L y como ha ido disminuyendo con la actuación del carbón activado de la cascarilla de arroz llegando hasta 34.54 de concentración, logrando remover en 35 minutos 58.82% de este metal, de la misma forma su actuación también fue con el pH ya que inicialmente era 5.68 y subió hasta 6 próximo a ser neutro. En este estudio solo se dejó actuar por 35 minutos dando resultados eficientes [1].

Comportamiento del Cobre

Tabla 12. Remoción del Cobre con la aplicación de 1gr, 1.5gr y 2gr de carbón activado [1].

Muestra	Cascarilla (gr)	pH	Cu (mg/L)	%Remoción
1-Cu		5.25	62.263	
2-Cu	1.0	5.39	20.318	67.36
3-Cu	1.5	5.36	18.706	69.95
4-Cu	2.0	5.41	14.586	76.58

Nota. La tabla 12, muestra el comportamiento del cobre frente a la aplicación de la cascarilla de arroz en diferentes dosis, así mismo la concentración inicial y la concentración luego del tratamiento, por último, la influencia que tuvo este método con el pH [1].

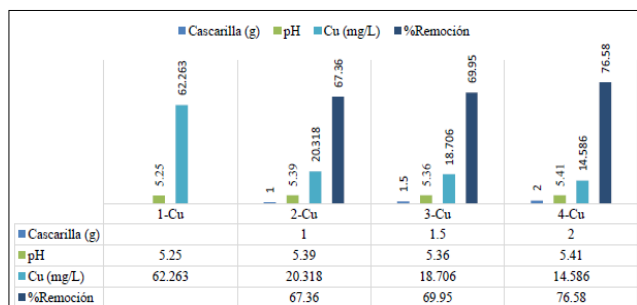


Figura 13. Resultados de remoción del cobre y su actuación con el pH [1].

Nota. La gráfica 13 se puede observar la concentración inicial del cobre, y como ha ido disminuyendo con el tratamiento del carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz, siendo en su concentración inicial 62.263 mg/L y disminuyendo hasta un 14.586 mg/L [1].

Comportamiento del plomo

Tabla 13. Remoción del Plomo con la aplicación de 1gr, 1.5gr, y 2gr de carbón activado [1].

Muestra	Cascarilla (gr)	pH	Pb (mg/L)	%Remoción
1-Pb		4.03	61.113	
2-Pb	1.0	7.1	4.301	92.96
3-Pb	1.5	6.89	2.761	95.48
4-Pb	2.0	6.99	1.955	96.80

Nota. La tabla 13, muestra la cantidad de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz aplicado en diferentes dosis, el comportamiento inicial del plomo y como fue cambiando con el tratamiento, por último, su porcentaje de remoción obtenido por la dosis aplicada [1].

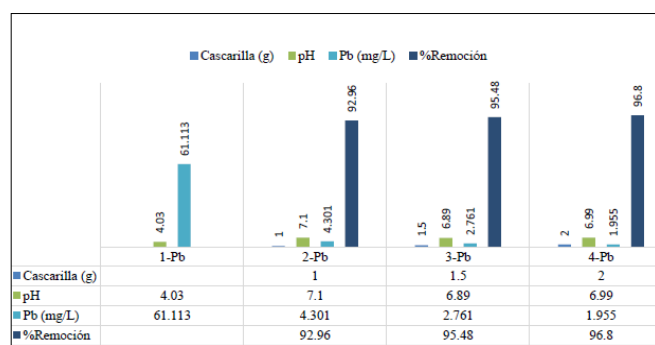


Figura 14. Resultados de remoción del plomo y su actuación con el pH [1].

Nota. En la gráfica 14 se puede observar la concentración inicial del Plomo, y como ha ido disminuyendo con el tratamiento del carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz, siendo en su concentración inicial 61.113 mg/L y

disminuyendo hasta un 1.955 mg/L, esto también tiene mucho que ver con la dosis de carbón activado que sea agregada, en este estudio está muy cerca al llegar al 100% de remoción [1].

Tabla 14. Remoción del Zinc con la aplicación de 1gr, 1.5gr, y 2gr de carbón activado [1].

Muestra	Cascarilla (gr)	pH	Zn (mg/L)	%Remoción
1-Zn		6.11	69.649	
2-Zn	1.0	6.41	20.005	71.27
3-Zn	1.5	6.36	19.643	71.79
4-Zn	2.0	6.39	16.410	76.43

Nota. En esta tabla se muestra las dosis aplicadas de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz para el zinc en diferentes dosis, por consecuente también se demuestra la concentración inicial de este metal y como fue cambiando con el tiempo de contacto, así mismo los resultados se expresan en porcentajes, por último, también se hace referencia a como fue evolucionando el pH [1].

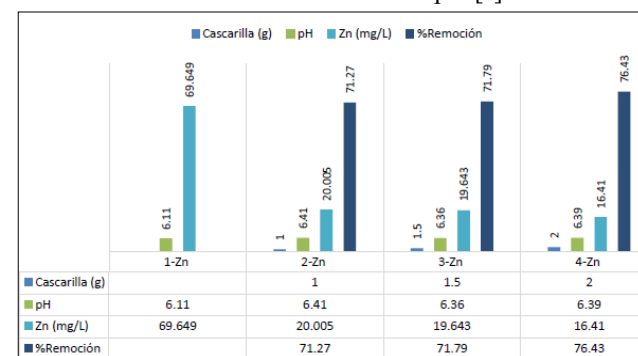


Figura 15. Resultados de la remoción del Zn y su actuación frente al pH [1].

Nota. La gráfica 15 se puede observar la concentración inicial del Zinc que 69.649 mg/L y como ha ido bajando con hasta 16.41mg/L de este metal se evidencia la actuación en la cascarilla de arroz y también se puede terminar que a mayor dosis de carbón activado será mucho mayor la remoción de este metal [1].

Tabla 15. Comparación de las concentraciones iniciales de metales pesados y después del tratamiento [1].

Metales pesados	Concentración inicial del pH	Promedio de pH después del tratamiento	Concentración inicial de los metales pesados	Promedio de concentración del metal después del tratamiento	%Promedio de remoción
Cobre (Cu)	5.25	5.38	62.263	17.87	71.29
Plomo (Pb)	4.03	6.9	61.113	3.0056	95.08
Zinc (Zn)	6.11	6.38	69.649	18.68	73.16

Nota. En esta tabla se muestran los resultados de tres metales pesados, se expresa su concentración inicial y final de cada uno de ellos aplicando el tratamiento del carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz, así mismo el porcentaje de remoción de cada uno, y por último la actuación de este método con el pH [1].

Comportamiento del Cromo

Tabla 16. Porcentaje de remoción del cromo VI con la aplicación de la cascarilla de arroz [1].

Muestra	Molaridad (M) (NaOH)	Porcentaje de CCA (%)	Porcentaje de remoción de cromo IV (%)
1-Cr	10	30	46.03
2-Cr	12	30	49.46
3-Cr	14	30	54.42

Nota. En esta tabla se muestra el comportamiento del cromo frente a la aplicación de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz (CCA), para lo cual se realizaron 3 pruebas, y los resultados obtenidos están expresados en porcentajes [1].

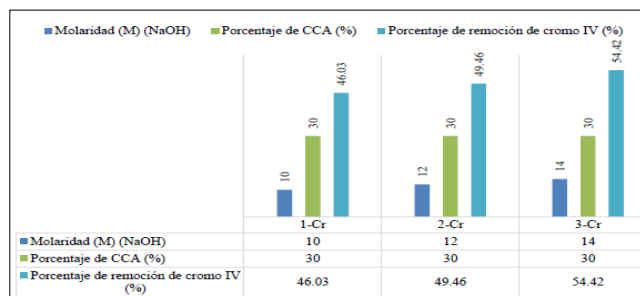


Figura 17. Remoción del cromo frente a la aplicación de la cascarilla de arroz [1].

Nota. La figura 17 se observa las cantidades molares de 10,12 y 14 quienes fueron los moles de activación con NaOH, que fueron agregados con un porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz, ambos tuvieron la concentración de 30%, dando como resultado el porcentaje en la remoción del cromo. Donde se afirma que a mayor concentración de moles usando a NaOH como activador, en un porcentaje de 30% mayor será la capacidad de remoción de cromo [1].

Tabla 17. Características presentes en la cascarilla de arroz [1].

Elementos	Porcentaje
Carbono	39.1
Hidrógeno	5.2
Nitrógeno	0.6
Azufre	0.1
Oxígeno	37.2
Cenizas	17.8

Nota. En esta tabla se muestran las características que presenta la cascarilla de arroz y cada uno de los componentes esta expresado en porcentajes, siendo el carbono de mayor categoría, y demostrando la eficiencia para convertir este insumo en carbón activado [1].

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

En esta investigación con el objetivo de comprobar la eficiencia del carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz usado como medio adsorbente para la remoción de metales pesados, como: Pb, As, Cu, Cd, Fe, Zn y Cr [1], cuyos estos se representan como una peligrosidad para los ecosistemas naturales y por el mismo acto para la población ya que un cierto porcentaje de esta desarrolla sus actividades agrícolas y económicas con los recursos naturales que le proporciona el ecosistema, lo cual esto se ve influenciado por la presencia de mencionados metales. Tal es el caso de la región cajamarquina [7]. mencionan que en este departamento las actividades extractivas pasadas de minerales en la provincia de Hualgayoc, han dejado más de 1250 pasivos ambientales mineros.

Por lo expuesto anteriormente en este estudio también se estudia las características químicas del carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz que hacen posible la adsorción de metales pesados y su remoción, [11]. menciona que este posee una densidad aparente con un valor de 0.73 g/ml, contenido de humedad un 6.62%, contenido de ceniza 45.97%, tamaño de partícula 200.00µm, área superficial 272.50 m²/g, acidez superficial 0.10mEq/gry basicidad superficial con un 0.45mEq/g.

Tal es el caso del estudio [10]. En donde este considera que a mayor dosis de carbón activado y mayor tiempo de contacto brinda mayor eficiencia en la adsorción del plomo y del cadmio, ya que a una concentración de 0.030 mg/L de plomo, aplicando 3 gramos de carbón activado representa una reducción de 96.04%. Así mismo para el cadmio en una concentración de 0.025 ml/L aplicando 3 gramos de carbón activado presenta una reducción de 95.89%, resultados de reducción para ambos metales con respecto a su concentración inicial.

Así mismo en un estudio [4]. trabajan con metales como el Cu, Pb, zn, y Fe, son metales pesados presentes en aguas procedentes de la minería formal de Cerro de Pasco, en este estudio no solo utilizan la cascarilla de arroz sino también dispersiones de jabón de 90 ml a 110 ml, la extracción de metales pesados oscilan en el rango de 95% a 99% cuando hay mezclas de varios metales pesados cuyas concentraciones están en el rango de 13 mg/La 114 mg/L y las cantidades de cascarilla de arroz fluctúan entre 2,0gra 3,25g, alcanzando un pH de 6,0 – 7,5.Ademas en este

estudio se recuperan significativos volúmenes de agua pues esto se genera cuando los metales pesados no superan los 120 mg/L. pues por cada 100 ml de muestra tratada se puede recuperar entre un 70% y 90% de agua contaminada la cual está según los Estándares de calidad ambiental ya son de categoría 3 en lo que respecta para su uso en agricultura o bebida de animales.

De la misma manera [8]. donde se aplicó el carbón activado, así como para otros estudios con dosis de 1gr 1,5gr y 2gr donde se muestra una vez más el mayor porcentaje de remoción con la dosis aplicada más alta expresado en 76.58% de cobre removido. De la misma forma fue para el Hierro en un estudio realizado por el mismo autor del cobre donde también se aplicó dosis diferentes y se demostró su mayor eficiencia con la dosis mayoritaria logrando remover 58.2% de este metal, otro metal que se aplicó esta metodología para su remoción fue el Zinc, donde de la misma forma se aplicó dosis diferentes y se logró remover 76.43% de este metal.

Estos resultados ya mencionados tienen el respaldo de otros autores tal es el caso [3]. en Puno Juliaca, en su tesis realizada tuvo como objetivo evaluar la remoción de arsénico y cromo en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomasa de granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) donde los resultados obtenidos muestran que ambas biomasa presentan la capacidad de remoción, mayores al 50%. De la misma manera el autor Manrique (2013), en la ciudad de Arequipa Perú, en su artículo de investigación, tuvo como objetivo “realizar la optimización simple y dual del proceso productivo del carbón activado de la cascarilla de arroz, con los agentes de activación química como es el hidróxido de potasio y ácido fosfórico; y comprobar su capacidad para adsorber metales contaminantes como el cromo (VI).

Conclusiones

En este estudio se comprobó la eficiencia que tiene el carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz y utilizado como medio adsorbente para la remoción de metales pesados de efluentes industriales, llegando a tener resultados eficientes, tal es el caso del plomo que removió un (96.80%), cadmio (96.04%), arsénico, (95.89%), cromo (90.00%), cobre (76.58%), zinc (76.43%) y en menor escala está el hierro con un (58.02%), donde se terminó que la remoción de mencionados metales dependió tanto de la concentración de carbón activado y el tiempo de contacto, así mismo del metal pesado, ya que con todos no se obtuvo el mismo porcentaje de remoción como es descrito anteriormente, por otro lado se determinó que a mayor dosis de carbón activado mayor será la eficiencia del porcentaje de remoción [1].

Se llegó a comprobar la gran capacidad que tiene el carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz para la remoción del plomo, arsénico, cobre, cadmio, zinc y cromo, donde se evidenció que el mayor porcentaje de remoción de los metales estudiados, fue más eficiente con el plomo ya que removió un 96.80% a diferencia de los otros metales estudiados que su capacidad de remoción es de menor proporción, así mismo se determinó que este proceso para remover metales pesados es sostenible ya que se está dando un valor agregado a la cascarilla de arroz para afrontar este gran problema de efluentes industriales que en su mayoría contienen metales pesados los cuales son muy dañinos para el ambiente y el desarrollo de las comunidades[1].

Se analizó las características estructurales que tiene la cascarilla de arroz y de qué manera influye en la remoción del plomo, arsénico, cobre, cadmio, zinc y cromo presentes en el agua, donde se determinó la composición de celulosa promedio de 61.12% esto atribuye a la capacidad de remoción de la cascarilla de arroz a los compuestos lignocelulósicos que es esencial para la remoción de metales pesados [1].

V. REFERENCIAS

- [1] N. Roncal y C. Villanueva , «Eficiencia del carbón activado de cascarilla de arroz como adsorbente en remoción de metales pesados de efluentes industriales- Cajamarca 2021,» *Universidad Privada del Norte*, pp. 36-67, 2021.
- [2] J. Tomailla y J. Iannacone , «Toxicidad letal y subletal del arsénico, cadmio, mercurio, cromo y plomo sobre el pez,» *Rev. Toxicol*, vol. 35, pp. 95-105, 2018.
- [3] Y. Choquejahua, «Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomasa de granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones altoandinas - Puno, 2018,» *Universidad Peruana Union*, pp. 1-13, 2018.
- [4] D. A. Alcántara, «Metodo integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la sierra central 2018,» *Universidad nacional Federico Villareal*, pp. 60-85, 2018.
- [5] R. Hernandez, C. Fernández y M. d. P. Baptista , *Metodología de la investigación*, sexta edición, 2014, pp. 92-93.
- [6] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de muestreo sobre una población de estudio,» *Int.J.Morphol*, pp. 174-175, 2017.
- [7] K. Afán y V. E. Flores , «Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017,»

Universidad Privada Norbert Wiener, pp. 13-31, 2017.

- [8] D. F. Navarrete , N. R. Quijano y C. D. Vélez,
«Elaboración del carbon activado a partir de materiales no
convencionales, para ser usado como medio
filtrante,» *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 2014.
- [9] G. Doria , C. Valencia , A. Hormaza y D. Gallego ,
«Estudio preliminar de la cascarilla de arroz modificada y
su efecto en la adsorción de Cr(VI) en solución,»
Producción + Limpia, vol. 11, nº 1, pp. 103-116, 2016.
- [10] A. Guevara, «Bioadsorción de plomo y cadmio mediante
el uso de carbón activado proveniente de la cascarilla de
arroz en las aguas de la laguna Huascacocha, Yauli, Junín
2018,» *Universidad Cesar Vallejo*, pp. 100 - 116, 2018.
- [11] M. S. Caverro, «Influencia del porcentaje de ceniza de
cascarilla de arroz y la concentración del activador
alcalino sobre la remoción de iones cromo de filtros
geopoliméricos basados en metacaolín,» *Universidad
nacional de Trujillo*, pp. 39-55, 2020.