

Identificación De Las Aplicaciones De La Cascarilla De Arroz En Tratamiento De
Cromo (Vi) En Aguas Residuales En El Departamento De Casanare.

Autor:

Claudia Beatriz Sibaja Agamez

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y Medio Ambiente – ECAPMA

Programa De Ingeniería Ambiental

Yopal, 2020

Identificación De Las Aplicaciones De La Cascarilla De Arroz En Tratamiento Cromo
(Vi) En Aguas Residuales En El Departamento De Casanare.

Autor:

Claudia Beatriz Sibaja Agamez

Monografía Presentada Como Requisito De Trabajo De Grado De Ingeniero Ambiental

Asesor:

Daniel Enrique Mejía Cáceres

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y Medio Ambiente – ECAPMA

Programa De Ingeniería Ambiental

Yopal, 2020

Dedicatoria

Este trabajo quiero dedicarlo solo a Dios que me permite este nuevo paso en mi vida y por colocar a mi lado personas incondicionales que me brindaron todo su apoyo durante el proceso

Agradecimientos

A Dios por ser el dueño de mi vida y por permitirme cumplir esta meta.

A todos los que me aman por su apoyo, amor y comprensión.

Y a los docentes de la UNAD que me orientaron en todo este proceso.

Tabla de Contenido

Contenido

Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Estado del arte de la investigación.....	13
Identificación del problema de la investigación.....	16
Formulación de la hipótesis de la investigación.....	18
Sistematización del problema.....	18
Objetivos.....	19
Justificación.....	20
Métodos De Adsorción De Cromo (Vi) Utilizando Cascarilla De Arroz Como Adsorbente.....	23
Método 1.....	23
Método 2.....	28
Resultados.....	31
Análisis De Resultados.....	54
Discusión De Resultados.....	62
Conclusiones.....	65
Bibliografía.....	67

Listado de tablas

Tabla 1. Serie histórica. Área sembrada en arroz mecanizado según municipio	35
Tabla 2. Composición de la cascarilla de arroz.....	36
Tabla 3. Composición química de la cascarilla de arroz	37
Tabla 4. Características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz.....	37
Tabla 5. Residuos de Cromo (VI).....	50
Tabla 6. Constantes de Freundlich y Langmuir para la adsorción de cromo (VI) en la cáscara de arroz modificada químicamente.....	61

Listado de figuras

Figura 1. Cariópside de arroz y sus estructuras.....	31
Figura 2. Representación gráfica de la planta de arroz.....	32
Figura 3. Estructura del grano y rendimiento promedio en la molienda.	33
Figura 4. Estructura química de azúcares en cascarilla.....	38
Figura 5. Esquema general de los usos de cascarilla de arroz.	41
Figura 6. Dispositivo de tratamiento de agua residual con biofiltros de cascarilla.	48
Figura 7. Reacciones del Cr (VI) y Cr (III)	51
Figura 8. Proceso de adsorción.....	52
Figura 9. Resultado obtenido con el uso de 0.25 g de adsorbente.....	55
Figura 10. Resultado obtenido con el uso de 0.5 g de adsorbente.....	56
Figura 11. Resultado obtenido con el uso de 1 g de adsorbente.....	56
Figura 12. Efecto del pretratamiento químico de la cáscara de arroz en la adsorción de cromo (VI) en solución.....	59
Figura 13. Efecto del pH del medio en la adsorción de cromo (VI) en solución.	59
Figura 14. Variación de la concentración de cromo (VI) en el estado de oxidación +6, +3, y el cambio en la concentración de cromo total en función de la masa de bioadsorbente empleado para una solución de 10 ppm del metal en medio ácido.....	60

Resumen

Con esta monografía se busca describir la variedad de usos que se le pueden dar a la cascarilla de arroz en el tratamiento de aguas residuales en el departamento de Casanare en especial en la eliminación de metales como el Cromo (VI), ya que en la actualidad se están utilizando métodos químicos que generan un gasto adicional a las empresas y esto sin contar el daño provocado al ecosistema por el uso de estos productos.

Hoy día es importante crear una conciencia ecológica a nivel personal como industrial para hacer un uso racional de los recursos naturales con que contamos, más que una obligación se debe convertir en un compromiso social y empresarial, es aquí donde juega papel importante el uso de los subproductos que deja la agroindustria en la región, ya que se pueden aprovechar oportunamente dentro de las mismas empresas ya sea para reducir los costos, los desechos generados, el uso de recursos energéticos o para preservar el medio ambiente. El departamento de Casanare es hoy el mayor productor de arroz en Colombia y sería estratégicamente más competitivo si el de tratamiento de las aguas residuales proveniente de los molinos se realizaran con el uso de la cascarilla de arroz.

Palabras Claves: Tratamiento, Agua, Contaminación, Cascarilla, Arroz, Reutilización.

Abstract

This monograph seeks to describe the variety of uses that can be made of rice husk in the treatment of Cr (VI) in wastewater in the department of Casanare, since currently chemical methods are being used that generate an additional expense to companies and this without counting the damage caused to the ecosystem by the use of these products.

Today it is important to create an ecological awareness at a personal and industrial level to make rational use of the natural resources we have, more than an obligation it must become a social and business commitment, it is here that the use of by-products left by the agro-industry in the region, since they can be opportunely used within the same companies either to reduce costs, waste generated, the use of energy resources or to preserve the environment. The department of Casanare is today the largest rice producer in Colombia and would be strategically more competitive if the treatment of the wastewater from the mills were carried out with the use of the rice husk.

Key Words: Treatment, Water, Pollution, Scale, Rice, Reuse.

Introducción

La presente monografía se realiza a través de una revisión bibliográfica de fuentes académicas a cerca de los diferentes usos de la cascarilla de arroz en el tratamiento de aguas residuales en especial los encaminados a la eliminación de metales como el cromo (VI), y se describe otro tipo de procesos como lo es el biofiltro (Figura 6), utilizando la cascarilla de arroz.

Aproximadamente el 20% del arroz es cascarilla, de esta cascarilla cruda el 20% es ceniza inorgánica compuesta en un 96% de óxido de sílice, un mineral de gran interés tecnológico en el área de materiales. Precisamente la composición química de la cascarilla y sus propiedades físicas, son las que han atraído la atención de varios investigadores, que buscan aprovechar de manera sostenible este importante subproducto agroindustrial. Por otro lado, el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa lo convierte en una fuente de energía, aprovechable de manera bioquímica y térmica (Díaz, 2019).

La descarga de metales pesados al ambiente a partir de actividades domésticas causa numerosos problemas debido a la toxicidad intrínseca, a su bioacumulación, y a su persistencia en la naturaleza (Sud, Mahajan, & Kaur, 2008).

Las técnicas de remoción convencionales de metales en solución, el intercambio iónico o la precipitación química, son a menudo costosas o poco efectivas en presencia de bajas concentraciones del contaminante (Fu & Wang, 2011). El mecanismo de la

bioadsorción depende de los grupos funcionales presentes en la superficie de la biomasa, de la naturaleza del metal, y de la matriz alrededor de las especies bioadsorbentes (Wang & Chen, 2009). La temperatura, el pH, la concentración inicial del metal, y la dosis de la biomasa son factores determinantes en la bio adsorción pasiva de tóxicos por materiales biológicos, es un procedimiento alternativo competitivo, efectivo y de bajo costo (Eggs, Salvarezza, Azario, Fernández & García, 2012).

Numerosos materiales naturales de bajo costo poseen características adecuadas para ser usados como bioadsorbentes, entre estos encontramos la cascarilla de café, el bagazo de caña de azúcar, la corteza de plátano, la cáscara de arroz, la fibra de coco, la cáscara de citrus, la madera y las algas (Elangovan, 2008; Sud, 2008; Saha, 2009; Schiewer & Iqbal, 2010). Respecto al empleo de cáscara de arroz, numerosos autores han reportado la eficacia de este material como adsorbente en la remoción de soluciones de distintos metales como el Cromo (VI), y así también en la de colorantes orgánicos (Srivastava, 2006; Srivastava, 2007; Bansal, 2009; Rafatullah, 2010).

Se ha reportado que los bioadsorbentes sin modificar poseen menor capacidad de adsorción de iones metálicos debido a la falta de grupos químicos funcionales adecuados sobre la superficie (Sud, 2008). Para aumentar la eficiencia de remoción de tóxicos en los biomateriales se emplean tratamientos ácidos (Vaughan, 2001; Mohan & Sreelakshmi, 2008) o básicos (Daifullah, 2003; Gurisik, 2004) que aumentan las cargas superficiales positivas o negativas, respectivamente, o a través del endurecimiento de la pared celular por medio de reacciones de entrecruzamiento (Kim, 1999).

Se describe el proceso de tratamiento de aguas residuales industriales y el de la eficiencia de la cascarilla de arroz en el proceso de adsorción del $\text{Cr}(\text{VI})$ que se encuentra presente en la misma, también se describe el paso a paso de los métodos de evaluación de la capacidad de remoción de Cromo (VI) mediante el uso de cáscara de arroz modificada químicamente empleados por Eggs, Salvarezza, Azario, Fernández & García, (2012) y Rodríguez, Salinas, Ríos & Vargas, (2012).

Estado del arte de la investigación.

La adsorción de Cr (VI) utilizando cascarilla de arroz resultó ser altamente dependiente de las variables valor de pH, dosificación de adsorbente, concentración inicial del metal y tiempo de contacto; el establecimiento de las mejores condiciones del proceso permitió alcanzar una remoción máxima del 100% a pH 1, dosificación de 3 g/L, concentración 3 mg/L, velocidad de agitación 127 rpm y a un tiempo de contacto 720 min. En cuanto al equilibrio, el mejor ajuste se alcanzó con la isoterma de Langmuir, obteniendo una capacidad de adsorción de 1.25 mg/g a un valor de pH 1. (Doria, Hormaza & Gallego, 2011).

Efecto de la dosificación de adsorbente Para determinar la eficiencia de la cascarilla de arroz como material adsorbente se utilizó varias dosificaciones. Los análisis se llevaron a cabo a una concentración de Cr (VI) de 3 mg/L, pH 1, velocidad de agitación de 127 rpm a una temperatura de 25 ± 2 °C, con una variación en la dosificación de 0,1 g/L hasta 8,0 g/L. Se encontró que un aumento en la dosificación conduce a un incremento en la remoción del metal, lo cual se explica debido a la mayor área superficie y por tanto, mayor cantidad de sitios de retención disponibles. En la figura 5, se muestran estos resultados, alcanzando porcentajes de remoción de hasta un 100% a una dosificación de 3 g/L. Dosificaciones mayores a 3 g/L conducen a una disminución del valor de la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz, hecho que puede argumentarse como consecuencia de la superposición de los sitios activos y con ello una acumulación de partículas de adsorbente, (Gupta, 2009).

Se llevó a cabo un análisis univariado, bajo sistema discontinuo, considerando las principales variables que afectan el proceso de adsorción, que en su orden son, pH inicial, dosificación de adsorbente, concentración del metal y tiempo de contacto. Para comprobar la retención del contaminante se efectuó un análisis DRIFT del material de estudio, el cual fue realizado antes y después del fenómeno fisicoquímico de adsorción. (Doria, Hormaza & Gallego, 2011).

La cáscara de arroz modificada químicamente podría ser un biomaterial potencialmente útil en la remoción de ambientes contaminados con Cromo (VI). Existen tres ventajas en el uso de este biomaterial: en primer lugar, presenta alta disponibilidad debido a que no tiene un uso importante en descontaminación; en segundo lugar, las variedades de arroz cultivadas en la zona generan un tipo de cáscara que dada sus características retiene polvillo generando un problema de contaminación ambiental; y finalmente, la cáscara de arroz modificada químicamente con hidróxido de potasio muestra una elevada capacidad de remoción de Cromo (VI) que puede alcanzar los 3 mg Cr (VI)/g. (Eggs, Salvarezza, Azario, Fernández & García, (2012).

Una membrana puede definirse como una película delgada que separa dos fases y que actúa como una barrera selectiva al transporte de materia. Esta definición incluye las membranas permselectivas e implica que existe una diferencia de potencial químico entre las dos fases, siendo fundamental el comportamiento de la membrana como material funcional en el proceso de separación de materiales. (Ayala, Peñuela & Montoyab, 2006).

En depuración de aguas residuales industriales, en general, se realizan diversos procesos para llevar el agua a parámetros admisibles por la resolución número 0631 del 17 de marzo de 2015 que actualizó el decreto 1594 de 1984, sin embargo, la eliminación de los metales como el Cromo (VI) resulta compleja y dispendiosa, además presenta el inconveniente que todos los tipos de tratamientos generan a su vez residuos (Ospina, Rodriguez & Gonzalez, 2017).

Los carbones activados, arcillas, biopolímeros, zeolitas, perlas de sílice y plantas o desechos lignocelulósicos son algunos de los adsorbentes, generalmente con procesos variados de modificación química (Wan Ngah, 2011).

Córdoba, Hoyos, Rodríguez & Uribe, (2017) en su investigación denominada “Remoción de cadmio (II) y níquel (II) sobre cascarilla de arroz tratada química y térmicamente, como alternativa de descontaminación realizaron un trabajo cuyo objetivo fue evaluar la adsorción simultánea de Cd^{2+} y Ni^{2+} sobre un adsorbente preparado a partir de cascarilla de arroz mediante tratamiento químico con hidróxido de sodio 0.5 M y térmico a 300°C . Los ensayos de adsorción simultánea de Cd^{2+} y Ni^{2+} se realizaron utilizando diferentes combinaciones de los cationes metálicos en soluciones acuosas para evaluar el efecto de las diferentes concentraciones. Se encontraron adsorciones entre 66 y 99% de ambos metales. Se presentó un efecto antagónico entre el Cd^{2+} y el Ni^{2+} , los cuales compiten por ocupar los sitios activos en la superficie del material adsorbente. Así mismo, se determinó que había una adsorción preferente de Cd^{2+} sobre el material independientemente de su concentración inicial, lo que indica una mayor afinidad entre el adsorbente y el Cd^{2+} . En conclusión, el material adsorbente evaluado es eficiente en la remoción simultánea de dos metales pesados

como Cd^{2+} y Ni^{2+} , por lo que se podría utilizar como una alternativa de descontaminación de fuentes hídricas contaminadas con estos metales.

Identificación del problema de la investigación.

La generación de cascarilla de arroz en Yopal es del 20% de la producción total de los molinos, convirtiéndose esta en el mayor desecho orgánico del principal sector económico de la región que no está siendo aprovechado de forma eficiente, en la actualidad se usa principalmente como cama de animales y elaboración de abonos. Sin embargo, existen muchos usos más a nivel ambiental, energético, construcción, entre otros. Para tratamiento de aguas se ha demostrado su efectividad en remoción de metales como el Cromo (VI), colorantes, sólidos suspendidos entre otros.

Desde el punto de vista ambiental las aguas residuales representan un problema de alta complejidad para su solución por el alto costo de su tratamiento y el uso de tecnologías de difícil consecución.

Al ser Colombia un productor de arroz en varias regiones del país, se tiene disponibilidad de cascarilla para la evaluación e implementación en sistemas de tratamiento de aguas residuales. A través de este trabajo se identificará las formas en que se usa para este propósito y los tipos de contaminantes que es capaz de remover.

Por esto y por muchas más necesidades, nos vemos en la obligación de implementar tecnologías alternativas con los materiales orgánicos que tengamos en la

región, en el caso de Casanare que es el mayor productor de arroz de Colombia, basaremos la investigación en las diferentes aplicaciones de la cascarilla de arroz en el tratamiento de Cromo (VI) en aguas residuales. Las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales han mostrado que el éxito de la remoción no se debe exclusivamente a la disponibilidad de las técnicas, sino a la interacción de diversos aspectos económicos, socioculturales, biofísicos y políticos-administrativos que comprende un territorio (Díaz, Alvarado, Camacho, 2012). En el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales se utilizan diferentes métodos como es el caso de los procesos físicos: cribado, sedimentación, filtración, flotación y floculación; y químicos: coagulación, intercambio iónico, precipitación, neutralización, ultrafiltración, etc) y biológicos: pueden ser aeróbicos o anaeróbicos como reactores biológicos, lagunas aireadas, lodos activados, zanjas de oxidación, etc.; estos métodos muestran mayor eficiencia en sus resultados cuando las administraciones gubernamentales destinan una buena cantidad o la cantidad suficiente de recursos económicos y humanos que permitan el ideal funcionamiento de la planta, ya que les permite disponer de materiales, equipos y herramientas de calidad que garantiza un buen proceso, adicional a esto la importancia de la realidad social y las costumbres de la comunidad generadora de dichas aguas residuales.

La cascarilla de arroz es un material ampliamente utilizado en procesos de remoción de metales pesados demostrando eficiencia y facilidad en su aplicación, lo que la perfila como una alternativa viable, económica y de fácil acceso para solucionar problemas de contaminación de afluentes por metales como el Cromo (VI) (Llanos, Ríos, Jaramillo & Rodríguez, 2016).

Formulación de la hipótesis de la investigación.

La cascarilla de arroz posee propiedades adsorbentes que permiten la eliminación de metales como el Cromo (VI) en aguas residuales industriales.

La capacidad adsorbente de la cascarilla de arroz es atribuida a la naturaleza de sus componentes, celulosa, hemicelulosa y lignina.

Aguas residuales contaminadas con Cromo (VI) pueden ser tratadas con adsorbentes como los de la cascarilla de arroz y remplazar la filtración por membranas sintéticas.

Sistematización del problema.

¿La cascarilla de arroz es efectiva como adsorbente en el proceso de tratamiento de Cromo (VI) en aguas residuales?

¿Es viable utilizar la cascarilla de arroz como principal adsorbente de metales pesados como el Cromo (VI) de aguas residuales en el departamento de Casanare?


¿Puede la cascarilla de arroz como adsorbente de metales pesados sustituir el uso de membranas sintéticas en el tratamiento de aguas residuales con presencia de Cromo (VI)?


Objetivos.


Objetivo general

Evaluar las aplicaciones de la cascarilla de arroz en tratamiento de cromo (VI) en aguas residuales.

Objetivos específicos.

-  Identificar las características de la cascarilla de arroz que permiten la remoción de Cromo (VI) de aguas residuales.

-  Detallar las aplicaciones de usos de la cascarilla de arroz en tratamiento Cromo (VI) en aguas residuales.

-  Describir el procedimiento de eliminación de Cromo (VI) presente en agua residuales utilizando cascarilla de arroz.

Justificación.

La razón para el desarrollo de esta investigación es básicamente la identificación del uso en la remoción del Cromo (VI) en aguas residuales que se le pueden dar a la cascarilla de arroz en el tratamiento de aguas residuales en el departamento del Casanare, ya que se cuenta con gran cantidad de este subproducto proveniente de los molinos de arroz de la región, con el fin de garantizar la reducción de los métodos químicos que actualmente se utilizan y apuntándole a un desarrollo sostenible en este sector productivo. En la presente monografía se tienen en cuenta dos aspectos muy relevantes como lo son el uso de un material orgánico y la abundancia en el departamento que permite acceder de forma fácil a este y utilizarlo en el proceso de tratamiento de Cromo (VI) en aguas residuales.

Cuidar un recurso como el agua se ha convertido hoy en una tarea de todos para evitar la escasez de tan preciado líquido en el futuro, de manera que no podemos continuar con las mismas prácticas de tiempo atrás donde se derrochaba el agua sin piedad; por eso debemos apostarle a diversas formas de protección y cuidado como es la siembra de árboles y evitar la tala de los mismos en especial en los ecosistemas que proveen agua, evitar la minería y apuntar a una producción más sostenible, implementar prácticas de ahorro en los hogares como lo es el no desperdicio y la reutilización del agua, también apuntar a la recolección y uso del agua lluvia en lugares y actividades que sean posibles sumado a esto la implementación de tratar aguas residuales con materiales orgánicos que no afecten el medio ambiente y que estén enmarcadas dentro de las tecnologías alternativas.

se genera disminución de la calidad del agua por el aumento de las cargas contaminantes que se vierten directamente a las corrientes, al manejo inadecuado de residuos sólidos y a la producción de bienes, utilizando, de forma no planificada, sustancias que, una vez alcanzan un cuerpo de agua, impactan negativamente sus características naturales. Todo ello, asociado a actividades agrícolas, pecuarias, industriales, mineras y domésticas

Los compuestos orgánicos de efluentes domésticos e industriales representan el problema más antiguo de contaminación del agua. En un principio, se priorizaban los efectos de los residuos domésticos sobre los industriales, debido al potencial de efectos agudos sobre la salud que poseían los residuos humanos, comparados con la creencia de que los residuos industriales producían sólo efectos indirectos. Pero conforme fueron apareciendo nuevos compuestos químicos procedentes de las industrias, se empezó a prestar una mayor atención a los efectos de los residuos industriales sobre la salud y su impacto en el medio ambiente.

Entre los contaminantes más comunes de las aguas residuales encontramos Compuestos procedentes de efluentes agrícolas los cuales contienen altos niveles de nitratos, fosfatos, amonio y sulfuros, y el drenaje de los silos puede ser tóxico, debido a sus bajos niveles de pH. Pero los compuestos más tóxicos de estos efluentes son los fertilizantes, herbicidas, fungicidas e insecticidas, materiales pesados como el hierro, Cromo (VI), plomo, cobre, mercurio, manganeso, níquel, zinc, fosforo, fenoles y materia orgánica y los residuos sólidos disueltos como grasas, jabones, trapos, residuos

de piel de animales, etc., (Espigares M & Pérez J, 1986); que son los encargados de alterar las características físicas, químicas y organolépticas del agua y que con esta monografía se busca presentar una alternativa enfocada a la eliminación del Cromo (VI) con el uso de la cascarilla de arroz y al mismo tiempo otorgar beneficios económicos y normativos a las empresas que pongan en práctica nuevas alternativas de tratamiento de aguas residuales con estas tecnologías que siguen la dinámica de la naturaleza.

Métodos De Adsorción De Cromo (Vi) Utilizando Cascarilla De Arroz Como Adsorbente

Método 1

Preparación de la cascarilla de arroz: Según Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012) inicialmente se pesaron 80 g de cascarilla de arroz, los cuales fueron transferidos a un crisol. El material de partida fue calentado en una mufla a 120 °C durante 1 h con el fin de eliminar la humedad presente en la muestra, tiempo al cabo del cual la temperatura se elevó a 450°C durante 1 h para obtener ceniza de cascarilla de arroz, según el método propuesto por Fierro V., Muñiz G., Basta A. El-Saied H. & Celzard, A (2010).

Cascarilla de arroz activada con H₃ PO₄: La preparación de la muestra de la investigación realizada por Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012). Titulada “Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de Cromo (VI) de efluentes de la industria de curtiembres”, se dividió en dos partes: activación y calcinación. En primera instancia se determinó la fracción de espacios vacíos, adicionando 2400 ml de agua destilada a 100 g de cascarilla de arroz en un vaso de precipitado hasta cubrirla. El volumen de H₃ PO₄ (85%) utilizado se calculó con base en la relación H₃ PO₄ /cascarilla de arroz de 1:5 propuesta por Fierro et al. (2010).

Debido a que la pureza del $H_3 PO_4$ es del 85 se requiere mayor cantidad para la activación de la cascarilla de arroz. La cantidad de $H_3 PO_4$ fue de 13,76 ml.

Posteriormente en tres vasos de precipitado se distribuyeron los 100 g de la cascarilla de arroz. Por otra parte, en un vaso de precipitado se pusieron 13,76 ml de $H_3 PO_4$ a los cuales se adiciono agua destilada hasta alcanzar un volumen de 2400 mL.

La solución resultante se distribuyó entre los tres vasos de precipitado que contenían la cascarilla de arroz. Luego, se dejó en contacto la cascarilla de arroz. Esta solución se dejó durante 1 h, se midió el pH y se realizaron varios lavados hasta obtener un pH neutro. Finalmente, la muestra se secó a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1 h y se calcino a $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1 h para obtener carbón activado. (Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012).

Ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH. La activación de la ceniza de cascarilla de arroz con NaOH se realizó para mejorar la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz, en dicho proceso se varió la concentración de la solución de NaOH, el tiempo de activación y la temperatura. Inicialmente se lavó la cascarilla con agua destilada, se secó a 120°C durante 24 horas, posteriormente se calcinaron las muestras a 400°C por 4 horas, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pusieron en contacto con soluciones de NaOH en concentraciones de 10%, 20%, 30%, 50% y 70% p/p, debido a que en trabajos previos realizados por GUO, Y., YU, K., WANG, Z. and XU, H. Effects of activation conditions on preparation of porous carbon from rice husk. Carbon, 41 (8), 2003, p.

1645-1648. se han utilizado relaciones de NaOH/ceniza de cascarilla de arroz de 3:1.

Finalmente, se aumentó la temperatura de activación con una tasa de calentamiento de 15°C/ minuto. Se dejó enfriar la muestra, se lavó con agua destilada y se filtró para secarse a 110°C por espacio de 3 horas. Cada muestra puesta en contacto con la solución de NaOH era de 3g de ceniza de cascarilla de arroz la cual era empapada con 10 ml de solución. (Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012))

Proceso de activación: Las concentraciones utilizadas (10%, 20%, 30%, 50% y 70% p/p) durante la activación alcalina no permitieron la formación del adsorbente, por lo que se evaluaron soluciones en concentraciones menores (0,5%, 1% y 5% p/p), las cuales si permitían obtener el carbón activado. Al evaluarlas a diferentes temperaturas y tiempos de activación se obtuvo que las mejores condiciones del carbón para obtener mayor remoción fueron: 1% p/p de la solución de NaOH que es la encargada de favorecer la formación de los poros, 600°C y 30 min de activación.

El tiempo de activación fue de 30 minutos, debido a que comparado con los otros tiempos evaluados se obtuvo mayor remoción de Cromo (VI), esto se presentó porque a tiempos menores el contacto entre la ceniza de cascarilla de arroz y el NaOH no era suficiente para favorecer la formación de los poros y a tiempos mayores estos se destruían. La temperatura de activación seleccionada fue de 600°C, ya que temperaturas menores no garantizaron la eliminación del material volátil afectando la posibilidad de aumentar la porosidad del adsorbente, mientras que temperaturas superiores rompen enlaces disminuyendo los poros.

Se usó un efluente de la industria de curtiembres que opera en el Parque Industrial de Chimita (Santander), el cual presenta una concentración de cromo (VI)

promedio de 1700 mg/L, esto comparado con la concentración máxima permisible en vertimientos industriales que es de 1 mg/L, deja ver la carga tan alta de este metal pesado. La muestra inicialmente fue filtrada para eliminar la presencia de residuos sólidos, y La biomasa utilizada como material de partida en el presente estudio corresponde a la cascarilla de arroz adquirida en la Arrocería La Granja, Bucaramanga (Santander).

Por último, la concentración de la solución del agente activante fue de 1% p/p puesto que a valores mayores de 10% se obtuvo un gel que no presentó las propiedades para un contacto homogéneo con el agua de curtiembre y las concentraciones de 0.5% y 5% removieron menor cantidad de Cromo (VI). Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012).

Caracterización fisicoquímica de la cascarilla de arroz: Las muestras de la cascarilla de arroz original de la investigación adelantada por Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012). Titulada “Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de Cromo (VI) de efluentes de la industria de curtiembres”, y modificadas fueron pulverizadas utilizando un mortero de ágata¹ y llevada a un tamaño de 38 μ m (400 mesh). Una cantidad representativa de la muestra de cascarilla de arroz fue colocada en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado lateral para hacerle el análisis mineralógico. La toma de datos de difracción se realizó en un difractómetro marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB.

¹Ágata: El Ágata es el nombre que se le da a numerosas variedades de Calcedonia en bandas, un mineral de la familia del Cuarzo. Metafísicamente, el Ágata tiene una intensidad menor y vibra a una frecuencia más lenta que otras piedras, pero es altamente considerada como una influencia estabilizadora.

Las condiciones experimentales fueron voltaje: 40 kV, corriente 30 mA, rendijas (slits): Ds (1.0°), RS (0,3mm) y SS (1.0°), muestreo: 1.0°, rango de medición: 2-70° (2 θ radiación: CuK α 1, monocromador: grafito, detector: centelleo, tipo de barrido: a pasos y tiempo de muestreo: 2 seg. El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

La morfología de la cascarilla de arroz fue analizada por microscopía electrónica de barrido (MEB) en un microscopio electrónico de barrido ambiental marca FEI modelo Quanta 200, el cual presenta un dispositivo de emisión de campo FEG (Field emission Gun). Este equipo permite realizar observaciones en tres modos de operación diferentes: alto vacío, bajo vacío y condiciones ambientales, dispone de detectores para la realización de imágenes de SE (secondary electrons) y BSE (back-scattered electron microscopy).

Las imágenes al MEB fueron tomadas utilizando las siguientes condiciones experimentales: magnificación = 100-6000x, distancia de trabajo (WD) = 8.4, voltaje de aceleración (HV) = 7.0 kV, tamaño del haz (spot) = 3.0, modo SE, detector LFD. Con el fin de determinar los grupos funcionales responsables de la adsorción de metales, la cascarilla de arroz y sus productos de activación fueron analizados por espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR), utilizando un espectrómetro marca Bruker, modelo Tensor 27, en la región de 4000-400 cm⁻¹

Ensayos de adsorción: Se llevaron a cabo experimentos batch con un efluente de la industria de curtiembres usando 3 tipos de materiales adsorbentes: ceniza de

cascarilla de arroz, cascarilla de arroz activada con $H_3 PO_4$ y ceniza de cascarilla de arroz activada con hidróxido de sodio, evaluadas bajo los mismos parámetros. Se puso en contacto 0.25, 0.5 y 1 g de adsorbente con 50 mL de solución (efluente industrial) a temperatura ambiente. Las muestras fueron sometidas a agitación de 10 rpm hasta por 24 h en un Shaker BIOT-S-04 (GFL). Los tiempos medidos para agitación fueron: 5, 10, 15, 30, 45, 60, 360, 720, 1440 min. El peso del adsorbente se determinó en una balanza analítica meter Toledo AB204 con capacidad mínima de 10 mg y capacidad máxima de 210 g. Posteriormente, las muestras fueron filtradas y se midió el pH resultante. La determinación del contenido de Cromo (VI) tanto de la solución original como de las soluciones tratadas se realizó mediante el método de adsorción atómica de llama en un espectrofotómetro marca Thermo Electrón Corporation, mientras que la determinación del pH de la solución, así como su variación a lo largo del proceso de remoción, se llevó a cabo con un pHmetro digital marca Schott Instrument.

Método 2

La cáscara de arroz fue molida previa a la modificación química con hidróxido de potasio o ácido fosfórico.

Modificación química con hidróxido de potasio: A una determinada cantidad de cáscara de arroz se agrega una cantidad suficiente de hidróxido de potasio 1% m/m y se hierve durante 30 minutos. Se deja en reposo durante una noche, se realiza una filtración y se efectúan dos lavados con agua destilada, y luego se lava con ácido clorhídrico al 10% para alcanzar un pH de 5. Finalmente, se seca en estufa a 100 °C.

Modificación química con ácido fosfórico: A una determinada cantidad de cáscara de arroz se agrega una cantidad suficiente de una solución de ácido fosfórico 1 M y se agita durante 24 horas. Posteriormente, la cáscara de arroz es lavada con agua destilada y secada en estufa a 70 °C.

Protocolo de adsorción: Se realizó un análisis cinético con el fin de determinar las condiciones óptimas del proceso considerando diferentes parámetros como pH, tiempo de incubación, concentración de Cromo (VI) en solución y masa de bioadsorbente.

Los experimentos de adsorción se realizaron en un baño termostático de marca Vicking, fabricado en Argentina, a una temperatura de 20 °C con agitación continua. Se usaron erlenmeyers de 100 ml conteniendo una determinada masa del bioadsorbente (100 a 1000 mg) y 50 ml de la solución Cromo (VI) (10 a 100 ppm). El pH inicial fue ajustado con ácido clorhídrico 0.1 N o hidróxido de sodio 0.1 N. Se realizó una filtración después de un determinado tiempo de incubación, y el filtrado fue usado para el análisis de Cromo (VI).

La determinación de Cromo hexavalente (VI) se realizó a través del método de la difenilcarbazida y la lectura se efectuó a 540 nm en un espectrofotómetro UV/visible (Metrolab 330, ARGENTINA). La determinación de Cromo (VI) total se realizó por espectrometría de adsorción atómica con un convertidor de potencia Buck 210 VCG, de fabricación estadounidense. Se utilizó para el análisis una llama aire-acetileno y la lectura se realizó a 357.9 nm.

Los reactivos utilizados fueron dicromato de potasio, hidróxido de potasio y cloruro de cadmio producido por la compañía Merck Millipore, hidróxido de sodio y

nitrate de plomo producido por Laboratorios Cicarelli, ácido fosfórico y ácido clorhídrico producido por la empresa Anedra.

Los resultados se expresan como la media más el error standard de la media (n=3). El análisis estadístico se realizó mediante el test t de Student o el análisis de la Varianza de un factor seguido del test de Dunnet. En todos los casos, $p < 0.05$ fue considerado significativo.

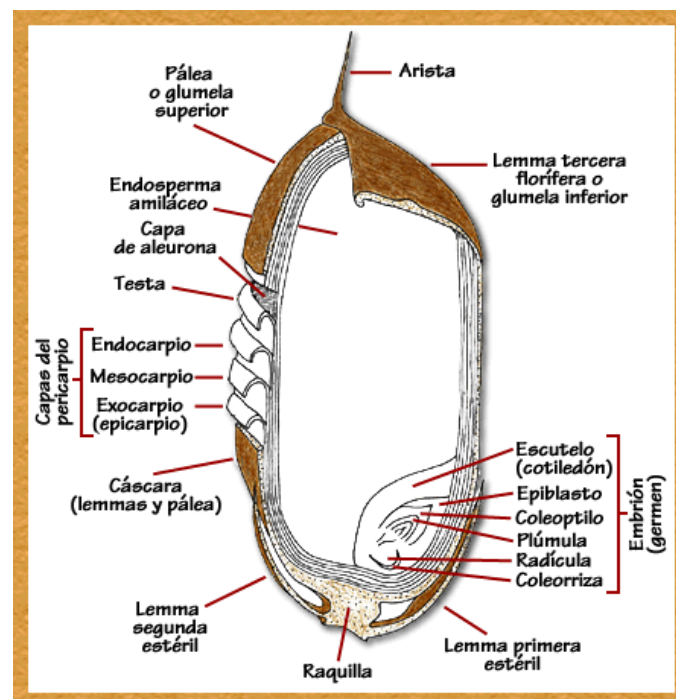
Resultados

Características de la cascarilla de arroz:

Generalidades de la cascarilla de arroz en el departamento de Casanare.

La semilla del arroz es un grano seco forado por el pericarpio que a su vez está formado por la lemma y pálea que son las estructuras que forman la cascarilla. Debajo de la lemma y la patea hay tres capas de células que también constituyen el pericarpio; debajo de esta se encuentran dos capas el tegumento y la aleurona como se muestra en la figura 1, (Barona, 2010) y el endosperma blanco, que es el principal componente de la semilla y se encuentra compuesto por almidón dentro en una matriz proteica.

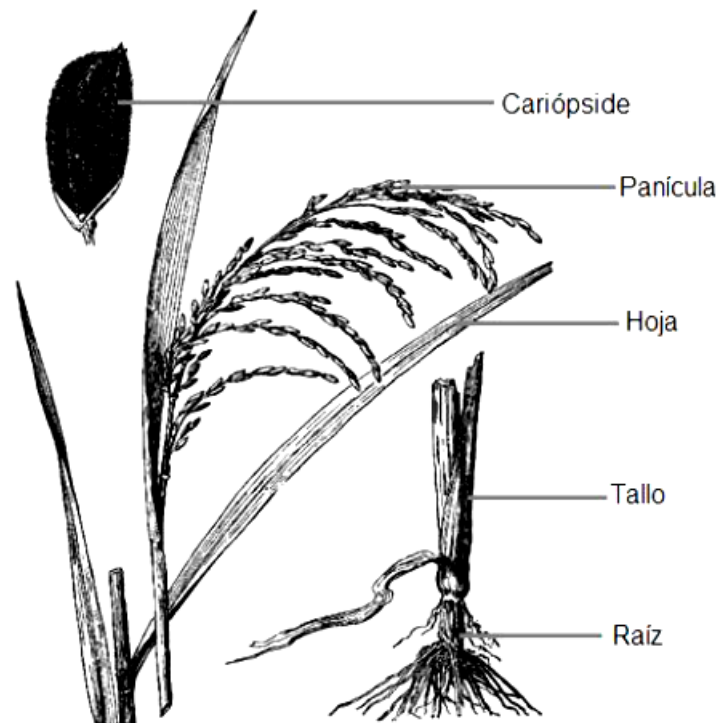
Figura 1. Cariósida de arroz y sus estructuras.



Fuente: Gnanamanickam, (2009).

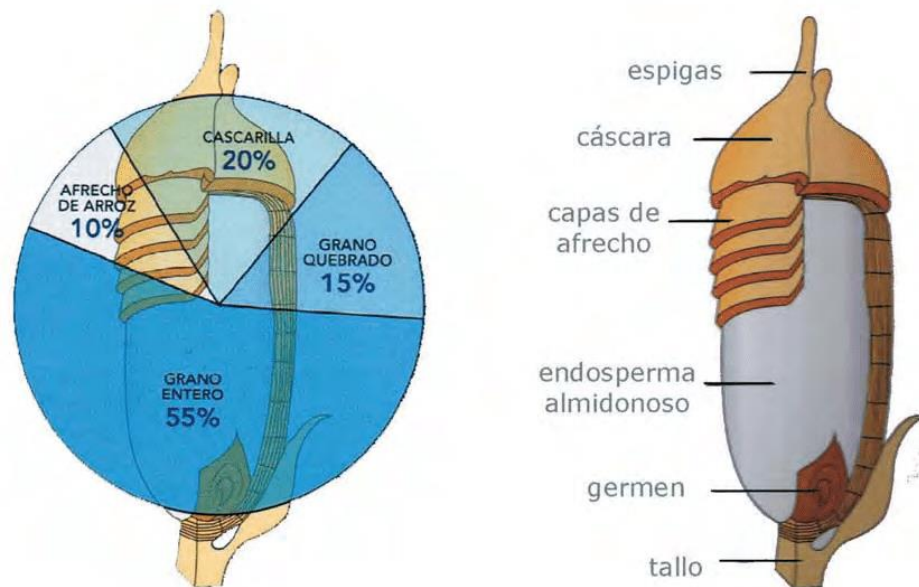
La cáscara de arroz se obtiene del fruto (cuya estructura y rendimiento promedio en la molienda se describe en la figura 3) de la planta (figura 2), es un subproducto agrícola que, a pesar de sus características adversas al no ser aprovechadas correctamente, como es el caso de la quema indiscriminada de este subproducto de la industria arrocera, tiene gran potencial no sólo para generar energía sino también para obtener subproductos de mayor valor agregado. La presencia de compuestos tales como celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice en este material con sitios de unión capaces de secuestrar metales, permiten sugerir el uso potencial de este residuo en la detoxificación de ambientes contaminados con Cromo (VI), de una forma ambientalmente amigable y costo-efectiva (Eggs, Salvarezza, Azario, Fernández & García, 2012).

Figura 2. Representación gráfica de la planta de arroz.



Fuente: Gnanamanickam, (2009).

Figura 3. Estructura del grano y rendimiento promedio en la molienda.



Fuente: García, Lanfranco, & Hareau, (2012).

La cascarilla de arroz es uno de los desechos más importantes de la producción de arroz de la Orinoquía colombiana. La cantidad de cascarilla que se genera, año tras año en la región, puede superar las 100.000 ton / año (Martínez, 2005), con el agravante, que por su baja degradabilidad natural, se acumula en el ambiente, llevando a condiciones extremas la, de por sí, grave situación imperante. Fuente: 1. Varón CJ. Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz. *El Hombre y la Máquina* 2005, 25. 128-135 2. Peña S, Zambrano G. Hormigón Celular con la Utilización de Materiales Locales. Tesis De Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2001. La cascarilla de arroz es de consistencia quebradiza, abrasiva y su color varía del pardo rojizo al púrpura oscuro. Su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/ m³, es decir, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m³ a granel (Varón 2005).

Cultivo de arroz en el departamento de Casanare.

La historia del arroz en el departamento de Casanare tiene lugar al inicio del siglo pasado donde se evidencio la facilidad de adaptación a las tierras del departamento abriendo así un nuevo sector productivo que se incorporó con facilidad a la vida y tradición ganadera de sus pobladores, logrando transformar un poco la identidad agrícola de la región en ese momento debido a las grandes extensiones de tierra que tiene en comparación con otras regiones, y hoy día Casanare es el principal departamento productor de arroz en Colombia. Las repercusiones directas, positivas y negativas tanto a nivel económico como político y social, se sentirán con el paso del tiempo, tanto para los habitantes de la región como para los dueños de sus tierras. (Federación Nacional de Arroceros, 2011)

Producción de cascarilla de arroz en el departamento de Casanare

En el departamento la producción de arroz mecanizada va en aumento como se muestra en la tabla 1, además de hoy día estar adaptada a nuevas tecnologías, lo que le permite situarse en un lugar competitivo ya que esto le permite optimizar su producción, ofrecer gran variedad y un buen producto cuidando especialmente que el grano se conserve siempre entero y reducir los costos generales de los molinos; pero hay un detalle que no podemos dejar de lado como lo es la disposición de la cascarilla de arroz que es el principal residuo orgánico de la industria arrocera, y actualmente no se le aprovechando al 100% su valor agregado dentro de la industria; de Casanare se

comercializa una parte de la cascarilla de arroz a otras ciudades y el resto se queda en el departamento, donde es utilizada para la elaboración de abonos orgánicos, lechos para animales y piso de camiones que transportan ganado, ceniza para cultivos de frutas, elaboración de ladrillos, entre otras, pero en realidad se le pueden dar otros usos como por ejemplo, obtención de etanol a través de la fermentación, material aislante en la construcción, ebanistería, obtención de concreto, cemento y cerámica, generación de energía, elaboración de tableros y lechos filtrantes para el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 1. Serie histórica. Área sembrada en arroz mecanizado según municipio

Área sembrada de arroz mecanizado según municipio								
Departamento	Municipio	Área sembrada (ha)						
AÑO		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Total General		93.879	81.326	112.857	139.097	161.882	129.562	139.397
CASANARE	Yopal	12.490	6.672	6.073	9.114	12.869	10.682	10.361
	Aguazul	6.359	3.297	3.566	6.069	7.291	3.883	5.618
	Hato Corozal	0	0	1.366	1.422	3.279	1.253	1.420
	Maní	8.855	7.339	12.313	17.609	26.842	19.896	22.707
	Nunchía	18.515	12.524	11.044	7.940	8.234	9.742	11.171
	Orocue	0	1.645	4.380	3.616	4.104	5.344	7.029
	Paz de Ariporo	5.467	10.530	18.061	26.868	27.777	22.861	29.523
	Pore	3.919	699	3.645	4.214	6.821	5.694	6.381
	San Luis de Palenque	10.502	15.669	20.428	25.146	25.178	21.021	16.492
	Tauramena	10.684	6.539	8.258	9.568	9.656	8.387	11.090
	Trinidad	9.751	12.775	20.166	23.300	26.007	17.471	13.606
	Villanueva	5.915	2.941	3.557	4.233	3.826	3.330	4.001
Otros Municipios	1.423	698	0	0	0	0	0	

Descripción de la cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz presenta un color amarillento, su longitud se encuentra en 8 a 10mm y entre 1 a 2mm de ancho; y dependiendo de su tamaño el peso de una cascarilla oscila entre 2.5 y 4.8mg (Tobar E., Quijije K., 2017). que es el equivale al 20% del peso del grano y está compuesto principalmente por sílice y celulosa, además contiene una gran variedad de características fisicoquímicas (Tabla 4.) que debemos tener en cuenta al momento de estudiar su función, en el tratamiento de aguas residuales, más específicamente en la remoción de materiales pesados como el Cromo (VI).

Es un tejido vegetal lignocelulósico constituido por un 85 % de material orgánico, representado por celulosa, lignina, Hemicelulosa y Ceniza (Tabla 2.) (Krishnarao, Subrahmanyam y Kumar, 2001). Y por su alto contenido de lignocelulósicos es que tiene gran importancia en materia de potencial calórico y también debido a su composición química como se muestra en la tabla 3 y figura 4.

Tabla 2. Composición de la cascarilla de arroz.

Análisis composicional	% Contenido	% Promedio reportado
Celulosa	60,12	41,2
Hemicelulosa	11,19	21
Lignina	6,66	22,4
Ceniza	15,9	17,4

Fuente: Doria, Hormaza y Suarez, (2011).

Tabla 3. Composición química de la cascarilla de arroz

CASCARILLA DE ARROZ	
Componente	Porcentaje
Carbono	39,1
Hidrogeno	5,2
Nitrógeno	0,6
Oxigeno	37,2
Azufre	0,1
Cenizas	17,8
TOTAL	100%

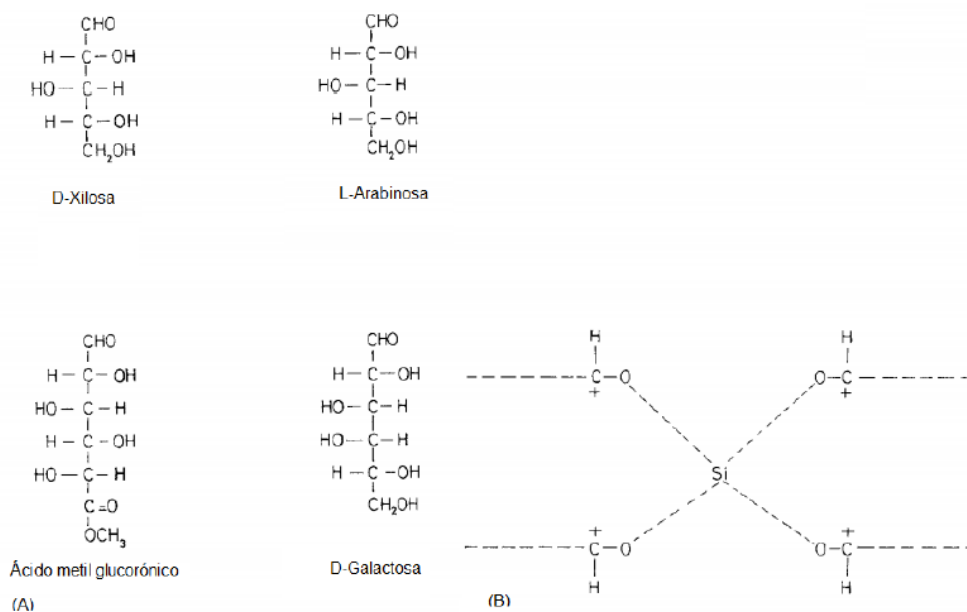
Fuente: 1. Varón CJ. (2005).

Tabla 4. Características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	VALOR
Densidad aparente	g/ml	0,73
Contenido de humedad	%	6,62
Contenido de ceniza	%	45,97
Tamaño de partícula	μm	200
Área superficial	m ² /g	272,5

Fuente: Malik (2003)

Figura 4. Estructura química de azúcares en cascarilla.



Fuente: Patel, Karera, & Prasanna, (1987).

Alternativas de tecnologías limpias utilizando cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales.

Actualmente se están introduciendo a diario nuevas alternativas de tecnologías limpias para el tratamiento de aguas residuales a nivel mundial y en especial en los países desarrollados, es por ello que con el desarrollo de este trabajo se busca describir la mejor alternativa para reemplazar el carbón activado que es el adsorbente más común y más utilizado en el proceso de remoción de Cromo (VI) presente en aguas residuales, ya que es un sólido que tiene dos propiedades que lo han hecho muy útil en el tratamiento de aguas. La primera consiste en que atrapa todo tipo de contaminantes orgánicos en sus paredes, con una avidéz tal que puede dejar un agua prácticamente libre de estos compuestos. La segunda, es que destruye el cloro libre residual que no ha

reaccionado después de que dicho compuesto haya realizado una acción desinfectante. (Sevilla, 2000).

La cascarilla de arroz que se obtiene aquí mismo en el departamento de Casanare, ya que es de bajo costo y que según sus propiedades puede usarse en la eliminación de materiales como el Cromo (VI) en agua residual a través de la adsorción. Existen estudios como el de Rodríguez, Salinas, Ríos, Vargas, (2012). “Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo (VI) de efluentes de la industria de curtiembres” y el de Lili Ding, Bo Zou, Wei Gao, Qi Liu, Zichen Wang, Yupeng Guo, Xiaofeng Wang & Yanhua Liu (2014). “Adsorption of Rhodamine-B from aqueous solution using treated rice husk-based activated carbón” de adsorción variando parámetros como tamaño de partícula, pH tiempo de contacto y concentración inicial del metal. Estas variables se deben controlar para inspeccionar la eficiencia en el proceso que demuestran la capacidad que tiene este tejido de adsorber materiales pesados como plomo, cromo, cobre, etc, del agua contaminada y que son tóxicos para los seres vivos; adicional a esto, estos metales se van concentrando en las células de los organismos vivos y siguen toda una cadena alimentaria, como es caso de las hortalizas de la sabana de Bogotá. (Miranda D, Carranza C & Fischer G, 2008).

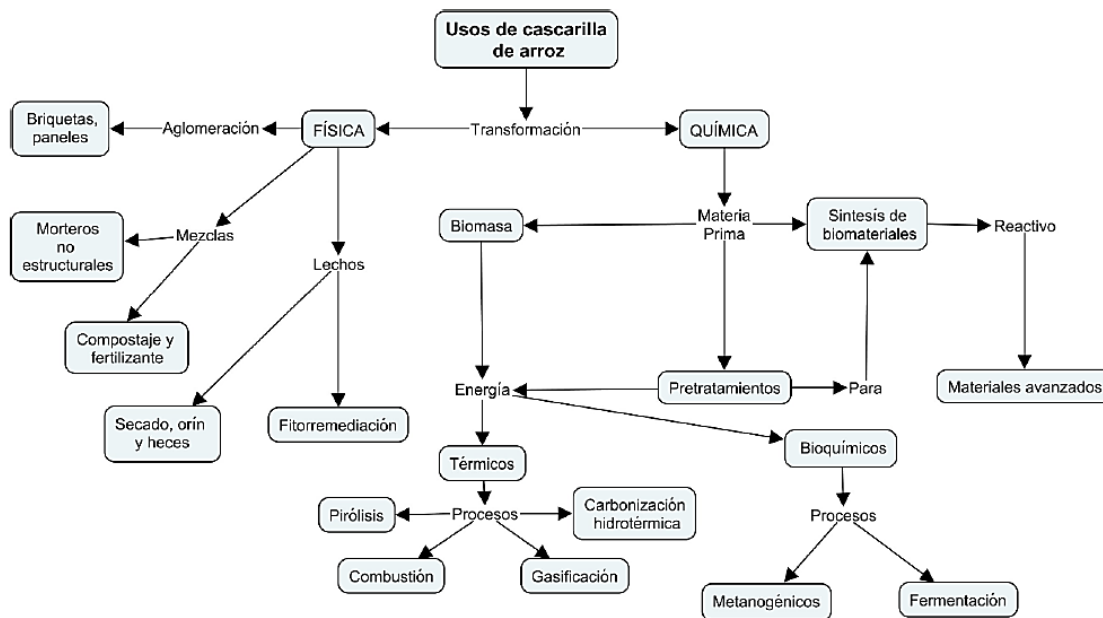
El tratamiento de Cromo (VI) en aguas residuales en la región con cascarilla de arroz se convierte en una técnica que contribuye al medio ambiente y permite que la industrialización siga forjando desarrollo sin dejar de lado el compromiso ambiental, podemos elegir que uso darle y reemplazar de esta manera materiales químicos como coagulantes e inhibidores de la corrosión que se utilizan para llevar a cabo los procesos de descontaminación del agua.

Los principales contaminantes del agua siempre han sido compuestos orgánicos e inorgánicos que se descargan de forma indiscriminada y en algunas ocasiones de forma ilegal en los cuerpos de agua en especial por parte de las industrias que no tiene el control adecuado de sus vertimientos; en el departamento de Casanare también se debe tener en cuenta el uso de herbicidas y plaguicidas que causan grandes daños en las fuentes de aguas subterráneas y a la salud humana, estos están compuestos por nitrofenoles, clorofenoles, creosota, naftaleno, aceites de petróleo, compuestos organoclorados, organofosforadas y los carbamatos (Tobón F, Giraldo L & Paniagua R, 2010)

Otras aplicaciones de la cascarilla de arroz

Los usos de la cascarilla son diversos, con aplicaciones que implican cambios físicos, hasta aplicaciones que demandan de procesos de transformación química. Esta clasificación puede ser común, más aún si se tiene en cuenta que las oxidaciones por procesos de meteorización son también transformaciones químicas. El propósito de clasificar los usos en transformaciones de carácter químico y físico tiene por objeto resaltar los principales cambios ocurridos, para utilizar la cascarilla. La Figura 5 se muestra las principales aplicaciones reportadas en la literatura.

Figura 5. Esquema general de los usos de cascarilla de arroz.



Fuente. Díaz D., (2019).

Uso de la cascarilla de arroz para la adsorción de Cromo (VI) presente en agua residuales

Tratamientos convencionales utilizados para la remoción de Cromo VI.

- a. *Intercambio iónico*: Proceso por el cual ciertos iones no deseados son cambiados por otros iones, que están unidos a las partículas de una resina; normalmente los iones hidrógeno de la resina, se cambian por los cationes, y los iones hidroxilo de la resina se cambian por los aniones. Los iones hidrógeno e hidroxilo se combinan, formando agua pura. El proceso también es rápido y reversible (Maita, 2008; Ahalya, Ramachandra, & Kanamadi, 2003). Según Artunduaga O. (2015).

b. *Osmosis inversa*: Eliminación de iones metálicos por permeación a través de membranas semipermeables. La ósmosis inversa es capaz de remover hasta el 99.5 %. Tomado de la Revista Nova (Colombia) 1 (1) diciembre 2015 68 contaminación (Villanueva C., 2007).

c. *Ultrafiltración*: Es una operación de separación que comparte características de una filtración normal y de la ósmosis inversa. Consiste en la remoción de partículas coloidales y dispersas de un líquido que consiste en hacer pasar el mismo a través de una membrana aplicando alta presión (Ahalya, Ramachandra, & Kanamadi, 2003).

Precipitación química: Se entiende como la formación por acción de los reactivos apropiados, de compuestos insolubles con los iones metálicos indeseables contenidos en aguas residuales. El proceso tiene lugar al desolubilizarse el metal y formarse el precipitado (Martin, 2008). (Artunduaga, 2015).

d. *Electrodiálisis*: Es un proceso de separación en el que se combina el efecto osmótico y el electrolítico para separar especies iónicas de una solución acuosa. Este método aprovecha la propiedad que tienen los iones en solución de migrar, al aplicarles un potencial eléctrico, los iones positivos se desplazan hacia el electrodo negativo (cátodo) y los iones negativos se desplazan hacia el electrodo positivo (ánodo) y el agua purificada se conduce al recipiente de almacenamiento (Driss, 2010).

Estos tratamientos alcanzan remociones superiores al 90% en cuanto a contaminantes específicos, en este caso metales pesados; infortunadamente esta tecnología se limita solo a grandes complejos industriales que cuentan con los recursos suficientes para implementar estos sistemas en sus plantas de tratamiento de aguas residuales. (Artunduaga, 2015)

Tratamientos alternativos utilizados para la remoción de Cromo (VI).

a. Bio-adsorbentes

El proceso de adsorción consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Pinzón y Vera, 2009).

El proceso de adsorción implica una fase sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbatos) que van a ser retenidas por el sólido. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido.

(Cañizares-Villabuena, 2000.)

Los resultados obtenidos han demostrado que las cáscaras de fruta de tamarindo, tanto en su forma natural como tratada con ácido, son excelentes bioadsorbentes para la eliminación de iones de cromo (VI). La adsorción máxima de iones de cromo (VI) se produce a pH 3. El aumento en la cantidad de bioadsorbente aumenta el porcentaje de eliminación de los iones metálicos. (Rao, Jammala, Naga & Abburi, 2007). (Gao, Liu, Zeng, Xu, Li, Xia, 2008) investigaron el uso de la cascarilla de arroz como adsorbente de Cr(VI) en soluciones acuosas. Los experimentos se llevaron a cabo teniendo en cuenta diferentes parámetros experimentales como: pH, concentración inicial de iones de cromo (VI) y dosis de adsorbente en sistemas de lotes.

b. Utilización de sistemas vivos en la remoción de Cromo hexavalente (VI)

Según Artunduaga O. (2015) actualmente se utilizan diferentes sistemas biológicos (microorganismos y plantas) para contribuir en la remoción del Cromo (VI) en aguas residuales contaminadas con este metal pesado; y de los cuales sobresalen las siguientes investigaciones:

- Cárdenas-Gonzales J., Acosta-Rodríguez I., (2011). A escala de laboratorio aislaron el hongo *Paecilomyces sp* y evaluaron la capacidad del mismo para remover Cromo (VI) en aguas residual sintética; determinando remociones de 100mg Cr/100ml.

- Oporto C., Arce O., De Pauw N., Van den Broeck E., (2001). Evaluaron el potencial de la macrófita *Lemna minor* en la remoción del Cromo (VI) y obtuvieron resultados del 65% eliminación del metal pesado.
- Rengifo-Gallego A., Peña-Salamanca E., Benítez-Campo N., (2012) Realizaron investigación sobre la remoción de cromo (VI) en agua residual sintética a escala de laboratorio en asociación de alga-bacteria *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae), obteniendo porcentajes de remoción cercanos al 63% de Cromo (VI).

Según Artunduaga O. (2015) en la actualidad se están utilizando diferentes compuestos para evaluar la remoción de los metales pesados utilizando diferentes técnicas de bio-remediación como lo son: Fito-remediación (Cuando se utilizan plantas para contribuir a la eliminación de compuestos inorgánicos), Mico-remediación (utilización de hongos) y demás técnicas que implementan los sistemas biológicos para tratar los recursos naturales contaminados con metales pesados.

Aplicaciones de la cascarilla de arroz de en el tratamiento de agua residuales

La cascarilla de arroz en el tratamiento de agua se puede utilizar como filtros, en forma de tamiz lo que permite el no paso de las partículas suspendidas en el agua y además permite graduar la porosidad y la profundidad del lecho filtrante de acuerdo al objetivo que se tenga planteado, ya sea tasa de filtración o las características del

afluente. La filtración depende de una combinación compleja de mecanismos físicos y químicos, tales como cribado, sedimentación, intercepción, adhesión, adsorción química, adsorción física y crecimiento biológico (Rossi G, 2017).

El biofiltro es un sistema que imita a los humedales (pantanos) naturales, donde las aguas residuales se depuran por procesos naturales como el paso por la arena y rocas del suelo y también como fuentes de alimento y energía para plantas y microorganismos. Estos se pueden realizar con cascarilla de arroz y algún pasto que colabore con la descontaminación del agua (Figura 6). Los biofiltros son humedales artificiales de flujo subterráneo, diseñados para maximizar la remoción de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. Mas allá del proceso natural que existe en el medio ambiente, se hace un gran aporte en cuanto al avance en conocimientos y nuevas tecnologías, logrando mejores resultados en el tratamiento de las aguas residuales, ya que la filtración es uno de los métodos más eficientes para purificar aguas residuales (Batista a. 2016).

Sánchez (2015) menciona que la cáscara o cascarilla de arroz representa aproximadamente una quinta parte en peso del fruto recolectado, variando esta cantidad en función de las condiciones de cultivo y la variedad del arroz. Prada (2010) determina que la composición orgánica de la cáscara de arroz es similar a la de la mayoría de las fibras orgánicas, conteniendo celulosa, compuestos nitrogenados, lípidos y ácidos orgánicos. Castro (2014) establece que las propiedades físicas de este material lo hacen interesante desde el punto de vista ingenieril para poder ser usados como un material filtrante, además su baja densidad, abundancia y precio reducido, lo hacen viable desde

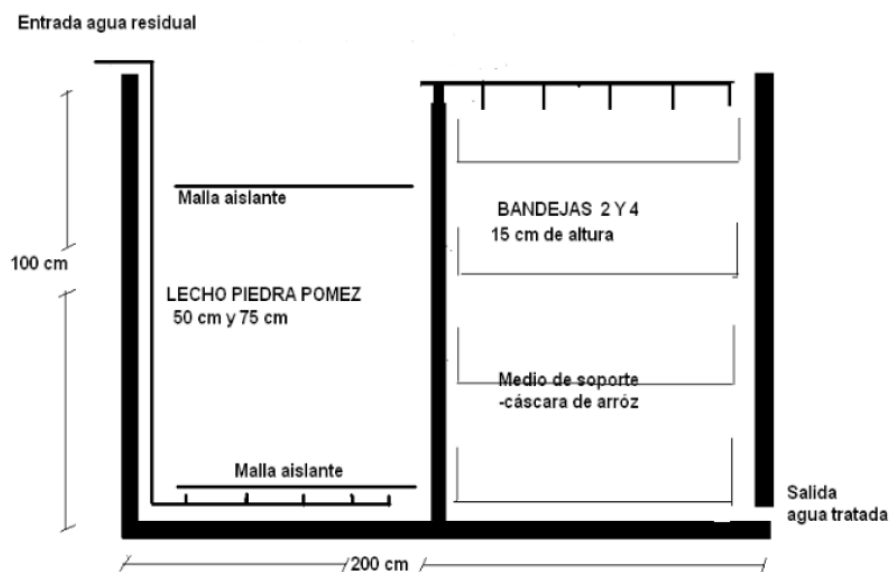
el punto de vista económico para una construcción de filtros de bajo costo, donde puede ser tratada agua cruda o potable (Zambrano I, 2019).

La cascarilla de arroz gracias a sus características físico químicas puede convertirse en una solución al problema de contaminación por Cromo (VI) de las aguas residuales del departamento de Casanare a causa de los vertimientos; y también de la remoción de algunos metales pesados y que por su naturaleza son difícil de degradar, según Álvarez M., Alemán A. y Hornaza A. (2011), la remoción de colorantes mediante la adsorción utilizando estos residuos se perfila como una alternativa de tratamiento innovadora, eficiente y de bajo costo, que además impacta favorablemente al ambiente al emplear materiales de amplia disponibilidad y usualmente poco aprovechados. Las fuentes hídricas contaminadas con efluentes textiles pueden ser tratadas con algunos residuos agroindustriales con capacidad de adsorción (Moreno A, Figueroa D y Hormaza A, 2011).

También hay residuos agrícolas que ofrecen un futuro prometedor en procesos de adsorción, como es el caso de la cascarilla de arroz que debido a sus propiedades fisicoquímicas se postula como un buen adsorbente de metales pesados. Dentro de sus características se encuentra que cuenta con un área superficial de $270 \text{ m}^2/\text{g}$ aproximadamente (Malik, 2003); además, una vez calcinada presenta más del 90 % de óxido de silicio, el cual tiene tamaño fino y alta reactividad, compuesto al que se le atribuye gran capacidad de remoción de contaminantes, como metales pesados (Kurtis y Rodríguez, 2003).

También se ha utilizado la cascarilla de arroz junto con piedra pómez en un reactor de tratamiento de agua de canales de riego, donde se dispone de una primera filtración de lecho de piedra pómez de 50 cm y 75 cm; un segundo paso de filtración de cascarilla de arroz en dos y cuatro capas de 15 cm, cada una. Teniendo en cuenta estos espesores en los medios filtrantes se realiza arreglos variando el espesor de piedra pómez y de cascarilla de arroz. A medida que el reactor funciona la lignina de la cascarilla de arroz se hidroliza, liberando compuestos fenólicos con actividad antimicrobiana, lo cual ayuda a la reducción de la carga microbológica presente en el agua. A pesar que el reactor logra reducir la demanda química y bioquímica de oxígeno, hasta en 53,7% para el sistema de 75 cm de piedra pómez y cuatro capas de cascarilla de arroz de 15 cm, no es suficiente para depurar el agua hasta el punto de alcanzar los valores límites establecidos por la normatividad ecuatoriana (Mayorga & Villacrés, 2015).

Figura 6. Dispositivo de tratamiento de agua residual con biofiltros de cascarilla.



Fuente: Mayorga & Villacrés, 2015.

La cascarilla de arroz se perfila como un buen adsorbente de colorantes catiónicos, (Moreno, Figueroa & Hormaza, 2011). Según Álvarez et al. (2011) existen estudios donde se utiliza la cascarilla de arroz para la remoción de colorante rojo básico 46 (RB46), y obtuvieron una remoción del 91 % a pH 8. Y concluyeron que este residuo se proyecta como un material promisorio para una estrategia de tratamiento de efluentes industriales a gran escala. De modo similar, para la remoción del Cromo (VI) presente en las aguas resultantes de la curtición (Rodríguez Y, Salinas L, Ríos C, Vargas L, 2012)

Adsorción de Cromo (VI) de aguas residuales

Cromo Hexavalente (VI).

La presencia de metales pesados en cuerpos acuáticos constituye un problema grave de contaminación, debido a la toxicidad intrínseca, a su bioacumulación, y a su persistencia en la naturaleza, (Elangovan, et.al, 2008). La mayor fuente de estos metales es la descarga inadecuada de aguas de desecho industrial, estos efluentes se deben tratar con el fin de minimizar su concentración, considerando el gran impacto ambiental que generan (Gil, E., Cabrera, M. & Jaramillo, S. (2003) como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Residuos de Cromo (VI)

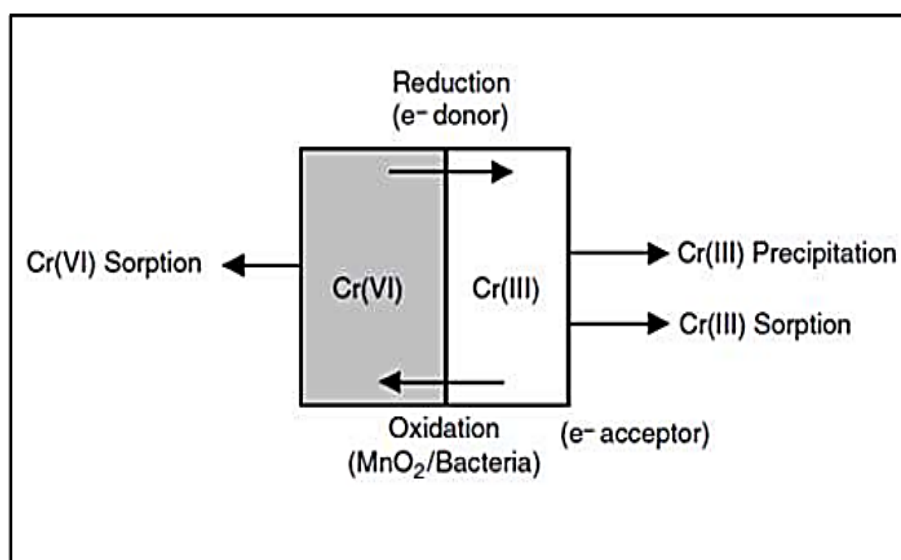
Residuos de Cr (VI)	
Características	Segundo estado de oxidación más estable del cromo (IARC,2012); se encuentran generalmente bajo la forma de aniones cromato de dicromato solubles, los cuales son muy tóxicos debido a su alto poder oxidante (Gil, et al., 2003).
Fuentes	Contaminante ampliamente difundido en el ambiente provenientes de industrias metalúrgicas, de cromado y químicas principalmente (Gil, et al., 2003).
Efectos en la salud	Puede ocasionar cáncer de pulmón y nasal, daños en la membrana de la mucosa nasal, perforación de tabique nasal y asma, dermatitis, reacciones de hipersensibilidad, eczema y daños en el hígado o riñón. Además, es mutagénico y tóxico para el desarrollo (occupational Safety and Health Administration Osha, 2009 & Agency for Toxic Substances and Disease Resgistry, 2012).
Efectos sobre medio ambiente	Persistencia ambiental y habilidad para inducir una variedad de efectos adversos en los sistemas biológicos; asociado con la presencia de anomalías en varios peces a niveles fisiológico, histológico, bioquímico, enzimático y genético (Velma, Vutukuru & Tchounwou, 2009)

Fuente: Gil, E., Cabrera, M. & Jaramillo, S., (2003).

Los tratamientos para la remoción del Cromo (VI) involucran transformaciones químicas (oxidación- reducción, adsorción y precipitación) y biológicas (reacciones de oxidación-reducción enzimáticas llevadas a cabo por microorganismos y fitorremediación) o procesos de remediación físicos. Estos últimos separan el Cromo (VI) del medio contaminado usando resinas de intercambio iónico o carbón activado granular, y/o aislando la contaminación usando barreras físicas (Hawley, Deeb, Kavanaugh & Jacobs, 2004).

El Cromo (VI) es más móvil que el Cr (III) y más difícil de remover de soluciones acuosas. Las reacciones que ocurren en la oxidación y reducción del Cromo (VI) se presentan en la figura 7, las que en asocio con procesos de sorción y precipitación son la base para los tratamientos químicos y biológicos utilizados para influir en el balance entre el Cr (III) y el Cromo (VI) como estrategias de remediación del Cromo (Hawley, et al., 2004).

Figura 7. Reacciones del Cr (VI) y Cr (III)

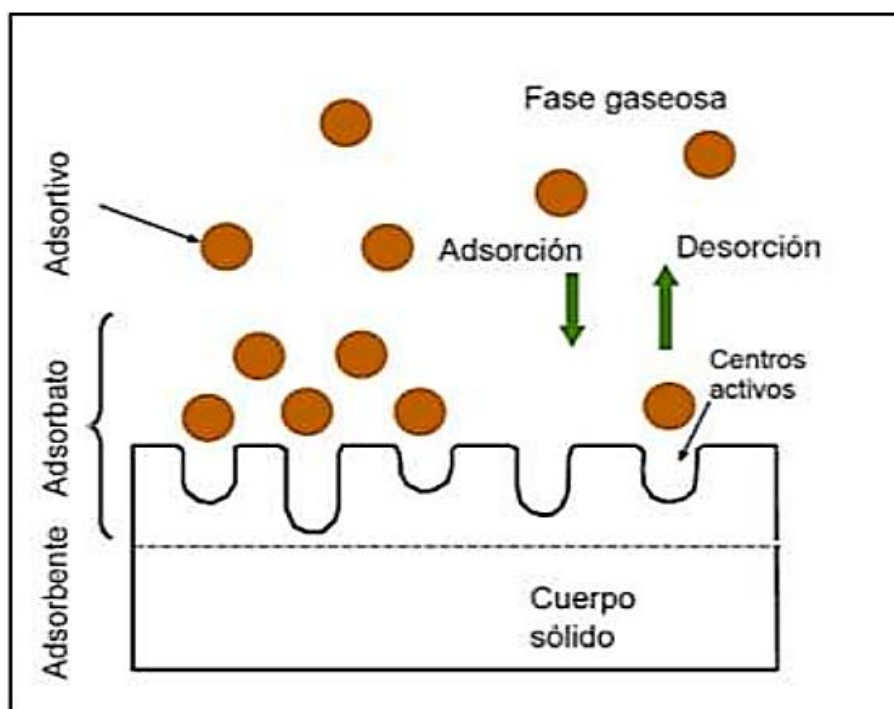


Fuente: Hawley, et al., (2004).

Proceso de adsorción

El proceso de adsorción consiste en la fijación de moléculas en la superficie de un sólido debido a la presencia de fuerzas de atracción intermoleculares en sitios específicos del sólido llamados centros activos (Gómez, A., Rincón, S., Klose, W. (2010). El sólido se denomina adsorbente y la sustancia que será adsorbida se denomina adsorbato como lo podemos apreciar en la siguiente figura.

Figura 8. Proceso de adsorción.



Fuente: Gómez, A., Rincón, S., Klose, W. (2010).

Según Gómez et al. (2010), existen dos teorías principales que describen el proceso de adsorción: la teoría del cubrimiento de superficie y la teoría de llenado de poros. En la adsorción por cubrimiento de superficie se supone que inicialmente las

moléculas se adsorben en la superficie del sólido formando una monocapa, cuando esta última está totalmente formada, comienza la adsorción multicapa (adsorción de más capas de moléculas sobre la monocapa). A medida que el número de capas aumenta las fuerzas de adhesión disminuyen hasta que en capas posteriores solamente ocurre condensación. La teoría de llenado de poros aplica para sólidos microporosos y establece que el llenado de los poros se realiza de manera similar a llenado de un líquido en un recipiente.

Bioadsorción

Según Farooq, Kosinsky, Khan & Athar (2010) la remoción de metales por biomasa muerta (bioadsorción) tiene ciertas ventajas sobre la realizada por materiales vivos (bioacumulación), destacándose que no es necesario realizar un cultivo ni utilizar un medio para este fin, el proceso es independiente de las restricciones fisiológicas de las células vivas, es rápido debido a que las células no vivas se comportan como resinas de intercambio iónico, es reversible y el metal se puede desorber fácilmente, se minimiza el lodo químico o biológico y los biomateriales están disponibles como residuos o subproductos.

La remoción de cromo (VI) de las aguas por bioadsorbentes consta de dos pasos principales: las especies de Cromo (VI) se remueven por adsorción sobre la superficie del adsorbente y la forma hexavalente se reduce a la trivalente y se adsorbe en la superficie externa. Los principales factores que influyen en la adsorción de este metal son: pH, grado de agitación, cantidad de adsorbente, concentración inicial de Cromo

(VI), temperatura, tamaño de partícula y naturaleza del adsorbente (Shafique, et al., 2011).

Análisis De Resultados

Resultados método 1

Remoción de Cr: La adsorción de metales pesados está fuertemente influenciada por el pH del medio. Dicho efecto permite la disponibilidad de iones metálicos, para ser adsorbidos en solución por materiales adsorbentes cuya superficie tiene centros potenciales de adsorción. La Figura 9 se muestra la cantidad de Cromo (VI) removido en función del tiempo de adsorción para las tres cantidades de materiales adsorbentes evaluados. Los resultados muestran que el adsorbente con el que se obtiene una mayor remoción es la ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH, seguido de la cascarilla de arroz activada con H₃ PO₄ y ceniza de cascarilla de arroz, pero para una dosis de 0.25 g se observa este comportamiento hasta 45 minutos de contacto entre el agua de curtiembre y el adsorbente. De esta figura, se puede inferir que el tiempo en el que se obtiene una mayor remoción es 60 min para todas las dosis, pero la que adsorbe más cantidad del ión es 0.5 g, esto indica que la cantidad removida no es directamente proporcional con la dosis empleada, ya que esta es una cantidad de adsorbente apropiada para tratar los 50 mL de agua usada en las pruebas de adsorción. En general, tiempos mayores a una hora no representan un aumento considerable en la remoción, por el contrario, la cantidad de Cromo (VI) removida disminuye tomando un comportamiento estable, debido a que la superficie del adsorbente se satura. La tendencia que presentan los adsorbentes para las dosis empleadas es estable cuando se

usa 0.5 g, a diferencia de lo observado con el uso de 0.25 y 1 g, dosis que producen fluctuaciones las cuales se deben a que con la primera cantidad los puntos activos del carbón son pocos para la cantidad del ion presente en el agua y para 1 g estos puntos son obstruidos por el exceso de adsorbente afectando el contacto.

En la figura 9, figura 10 y figura 11 se observa el comportamiento del cromo (VI) removido por ceniza de cascarilla de arroz, cascarilla de arroz activada con H_3PO_4 y ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH en función del tiempo de adsorción, utilizando (a) 0.25 g, (b) 0.5 g y (c) 1 g de adsorbente. Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012).

Figura 9. Resultado obtenido con el uso de 0.25 g de adsorbente.

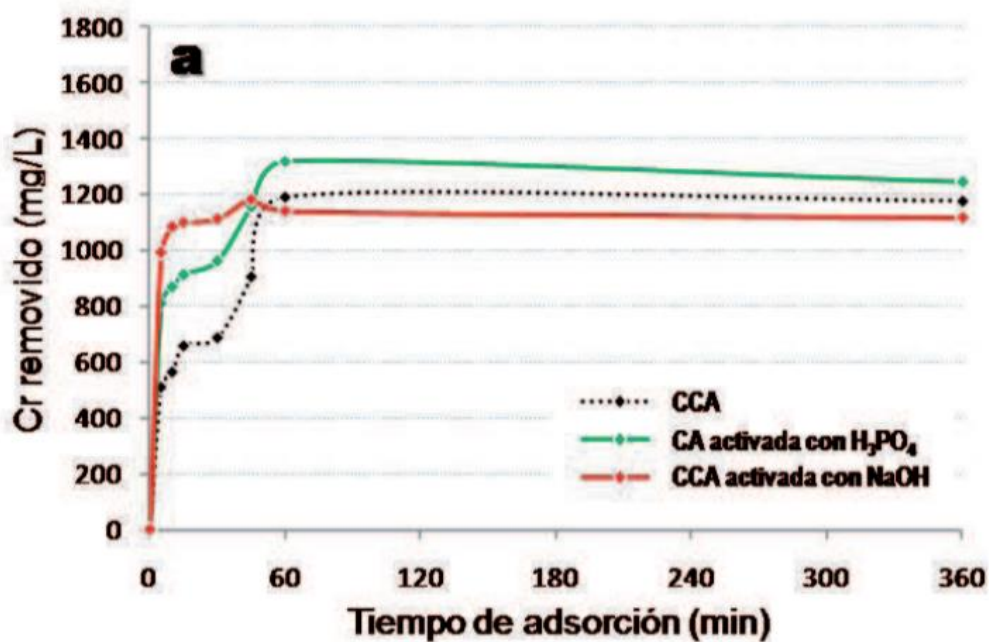


Figura 10. Resultado obtenido con el uso de 0.5 g de adsorbente.

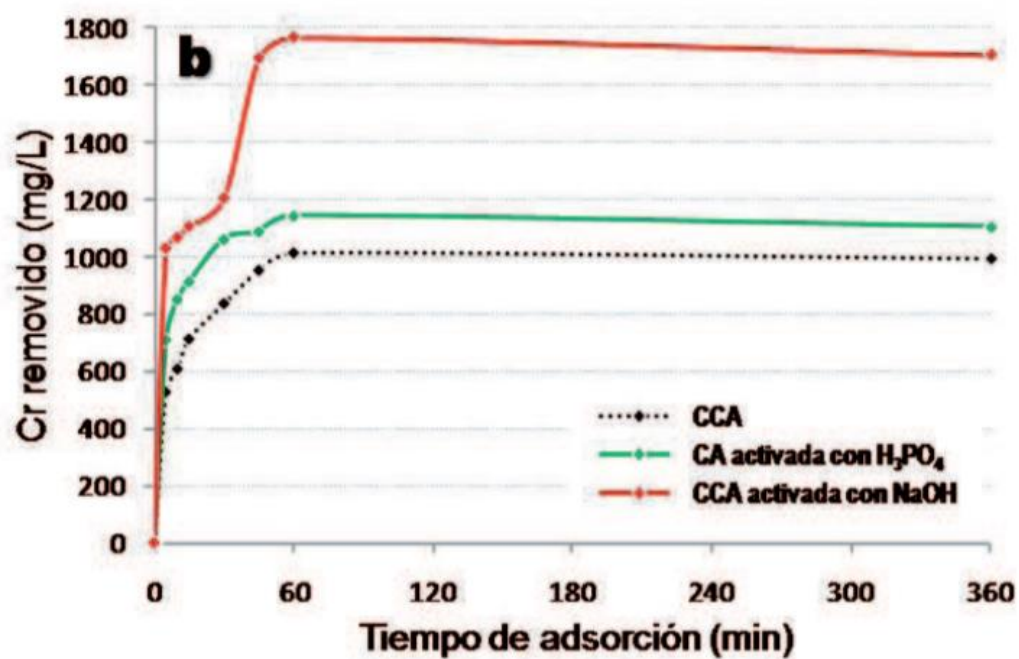
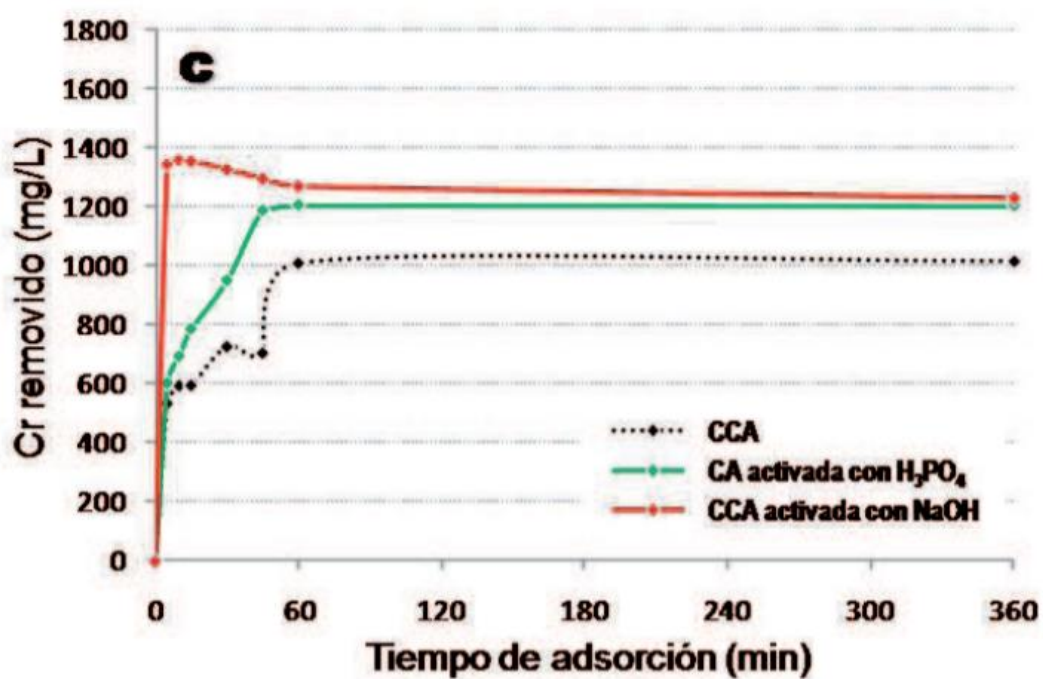


Figura 11. Resultado obtenido con el uso de 1 g de adsorbente.



Eficiencia de los adsorbentes en la retención de Cr: Los adsorbentes de la ceniza de cascarilla de arroz, cascarilla de arroz activada con $H_3 PO_4$ y ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH, presentaron las siguientes eficiencias del 49.2, 54.5 y 72.8%, respectivamente. Estos resultados muestran que el mejor adsorbente es la ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH el cual tiene un 23,6% más de remoción en comparación con los otros adsorbentes utilizados. Por lo tanto, la activación con NaOH proporciona mayor remoción y condiciones de activación que hacen viable el proceso.

pH. Los resultados de las mediciones de pH de los tres adsorbentes para los diferentes tiempos de adsorción se ilustran en la Figura 8. Tanto la ceniza de cascarilla de arroz como la cascarilla de arroz activada con $H_3 PO_4$ presentan disminución del pH a diferencia de lo que se observa con la ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH, lo cual se debe a que se presentó mayor interacción entre la superficie y el adsorbato en solución. El rango de pH en el que se mantiene el agua tratada está entre 0 y 5 aproximadamente, con esto se garantiza que el proceso que se está llevando a cabo es la adsorción y no precipitación del ion.

Resultados método 2

La cáscara de arroz, en un rango de masa comprendido entre 1 y 6 g, produjo una adsorción de Cromo hexavalente ($[Cr] = 10 \text{ ppm}$) máxima del 10%, mientras que el pretratamiento químico de la cáscara de arroz con hidróxido de potasio causó, en el mismo rango de masa, un incremento significativo del porcentaje de adsorción cercano al 30%.

Al llevar la muestra de cascarilla de arroz a una solución de ácido fosfórico, se produce una transformación química que aumenta la capacidad de adsorción de cromo (VI) en un 100%, se cree que se produce un aumento de la densidad de cargas positivas como de la disponibilidad de sitios activos de unión en el biomaterial después del tratamiento ácido (Park et al., 2004; Yang & Volesky, 1999).

El pH juega papel importante al momento de la incubación dentro del proceso de adsorción de cromo VI, debido al hecho que los iones hidrógeno por se constituyen un adsorbato fuertemente competitivo, y a la influencia del pH en la especiación química del metal. A pH ácido, las especies predominantes del Cromo son $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCrO_4^- , H_2CrO_4 , $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$ y $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$.

La adsorción esta en manos de la naturaleza de la superficie adsorbente, en este caso la cascarilla de arroz, como de la distribución del metal en la solución acuosa. Para la adsorción de Cromo (VI) en la cáscara sometida a los tratamientos químicos estudiados, los experimentos se realizaron variando el pH entre 1 y 6.

Los resultados obtenidos muestran que el porcentaje de remoción de Cromo (VI) aumenta al incrementar la concentración de protones, alcanzándose un máximo a pH igual o menor a 2. Al aumentar el pH, el grado de protonación de la superficie disminuye y en consecuencia también se reduce la adsorción del tóxico (Selvi et al., 2001).

Figura 12. Efecto del pretratamiento químico de la cáscara de arroz en la adsorción de cromo (VI) en solución.

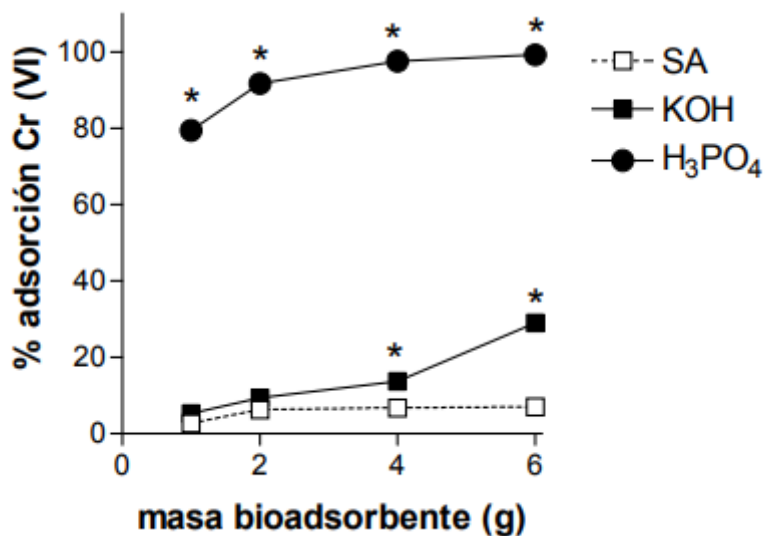
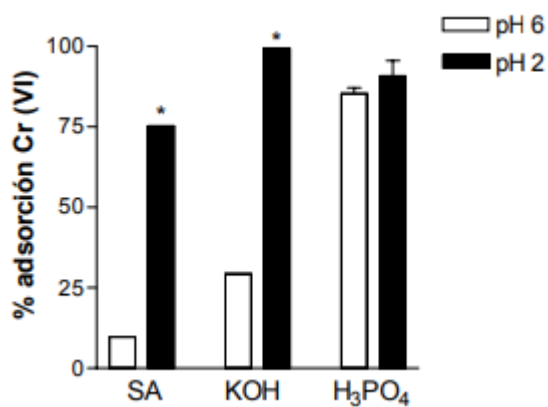


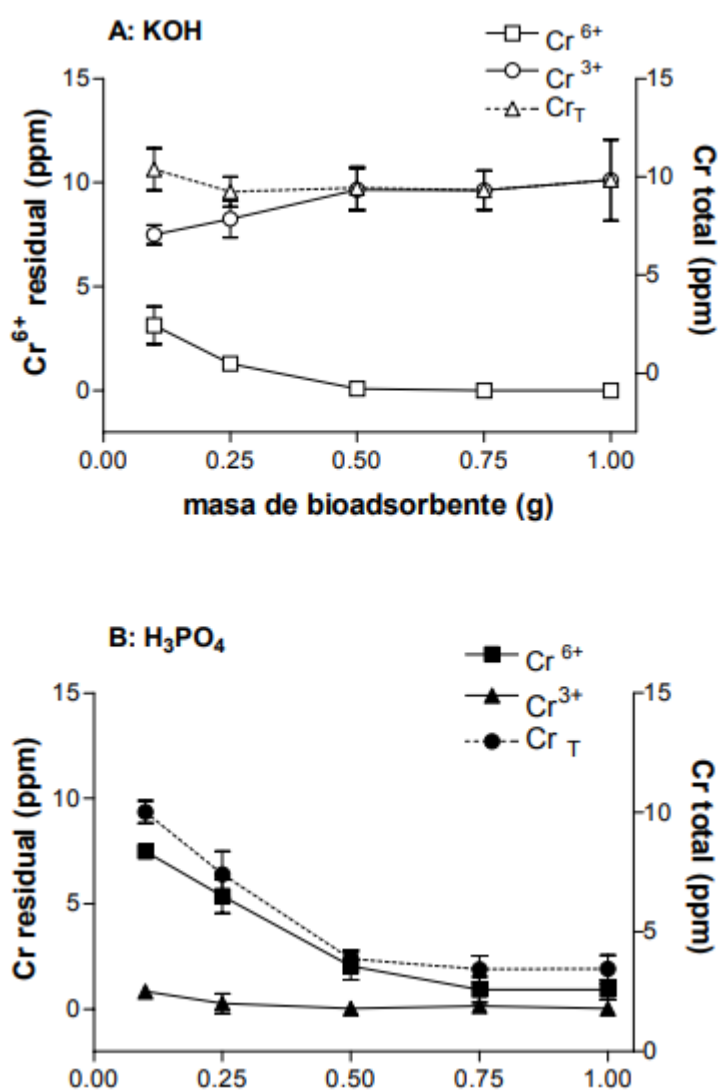
Figura 12: Se representa el porcentaje de cromo (VI) adsorbido de una solución de 10 ppm en función de la masa de cáscara de arroz sin tratamiento (cuadrados vacíos), pretratada con hidróxido de potasio (cuadrados llenos) o con ácido fosfórico (círculos llenos). El tiempo de contacto fue de una hora y el pH del medio 6.

Figura 13. Efecto del pH del medio en la adsorción de cromo (VI) en solución.



Se representa el porcentaje de adsorción de cromo (VI) en la figura 13 (VI, 10 ppm) a pH 6 (barras vacías) y a pH 2 (barras negras). La masa de cáscara de arroz sin tratar (SA), tratada con hidróxido de potasio (KOH) o con ácido fosfórico (H₃PO₄) fue de 1,0 g.

Figura 14. Variación de la concentración de cromo (VI) en el estado de oxidación +6, +3, y el cambio en la concentración de cromo total en función de la masa de bioadsorbente empleado para una solución de 10 ppm del metal en medio ácido.



En el caso de la cáscara de arroz pretratada con hidróxido de potasio se observa que, a medida que aumenta la masa del bioadsorbente disminuye la concentración de Cr^{6+} y paralelamente aumenta la concentración de Cr^{3+} , mientras que la concentración de cromo (VI) total no varía en forma significativa (Figura 14A). Por el contrario, en la cáscara de arroz modificada químicamente con ácido fosfórico se observa que, a medida que aumenta la cantidad de cáscara de arroz, disminuye la concentración de Cr^{6+} y Cr total, mientras que la concentración de Cr^{3+} aumenta levemente (inferior a 2 ppm) (Figura 14B).

En la figura 14 se observa la variación en la concentración de las formas tri- y hexavalente de cromo, y en la concentración total del metal en función de la masa de bioadsorbente. Se representa la concentración de cromo hexavalente, trivalente y total en función de la masa de cáscara de arroz pretratada con hidróxido de potasio en A (cuadrados, triángulos y círculos vacíos) y pretratada con ácido fosfórico en B (cuadrados, triángulos y círculos llenos), respectivamente. La concentración inicial de cromo (VI) fue de 10 ppm, el tiempo de contacto de una hora y el pH del medio 2.

Los resultados obtenidos aplicando los dos modelos de isotermas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Constantes de Freundlich y Langmuir para la adsorción de cromo (VI) en la cáscara de arroz modificada químicamente.

Adsorbente	Isoterma de Freundlich			Isoterma de Langmuir		
	Kf(mg/g)	n	r	q°(mg/g)	b(mg/l)	R
CA-KOH	2,3	2,2	0,99	7,5	0,685	0,946
CA-H3PO4	0,93	2,71	0,948	2,92	0,639	0,896

Según el coeficiente de correlación obtenido, se deduce que los datos experimentales se correlacionan mejor con el modelo de Freundlich para la cáscara de arroz modificada tanto con hidróxido de potasio como con ácido fosfórico. (Mohan & Pittman, 2006; Bansal et al., 2009)

En los estudios realizados en año 2012 por Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L., y Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. del C., se observó que la cascarilla de arroz es un excelente adsorbente de metales pesados como el cromo VI y se puede activar con diferentes ácidos proporcionando resultados favorables en cuanto a la activación de la cascarilla de arroz y la remoción de más de un 70% de este contaminante.

Discusión De Resultados

Después analizados los métodos y resultados descritos en esta monografía, queda claro que en el departamento de Casanare se cuenta con la materia prima y demás insumos necesarios para la implementación de mecanismos que permitan la remoción del cromo VI de las aguas residuales de la región, Es una alternativa de bajo costo, fácil implementación y acceso a la materia prima. La cascarilla de arroz como subproducto de la industria arrocera en el departamento de Casanare, hoy por hoy no se está explotando en su totalidad, ya que después de tener acceso a esta información es lamentable que no se esté aprovechando al máximo ya que esta puede brindar beneficios medio ambientales como lo es el tratamiento de las aguas residuales del departamento de Casanare para la remoción de cromo VI. El departamento de Casanare se destaca a

nivel nacional por ser uno de los mayores productores de arroz y por ende de la cascarilla de este mismo producto, el cual procede de los molinos de la región, puede ser empleada de manera eficiente en el tratamiento de aguas residuales producidas por ejemplo de la exploración de pozos petroleros y en general en toda la cadena logística de producción del hidrocarburo; también se ha realizado el análisis del uso de dicha sustancia en la Industrias de galvanoplastia, fabricación y soldadura de acero inoxidable, pinturas y colorantes. Aunque se han desarrollado métodos tecnificados para la eliminación de dicho metal en las aguas residuales, estos procesos suelen ser costosos y poco conocidos. Aunado a esto, la poca responsabilidad ambiental empresarial por parte de las industrias presentes en la región, que no cuentan con un sistema de gestión ambiental estructurado, de acuerdo a lo establecido en la ISO 14001:2015 que permita mitigar el riesgo de contaminación a las fuentes hídricas de la jurisdicción del departamento de Casanare. La falta de control y acompañamiento por parte de las autoridades ambientales y de los entes territoriales a todos estos procesos de certificación y construcción de estrategias para mitigar el riesgo de contaminación, sumado a las malas prácticas que finalizan en actos de corrupción, han permitido que muchas empresas operen de manera irregular en los territorios, sin importar las consecuencias de sus actividades económicas en la estabilidad del medio ambiente.

La alternativa de remoción de cromo VI con cascarilla de Arroz, brinda una oportunidad al departamento de Casanare de minimizar los problemas relacionados con la contaminación a causa de metales pesados y otros metales presentes en las aguas residuales. Los residuos agroindustriales ofrecen un amplia y variada gama de usos que ayudan a preservar el medio ambiente; como lo demuestran los resultados obtenidos de los estudios bases de esta monografía donde se muestra la eficiencia de la cascarilla de

arroz, en condiciones muy acidas para llevar a cabo el proceso de absorción no solo de cromo VI, si no de otros tipos de contaminantes.

Sería de gran ayuda para el medio ambiente, que se brindaran espacios de enseñanza y participación con los propietarios de las industrias contaminantes para enseñarles los diferentes tipos de tecnologías económicas y amigables con el medio ambiente, que pueden poner en práctica, adicional a esto, la exigencia de la aplicación de la norma por parte de las autoridades competentes, para que estas industrias se comprometan a tratar sus aguas residuales con estas tecnologías limpias, evitando de esta manera, el posible colapso de la planta de tratamientos de aguas residuales del municipio de Yopal.

Conclusiones

En la composición química de la cascarilla de arroz se evidencia el alto contenido de carbono, que es el encargado de brindarle esta gran capacidad de adsorción, ya que la hace un material altamente poroso que permite ofrecer buenos resultados en el proceso de remoción de cromo VI. Queda claro que la cascarilla de arroz es un material económico, de fácil acceso en el departamento de Casanare y buen generador de carbón activado.

Se evaluaron diferentes parámetros que influyen en la remoción de cromo (VI) por la cáscara de arroz modificada químicamente con hidróxido de potasio o ácido fosfórico. El pH óptimo de adsorción fue de aproximadamente 2 y la remoción de cromo (VI) aumenta cuando disminuye la concentración inicial del tóxico o aumenta la masa de bioadsorbente empleado.

La cáscara de arroz modificada químicamente podría ser un biomaterial potencialmente útil en la remoción de ambientes contaminados con cromo VI. Existen tres ventajas en el uso de este biomaterial: en primer lugar, presenta alta disponibilidad debido a que no tiene un amplio uso; en segundo lugar, las variedades de arroz cultivadas en la zona generan un tipo de cáscara que dada sus características retiene polvillo generando un problema de contaminación ambiental; y finalmente, la cáscara de arroz modificada químicamente con hidróxido de potasio muestra una elevada capacidad de remoción de cromo (VI) que puede alcanzar los 3 mg Cr (VI)/g. (Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. del C. (2012).

La cascarilla de arroz activó con ácido fosfórico (H_3PO_4) e hidróxido de sodio (NaOH), los cuales cumplieron sus funciones de agentes activantes, obteniendo mayor resultado con el NaOH ya que se logró remover hasta el 72.8 % del cromo presente en la muestra; mientras que con el H_3PO_4 los resultados no fueron tan alentadores ya que se logró adsorber solo el 54.5% del cromo.

Bibliografía

Ahalya N., Ramachandra T., Kanamadi R. (2003). Biosorption of Heavy Metals.

Res.J.Chem.Environ 7(4), 71-79. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/profile/T_V_Ramachandra/publication/257029311_Biosorption_of_Heavy_Metals/links/02e7e5246c9e5176d7000000/Biosorption-of-Heavy-Metals.pdf

Álvarez M, alemán A & Hornaza A. (2011). Remoción De Rojo Básico De Un Efluente

Simulado: Un Caso De Aplicación De La Cascarilla De Arroz, Producción + Limpia,

6(1):66-75. Recuperado de:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-04552011000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Álvarez M, alemán A Y Hornaza A. (2011). Remoción De Rojo Básico De Un Efluente

Simulado: Un Caso De Aplicación De La Cascarilla De Arroz, Producción + Limpia,

6(1):66-75. Recuperado de:

<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/103>

Angélica Batista, Cárdenas O., Castillo J., Madrid K., Martínez C. & Tejedor De León A.

(2016). Diseño Y Construcción De Filtro Multicámaras Horizontal Por Gravedad Para

Tratamiento De Efluentes Industriales,» Revista De Iniciación Científica, Vol. 2, P. 7,

2016. Recuperado de: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/1254-

Texto%20del%20art%C3%ADculo-3243-1-10-20170125.pdf

- Arcosa A., Macías D. & Rodríguez J. (2005). La Cascarilla De Arroz Como Fuente De SiO_2 . Popayán, Colombia. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/430/43004102.pdf>
- Assureira E. (2016). Combustible Alternativo: La Cascarilla De Arroz. PALESTRA PORTAL DE ASUNTOS PÚBLICOS DE LA Pontificia Universidad Católica Del Perú. Recuperado de: <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/11832>
- Ayala M, Peñuela G & Montoya J. (2006). Procesos De Membranas Para El Tratamiento De Agua Residual Industrial Con Altas Cargas Del Colorante Amarillo Ácido 23. Universidad Nacional, Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n38/n38a05.pdf>
- Bansal, M., Garg, U., Singha, D. & Garg, V.K. (2009). Removal of Cr(VI) From Aqueous Solutions Using Preconsumer Processing Agricultural Waste: A Case Study of Rice Husk. *J. Hazard. Materials*, 162, 312–320. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389408007243>
- Barona E. (+C3:C342010). Colombia Unida Frente A Un Gran Desastre, *REVISTA ARROZ - VOL 58 No. 489. P.17*. Bogotá. Recuperado de: <http://www.fedearroz.com.co/revistanew/arroz489.pdf>
- Bohórquez S. (2012). Aprovechamiento De Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente Y Futuro. *Revista De La Sociedad Mexicana De Biotecnología Y Bio Ingeniería AC*. Volumen 16 Número 2 ISSN 0188-4786. Pp 14. Recuperado de:

https://www.academia.edu/23775116/Aprovechamiento_de_Residuos_Agroindustriales_Pasado_Presente_y_Futuro

Cañizares-Villanueva R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42: pp. 131-143. Colombia

Minera. (2011). Mitos y verdades. *Químico maldito*. Publicaciones Semana. pp. 160.

Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>

Cárdenas-Gonzales J., Acosta-Rodríguez I., (2011). Remoción de Cromo hexavalente por el

hongo *Paecilomyces* sp. Aislado del medio ambiente. *Información tecnológica*, 22: pp.

9-16. Recuperado de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000100003)

[07642011000100003](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000100003)

Chur G. (2010) Evaluación Del Uso De La Cascarilla De Arroz Como Agregado Orgánico En

Morteros De Mampostería. Universidad De San Carlos De Guatemala, Facultad De

Ingeniería. Guatemala. Recuperado de:

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3173_C.pdf

Córdoba A. Hoyos M. Rodríguez L. & Uribe R. (2017). Remoción De Cadmio (II) Y Níquel

(II) Sobre Cascarilla De Arroz Tratada Química Y térmicamente, Como Alternativa De

Descontaminación. Recuperado de:

http://cici.unillanos.edu.co/media2016/memorias/CICI_2016_paper_128.pdf

Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S. & Gad, H.M.H. (2003). Utilization of Agro-Residues (Rice

Husk) In Small Waste Water Treatment Plant. *Materials Letters*, 57, 1723-1731.

Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X02010583>

Díaz D. (2019). Usos Potenciales De Cascarilla De Arroz En El Departamento De Casanare.

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia. Requisito De Trabajo De Grado De

Ingeniero Ambiental. Recuperado de:

<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/30131/1/80811242.pdf>

Díaz E., Alvarado A., Camacho K. (2012). El Tratamiento De Agua Residual Doméstica Para

El Desarrollo Local Sostenible: El Caso De La Técnica Del Sistema Unitario De

Tratamiento De Aguas, Nutrientes Y Energía (SUTRANE) En San Miguel Almaya,

México. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

Doria, M.; Hormaza, A. & gallego, D. (2011). Cascarilla De Arroz: Material Alternativo Y De

Bajo Costo Para El Tratamiento De Aguas Contaminadas Con Cromo (VI). Gestión Y

Ambiente, 14(1), 73. Recuperado de:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169422215006>

Driss, S. (2010). Aprovechamiento de hueso de aceituna. Biosorción de iones metálicos [Tesis

doctoral]. Universidad de Granada. España. Editorial de la Universidad de

Granada. ISBN 978-84-693-6025-5. Recuperado de:

<https://hera.ugr.es/tesisugr/18935916.pdf>

E.U. Politécnica E Sevilla. (2000), Manual Del Carbón Activado. Master En Ingeniería Del Agua. España. Recuperado de:

<http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. Del C. (2012). Adsorción De Cromo Hexavalente En La Cáscara De Arroz Modificada Químicamente. Avances En Ciencias E Ingeniería, 3(3), 141–151. Recuperado de:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4052687>

Elangovan, R., Ligy Philip, L. & Chandraraj, K. (2008). Biosorption of Chromium Species by Aquatic Weeds: Kinetics and Mechanism Studies. J. Hazard. Materials: 152, 100-112.

Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407009284>

Farooq, U., Kosinsky, J., Khan, M. & Athar, M. (2010). Biosorption of Heavy Metals Using Wheat Based Biosorbents – A Review of the Recent Literature. Bioresource

Technology, 101, 5043-5053. Doi: 10.1016/J.Biortech.2010.02.030. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410003019>

FIERRO, V., MUÑIZ, G., BASTA, A. H., EL-SAIED, H. And CELZARD, A. Rice Straw as Precursor of Activated Carbons: Activation with Phosphoric Acid. J. Hazard. Mater.,

181 (1-3), 2010, P. 27-34. Recuperado de:

https://www.academia.edu/6680670/Rice_straw_as_precursor_of_activated_carbons_Activation_with_ortho_phosphoric_acid

- Gao H., Liu Y., Zeng G., Xu W., Li T., Xia W. (2008). Characterization of Cr(VI) removal from aqueous solutions by a surplus agricultural waste—Rice straw. *Journal of Hazardous Materials* 150. pp. 446–452. Recuperado de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407006437>
- García, F., Lanfranco, B., & Hareau, G. (2012). Efecto Sobre El Comercio Y Bienestar De Distintas Estrategias Tecnológicas Para El Arroz Uruguayo. En *Serie Técnica* (Vol. 197). Recuperado de: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos/compartidos/18429230712122751.pdf>
- Gil, E., Cabrera, M. & Jaramillo, S. (2003). Foto-Oxidación Del Sistema Cromo Hexavalente-4-Clorofenol. *Universidad EAFIT*, 39(131), 60-76. Recuperado de:
<http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-%20eafit/article/view/903/809>
- Gnanamanickam, S. S. (2009). *Biological Control of Rice Diseases* (Vol. 8). Springer Science & Business Media. Recuperado de:
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=JUqye6NHZAC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Biological+control+of+rice+diseases&ots=45IHjsl1P4&sig=SE6Na_mmVUto__WFA8_F-gGQ924#v=onepage&q=Biological%20control%20of%20rice%20diseases&f=false
- Gómez, A., Rincón, S., Klose, W. (2010). “Carbón Activado De Cuesco De Palma: Estudio De Termogravimetría Y Estructura”. Kassel, Alemania: Kassel University Press Gmbh. Recuperado de:

https://books.google.com.co/books/about/Carb%C3%B3n_activado_de_cuesco_de_palma.html?id=_3iIfeXtdRwC&redir_esc=y

Gutiérrez N. (2011). Dinámica Del Sector Arrocero De Los Llanos Orientales De Colombia, Fedearroz - Fondo Nacional Del Arroz. Bogota. Recuperado de:
http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Dinamica_del_sector_arrocero_en_los_Llanos_orientales.pdf

Guridik, E., Arica, M.Y., Bektas, S. & Genc, O. (2004) Comparison of The Heavy Metal Biosorption Capacity of Active, Heat-Inactivated and Naoh-Treated Phanerochaete Chrysosporium Biosorbents. Eng. Life Sci., 4, 86–89. Recuperado de:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/elsc.200420011>

Hawley, E., Deeb, R., Kavanaugh, M. & Jacobs, J. (2004). Treatment Technologies for Chromium(VI). Chromium VI Handbook. CRC Press LL C. Recuperado de:
[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=DVdCqL9NbOcC&oi=fnd&pg=PA275&dq=Treatment+Technologies+for+Chromium\(VI\).Chromium+VI+Handbook&ots=eiE1IPdo6Z&sig=i0-6vdEtiWL13In9xEXWeo22VAI#v=onepage&q=Treatment%20Technologies%20for%20Chromium\(VI\).Chromium%20VI%20Handbook&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=DVdCqL9NbOcC&oi=fnd&pg=PA275&dq=Treatment+Technologies+for+Chromium(VI).Chromium+VI+Handbook&ots=eiE1IPdo6Z&sig=i0-6vdEtiWL13In9xEXWeo22VAI#v=onepage&q=Treatment%20Technologies%20for%20Chromium(VI).Chromium%20VI%20Handbook&f=false)

Ingeniería De Aguas Residuales/Características De Las Aguas Residuales. Recuperado de:
https://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Caracter%C3%ADsticas_de_las_aguas_residuales

- Kim, Y.H., Park, J.Y., Yoo, Y.J. & Kwak, J.W. (1999). Removal of Lead Using Xanthated Marine Brown Alga, *Undaria Pinnatifida*. *Process Biochem.*, 34, 647-652. Recuperado de: <https://pdfslide.net/documents/removal-of-lead-using-xanthated-marine-brown-alga-undaria-pinnatifida.html>
- Krishnarao, R. V.; Subrahmanyam, J. & Kumar, T. J. (2001). Studies On the Formation of Black Particles in Rice Husk Silica Ash. *Journal of The European Ceramic Society*, 21 (1), 99-104. Recuperado de: <https://www.scienceopen.com/document?vid=05b171ed-0b91-4d0c-b0c7-15e872a718e1>
- Kumar A., Mohanta K., Kumar D. & Parkash O. (2012). Properties and Industrial Applications of Rice Husk: A Review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: Www.Ijetae. Com* (ISSN 2250-2459, Volume 2. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/511b/caed12ce0bc484adb83d795f2345cdf66e55.pdf>
- Kurtis, K. E. & Rodríguez, F. A. (2003). Early Age Hydration of Rice Hull Ash Cement Examined by Transmission Soft X-Ray Microscopy. *Cement and Concrete Research*, 33(4), 509–515. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/229173891_Early_age_hydration_of_rice_hull_ash_cement_examined_by_transmission_soft_X-ray_microscopy
- Lili Ding, Bo Zou, Wei Gao, Qi Liu, Zichen Wang, Yupeng Guo, Xiaofeng Wang & Yanhua Liu (2014). Adsorption of Rhodamine-B from aqueous solution using treated rice husk-based activated carbon. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775714000697>

Lizarazo J. & Orjuela M. (2013). Sistemas De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales En Colombia. Tesis De Grado, Universidad Nacional De Colombia. Recuperado de:

<http://bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>

Llanos O, Ríos A, Jaramillo C & Rodríguez L. (2016). La Cascarilla De Arroz Como Una Alternativa En Procesos De Descontaminación. Vol.11, No. 2 - 150 • 160 - DOI:

10.22507. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/313454708_La_cascarilla_de_arroz_como_una_alternativa_en_procesos_de_descontaminacion

Londoño L, Londoño P, Muñoz F. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 14 No. 2 (145-153) Julio - diciembre 2016. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

Malik, P. K. (2003). Use of Activated Carbons Prepared from Sawdust and Rice-Husk for Adsorption of Acid Dyes: A Case Study of Acid Yellow 36. *Dyes And Pigments*, 56(3), 239–249. Recuperado de: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/use-of-activated-carbons-prepared-from-sawdust-and-rice-husk-for-M732tNoXjM>

Martínez C, Acevedo G. & Espinal G. (2005). La Cadena Del Arroz En Colombia. Una Mirada Global De Su Estructura Y Dinámica, 1991-2005. Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá. Recuperado de: : www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112141728_caracterizacion_arroz.pdf

Mayorga, E., & Villacrés, D. (2015). Diseño De Reactores Biológicos Para Tratamiento De Aguas De Canales De Riego. Congreso De Ciencia Y Tecnología ESPE, 10(1), 30–36.

Recuperado de:

<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/25/24>

Medina K. & Manrique R. (2018). Uso Del Carbón Activado Para El Tratamiento De Aguas. Revisión Y Estudios De Caso. REVISTA NACIONAL DE INGENIERIA NO. 1 VOL 1- ENERO _MAYO/2018. Recuperado de:

<http://agenf.org/ojs/index.php/RNI/article/viewFile/269/264>

Metcalf & Eddy. Mac Graw Hill. Y Tratamiento De Aguas Residuales (1988). Recuperado de:

https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf

Mohan, S. & Sreelakshmi, G. (2008). Fixed Bed Column Study for Heavy Metal Removal Using Phosphate Treated Rice Husk. J. Hazard. Materials, 153, 75-82. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407011788>

Mora G. (2005). Caracterización De La Agroindustria A. Bogotá. Recuperado de:

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/5121/00797750.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Moreno A, Figueroa D Y Hormaza A., (2011). Adsorción De Azul De Metileno Sobre Cascarilla De Arroz. *Producción + Limpia*, 1(1):9-18. Recuperado de:
<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/231>
- Oporto C., Arce O., De Pauw N., Van den roeck E., (2001) Evaluación del potencial de lemna minor para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. *Revista Boliviana de Ecología y conservación ambiental*. 10: 17-27. recuperado de:
<http://www.cesip.org.bo/rebeca/index.php/rebeca/article/view/110>
- Ospina F. Rodríguez A. & González J. (2017). Comparación De La Reglamentación Para El Manejo De Lodos Provenientes De Agua Residual En Argentina, Chile Y Colombia. Pdf. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 227-237. Recuperado de:
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1852>
- Páez O., Ríos A., Jaramillo C. & Rodríguez L. (2016). La Cascarilla De Arroz Como Una Alternativa En Procesos De Descontaminación. Bogota. Recuperado de:
file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/La_cascarilla_de_arroz_como_una_alternativa_en_pro.pdf
- Patel, M., Karera, A., & Prasanna, P. (1987). Effect of Thermal and Chemical Treatments On Carbon and Silica Contents in Rice Husk. *Journal Of Materials Science*, 22(7), 2457–2464. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01082130>

Pinzón-bedoya M. y Vera-Villamizar L. (2009). Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de naranja. *Dyna*, vol. 76, núm. 160, diciembre, pp. 95-106.

Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a09v76n160.pdf>

Piñeros Y, Otálvaro A. (2009). Evaluación De La Producción De Etanol A Partir De Cascarilla De Arroz Pretratada Con NaOCl, Mediante Hidrólisis Y Fermentación Simultáneas XIII Congreso De Biotecnología Y Bioingeniería VII Simposio Internacional Producción De Etanoles Y Levaduras. México 2009. Recuperado de:

https://smbb.mx/congresos%20smbb/acapulco09/TRABAJOS/AREA_V/CV-51.pdf

Pontificia Universidad Javeriana, (2014). Tratamiento De Aguas Residuales. Recuperado de:

http://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines_Tecnologicos/Boletin_Tratamiento_aguas_20140624.pdf

Prada A. & Cortes C. (2010). La Descomposición Térmica De La Cascarilla De Arroz: Una Alternativa De Aprovechamiento Integral. Villavicencio. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>

Quiñones E., Tejada C., Arcia C., Ruiz V (2013) Remoción De Plomo Y Níquel En Soluciones Acuosas Usando Biomosas Lignocelulósicas: Una Revisión. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a23.pdf>

Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R. & Ahmad, A. (2010). Adsorption of Methylene Blue On Low-Cost Adsorbents: A Review. *J. Hazard. Materials*: 177, 70-80. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389409020354>

Rao S, Jammala, A, Naga K & Abburi K. (2007). Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3), 358-367. Recuperado de:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-34582007000300003&script=sci_arttext&tlng=e

Rengifo A., Peña E., Benitez N., (2012). Efecto de la asociación alga-bacteria *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae) en el porcentaje de remoción de cromo en laboratorio. *Biología Tropical*. Universidad De Costa Rica. Septiembre, pp: 1055-1064. Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442012000300008

Rodríguez G. (2013). Valorización Del Residuo Obtenido De La Quema De La Cáscara De Arroz. Instituto Nacional De Investigación Agropecuaria. Uruguay. Recuperado de: http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/fpta%2045_2013.pdf

Rodríguez Y., Salinas L., Ríos C., Vargas L. (2012). Adsorbentes A Base De Cascarilla De Arroz En La Retención De Cromo De Efluentes De La Industria De Curtiembres. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a17.pdf>

Rossi G. (2007). Diseño De Un Purificador De Agua Para Uso En La Pequeña Industria Alimentaria De Zonas Rurales. Recuperado de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5965/SErosagm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sahua, J.N., Acharyab, J. & Meikapa, B.C. (2009). Response Surface Modeling and Optimization of Chromium(VI) Removal from Aqueous Solution Using Tamarind Wood Activated Carbon in Batch Process. *J. Hazard. Materials*, 172, 818-825. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19748729>
- Sánchez A. (2017). Análisis De La Cascarilla De Arroz Utilizada Como Filtro En El Tratamiento De Aguas Residuales Provenientes De Lavadoras Y Lubricadoras De Autos "Polito'S" Ubicada En El Cantón Tisaleo De La Provincia De Tungurahua. Tesis De Grado, Universidad Técnica De Ambato. Recuperado de: <https://docplayer.es/123871498-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-civil-y-mecanica-carrera-de-ingenieria-civil.html>
- Schiewer, S. & Iqbal, M. (2010). The Role of Pectin in Cd Binding by Orange Peel Biosorbents: A Comparison of Peels, Depectinated Peels and Pectic Acid. *J. Hazard. Materials*, 177, 899-907. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-role-of-pectin-in-Cd-binding-by-orange-peel-a-Schiewer-Iqbal/7c454986f6007988221ff72e14f8cbbfd38d1326>
- Sekifuji R & Tateda M. (2019). Study of The Feasibility of a Rice Husk Recycling Scheme in Japan to Produce Silica Fertilizer for Rice Plants. Recuperado de: <https://sustainvironres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42834-019-0011-x>
- Shafique, U., Anwar, J. & Anzano, J. (2011). Treatment of Chromium Polluted Water Through Biosorption, An Environment Friendly Approach. Chapter 9. Chromium:

Environmental, Medical and Materials Studies ISBN: 978-1-61122-656-0. Editor:
Margaret P. Salden. Nova Science Publishers, Inc. Recuperado de:
<http://web.a.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzQzOTU5OV9fQU41?sid=20f15589-2a84-421a-baf5-49a4ce637ddb@sessionmgr4004&vid=4&format=EB&rid=10>

Sierra J. (2009). Alternativas De Aprovechamiento De La Cascarilla De Arroz En Colombia. Sincelejo. Recuperado de:
<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/211/2/333.794S571.pdf>

Silva E. (2016). Remoción De Color Del Efluente Proveniente de Una Planta De Destintado De Papel Usando Un Sistema De Biofiltración Con Diferentes Empaques Orgánicos. Recuperado de:
<http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/4505/esilva.pdf?sequence=1>

Srivastava, V.C., Mall, I.D. & Mishra, I.M. (2006). Characterization of Mesoporous Rice Husk Ash (RHA) And Adsorption Kinetics of Metal Ions from Aqueous Solution onto RHA. J. Hazard. Materials, B134, 257–267. Recuperado de:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16386363>

Srivastava, V.C., Mall, I.D. & Mishra, I.M. (2007). Adsorption Thermodynamics and Isothermic Heat of Adsorption of Toxic Metal Ions onto Bagasse Fly Ash (BFA) And Rice Husk Ash (RHA). Chem. Eng. J., 132 (1–3), 267-278. Recuperado de:
https://www.academia.edu/4489868/Adsorption_thermodynamics_and_isothermic_heat_o

f_adsorption_of_toxic_metal_ions_onto_bagasse_fly_ash_BFA_and_rice_husk_ash_R
HA

Suarez A., Mesa P., Bravo V., Prieto A. (2015). Evaluación De Un Sistema De Filtros De Cascarilla De Arroz Y Luffa Cylindrica Para El Tratamiento De Aguas Lluvias.

Recuperado de: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1015/1049>

Sud, D., Mahajan, G. & Kaur, M.P. (2008). Agricultural Waste Material as Potential Adsorbent for Sequestering Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions. A Review. Bioresource

Technology, 99, 6017-6027. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407010024>

Tobar E. & Quijije K. (2017). Estudio De Factibilidad En La Implementación De Una Empresa De Reciclaje A Base De Cáscara De Arroz En El Cantón Daule, Provincia Del Guayas, Con El Fin De Abastecer A Plantas Industriales De Paneles Solares. Guayaquil.

Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407010024>

Tobón F, Giraldo L & Y Paniagua R. (2010). Contaminación Del Agua Por Plaguicidas En Un Área De Antioquia. Facultad De Química Farmacéutica, Grupo De Investigación

Unipluriuniversidad, Universidad De Antioquia. Medellín, Colombia. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v12n2/v12n2a13.pdf>

Valverde A., Sarrial B. & Monteagudo J. (2007). Análisis Comparativo De Las Características Fisicoquímicas De La Cascarilla De Arroz. Pereira. Recuperado de:

file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-

AnalisisComparativoDeLasCaracteristicasFisicoquimi-4784298.pdf

Vargas E. (1995). El Valor Nutritivo De Los Subproductos Del Arroz En Costa Rica.

Composición Química, Disponibilidad Y Uso. Nutrición Animal Tropical. Vol 2 N° 1

Pp 31– 50. Recuperado de:

http://www.cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/el_valor_nutritivo_de_los_subproductos_del_arroz_en_costa_rica_composicion_quimica_disponibilidad_y_uso.pdf

Vargas Y. & Pérez L. (2018). Aprovechamiento De Residuos Agroindustriales Para El

Mejoramiento De La Calidad Del Ambiente. Yopal, Casanare. Recuperado de:

<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/3108-Texto%20del%20art%C3%ADculo-13312-2-10-20190408.pdf>

Varón J. (2005). Diseño, Construcción Y Puesta A Punto De Un Prototipo De Quemador Para

La Combustión Continua Y Eficiente De La Cascarilla De Arroz. El Hombre Y La

Máquina, P. 130. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47802513>

Vaughan, T., Seo, C.W. & Marshall, W.E. (2001). Removal of Selected Metal Ions from

Aqueous Solution Using Modified Corncobs. *Bioresources Technology*, 78, 133-139.

Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852401000074>

Villanueva, C. (2007). Biosorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de citrus

sinensis (naranja), citrus limonium (limón) y opuntia ficus (palmeta de nopal). [Tesis de

grado]. Universidad Nacional Mayor e San Marcos, Lima, PerúEl-Turki A., Hallam K.,

Allen G. (2009). Banana peel: A green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 70. pp. 232–237. Oscar Fabián Artunduaga Cuellar 73. Recuperado de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/2112/Villanueva_hc.pdf?sequence=1

Wan Ngah, W; Teong, L; Hanafiah, M; 2011. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review, *Carbohydrate Polymers*, 83, 1446 - 1456. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/222597049_Adsorption_of_Dyes_and_Heavy_Metal_Ions_by_Chitosan_Composites_A_Review

W. A. S. Program, «Biofiltro: Una Opción Sostenible Para El Tratamiento De Aguas Residuales En Pequeñas Localidades,» Wsp, Pp. 10-15, 2006. Recuperado de: <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/943351468247792589/pdf/360810WSP0rev0biofiltro01PUBLIC1.pdf>

Wang, J; Chen, C; 2009. Biosorbents for Heavy Metals Removal and Their Future, *Biotechnology Advances*. 27, 195 – 226. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975008001109>

Wong, K. K.; Lee, C. K.; Low, K. S. & Haron, M. J. (2003). Removal of Cu and Pb by Tartaric Acid Modified Rice Husk from Aqueous Solutions. *Chemosphere*, 50(1), 23–8. Recuperado de: <https://eurekamag.com/research/011/281/011281075.php>

Zambrano I. (2019). Filtros De Arcilla Y Cascarilla De Arroz, Incidencia En Remoción De Carga Orgánica En Aguas Residuales De La Ciudad De Portoviejo. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López, Informe De Trabajo De Titulación Previa La Obtención Del Título De Ingeniero En Medio Ambiente. Recuperado de: <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/988/1/TTMA34.pdf>

Zambrano L. (2018). Remoción De Colorantes Sintéticos De Las Aguas Residuales De La Industria Alimentaria Usando Como Material adsorbente biomasa de arroz. Recuperado de: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/5195/1/T-SENESCYT-01735.pdf>