

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:1 de 7

16

FECHA	24 de Junio de 2020
--------------	---------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Pasantía
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
García Ramírez	Yohan Sebastián	1105690127

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:2 de 7

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Sandoval Valencia	Jhon Jairo

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Una revisión sobre la cascarilla de arroz para la remoción de iones metálicos en medio acuoso

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Ambiental

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
08/06/2020	64

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1.Cascarilla de Arroz	1. Rice husk
2.Iones metálicos	2. Metal ions
3.Adsorción	3. Adsorption
4.Tratamiento de agua	4. Water treatment
5.Activación	5. Activation
6.Remoción	6. Removal

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA:3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

En Colombia la demanda de arroz es dominante, considerando que es el segundo país más consumidor de arroz de Latinoamérica. De esta manera el arroz hace parte de la alimentación diaria y de la gastronomía nacional, lo que ha provocado elevadas producciones de cascarilla de arroz como residuo agrícola, causando en algunas ocasiones importantes efectos al medio ambiente, principalmente a la atmosfera cuando es quemada a cielo abierto. Una de las estrategias para dar solución a dicha problemática es el desarrollo de sistemas de productividad limpia o responsable con el medioambiente, tal como la valorización de los residuos agrícolas, como ejemplo, la obtención de materiales adsorbentes y su aplicación en tecnologías alternativas para la descontaminación de fuentes hídricas, particularmente en la retención de iones metálicos. En este trabajo monográfico se describe una compilación de información documentada que pudiera determinar el potencial que presenta la cascarilla de arroz para la remoción de metales en el recurso agua, ya que gracias a sus características fisicoquímicas es susceptible a sufrir modificaciones estructurales que permiten incrementar su capacidad de adsorción de iones y/o moléculas, moléculas bien sean de origen orgánico e inorgánico.

In Colombia, the demand for rice is dominant, considering that it is the second most consuming country for rice in Latin America. In this way, rice is part of the daily diet and of the national gastronomy, which has caused high production of rice husks as agricultural residue, sometimes causing important effects on the environment, mainly on the atmosphere when it is burned to the sky. open. One of the strategies to solve this problem is the development of clean or environmentally responsible productivity systems, such as the recovery of agricultural residues, as an example, obtaining adsorbent materials and their application in alternative technologies for decontamination. from water sources, particularly in the retention of metal ions. This monographic work describes a compilation of documented information that could determine the potential that rice husk presents for the removal of metals in the water resource, since thanks to its physicochemical characteristics it is susceptible to structural modifications that allow it to increase its capacity. of adsorption of ions and / or molecules, molecules are of organic and inorganic origin.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA:4 de 7

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.		X
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.		X
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.		X
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.		X

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.coE-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA:5 de 7

Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI NO .

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA:6 de 7

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA:7 de 7

j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia CreativeCommons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
Una revisión sobre la cascarilla de arroz para la remoción de iones metálicos en medio acuoso.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
García Ramirez Johan Sebastián	Johan Sebastián García R

21.1-51.20

**UNA REVISIÓN SOBRE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA
REMOCIÓN DE IONES METÁLICOS EN MEDIO ACUOSO.**

Yohan Sebastián García Ramírez

Trabajo de grado modalidad pasantía para optar al Título de
Ingeniero Ambiental de la
Universidad de Cundinamarca

Universidad de Cundinamarca
Facultad Ciencias Agropecuarias
Ingeniería Ambiental
Girardot
2020.

**UNA REVISIÓN SOBRE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA LA
REMOCIÓN DE IONES METÁLICOS EN MEDIO ACUOSO.**

Yohan Sebastián García Ramírez

Trabajo de grado modalidad pasantía para optar al Título de
Ingeniero Ambiental de la
Universidad de Cundinamarca

John Jairo Sandoval Valencia

Director. Docente Ocasional Tiempo Completo. Programa de Ingeniería
Ambiental, Seccional Girardot.

Universidad de Cundinamarca
Facultad Ciencias Agropecuarias
Ingeniería Ambiental

Girardot

2020

Agradecimientos

Agradezco a la vida por permitirme alcanzar este logro, a mis padres José Didie García Lozano y a mi madre Luz Marina Ramírez Cardozo, por brindarme los recursos para culminar mis estudios, a todos los docentes que hicieron parte de mi formación, en especial al docente John Jairo Sandoval Valencia, por guiarme en este proyecto. Y finalmente a Leidy Stefany Luna Lanza por su apoyo, motivación y cariño brindado.

Resumen

En Colombia la demanda de arroz es dominante, considerando que es el segundo país más consumidor de arroz de Latinoamérica. De esta manera el arroz hace parte de la alimentación diaria y de la gastronomía nacional, lo que ha provocado elevadas producciones de cascarilla de arroz como residuo agrícola, causando en algunas ocasiones importantes efectos al medio ambiente, principalmente a la atmosfera cuando es quemada a cielo abierto. Una de las estrategias para dar solución a dicha problemática es el desarrollo de sistemas de productividad limpia o responsable con el medioambiente, tal como la valorización de los residuos agrícolas, como ejemplo, la obtención de materiales adsorbentes y su aplicación en tecnologías alternativas para la descontaminación de fuentes hídricas, particularmente en la retención de iones metálicos. En este trabajo monográfico se describe una compilación de información documentada que pudiera determinar el potencial que presenta la cascarilla de arroz para la remoción de metales en el recurso agua, ya que gracias a sus características fisicoquímicas es susceptible a sufrir modificaciones estructurales que permiten incrementar su capacidad de adsorción de iones y/o moléculas, moléculas bien sean de origen orgánico e inorgánico.

Tabla de contenido

Introducción	1
Planteamiento del problema	4
Justificación	6
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Diseño Metodológico	9
Capítulo 1	1
Producción de arroz en Colombia	1
Reseña histórica del cultivo de arroz	1
Producción de arroz en Colombia	5
Consumo de arroz en Colombia	7
Valor de la producción de arroz	8
Ventajas y desventajas socio ambientales de la producción de arroz	9
Capítulo 2	14
La cascarilla de arroz como residuo agrícola y su actual uso en Colombia	14
Propiedades de la cascarilla de arroz	14
Actual uso de la cascarilla de arroz	14
Capítulo 3	17
Potencial uso de los residuos agroindustriales para la remediación ambiental	17
Residuos agroindustriales	17
Utilización de los residuos agroindustriales para la remediación ambiental	17
Políticas ambientales sobre la disposición de residuos agroindustriales	26
Capítulo 4	27
Uso de la cascarilla de arroz para la retención de iones metálicos	27
Adsorción	27
Bioadsorción	29
Bioadsorbentes	29
Parámetros determinantes en la adsorción	31
Tratamientos fisicoquímicos para mejorar las propiedades adsorbentes	34
Conclusiones	36

[Recomendaciones](#)..... 41

[Referencia Bibliográfica](#)..... 43

Introducción

La cascarilla de arroz es un residuo agroindustrial generado en las actividades del sector arrocero, la cual suele ser desechada, en Colombia aproximadamente el 5% de la cascarilla de arroz es utilizada en la industria florícola y criaderos de animales, en la primera para el mejoramiento de sustratos y en la segunda es usada como cama en los corrales, principalmente en las actividades porcícola y avícolas, el 95% restante es quemado en piladoras, arrojada en los ríos y por último tirada al borde de las carreteras (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2018). Por los pocos usos de este residuo agrícola se evidencia que la comercialización de esta es escasa, teniendo en cuenta que es un material orgánico que suele ser desechado inadecuadamente.

Las características de la cascarilla de arroz y su elevada generación como subproducto han permitido que esta se use en el control de derrames de hidrocarburos e insumos tóxicos, esto ha llevado que se empiecen a estudiar y a mejorar sus propiedades adsorbentes mediante procesos químicos y evaluar su eficiencia con distintos contaminantes presentes en medio acuoso. La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2016) estimó que más del 80% de las aguas residuales resultantes de la actividad humana se vierten en los ríos o en el mar sin ningún tratamiento, generando impactos negativos a los ecosistemas. Por ejemplo, altera la cadena trófica generando procesos de bioadsorción y biomagnificación de los contaminantes, que podrían más adelante ser ingeridos y seguramente deteriorará la salud de cada individuo (Mosquera, 2015; Londoño, 2016). En la mayoría de los casos afecta a la población más vulnerable o quienes realizan sus

actividades laborables de caza o pesca en fuentes hídricas dónde comúnmente arrojan basuras o hay vertimientos con elevada carga contaminante (Reyes, 2016).

Este trabajo monográfico recopila información sobre la cascarilla de arroz y sus aplicaciones, particularmente para el tratamiento de aguas contaminadas con metales. Por lo tanto, el documento se centra en comprender el potencial que presenta la cascarilla de arroz como residuo agrícola en el tratamiento de aguas que no cumplen los lineamientos de calidad señalados actualmente en las políticas ambientales.

Distintos grupos de investigación a nivel mundial han estudiado adsorbentes de origen natural, por ejemplo, Ingenium Civiles, con la investigación Adsorbentes y materiales utilizados para filtración y reducción de contaminantes en aguas potables en el año 2016 y el grupo de investigación en diseño de procesos y aprovechamiento de biomásas (IDAB), con la investigación Adsorción de metales pesados en aguas residuales, usando materiales de origen biológico en el año 2014, entre otros. Todos ellos han resultado ser eficientes en la remoción de metales pesados en distintas muestras de agua, por lo tanto, presenta un importante potencial en términos económicos para la remediación ambiental.

Es por ello, que en este documento se recopila algunas técnicas para la activación o aumento de la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz.

Para la retención de iones Cromo ($\text{Cr}6+$) se encontró en uno de los estudios realizados, que la metodología de activación de la cascarilla de arroz fue mediante un pretratamiento a vapor seguido de la trituración e incineración. La eficacia en pruebas de adsorción fue del 94%. (Gallego, 2011) En el caso de mercurio ($\text{Hg}2+$) se usó

impregnación con H_3PO_4 y un posterior tratamiento térmico en mufla, su evaluación ha demostrado una eficiencia de adsorción del 95% (Toncón, Leal y Sánchez, 2015).

Todas las investigaciones manifiestan que la cascarilla de arroz es un residuo agrícola que debe ser valorado, particularmente en procesos de remediación ambiental.

Planteamiento del problema

La contaminación ambiental actualmente se ubica como una importante problemática que está afectando a la sociedad. La contaminación del agua aumenta a diario con los vertimientos generados por las actividades humanas principalmente de las industrias y la agricultura; esta última, actualmente está catalogada como la mayor consumidora de agua del mundo de acuerdo a las naciones unidas, el riego de los cultivos representa el 70% de las extracciones de este recurso y la producción de alimentos consume el 30% de la energía mundial, que es generada principalmente de manera hidráulica. En algunas partes del planeta se evidencia escases de agua y se pronostica para un futuro no muy lejano una crisis de este recurso, para esto la Organización de las Naciones Unidas, definió su sexto objetivo: “garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

El sector arrocero está saturado de problemáticas de contaminación del agua y del recurso suelo, esto a razón de la falta de buenas prácticas agrícolas, la inadecuada gestión de los residuos sólidos peligrosos generados en los procesos de siembra, riego, fertilización, control de plagas, recolección, transporte y almacenamiento, lo que conlleva a la disminución de la calidad de fuentes hídricas, acuíferos y degradación de suelos.

A nivel mundial, la demanda de alimentos a generado como consecuencia un aumento de residuos agroindustriales, que conllevan a una serie de implicaciones relacionadas con la disposición final de estos, lo cual ha causado, que esto sea actualmente

uno de los principales objetos de investigaciones, centradas en la búsqueda de usos alternativos de la materia en otros procesos de interés medio ambiental. La cascarilla de arroz actualmente es uno de los residuos de mayor estudio debido a su composición química, el análisis elemental indica que presenta un 82% de masa en carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre. El 18 % restante es ceniza, compuesta principalmente por óxido de silicio (SiO_2) con un 95% aproximadamente. (Prada Matiz, A., y Cortés Castillo, C, 2010). Estos valores indican, que la cascarilla de arroz además de ser una fuente de carbono (carbohidratos polimerizados, como la celulosa), es un residuo que presenta una cantidad no despreciable de silicio. Lo cual, es un material, que podría generar importantes efectos negativos a la contaminación atmosférica cuando es quemado a cielo abierto, pero también, puede llegar a ser una interesante materia prima para obtener productos con mayor interés comercial y/o aplicabilidad.

Este documento, producto de una pasantía de investigación en el laboratorio de aguas de la Universidad de Cundinamarca, seccional Girardot, consiste en la compilación y el estudio de la información, sobre los métodos para el tratamiento de aguas con elevada carga contaminante mediante el uso de la cascarilla de arroz. De manera que estos procesos sean ambientalmente sostenibles. Según esta breve reseña, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Puede un residuo agrícola como la cascarilla de arroz convertirse en un importante material para la retención de contaminantes (iones metálicos) en fuentes hídricas?

Justificación

Con la realización de este documento se podrá identificar las ventajas y desventajas de la cascarilla de arroz para retener agentes xenobióticos como los metales pesados en fuentes hídricas, puesto que dicho material puede ser modificado mediante métodos fisicoquímicos para mejorar su capacidad adsorbente, porosidad, área superficial u otros factores que propician la adherencia del adsorbato (contaminante) al adsorbente (cascarilla de arroz modificada)(Rodríguez, Campos y Pérez, 2019). Todo ello, encaminado a la comprensión de procedimientos económicos, eficientes, asequibles y fácilmente replicable que contribuya en la mitigación de problemas ambientales (Rosas, 2012). Además, la investigación y desarrollo en estas temáticas, favorece la simbiosis industrial y el aporte a la aplicación de procedimientos más sostenibles (Vadillo, 2006).

Los residuos de la industria arrocera, en la mayoría de los casos no representa ningún interés económico, sin embargo, con el paso de los años esa percepción ha venido cambiando por los diferentes usos agrícolas y ahora como futura materia prima en otros procesos (Sierra, 2009). Bien sea en el sector energético, en la elaboración de materiales directos de la construcción, en la producción de adsorbentes y filtros para la retención de contaminantes en el recurso suelo, agua y aire(Prieto, 2019).

La elevada demanda de arroz en el país ha propiciado que los campesinos aumenten e intensifiquen sus producciones, de la misma forma, el uso de fertilizantes sintéticos y plaguicidas que resultan necesarios para mejorar la productividad. Todo ello sin considerar aspectos como las modificaciones genéticas a la planta, con el fin de ganar resistencia a sequías, un tamaño de grano más grande y un mayor número de espigas, que se evidencia

paulatinamente en un aumento significativo de la producción arroceras, insumos y por supuesto la producción de cascarilla como residuo agrícola.

En Colombia, se ha calculado, que el 5% de la cascarilla de arroz se emplea primordialmente en criaderos de animales y en el sector florícola, el sobrante es quemado, tirado a los ríos o a la orilla de las carreteras(DANE, 2018). El mal manejo de los residuos agrícolas hace que existan en algunas ocasiones problemáticas que afectan directamente a los ecosistemas, es por esta razón que se debe valorizar los residuos lignocelulósicos y más aún si presentan un elevado porcentaje de algún elemento diferente al hidrógeno, el carbono y el oxígeno, para el caso de la cascarilla el silicio. Pues se conoce bien, que existen materiales, nanopartículas de silicio con sustanciales aplicaciones en la industria que favorecen al progreso de las naciones.(Herguedas et al., 2012). Por todas las razones mencionadas, se realiza un estudio bibliográfico sobre los usos de la cascarilla de arroz y su potencial en la remediación de fuentes hídricas.

Objetivos

Objetivo General

Determinar el potencial que presenta la cascarilla de arroz para la retención de iones metálicos en medio acuoso, mediante una revisión bibliográfica.

Objetivos Específicos

- 1) Identificar las ventajas y desventajas ambientales de la industria arrocera.
- 2) Estudiar el potencial de la cascarilla de arroz como materia prima en la industria, mediante un análisis bibliográfico.
- 3) Identificar las metodologías para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz en la retención de iones metálicos.

Diseño Metodológico

El área de estudio de este trabajo se basa en determinar el potencial que presenta la cascarilla de arroz para la retención de iones metálicos en medio acuoso, mediante una revisión bibliográfica

Para obtener la información primaria y secundaria se realizó una búsqueda de documentos que pasó de lo general a lo particular, hasta lograr sesgar la bibliografía que sería la base del estudio.

Una vez organizada la búsqueda se ejecutó un filtrado de la misma teniendo como prioridad la fecha más reciente de publicación y su estrecha relación con el tema del área de investigación.

Para la recolección de la información se realizó una consulta digital en todas las bases de datos a las cuales se tiene acceso vía digital, por medio de la biblioteca de la Universidad de Cundinamarca, Fedearroz, DANE, Ministerio de agricultura y Ministerio del Medio Ambiente, como también de las demás corporaciones a las que se permite ingresar de forma gratuita, así mismo en repositorio de universidades para evidenciar antecedentes del tema. Se tuvo en cuenta información que ha sido recopilada en tesis, monografías, artículos científicos, memorias de encuentros, artículos de semilleros de investigación y artículos de otros países que describen casos de estudio similares a la temática de interés. Se priorizaron los desarrollados en países suramericanos durante los últimos 10 años, en especial a los casos documentados en Colombia. Sin embargo, también se encontraron estudios desarrollados en otras zonas del mundo y se filtraron por los más recientes y congruentes con el objeto de estudio.

La Metodología de este trabajo incluye: i) Identificar las ventajas y desventajas ambientales de la industria arrocera. ii) Estudiar el potencial de la cascarilla de arroz como materia prima en la industria, mediante un análisis bibliográfico y iii) Identificar las metodologías para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz en la retención de iones metálicos.

Se realizó una compilación de los estudios realizados a la industria arrocera, referente a la cascarilla de arroz y demás materiales con potencial adsorbente en Colombia, donde se evidencien beneficios y problemáticas socio ambientales, que puedan generarse por esta actividad agrícola a lo largo del tiempo y por la serie de procesos y materiales que se emplean para la producción del grano, donde se describen los tipos de contaminación y la concentración de los agentes contaminantes, como lo son el dióxido de carbono, el material particulado (MP), el óxido de silicio entre otros. También, se tomaron en cuenta estudios en países de mayor desarrollo investigativo y económico de manera que se tengan diferentes perspectivas.

La cascarilla de arroz es considerada actualmente como uno de los mayores desechos de la industria arrocera y su disposición consiste principalmente en la incineración, lo cual es una manera que genera otras problemáticas ambientales como lo son emisiones de gases efecto invernadero, liberación de material particulado, generación de nuevos subproductos (cenizas y cascarilla incinerada). Por lo que generar alternativas de gestión, reutilización y valoración de este material es de vital importancia para una producción más eficiente de manera social, ambiental y económica (Rodríguez et al., 2019).

Del análisis bibliográfico se obtendrá la información idónea para estudiar las características absorbentes que pueda tener la cascarilla de arroz y su uso enfocado en el tratamiento de aguas contaminadas con iones metálicos, de manera que dichos procedimientos pueden llegar a contribuir en la solución de las problemáticas de contaminación hídrica, contaminación atmosférica y de generación de residuos.

El aprovechamiento de un residuo se basa en su constante utilización, al ser la cascarilla de arroz un material adsorbente podría ser usado en los sistemas de tratamiento de aguas contaminadas. El material seguramente debe ser cambiado cuando se sature o disminuya su eficiencia para la retención de contaminantes, lo cual indica que debe ser desechado cumpliendo todos los protocolos ambientales y por supuesto continuar con los procedimientos con nuevo material. Esta práctica probablemente puede satisfacer los requerimientos ambientales y los costos por ser un material de fácil acceso.

En esta monografía, una vez identificada la información, se analizó las diferentes alternativas para mejorar las propiedades de la cascarilla de arroz, por ejemplo, su porosidad y el área superficial, contemplando la posibilidad de sustituir materiales adsorbentes convencionales, como el carbón activado, la antracita, las zeolitas, entre otros.

Sobre los métodos de activación se hizo énfasis en aquellos procedimientos que presentan menor impacto ambiental, fácil sistema de producción y mayor eficiencia de adsorción.

Capítulo 1

Producción de arroz en Colombia

Reseña histórica del cultivo de arroz.

El arroz es considerado como una de las plantas más antiguas de la humanidad. Se cree que el arroz fue conocido por primera vez en China y Tailandia, hacia el año 7.000 a.c y posterior en el Oeste de África y Estados Unidos. Para este entonces las especie conocidas se denominaron *Oryza Sativa*, *Oryza Glaberrima* y el arroz silvestre especie *Zizania Acuática*.

No se puede determinar con exactitud la época en que este cereal apareció y el tiempo que tuvo que esperar el ser humano para identificarlo y ponerlo en propagación. También se habla que el arroz apareció en África y luego se trasladara a Asia, esto aun sin evidenciar.

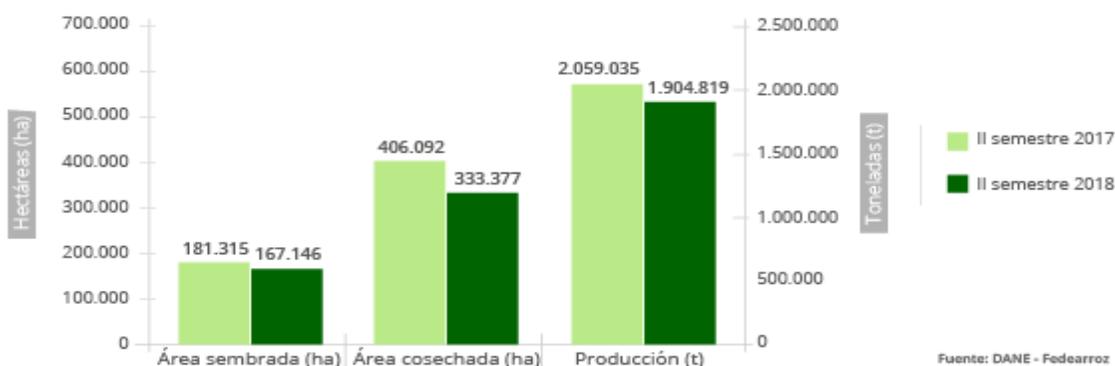
En China se tiene registro desde el año 3000 a. c; donde el pueblo realizaba una gran ceremonia alrededor de la siembra del cultivo de arroz y en nombre del emperador. Hoy no se conoce con precisión desde que parte del mundo y en qué época llego a occidente. Se afirma que Cristóbal Colón en su segundo viaje en 1493, trajo semillas, pero no germinaron. El historiador Fray Pedro Simón, en 1961 afirma que en el valle del Magdalena en Colombia hubo siembras en 1580, en área de Mariquita (Tolima). En el municipio de Prado se cultivó hace 300 años y en 1778 lo introdujeron los Jesuitas a San Jerónimo (Antioquía). (FEDEARROZ, 2020)

En Colombia otra de las regiones de mayor influencia arroceras fueron los Llanos Orientales, del cual se tiene conocimiento tuvo sus inicios de siembra comercial en el año

de 1908. Para ese entonces el trabajo y manipulación del cereal provenía de los presidiarios que se encontraban pagando condena en las afueras de Bogotá.

Para el año 2018 a nivel Colombia se presentó un área sembrada de 167.146 hectáreas de arroz y la producción de arroz supera los 2'000.000 de toneladas anuales. Dando una producción intensiva, que busca satisfacer la demanda de los colombianos por este producto.

A continuación, se muestra la cantidad de área sembrada, cosechada y la producción total de arroz a nivel Colombia durante el segundo semestre de los años 2017 y 2018.



Grafical. Área sembrada, cosechada, producción y rendimiento-Total Nacional.

Fuente: Estadísticas agropecuarias-(DANE, 2018)

Con el tiempo los cultivos se extenderían a la Costa Pacífica, con plantaciones en el bajo Atrato, al departamento del Tolima específicamente en las poblaciones de Alvarado Armero, Mariquita, y Venadillo; y en el departamento del Huila en el municipio de Campoalegre.

Para 1984 el departamento del Meta ocupó un lugar importante en la historia del arroz en Colombia con la inauguración de las instalaciones de la planta de semillas de FEDEARROZ (Federación Nacional de Arroceros) en Villavicencio.

La composición del arroz varía levemente según la especie y el tipo de arroz. Esto genera una variedad de composiciones y de características de cada uno de estos, por consecuencia la generación de subproductos (pulido y cascarilla) también varían.

A continuación, se muestra la composición química y física de cada una de las estructuras del arroz:

Tabla 1. Composición promedio del arroz con cascara

Fracciones	Proteína cruda (gN*5,95)	Grasa (g)	Fibra (g)	Ceniza (g)	Carbohidratos presentes (g)	Energía (kcal)	Densidad (g/ml)
Arroz con cáscara	5,8-7,7	1,5-2,3	7,2-10,4	2,9-5,2	64-73	378	1,17-1,23
Arroz integral	7,1-8,3	1,6-2,8	0,6-1,0	1,0-1,5	73,0-87,0	363-385	1,31
Arroz elaborado	6,3-7,1	0,3-0,5	0,2-0,5	0,3-0,8	77,0-89,0	349-373	1,44-1,46
Pulido de arroz	11,3-14,9	15,0-19,7	7,0-11,4	6,6-9,9	34,0-62,0	399-476	1,16-1,29
Cáscara de arroz	2,0-2,8	0,3-0,8	34,5-45,9	13,2-21,0	22,0-34,0	265-332	0,67-0,74

La tabla 1 muestra la composición química y física de cada una de las estructuras del arroz.
Fuente: (Beatriz & Almarza, 2007; DANE&FEDEARROZ, 2018).

La cascarilla de arroz está compuesta por una serie de polímeros principalmente celulosa y algunos óxidos y minerales que pueden dar una idea de los contaminantes, que se pueden generar por una incorrecta exposición final de este material. A continuación, una tabla con la composición típica y mineral de la cascarilla de arroz.

Tabla 2. Composición mineral de la cascarilla de arroz

Composición	Porcentaje
Celulosa	32.24
Hemicelulosa	21.34
Lignina	21.44
Extractivos	1.82
Agua	8.11
Ceniza mineral	15.05
Composición química en cenizas minerales:	
SiO ₂	96.34
K ₂ O	2.31
MgO	0.45
Fe ₂ O ₃	0.2
Al ₂ O ₃	0.41
CaO	0.41

La tabla 2 muestra la composición mineral de la cascarilla de arroz. Fuente: (Chuah, Jumariah, Azni, Katayn & Chong, 2004)

Para el estudio de la cascarilla de arroz se presenta unas características y propiedades con respecto a su composición. A continuación, una tabla con características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz.

Tabla 3. Características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz.

Características	Valores
Densidad a granel(g/ml)	0.73
Densidad sólida(g/ml)	1.5
Contenido de humedad(%)	6.62
Contenido de cenizas(%)	45.97
Tamaño de partícula (malla)	200-16
Área de superficie (m ² /g)	272.5
Acidez superficial (meq/g)	0.1
Basicidad superficial (meq/g)	0.45

La tabla 3 muestra características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. Fuente: (Chuah, Jumasiah, Azni, Katayn & Chong, 2004)

Producción de arroz en Colombia.

En Colombia se llevan a cabo dos alternativas de cultivo en la cosecha de arroz. La siembra tipo riego, utilizado en los departamentos del Huila y Tolima y consta de irrigación de parcelas, el proceso de siembra de semillas se hace manual. Y el cultivo tipo secano, se realiza en seco, es decir en tierras no inundadas, con un porcentaje menor de humedad en la semilla. Es un tipo de cultivo empleado en los llanos colombianos.

Una vez verificada la madurez del grano se inunda el campo y se pasa la maquina recolectora. El arribo del arroz al molino llega con un porcentaje de humedad y este varía según la zona de cosecha y de la temporada o estación del año. Luego se realiza un pre limpieza y secado.

El trillado se hace por medio de rodillos de caucho que retiran la cascara y se obtiene el arroz integral y la cascarilla de arroz.

Del arroz integral, una vez se realiza el proceso de pulimiento se obtiene el arroz blanco, destinado al consumo humano y el salvado de arroz, que generalmente es utilizado en la industria de alimentos para animales.

El arroz comenzó siendo el grano base de la cultura asiática, por esto hoy en día este es el lugar que más produce este cereal, aproximadamente un (33%), puesto que es muy significativo en la cultura y gastronomía.

A continuación, una tabla con los mayores productores de arroz en el mundo.

Tabla4. Principales productores de arroz en el mundo

Países	Producción (Ton/año)	Porcentaje
China	125.363.000	31,17%
India	85.310.000	21,21%
Indonesia	34.250.000	8,52%
Vietnam	22.716.000	5,65%
Tailandia	17.070.000	4,24%
Filipinas	9.445.000	2,35%
Brasil	8.996.000	2,24%
Japón	7.944.000	1,98%
Resto del mundo	91.115.000	22,65%
Total	402.209.000	100%

La tabla 4 muestra los principales productores de arroz en el mundo. Fuente: (Producción mundial de arroz para el año 2012-USDA).

La producción de arroz en Colombia ha mostrado una tendencia ascendente desde el año 1993 con un promedio de 4.8% anual. En cinco departamentos se concentran el 77% de la producción de arroz, entre los que se destacan Tolima, Meta y Casanare, que representan el 63% de la producción nacional. (Ministerio de Agricultura, 2004)

A nivel nacional, para el segundo semestre del año 2019 se registró un área total sembrada en arroz mecanizado de 186.703 hectáreas. Lo que corresponde a 19.557 hectáreas más que el área sembrada en el segundo semestre del año anterior con un registro de 167.146 hectáreas.

El área cosechada de arroz mecanizado aumentó 5,5% a nivel nacional, pasando de 333.377 hectáreas en el segundo semestre de 2018, a 351.838 hectáreas en el segundo semestre de 2019. Los principales departamentos arroceros, que presentaron un aumento de áreas cosechadas en el segundo semestre de 2019 fueron Meta, con una variación positiva de 16,1%, Casanare 7,6% y Resto Departamentos 11,9%. (DANE, 2020)

Consumo de arroz en Colombia.

Para poder identificar el consumo de arroz en el país, este se mide por el consumo per cápita en kilogramos de los habitantes de la nación al año. A nivel Latinoamérica Colombia encabeza las listas, como uno de los países más consumidores de arroz, esto debido a razones gastronómicas.

El arroz que se produce en Colombia tiene un promedio de consumo per cápita anual que llega a 42.22 kg. Debido a los bajos niveles de productividad nacional el consumo se hace exclusivamente interno, con un mínimo porcentaje de exportación.

En el año 2018, el país registró un consumo de arroz en el sector urbano de 39.91kg, un consumo rural de 49.92kg, para un consumo per cápita total de 42.22gr.

Valor de la producción de arroz.

El valor de la producción de arroz está sujeto a la tecnología y a las características agroecológicas de la región en el que se encuentra el cultivo. Si es una producción mecanizada, en la que una o varias operaciones del ciclo son realizadas con maquinaria o si es básicamente una baja producción con un trabajo de mano de obra, como el caso de pequeños sembradores, cuyo principal objetivo es abastecer el sustento familiar.

Otra de las características que determinan el costo de la producción de arroz, es el tipo de riego. El cultivo de arroz seco tiene canales de riego, en donde el agua empleada es la proveniente de la lluvia, en cambio el arroz de riego necesita del agua en cualquier momento, lo que implica costos de arrendamiento, pago de cuotas a distritos de riego y de la presencia del operario para que el agua sea provista. A nivel de inversión se menciona que los costos tienden a ser similares.

Las estadísticas de Fedearroz permiten tener una visión general de los costos de producción del arroz según el tipo de sistema. Para el año 2019 la valoración por rubros de los costos por hectárea en pesos colombianos del arroz riego tuvo un total de 6.335.618 pesos. Para el mismo año, pero a nivel de arroz seco se registró un total de costos por hectárea de 4.354.834 pesos colombianos. Para el año 2006 el costo por hectárea de producción de arroz en Colombia fue de 3.500.000

Ventajas y desventajas socio ambientales de la producción de arroz.

Cultivo no perene.

El arroz es un cultivo de rápida producción que a diferencia de otros alimentos, que pueden tardar años en producir los primeros frutos como lo son los frutales (cultivos perennes), este está listo para cosechar según la variedad, en tan solo 120 días después de su siembra, generando ganancias en poco tiempo además de reducir costos en mantenimientos, en riegos, en productos agroquímicos y en algunos casos el arriendo de los terrenos, que encarecen la producción, reducen las ganancias y terminan aumentando el precio de los productos.

Alta demanda.

Es un producto altamente consumido en Colombia donde según Fedearroz, en 2016 en promedio, un colombiano consumió 41 kilos al año de este cereal de arroz; siendo Colombia el segundo mayor consumidor latinoamericano, superado únicamente por Perú, que consume 54 kilos per cápita; esto debido a que este cereal hace parte de la alimentación diaria de los colombianos por sus aportes calóricos, bajo precio, facilidad de preparación, entre otras características han hecho de este alimento uno de los más comunes en la alimentación colombiana.

Generador de Turismo.

La alta productividad del arroz permitió la creación del parque nacional del arroz: Hacienda la Guaira, en Alvarado - Tolima, lugar de turismo, donde se transmiten enseñanzas

sobre las vivencias, los orígenes, el folclor y los paisajes arroceros generando beneficios sociales, económicos y culturales a la región.

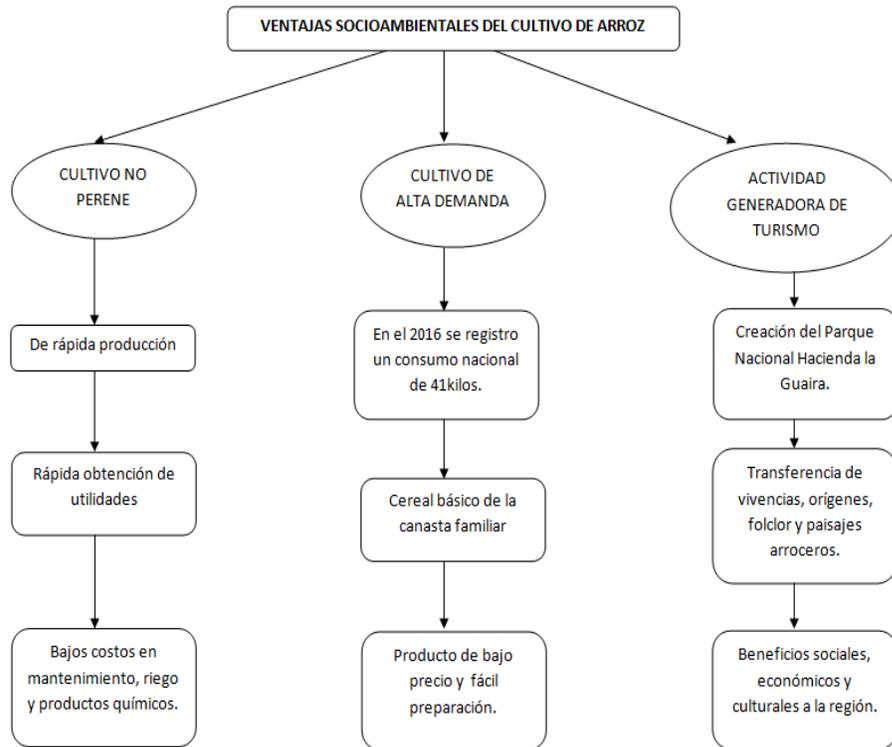


Figura 1.
La figura ilustra a el

mapa conceptual que permite identificar las ventajas socioambientales del cultivo de arroz.

Alto consumo de agua.

El cultivo del arroz requiere constante uso de agua desde el momento previo a la siembra, donde se prepara el suelo y en otras etapas de crecimiento de la planta, ya que es necesaria para la evapotranspiración, en el proceso de infiltración y en la percolación, además de controlar el crecimiento de malezas en los arrozales de manera que su demanda de agua es significativa para el ambiente.

Susceptible de Alterar el suelo.

El cultivo del arroz es propenso a tener riegos mal manejados que pueden contribuir a la degradación del suelo, ya que practicas incorrectas de drenaje e irrigación pueden producir anegamientos y salinización de los terrenos, que a largo plazo pueden causar la pérdida de la fertilidad de los terrenos.

Propicia la generación de Monopolios.

La producción del arroz en grandes cantidades ha permitido que las personas se agrupen y formen organizaciones que han facilitado procesos de exportación, compra y venta del cereal; pero a largo plazo se ha observado que políticas inadecuadas, falta de vigilancia y supervisión han ayudado a la formación de monopolios, que han controlado el precio del grano, sea poco rentable para los agricultores, junto con el manejo de las semillas, que deben ser compradas por cosecha para garantizar la calidad del producto, a costa de que los productores no tengan autonomía en generar sus propias semillas poniendo en riesgo la seguridad alimentaria.

Uso de agroquímicos.

El uso de agroquímicos de manera adecuada ayuda a fertilizar, controlar plagas, controlar malezas aumentando la productividad del cultivo y aumentando la calidad del producto final, pero el manejo inadecuado de estos agroquímicos puede provocar alteración en los ecosistemas, en el agua, en el suelo, en la flora y en la fauna. Ya que estos en pueden inducir procesos de eutrofización aguas abajo, pueden generar bioacumulación y biomagnificación en la red trófica, al ser algunos plaguicidas y herbicidas poco selectivos,

pueden alterar plantas y animales que son inofensivos para el cultivo o en peores casos beneficioso para el ser humano, todo esto sumando que aguas abajo alteraran la vida de pobladores vulnerables que suelen vivir a las orillas de las fuentes hídricas y realizar muchas de sus actividades diarias en contacto con estas aguas.

Contaminación del aire.

Cuando los residuos del arroz en especial la cascarilla no se le hace un manejo adecuado, suele terminar siendo quemada, generando gases de efecto invernadero y material particulado. Se ha calculado teóricamente que, en condiciones de quema aeróbica, por 1 kg de cascarilla de arroz se pueden obtener hasta 1.43 kg de dióxido de carbono (Prada y cortes, 2010). Estos contaminantes pueden ingresar al sistema respiratorio de personas perturbando su salud.

Contaminación visual.

Otra de las maneras inadecuadas en las que suele ser manejada la cascarilla de arroz es simplemente desechándolas en áreas inadecuadas e inclusive en algunos casos en carreteras y van generando contaminación visual y paisajísticamente, podría afectar la comodidad y salud de las personas aledañas.

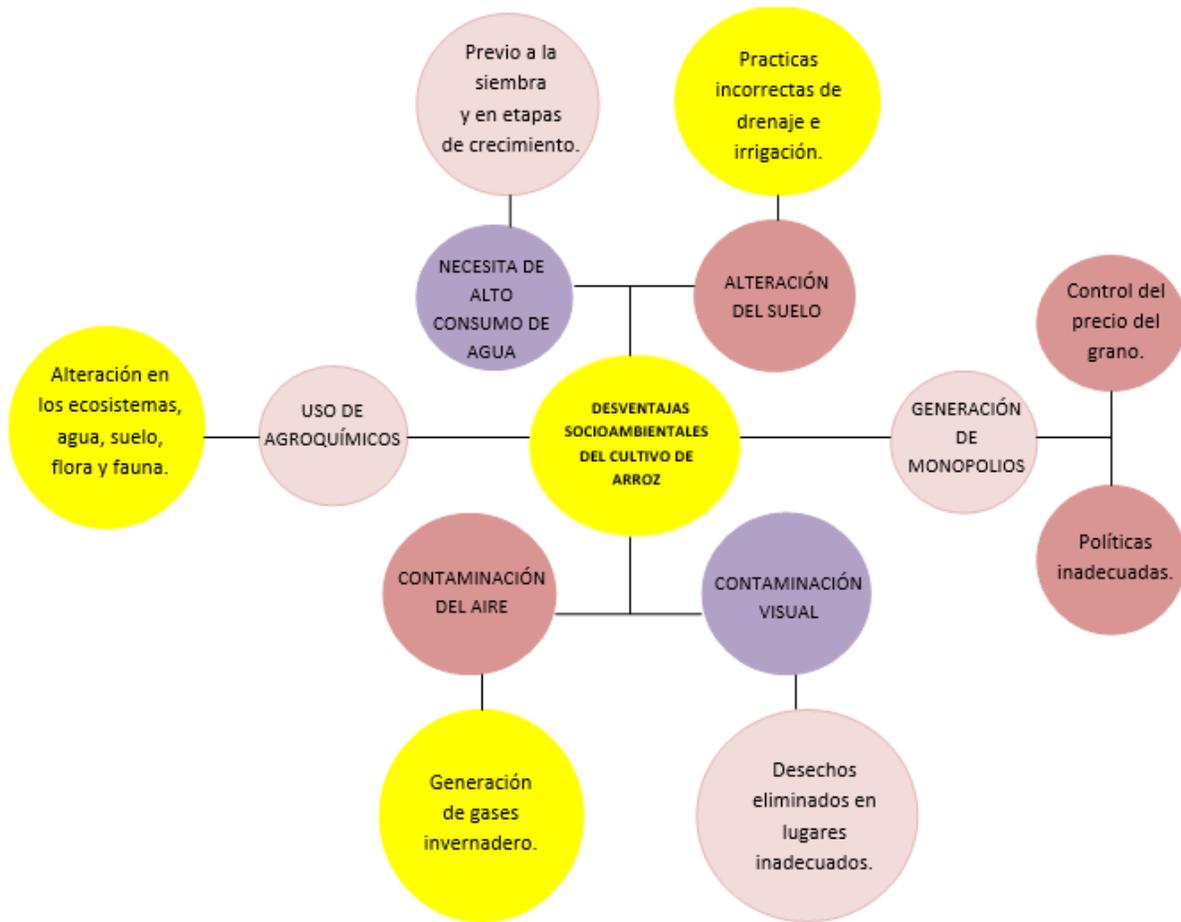


Figura2. La figura ilustra el diagrama que permite identificar las desventajas socioambientales del cultivo de arroz.

Capítulo 2

La cascarilla de arroz como residuo agrícola y su actual uso en Colombia

La cascarilla de arroz es uno de los subproductos del arroz. Es el final del producto denominado arroz blanco.

Es un subproducto que tiene una superficie plegada, con forma canoa y es de color dorado, su extensión depende de la variedad, y está entre 8 a 10mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, que corresponde del 30 al 40% de su longitud. Una cascarilla de arroz puede pesar entre 2.5 y 4.8mg. (Guevara, 1995)

Propiedades de la cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz está compuesta principalmente por fibras, celulosa y minerales (alto contenido de sílice). Su contenido de humedad varía de 5 a 40%, lo que afecta el poder calorífico, indicador de cantidad de energía disponible. (Méndez, 2010)

La cascara de arroz tiene una densidad baja, que hace que ocupe grandes espacios cuando se almacena, es frágil, abrasiva y varía su color de rojizo a púrpura oscura. Una tonelada de cascarilla de arroz ocupa un espacio de 8m³ a granel, ya que tiene un peso de 125 kg/ m³.(Varón, 2005)

Actual uso de la cascarilla de arroz.

La generación y acumulación de cascara de arroz ha incentivado el surgimiento diferentes formas de aprovechamiento como:

- **Comercialización de cascarilla:** El proceso de comercialización de la cascara de arroz consiste en brindarle un buen uso al residuo, compensando la demanda que tengan las industrias. Para su comercialización se manejan diferentes presentaciones como las pacas de cascarilla, la cascarilla quemada o cruda. Las principales zonas de comercialización están ubicadas en los departamentos del Huila, Tolima, Meta, Casanare y Villavicencio.

- **Cascarilla como sustituto de combustibles fósiles:** En el territorio colombiano se llevaron a cabo estudios de disponibilidad de biomasa que dieron por resultado que la cascarilla de arroz es una biomasa representativa. Lo que potencializa al país en el avance de proyectos que involucran la sustitución de combustibles en alternas industrias, ejemplo de esto son las plantas de cemento, tabacaleras y ladrilleras.

En la actualidad los proyectos de sustitución en la industria del tabaco y del ladrillo aun se encuentran en pruebas, caso diferente a lo que ocurre con el sector del cemento, que a avanzado un poco mas y tiene una estructuración del proyecto del mecanismo del Protocolo de Kyoto MDL, para la empresa CEMEX Colombia, el cual ya fue capacitado y matriculado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y actualmente está en ejecución (Quiceno, 2010).

- **Ceniza de alta calidad:** La ceniza de la cascarilla de arroz es empleada en el mercado de la construcción. Producto del proceso de la quema controlada, la ceniza es

utilizada como material que sirve como adición para concreto o cemento, es sustituta parcial del Clinker en el cemento. (Castaño et al., 2017).

Otras formas de aprovechamiento son:

- Obtención de etanol por vía fermentativa.
- Tostado para su uso como sustrato en el cultivo de flores.
- Generación de energía.
- Combustión controlada para uso como sustrato en cultivos hidropónicos.
- Obtención de concreto, cemento y cerámicas.
- Fuente de sustancias químicas.
- Aprovechamiento en compostaje y como lecho filtrante para aguas residuales.
- Obtención de materiales adsorbentes.
- Material aislante en construcción.
- Cama en avicultura, porcicultura y en transporte de ganado.
- Cenizas en cultivos de frutas.

A nivel Colombia, la cascarilla tiene diferentes utilidades para la industria, se usa para cama en las avícolas, en pesebreras, para la floricultura, en alimentos concentrados para animales y productores de compostaje especialmente. Así mismo se usa en el remplazo de esta biomasa por combustible fósiles como el gas, petróleo y carbón. (Castaño, León, Gómez, Carrillo, 2017).

Capítulo 3

Potencial uso de los residuos agroindustriales para la remediación ambiental

Residuos agroindustriales.

Los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo inmediato de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de provecho para el proceso que los generó, pero que son aptos de aprovechamiento o innovación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social. (Saval, 2012)

A mediados de los años 70, el universo enfocó sus exploraciones en el uso de los residuos producidos por la agroindustria. Generando productos que tuvieran un valor agregado, luego aparece la necesidad de reducir el impacto ambiental, que estos residuos estaban causando y se le da prioridad a la producción de bioenergéticos y elaboración de nuevas formas de alimentos para los animales.

Los residuos agroindustriales se enfrentan a tres problemas para que tengan una disposición final adecuada: primero, no existe la conciencia ambiental, que permita un manejo idóneo de este tipo de residuos; segundo, la falta de herramientas tecnológicas y tercero, los recursos monetarios para su disposición final.

Utilización de los residuos agroindustriales para la remediación ambiental.

Abonos Orgánicos.

Son aquellos materiales que tienen un origen orgánico que, por acción de micro, meso y macro organismos específicos pueden degradar y/o transformar los componentes no asimilables de la materia orgánica e inorgánica en formas beneficiosas para el suelo y la agricultura de manera que pueden ayudar a la tierra a mantener o aumentar su fertilidad.

Ventajas de los abonos orgánicos sobre los químicos. (Guaigua, 2007)

- Mayor efecto residual
- Aumento en la capacidad de retención de la humedad del suelo a través de su efecto sobre la estructura (granulación y estabilidad de agregados), la porosidad y la densidad aparente
- Formación de complejos orgánicos con los nutrientes manteniendo a estos en formas aprovechables para las plantas.
- Reducción de la erosión de los suelos, al aumentar la resistencia de los agregados a la dispersión por los impactos de las gotas de lluvia y al reducir el escurrimiento superficial.
- Elevación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, protegiendo los nutrientes de la lixiviación.
- Liberación de CO₂ que propicia la solubilización de nutrientes.
- Abastecimiento de carbono orgánico, como fuente de energía, a la flora microbiana heterótrofa.

El compost es considerado una serie de técnicas, donde se controlan una serie de factores sobre los procesos de biodegradación del material orgánico, que producen un material asimilable para las plantas y el suelo mediante la serie de procesos que realizan microorganismos específicos presentes.

El compostaje aeróbico, es aquel que se realiza en condiciones aeróbicas, que estimulan el metabolismo de microorganismos respiratorios mesófilos y termófilos, que toleran temperaturas entre 10-40 °C y 40-75°C respectivamente; en donde se pueden diferenciar 4 etapas claramente: la primera es la etapa de latencia, que se define a partir de la adaptación de la pila hasta que se reconocen aumentos de temperatura en comparación a la temperatura originaria. La segunda, es mesotérmica 1 (10-40°C) caracterizada por fermentaciones facultativas de la microfauna mesofílica junto con oxidaciones aeróbicas. La siguiente etapa, es la etapa termogénica (40-75°C) en esta los microorganismos bacilos y actinomicetos termófilos, toman el lugar de los que estaban presentes en la etapa anterior (mesotérmica 1) comienza a evaporarse el agua de manera visible y se genera CO₂ y se empieza a tornar un ambiente anaerobio. La etapa final, es la mesotérmica 2, donde por cuestiones de escasas de nutrientes y la desaparición de termófilos, se genera una reducción en la temperatura hasta ser igual o inferior a los 40°C, de manera que permite que retomen los mesófilos, que usaran los materiales más resistentes de la descomposición para finalmente seguir reduciendo la temperatura, hasta que esta llega al ambiente o muy cercana a está generando una estabilidad biológica del material y se finaliza el proceso.

El Bocashi es una técnica japonesa en la que se emplea materia orgánica y suelos fértiles o de bosques en su preferencia ya que estos son susceptibles de contener microorganismos degradadores y se pretende usar estos como inoculante de los distintos

microorganismos que realizaran la “fermentación” de los materiales presentes en la pila de materiales.

Los agricultores usan tradicionalmente la cascara de arroz para ser mezclada con otros componentes y de esta forma obtener un abono orgánico fermentado. El uso de estos componentes junto con el abono de cascarilla de arroz se volvió primordial en la agricultura, puesto que ayudan al progreso y fertilización del suelo a través de la incorporación microorganismos por la descomposición de la cascarilla, además de que ayuda a la regulación del pH del suelo, y a la aireación y absorción de la humedad, gracias a la porosidad de la cascarilla. (Quiceno y Mosquera, 2010)

Sustrato en Cultivos hidropónicos.

En la selva peruana, se han gestado varios proyectos hidropónicos en hortalizas, orientado por la Universidad Agraria La Molina. Estos proyectos que surgen por el alto costo que tiene las hortalizas en la zona, debido a que su transporte es por vía aérea.

En el momento el proyecto ha sido viable por la utilización de sustratos disponibles en la zona, como la cascarilla de arroz, que han verificado que, proporciona una buena aireación del sistema radicular. Han experimentado con unas proporciones de 50% arena y 50% de cascarilla de arroz para realizar el sustrato de los cultivos hidropónicos de hortalizas. (Sierra, 2009)

Generación de energía empleando residuos agroindustriales.

Los Biocombustibles son combustibles alternativos a los tradicionales (derivados del petróleo, carbón y gas natural) así que los que se obtiene de materiales renovables se denominan biocombustibles de los cuales se suele usar la siguiente clasificación.

Tipos de biocombustibles

***Biodiesel**

Este es obtenido mayoritariamente de plantas con abundantes grasas o aceites, que después de ser extraídos se realiza una reacción química llamada transesterificación, en la cual se combina los aceites con un alcohol para generar esteres grasos.

***Bioetanol**

Son aquellos obtenidos de plantas con altos niveles de Azúcares, que son transformados mediante la fermentación en alcoholes dando mayoritariamente etanol, estos son principalmente obtenidos de la caña de azúcar, el maíz, la soja entre otros. Tienen una seria problemática y es que se transforman alimentos en combustibles poniendo en peligro la seguridad alimentaria.

Las ventajas de usar bioetanol son: (Vadillo, 2006)

- Mejora del índice de octanos con un coste pequeño
- un mayor calor de vaporización
- la temperatura de llama es menor, consiguiéndose una menor pérdida de calor por radiación

- Un mayor volumen de gases en la combustión, lo que significa una mayor presión y una mayor energía mecánica producida.
- La velocidad de llama mayor, esto se traduce en un desarrollo más eficiente del par del motor.
- Mejora la biodegradabilidad e la gasolina.
- reduce el número de compuestos aromáticos en la gasolina, y por lo tanto reduce el número de compuestos aromáticos emitidos a la atmosfera
- fuente de combustible renovable y doméstico.
- Reduce la dependencia del petróleo del extranjero.
- Constituye una fuente más limpia de combustible.
- Es fácil de producir y almacenar
- Los biocarburantes emiten un 40-80% menos gases y residuos contaminantes que los combustibles fósiles convencionales
- El bioetanol es superior desde el punto de vista medioambiental al resto de carburantes más importantes
- Reducción de la lluvia acida
- Mejora de la calidad del aire en zonas urbanas
- No contamina el agua
- Reducción de residuos

Otros inconvenientes del uso del bioetanol son:

- Eleva la presión de vapor
- Tiene afinidad por el agua

Cuba tiene el proyecto de satisfacer la demanda de energía eléctrica utilizando como fuente la cascarilla de arroz y aprovechando las cenizas generadas en su combustión, el secado del material se realiza por medio de un horno en lecho fluidizado. El horno es diseñado a partir de resultados conseguidos a nivel de planta piloto en el país y logra una eficacia de la combustión de un 95%. En el calentamiento del aire para el secado se asume una vigencia térmica del 80%. En este proceso se manejaría el 22% de la cáscara de arroz producida. (Sierra, 2009)

Remediación de los suelos empleando residuos agroindustriales.

Para llevar a cabo la remediación de un suelo es necesario conocer las condiciones físicas, químicas y microbiológicas, que este posee, las cuales son variables y dependen de multitud de factores.

Al incorporar al suelo los residuos orgánicos se puede tener algún efecto beneficioso sobre la estructura y fertilidad de los suelos, si estos se incorporan después de haber pasado por una biodegradación de manera que, se eviten procesos anaerobios en el suelo, de manera que para aprovechar el máximo potencial de los residuos agrícolas estos deben pasar por procesos de mineralización, en la que los nutrientes estén en las convenciones más asimilables posibles para los productores principales, de manera que se reactive la cadena trófica.

El compostaje es una herramienta en la remediación de los suelos, ya que después de la estimulación degradadora que sufrió la materia orgánica (en la cual se usan residuos orgánicos agrícolas, forestales, alimenticios entre otros) este presenta características para añadir fertilidad, una mejor estructura, estimulación de microorganismos, y aumentando la

disponibilidad de nutrientes entre otros. Permitiendo que los suelos recuperen y/o mejoren el horizonte o (capa superior y parte más superficial del suelo), que posee elevados porcentajes de materia orgánica, micro, meso y en algunos casos macrofauna; este horizonte, es el área donde ocurren gran parte de los procesos en los suelos, permitiendo la enraización, el intercambio de nutrientes, humedad entre otros.

Remediación de aguas y suelos contaminados por derrame de hidrocarburos, empleando residuos agroindustriales.

Los combustibles fósiles presentan una alta demanda en la actualidad, ya que las principales maquinarias y medios de transporte emplean como combustible derivados del petróleo, esto ha llevado a que haya un mayor riesgo de vertimiento durante los procesos de este material, ya sea en el agua o en el suelo afectándolo, de manera que se ha propiciado el estudio de materiales y métodos para controlar y remediar estos vertimientos, en los cuales los residuos agrícolas han sido uno de los elementos a estudiar.

El residuo agrícola de la cascarilla de arroz ha sido empleada por sus características de densidad, baja humedad, alta disponibilidad, entre otras, llevando a documentos como el “Estudio de efectividad del sílice de la cascarilla de arroz, como sílica absorbente para derrames de hidrocarburos”; lo que permitió evaluar la capacidad de absorción de la cascarilla de arroz, por su contenido de sílice, para derrames de hidrocarburos; los cuales tienen un grado alto de contaminante, especialmente en los derrames producidos por el tránsito de los buques tanto comerciales, como petroleros en el mar y en la tierra. Este estudio se presenta de forma cualitativa y evalúa la efectividad para absorción de los hidrocarburos a partir de experimentos con diferentes cantidades de cascarilla de arroz y

tipos de hidrocarburos; obteniéndose resultados de una absorción de hasta un 90% para los solventes orgánicos propuestos que en este caso son: varsol, éter de petróleo y gasolina.

Estos estudios también se han enfocado en aumentar las capacidades absorbentes y adsorbentes de estos materiales mediante procesos físico-químicos.

Tratamiento de agua empleando residuos agroindustriales.

Todos los contaminantes del agua contribuyen a carga de sólidos suspendidos. Estos provienen de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales. (Argandoña, Macías, 2013)

Con el fin de encontrar opciones viables y de carácter económico para procesos de adsorción a gran nivel, se ha buscado materiales sólidos de origen natural, que sean capaces de eliminar los contaminantes de aguas residuales.

Entre estos materiales se encuentran la biomasa microbiana, los aluminosilicatos y los propios residuos agroindustriales. Emplear abundantes materiales presentes en la naturaleza, que requieren poco procesamiento, es una opción económica y viable.

Actualmente, la adsorción con subproductos agrícolas se ha convertido en una alternativa viable (Li, et al., 2009) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y por consiguiente mejorar la calidad física del agua (Sánchez., et al., 2009). Los residuos agrícolas han sido usados y estudiados para tratar aguas residuales, desde métodos en los que se transforman en carbón activo, que puede ser empleado en biofiltros, pasando por la modificación de estos para usarlos como coadyuvantes de coagulación/floculación y la modificación de estos materiales para la obtención de un compuesto absorbente, adsorbente

y otros estudios que se han realizado para reducir costos en el tratamiento de aguas residuales.

Al usar la cascarilla como un medio filtrante, este representa un aporte importante en cuanto a la conservación de los recursos naturales y progreso en el desarrollo de tecnologías limpias y asequibles (Valverde, et al., 2007)

Políticas ambientales sobre la disposición de residuos agroindustriales.

La Constitución Política de Colombia de 1991, protege la protección y defensa del medio ambiente desde diferentes ámbitos. Como obligación cabeza del Estado y de los particulares, como un derecho y un deber colectivo, como un factor determinante del modelo económico y como una limitación al ejercicio pleno de los derechos.

En la protección del medio ambiente, la gestión de los residuos sólidos abarca un lugar principal, esta gestión integrada determina todas las actividades que tienen alguna asociación con manejo de los diversos flujos de residuos dentro de la sociedad; y su meta básica es administrar los residuos de una forma que sea compatible con el medio ambiente y la salud pública. (Aguilar, 2009)

Capítulo 4

Uso de la cascarilla de arroz para la retención de iones metálicos

Una de las tecnologías no convencionales para la descontaminación de aguas es la adsorción, consiste en la utilización un material de origen sintético o natural, que por sus características naturales o mediante la modificación fisicoquímica adsorbe dentro de su estructura contaminantes específicos del agua (Padrón, Rodríguez, Gómez, García, y González, 2013; Tejada, Ruiz, Gallo y Moscote, 2015)

Adsorción.

La adsorción es un fenómeno de adherencia a nivel superficial entre un par de sustancias que solo quedan afines al nivel de las capas externas. Es la derivación de la atracción entre moléculas de la superficie de un sólido y las de un fluido, por tal motivo es considerado un fenómeno superficial. En el proceso de adsorción, la sustancia que se adsorbe se denomina adsorbato y el sólido en donde se retiene es el adsorbente, que por lo general son porosos y presentan una gran área de contacto (Garcés, Jaraba y Coavas, 2012)

Proceso fisicoquímico de adsorción.

Los procesos físico-químico de adsorción, perciben un proceso heterogéneo de contacto entre un sólido de origen natural y el ion de un metal pesado en fase acuosa. Adquiriendo especial importancia en el mecanismo de adsorción la interface solido-liquido. (Cassidy 1965).

La adsorción se emplea principalmente en el método terciario de aguas residuales, con el objetivo de retener contaminantes en concentraciones bajas como derivados clorados, sustancias coloreadas, compuestos fenólicos, metales pesados, entre otros. Este proceso se lleva a cabo gracias al intercambio iónico o puentes de hidrógeno que se dan entre los iones de la sustancia adsorbida y el adsorbente (Garcés, Jaraba, y Coavas, 2012).

La adsorción se caracteriza por ser altamente selectiva, es decir la cantidad absorbida depende del previo tratamiento de la superficie del adsorbente, la naturaleza del adsorbente y de la sustancia adsorbida (Garcés, Jaraba y Coavas, 2012).

Adsorción física.

Es la que se caracteriza por una interrelación débil entre las moléculas del fluido y el adsorbente, Si las fuerzas de atracción son de tipo Van Der Waals la molécula adsorbida no está fija en un lugar de la superficie específico y esta puede trasladarse en la superficie.

Es un proceso exotérmico en donde los calores liberados son aproximadamente de 20-40 kJ/mol. La energía que se libera es absorbida por el sólido en forma de vibración y se puede contar por el incremento de la temperatura del analito de interés. Esta energía es insuficiente para romper los enlaces, por lo cual el adsorbato mantiene su identidad (Tuñón y Silla, 2008).

Adsorción química.

Las fuerzas que se establecen son mediante enlaces químicos realizados por la atracción ejercida por grupos funcionales, perdiéndose la individualidad de las moléculas y

resultando un fenómeno irreversible. Los grupos funcionales son de diversa naturaleza de acuerdo al tipo de modificación (Tovar, Ortiz y Villadiego, 2017).

Bioadsorción.

El proceso de bioadsorción es una tecnología que simboliza una forma eficaz y de inferior costo que emplea procesos fisicoquímicos, que incluye los fenómenos de adsorción de moléculas y iones. Su principal objetivo es la remoción de metales pesados en aguas residuales que son procedentes de la industrial. Esta técnica se basa en la capacidad que tienen algunos tipos de materiales no vivos para enlazar y acumular diversos tipos de contaminantes principalmente metales pesados contenidos en una solución acuosa.

El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que contiene disuelta la sustancia de interés que será adsorbida (pueden ser los iones de los metales pesados o de colorantes presentes en el agua). El éxito del proceso de bioadsorción, esta en la afinidad entre los grupos funcionales del contaminante y la biomasa, ya que el contaminante debe ser atraído hacia el sólido. (Cañizares, 2000)

Bioadsorbentes.

Los bioadsorbentes son materiales sólidos en los cuales se produce la bioadsorción, estos materiales son de origen vivo o muerto, como: bacterias, hongos, algas cáscaras de frutas, productos o residuos de la industria agrícola y algunos tipos de biopolímeros. Son materiales que se encuentran en abundancia en la naturaleza y son de bajo costo. Los materiales de origen biológico necesitan ser pre tratados para tener una mejor capacidad de bioadsorción en los procesos de aplicación, como remoción de metales pesados, remoción

de colorantes o recuperación de especies metálicas en solución; este pretratamiento da lugar a la generación de nuevos centros activos, a fin de incrementar la efectividad de estos para la remoción de colorantes, teniendo como ventaja, que su transformación a bioadsorbente no es un proceso costoso (Tejad y, Tovar, 2015)

Los materiales de origen biológico especialmente de origen vegetal ya sean productos o residuos agrícolas como la tusa de maíz, la cáscara de naranja, la cáscara de banano, la cascarilla de arroz, entre otros, están compuestos principalmente de materiales lignocelulósicos. Estos materiales presentan una estructura compuesta principalmente por tres componentes poliméricos (celulosa, hemicelulosa) (Grisales, Rojas, 2016).

En las paredes celulares de las plantas se encuentran los polímeros de cadenas largas ramificadas o lineales, que son los encargados de la adsorción de los iones metálicos o de los iones, que contienen los colorantes gracias a su estructura. (Chávez y Domine, 2013). La estructura de la celulosa, posee grupos funcionales (OH⁻), los cuales tienden a formar dipolos negativos y tienen la peculiaridad de atraer los grupos funcionales del colorante que tienden a formar dipolos positivos. Estas atracciones de dipolo-dipolo se pueden presentar por arriba o por debajo de la estructura de la celulosa, con lo cual las moléculas de colorante quedan retenidas en la superficie del biomaterial. (Campos, 2011)

La cascarilla de arroz se considera como bioadsorbente, gracias al contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina para un mejor aprovechamiento de este material, sin generar impacto ambiental (Moreno A., 2012). Mediante investigación de las propiedades absorbentes de la cascarilla de arroz, ya que es liviano y su porcentaje de humedad es de 13,1%, relativamente bajo en comparación con otras materias orgánicas.

Parámetros determinantes en la adsorción.

Presencia de otros iones.

Puede ser la principal debilidad de la adsorción de contaminantes en medio acuoso a partir del uso de biomasa residual, debido a que, en efluentes de origen agrícola, no existe solamente un contaminante, por el contrario, puede haber cientos, lo que al realizar el proceso de adsorción pueda generar una competitividad, reduciendo la eficiencia de adsorción de un contaminante en específico (Nunell, Fernández y Bonelli, 2013). Por tal razón es fundamental generar adsorbentes, que posean la capacidad de adsorber diferentes contaminantes, esto mediante la implementación de diferentes técnicas de activación, que atrapen el contaminante en su estructura, pero que además atraigan dicho contaminante mediante procesos eléctricos y químicos (Cazón, 2012).

pH.

Según las investigaciones con algas *Sargassum*, que modificaron su capacidad de adsorción mediante un tratamiento con formaldehído para la adsorción de metales pesados. Demostraron que la modificación química con formaldehído mejoraba la capacidad de biosorción en aproximadamente un 20%, comprobando que el pH de la solución desempeña un papel importante en la biosorción del metal. Dando como resultado un proceso de intercambio iónico entre los metales pesados y los metales Alcalino-térreos, de acuerdo a los sitios afines libres en las algas. Evidenciaron durante sus investigaciones, que la adsorción se lograba gracias a la afinidad de los metales pesados por los grupos funcionales carbonilo. (Ángeles, 2013; Chen, 2006)

El pH puede definirse como el recíproco del logaritmo decimal (base 20) de la actividad del ion hidrógeno (αH^+), en una solución, (Vázquez, 2016). Aunque, la anterior es aceptada, también se puede definir al pH como una medida de la acidez o basicidad de una solución, es decir es la concentración de iones o cationes hidrógeno $[\text{H}^+]$ presentes en las sustancias. (Vázquez, 2016).

Debido a que los iones de hidrógeno se constituyen en un adsorbato fuertemente competitivo. El pH de la solución acuosa es un importante parámetro que controla los procesos de adsorción de metales en diferentes adsorbentes. La adsorción de iones presentes en el colorante está sujeto tanto de la naturaleza de la superficie adsorbente, como de la distribución de las especies químicas del colorante en la solución acuosa. (Garcés, Jaraba y Coavas, 2012).

Temperatura.

Se puede definir temperatura como el grado de energía térmica medida en una escala definida. La temperatura de un cuerpo es su intensidad de calor, o sea la cantidad de energía que puede ser transformada a otro cuerpo. Es una medida de la energía cinética de las partículas que componen el sistema (Kuyucak y Volesky, 2008).

La temperatura desempeña un papel importante en la cantidad de iones absorbidos y en la difusión de iones, debido a la alteración de energía que genera ya que provoca una actividad de moléculas directamente proporcional a la energía térmica proporcionada, facilitando el proceso de adsorción en la superficie del material adsorbente (Vilchis, 2013)

Un aumento elevado de la temperatura puede causar un cambio en la textura del adsorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de

adsorción. (Tejada y Tovar, 2015). Según la teoría cinética de materia un aumento en la temperatura provoca un aumento de energía cinética en las moléculas permitiendo que una molécula calentada “vuele” fuera del pozo, es decir, que impartirle al material adsorbido la energía cinética es para escapar o desorber, lo que quiere decir que en vez de que el material actué como adsorbente será un desorbente. (Clean Air Technology Center, 1999).

Tamaño de partícula.

Dentro de las propiedades importantes de los bioadsorbente que inciden en el proceso de bioadsorción se encuentran: la porosidad, el área superficial y la distribución del tamaño de poro, pues los microporos (tamaño inferior a 2 nm), le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos (tamaño comprendido entre 2 y 50 nm) y macroporos (tamaño mayor a 50 nm), son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y para favorecer el acceso y rápida difusión de las moléculas en la superficie interna del sólido (García, 2001). La naturaleza del bioadsorbente es apolar y por el tipo de fuerzas que se presentan en el proceso de adsorción, retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular como hidrocarburos, fenoles y colorantes; mientras que sustancias como el nitrógeno, el oxígeno y el agua prácticamente no son retenidas por el bioadsorbente a temperatura ambiente, a menos que algún grupo funcional sobre su superficie, favorezca la retención de estos compuestos (García, 2001). La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas, sobre las paredes lignocelulósicas de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (soluto), que se puede adsorber es directamente proporcional al volumen, y es bien conocido, que este volumen es directamente proporcional al área externa y también, que una partícula pequeña tiene mayor área

superficial, o sea mayor área de la superficie interna, por su cantidad de poros por unidad de masa (Tejada y Tovar, 2015).

Tratamientos fisicoquímicos para mejorar las propiedades adsorbentes.

De acuerdo a la literatura, existen una variedad de técnicas de modificación fisicoquímica de la cascarilla de arroz para mejorar su capacidad adsorbente, a continuación, se presentan las diferentes metodologías implementadas en estos estudios:

Metodologías de activación de la cascarilla de arroz y su efectividad: la documentación obtenida arroja una serie de metodologías de activación, porcentaje de eficiencia y contaminante a extraer; dando en el caso del Cromo (III) que empleó cascarilla de arroz natural con eficiencia en pruebas de adsorción de un 49,2%; con cascarilla de arroz natural activada con H_3PO_4 , se obtuvo una eficiencia en pruebas de adsorción de 54,5% y cascarilla de arroz natural activada con NaOH, una eficiencia en pruebas de adsorción de 72,8%. (Rodríguez, Salinas, Ríos y Vargas, 2012).

Para el Cromo (VI) se encontró, que la metodología de activación fue un pretratamiento a vapor seguido de trituración e incineración y la eficiencia en pruebas de adsorción fue 94% (Gallego, 2011). Para el Mercurio (II) se usó impregnación con H_3PO_4 térmico en mufla con una eficiencia en pruebas de adsorción del 95% (Toncón, Leal y Sánchez, 2015). Para el colorante amarillo anaranjado, la metodología de activación fue térmica con una eficiencia en pruebas de adsorción de 66% (Robles, Carriazo y Garriazo, 2015). Con el ácido 2,4-diclorofenoxiacético se usó la metodología de activación mezcla de 90% cascarilla y 10% carbón con una eficiencia en pruebas de adsorción del 8,66% (Deokar y Mandavgane, 2015). Para el colorante verde malaquita se usó la metodología de

activación con el H_3PO_4 y carbonización con una eficiencia en pruebas de adsorción del 88%; para la activación con NaOH y carbonización se alcanzó una eficiencia en pruebas de adsorción >95% (Rahman, Saad, Shaidan y Sya Rizal, 2005). Para el Cromo (VI) también se encontró que se usó una metodología de activación con pretratamiento con lavados de agua desionizada, trituración, tamizado aplicación de ácido cítrico, secado con eficiencia en pruebas de adsorción >95% (Barrera y Esquivel, 2018)

Conclusiones

1. Una vez realizada la investigación se logra evidenciar que la industria arrocera puede ofrecer diferentes ventajas socio ambientales al ser un cultivo no perene y de rápida producción, además de tener una alta demanda, por su alto consumo en Colombia y adicional proporcionar turismo a la región.
2. El subproducto del arroz conocido como cascarilla de arroz presenta diferentes utilidades, que de ser bien direccionadas podrían ayudar a su reutilización evitando la contaminación que esta pueda generar por su acumulación.
3. La industria arrocera demuestra grandes desventajas socioambientales, por ser un cultivo que necesita de un alto consumo de agua, altera el suelo y contribuye a la contaminación del aire, cuando sus residuos en especial la cascarilla de arroz no tiene un manejo idóneo.
4. Conforme a la literatura analizada se puede revelar el potencial uso que tiene la cascarilla de arroz como materia prima en la industria, al servir para la obtención de etanol por vía fermentativa, sustrato en el cultivo de flores, generación de energía, combustión controlada, obtención de concreto, cemento y cerámicas, aprovechamiento en compostaje y como lecho filtrante para aguas residuales, obtención de materiales adsorbentes entre otras.

5. Recientemente se están haciendo diferentes estudios que van a permitir extender el uso de los residuos agroindustriales, no solamente a nivel industrial, sino que su enfoque sea la remediación ambiental.

6. Identificar las metodologías para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz en la retención de iones metálicos. De la compilación bibliográfica encontrada respecto a las técnicas de activación de la biomasa como material adsorbente para la remoción de contaminantes en cuerpos de agua, teniendo en cuenta que, la cascarilla de arroz se considera como bioadsorbente, gracias al contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en ella; es posible concluir, tomando en cuenta los diferentes parámetros que intervienen en el proceso, como lo son pH, temperatura; presencia de otros iones, tamaño de la partícula, entre otros se observa afinidad de la cascarilla de arroz para la adsorción física de metales en las que se evidencia una mayor eficiencia de remoción cuando se emplean adsorbentes y adsorbatos con alta afinidad entre grupos funcionales.

7. Para el desarrollo experimental de este trabajo, se llevó a cabo una serie de actividades para modificar físico-químicamente la cascarilla de arroz, las cuales serán descritas a continuación.

- Se usó el equipo de ultrafiltración y osmosis inversa para obtener un agua tratada desionizada, que pudiera ser empleada tanto en los procedimientos de la modificación físico-química como en los lavados del material obtenido.

- Se definió un montaje de reflujo, compuesto por un matraz de 1 litro, un condensador, placa de calefacción con sensor de temperatura y sistema de agitación.

- Se procedieron a hacer 3 modificaciones: la primera, fue física en la cual se seleccionaron 104 gr de cascarilla de arroz y se intentó retirar el mayor material de impurezas posibles, esta se calentó junto con 600 ml de agua desionizada y un agitador en baño maría a ebullición, durante 2 horas, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente, la solución presentó una coloración ámbar, esta se filtró hasta que la conductividad del agua desionizada y del agua obtenida del lavado fueran iguales. Este proceso se realizó 3 veces.

- La segunda modificación fue química, con el mismo montaje en la que se tomó nueva cascarilla de arroz y se sustituyeron los 600 ml de agua desionizada por una solución al 1.6% hidróxido de sodio. Este proceso se dejó reaccionando a la misma temperatura y las mismas revoluciones durante 16 horas y posteriormente se realizó el mismo lavado. La última modificación química, fue con el mismo montaje con la misma temperatura y con las mismas revoluciones por minuto, sustituyendo la solución de hidróxido de sodio por una solución de H₂SO₄ al 16%, la cual se dejó reaccionando durante las mismas 16 horas.

- Luego se procedió a secar la cascarilla en un horno MEMMERT a una temperatura de 90 grados durante 72 horas.

Tabla 5. Métodos de activación de cascarilla de arroz para adsorber metales

ítem	Tratamiento/metodología	Metal estudiado	Porcentaje de remoción	Bibliografía
1	Calcinación en atmosfera oxidante a 650°C	Cromo(III)	50-90%	Salazar, Caudillo, Elorza y Moreno, 2016
2	Pretratamiento a vapor seguido de trituración e incineración	Cromo (VI)	94%	Gallego, 2011
3	Impregnación con H_3PO_4	Mercurio (II)	95%	Toncón , Leal y Sánchez, 2015
4	Activación con pretratamiento con lavados de agua desionizada, trituración, tamizado aplicación de ácido cítrico	Cromo (VI)	>95%	Barrera y Esquivel, 2018
5	Tratamiento térmico a 70°C y tamizado a 200 micrómetros	Cadmio	7,6%	Obaji Bernal, A., Romero Pimienta, K., Combatt Caballero, E., Díaz Fernández, L., Burgos Núñez, S., Urango Cárdenas, I. y Marrugo Negrete, J. 2017
6	Tratamiento térmico a 70°C y tamizado a 200 micrómetros	Plomo	45%	Obaji Bernal, A., Romero Pimienta, K., Combatt Caballero, E., Díaz Fernández, L., Burgos Núñez, S., Urango Cárdenas, I. y Marrugo Negrete, J. 2017
7	Tratamiento térmico a 70°C y tamizado a 200 micrómetros	Arsénico	7,5%	Obaji Bernal, A., Romero Pimienta, K., Combatt Caballero, E., Díaz Fernández, L., Burgos Núñez, S., Urango Cárdenas, I. y Marrugo Negrete, J. 2017
8	Deshidratación solar hasta llegar a 90% peso seco, tamizado con malla 10	Cadmio	100%	Maza Maza, J. E., Sánchez Asanza, A. W. y Carmona Banderas, N. C. (s.f.)
9	Por activación mediante hidróxido de sodio y recubrimiento con ácido húmico	Níquel	63%	Hirakendu, B., Sudeshna, S., Mahadevan Akshara, I., Vivek espinilla, M., Kumar Singhal, R. 2019
10	Por activación mediante hidróxido de sodio y recubrimiento con ácido	Cromo	61%	Hirakendu, B., Sudeshna, S., Mahadevan Akshara, I., Vivek espinilla, M.,

	húmico			Kumar Singhal, R. 2019
11	Metodología de activación FENTON	Cromo (VI)	90%	Doria Herrera, G. M., Valencia Uribe, G. C., Hormaza Anaguano, A. y Gallego Suárez, D. 2016

Recomendaciones

1. Se recomienda contemplar el uso de materiales adsorbentes obtenidos de desechos agrícolas, o que provengan de algún proceso comercial o industrial. (Para que la implementación de estos sea menos costosa) en sistemas de tratamiento de agua residual convencionales y no convencionales para la remoción de contaminantes específicos.
2. Es necesario realizar estudios de activación y modificación físico-química con distintas bases y ácidos para observar la eficiencia en cuanto al área superficial y tamaño del poro del compuesto.
3. Se recomienda efectuar pruebas con muestras problema reales, con el fin de demostrar su aplicabilidad en condiciones naturales.
4. Se recomienda ejecutar pruebas de desorción con el fin de recuperar los metales adsorbidos durante el proceso, y darles una correcta disposición a los residuos agrícolas utilizados como bioadsorbentes.
5. Se recomienda se realicen los análisis correspondientes al material modificado físico-químicamente, obtenido durante las actividades realizadas en el laboratorio en la universidad de Cundinamarca Udec- seccional Girardot. Debido a que, por la emergencia del covid-19 no se pudo llevar a cabo la totalidad de las actividades propuestas desde un comienzo, puesto que las medidas de confinamiento imposibilitaron las labores de análisis del material obtenido después de la modificación físico-química y el cálculo de la eficiencia de este para adsorber iones metálicos.

6. Recomiendo en caso de replicar este laboratorio, diseñar una activación de la cascarilla de arroz en un recipiente que facilite su extracción, ya que la forma del matraz dificulta retirar el material.

Referencia Bibliográfica

- Ahmaruzzaman, M. and Gupta, V. K. (2011). *Rice Husk and Its Ash as Low-Cost Adsorbents in Water and Wastewater Treatment*. Saudi Arabia. ACS Publications.
- Angarita Buitrago, J.P. (2007). *Determinación de la carga de material particulado que genera el sector de la molinería de arroz del área metropolitana de Bucaramanga* (Trabajo de grado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Ángeles Villén, L. R. (2013). *Adsorbentes sólidos de origen natural para metales pesados en solución acuosa*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional del Callao, Bellavista, Perú.
- Areco, M. M. y dos Santos Alfonso, M. (2012). Biosorción, una opción eficiente y sustentable para la remediación ambiental. *Argentina y ambiente*.
- Barrera Alfaro, J. P. y Esquivel Ortiz, H. (2018). *Biosorción de cromo VI en soluciones acuosas con cascarilla de cacao modificada con ácido cítrico* (Trabajo de grado). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C, Colombia.
- Castaño Mejía, C. A., León Gómez, S. E., Gómez Martínez, T. y Carrillo Velázquez, J. (2017). Estudio de efectividad de la sílice de la cascarilla de arroz como sílica absorbente para derrames de hidrocarburos. *Semilleros*, 4 (7), 95-102.
- Chuah, T.G., Jumariah, A., Azni, I., Katayon S., Thomas Choong, S.Y. (2005). *Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: an overvie*. Malaysia.
- DANE. (2020). Estadísticas en línea. DANE, Bogotá (Consultado 3-04-20) disponible en internet https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_IIsem19.pdf
- Deokar, S.K., Mandavgane, S.A. (2015). Preparación de la evaluación de bioadsorbentes y fluidos dinámicos de la adsorción de tintos textiles en una columna de cama fija. *COBEQ*.
- Doria Herrera, G. M., Hormaza Anaguano, A. y Gallego Suarez, D. (2011). Cascarilla de arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo (vi). *Gestión y Ambiente*.
- Doria Herrera, G. M., Valencia Uribe, G. C., Hormaza Anaguano, A. y Gallego Suárez, D. (2016). Estudio preliminar de la cascarilla de arroz modificada y su efecto en la adsorción de Cr (VI) en solución. *Producción + Limpia*.
- Ellerby, R., Hernández, A., Wi, F., Amarasiriwardena, D. (2017). *Investigation of simultaneous adsorption properties of Cd, Cu, Pb and Zn by pristine rice husks using ICP-AES and LA-ICP-MS analysis*. EE.UU.

FEDEARROZ. (2020). Disponible en internet.

<http://www.fedearroz.com.co/new/historiaarroz.php>

Gómez Martínez, T., Suarez Angarita, J. D., Solarte Chicaiza, D., Carrillo Velásquez, J. (2018). Cuantificación de la eficiencia de la cascarilla de arroz como absorbente de hidrocarburos con simulación de caudal. *Gestión, calidad y desarrollo en las facultades de ingeniería*.

González Neira, W. T. y Ladino Granados, D. N. (2018). *Determinación de la eficiencia de bioadsorción del colorante rojo allura #40, utilizando tusa de maíz, cáscara de banano y cascarilla de arroz; aplicado a aguas sintéticas* (Proyecto de Investigación). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C, Colombia.

Guevara, M. (1995). *Caracterización y evaluación de la cascarilla de arroz como combustible*. Bogotá (Trabajo de grado)

Guilcamaigua Anchatuña, D. X., Quintero Quiñones, N., Jiménez Cercado, M. E. y Muñoz Naranjo, D. (2019). Absorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando absorbentes naturales. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(3), 12-23.

Herguedas, A.I., Taranco, C., Rodríguez García, E., Prieto Paniagua, P. (2012). Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad. *Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario*.

Hirakendu, B., Sudeshna, S., MahadevanAkshara, I., Vivek espinilla, M., Kumar Singhal, R. (2019). *Humicacidcoatedcellulosederivedfrom rice husk: a novel biosorbentfortheremovalof Ni and Cr*. India. El Sevier.

Hoyos Sánchez, M. C., Córdoba Pacheco, A. C., Rodríguez Herrera, L. F., and Uribe Kaffure, R. (2017). *Removalof Cd (II) fromAqueous Media byAdsorption onto Chemically and ThermallyTreated Rice Husk*.Colombia. Hindawi.

Imran, A., Mohd, A., Khan, T.A. (2012). *Low costadsorbentsfortheremovaloforganicpollutantsfromwastewater t*.India. El Sevier.

Kumar, U., y Bandyopadhyay, M. (2006). La sorción de cadmio a partir de solución acuosa utilizando pretratada cáscara de arroz. *Science&Direct*.

Londoño Franco, L.F., Londoño Muñoz, P.T., Muñoz García, F.G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2)

Maza Maza, J. E., Sánchez Asanza, A. W. y Carmona Banderas, N. C. (s.f.). Biosorción de arsénico con biomasa derivadas de las cáscaras de banano, arroz y coco en aguas excedentes de plantas de beneficio.

- Méndez Vives, M. C. (2010). *Caracterización de la cascarilla de arroz para utilizar como energía renovable y gasificación* (Proyecto de grado). Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio del medio ambiente. (2015). *Guía Ambiental Del Arroz. Ministerio Del Medio Ambiente*, 1–34.
- Ministerio de Agricultura. (2004). *Producción de Arroz en Colombia. Cartilla informativa*.
- Moreno, A., Figueroa, D. y Hormaza, A. (2012). Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. *Producción + Limpia*.
- Mosquera Guerra, F., Trujillo, F., Caicedo Herrera, D., Martínez Callejas, S. (2015). Indicios de biomagnificación de Mercurio total (Hg) en las especies del género *Inia* (Cetartiodactyla: Iniidae) en los ríos Amazonas y Orinoco (Colombia). *Momentos de ciencia*, 12 (2), 88-92.
- Obaji Bernal, A., Romero Pimienta, K., Combatt Caballero, E., Díaz Fernández, L., Burgos Núñez, S., Urango Cárdenas, I. y Marrugo Negrete, J. (2017). Evaluación de materiales como potenciales retenedores de metales pesados para su aplicación como enmiendas en suelos contaminados. *Memorias III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales*.
- Pérez, L., Paz Astudillo, I. C., Tejada Tovar, C. y Sandoval Aldana, A. P. (2018). Evaluación de la remoción de cromo en soluciones acuosas sintéticas con residuo de cascara de cacao. *Rumbo* 20.30.
- Prada Matiz, A., Cortés Castillo, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquía*, 14(2), 155–170
- Prieto Núñez, A. E. (2019). *Implementación y evaluación de dos filtros de cascarilla de arroz y luffa para el tratamiento de agua de escorrentía de techo del Edificio I de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito* (Tesis de grado). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C, Colombia.
- Quiceno Villada, D. y Mosquera Gutiérrez, M. Y. (2010). *Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible* (Trabajo de grado). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia.
- Ramírez Pedraza, I.G., Muñoz, E. (2017). Adsorbentes y Materiales Utilizados para Filtración y Reducción de Contaminantes en Aguas Potables. *Revista Ciencia, Innovación y Tecnología*, (3)
- Ramos, F.D., Díaz Marcelo, M. S. y Villar, A. (2016). Biocombustibles. *Conicet*.

- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz, M., González, E.E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2)
- Rodríguez, A. C., Campos-Rosario, A. M. y Pérez-Flores, A. (2019). Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz. *Mutis*, 9(1), 29-39.
- Rodríguez, Y. M., Salinas, L. P., Ríos, C. A. y Vargas, L. Y. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtimbres. *BioTecnología*.
- Romanelli, G.P., Ruiz, G., Pasquale, A. (2017). *Química de la biomasa y los biocombustibles*, Argentina: Edulp.
- Rosas Castor, J.M. (2012). *Aplicación de residuos agrícolas para el tratamiento de agua contaminada con colorantes* (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León. Mexico.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *BioTecnología*.
- Sierra Aguilar, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia* (Trabajo de grado). Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
- Thakur, V., Sharma, E., Guleria, A., Sanga, S. y Singh, K. (2020). *Modification and management of lignocellulosic waste as an environmentally friendly biosorbent for the application of sorption heavy metal ions*. India. El Sevier.
- Vadillo Márquez, V. (2006). *Diseño de una planta piloto de procesamiento de cascarilla de arroz por hidrólisis ácida* (Trabajo de grado). Universidad de Cádiz, Andalucía, España.
- Valladares Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., Burelo, P., Melgoza Alemán, R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16 (31), 55-73.
- Varón, C.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*.
- Vásquez Proaño, D. (2008). *Producción y evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de pastos* (Tesis de grado). Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Velasco Velasco, J., Gómez Merino, F. C., Hernández Cázares, A. S., Salinas Ruiz, J. y Guerrero Peña, A. (2018). Residuos orgánicos de la agroindustria azucarera: retos y oportunidades. *Agroproductividad*.

Wong, K.K., Lee, C.K., baja, K.S., Haron, M.J. (2003). La eliminación de Cu y Pb por tartárico ácido fi edmodi cáscara de arroz a partir de soluciones acuosas. *PERGAMON*.

