



16.

**FECHA** viernes, 19 de julio de 2019

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
BIBLIOTECA  
Girardot, Cundinamarca

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Seccional Girardot
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

El Autor:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
MEJIA GUTIERREZ	MATEO	1070618286



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

APellidos Completos	Nombres Completos
SANDOVAL VALENCIA	JOHN JAIRO
SUAREZ PULIDO	DALIA

TÍTULO DEL DOCUMENTO
LA CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL ADSORBENTE PARA LA REMOCIÓN DE PESTICIDAS EN MEDIO ACUOSO: EL CARBOFURANO COMO CASO DE ESTUDIO

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
12/07/2019	61

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. CARBOFURANO	CARBOFURAN
2. PESTICIDAS	PESTICIDES
3. PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	AGRICULTURAL PRODUCTION
4. PRODUCCIÓN SOSTENIBLE	SUSTAINABLE PRODUCTION
5. TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS	ALTERNATIVE TECHNOLOGIES
6. CASCARILLA DE ARROZ	HUSK RICE



### RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

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

En esta monografía se reconoce la importancia de la implementación de sistemas de producción sostenibles y el uso de tecnologías alternativas para la descontaminación de fuentes hídricas; Por ello, se plantea una revisión del uso de la cascarilla de arroz (desecho agrícola) para la producción de tecnologías alternativas basadas en materiales adsorbentes para la descontaminación de aguas contaminadas con Carbofurano (pesticida) a causa de la producción agrícola.

Por otro lado, el lector encontrará información referente a las generalidades del cultivo de arroz, sus metodologías de producción, las principales problemáticas socioambientales de la industria arrocera y las repercusiones que ha traído en Colombia el uso indiscriminado de pesticidas y la falta de control y manejo gubernamental de los mismos. Se plantean tecnologías alternativas de producción en función de reducir la contaminación y el consumo de recursos y tecnologías alternativas de tratamiento de vertimientos agrícolas, utilizando cascarilla de arroz como base para la descontaminación. Se identifican las diferentes técnicas de modificación de la cascarilla para convertirla en un material adsorbente de contaminantes específicos y a partir de la bibliografía consultada se propone la más viable para la realización de una fase metodológica que complementa esta monografía.

### AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo 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 alianza.



AUTORIZO		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 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 en mi calidad de estudiante y por ende autor exclusivo, que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi plena autoría, de mi esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi redacción original particular y, por tanto, soy el único titular de la misma. Además, aseguro 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 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 mi 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 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 X.

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

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular del derecho de autor, confiero 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).

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 Autor garantiza que el documento en cuestión, es producto de mi plena autoría, de mi esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi creación original particular y, por tanto, soy el único titular de la misma. Además, aseguro 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 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 mi 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.

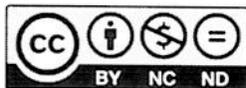
g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

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.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons 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 siguiente archivo:

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Mejia2019.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Mejía Gutiérrez Mateo	

2115120.

**LA CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL ADSORBENTE PARA  
LA REMOCIÓN DE PESTICIDAS EN MEDIO ACUOSO: EL  
CARBOFURAN COMO CASO DE ESTUDIO**

Una Monografía Presentada Para Obtener El Título De  
Ingeniero Ambiental  
Universidad de Cundinamarca, Girardot

Mateo Mejía Gutiérrez.  
Mayo 2019.

**LA CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL ADSORBENTE PARA  
LA REMOCIÓN DE PESTICIDAS EN MEDIO ACUOSO: EL  
CARBOFURAN COMO CASO DE ESTUDIO**

Una Monografía Presentada Para Obtener El Título De  
Ingeniero Ambiental  
Universidad de Cundinamarca, Girardot

**John Jairo Sandoval Valencia**  
Director

Dalia Xiomara Suarez Pulido  
Co-director

Mateo Mejía Gutiérrez.  
Mayo 2019.

### **Agradecimientos**

A la vida, por enseñarme con cada error a mejorar como ser humano. A mi padre por su sabiduría y su apoyo incondicional, a mi madre por sus enseñanzas, a Diana Carolina Vega Romero por su apoyo y cariño, y por ultimo a los profesores John Jairo Sandoval Valencia y Vanessa Silenia García Cuello por su voto de confianza y dedicación.

## Resumen

En esta monografía se reconoce la importancia de la implementación de sistemas de producción sostenibles y el uso de tecnologías alternativas para la descontaminación de fuentes hídricas; Por ello, se plantea una revisión del uso de la cascarilla de arroz (desecho agrícola) para la producción de tecnologías alternativas basadas en materiales adsorbentes para la descontaminación de aguas contaminadas con Carbofurano (pesticida) a causa de la producción agrícola.

Por otro lado, el lector encontrará información referente a las generalidades del cultivo de arroz, sus metodologías de producción, las principales problemáticas socioambientales de la industria arrocera y las repercusiones que ha traído en Colombia el uso indiscriminado de pesticidas y la falta de control y manejo gubernamental de los mismos. Se plantean tecnologías alternativas de producción en función de reducir la contaminación y el consumo de recursos y tecnologías alternativas de tratamiento de vertimientos agrícolas, utilizando cascarilla de arroz como base para la descontaminación. Se identifican las diferentes técnicas de modificación de la cascarilla para convertirla en un material adsorbente de contaminantes específicos y a partir de la bibliografía consultada se propone la más viable para la realización de una fase metodológica que complemente esta monografía.

## Tabla de Contenidos

Introducción .....	9
Planteamiento del problema.....	10
Justificación .....	12
Objetivos .....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos .....	14
Diseño metodológico .....	15
Ubicación y Características agro-climatológicas:.....	15
Análisis de resultados .....	18
Capítulo 1.....	18
Generalidades del arroz.....	18
Propiedades y características del arroz .....	18
Producción arroceras .....	19
Producción arroceras a nivel mundial .....	20
Capítulo 2.....	22
Importancia económica y social del arroz en Colombia.....	22
Producción arroceras en los departamentos del Huila y Tolima .....	24
Capítulo 3.....	25
Problemáticas de la industria arroceras en Colombia.....	25
Vertimientos provenientes del cultivo de arroz .....	25
Capítulo 4.....	27
Alternativas de producción sostenible en el cultivo de arroz .....	27
Sistema de riego por goteo.....	27
Sistemas de riego por aspersión .....	28
Sistema intensificado del cultivo de arroz (SICA) .....	28
Capítulo 5.....	30
Cascarilla de arroz.....	30
Propiedades y composición de la cascarilla de arroz.....	30
Capítulo 6.....	33
Problemática de la cascarilla de arroz.....	33
Capítulo 7.....	35
Problemáticas socio ambientales por el uso de Carbofurano en la industria agrícola Colombiana. ....	35
Capítulo 8.....	39
Normatividad para pesticidas.....	39
Regulación colombiana para pesticidas .....	40
Capítulo 9.....	41
Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz .....	41
Capítulo 10.....	43
Cascarilla de arroz como material adsorbente .....	43
Análisis de las técnicas de activación de la cascarilla de arroz .....	46
Fundamentos fisicoquímicos .....	46
Efecto de la temperatura .....	46
Efecto del pH .....	47

Presencia de otros iones .....	47
Comparación de las técnicas de activación.....	48
Conclusiones .....	50
Recomendaciones .....	52
Referencias bibliográficas.....	1

## Lista de tablas

<i>Tabla 1.</i> Composición promedio del arroz con cascara .....	19
<i>Tabla 2.</i> Principales productores de arroz en el mundo.....	20
<i>Tabla 3.</i> Producción arroceras en el área Andina. ....	21
<i>Tabla 4.</i> Producción de arroz-Departamentos de estudio .....	24
<i>Tabla 5.</i> Sistemas de cultivo de arroz-Ventajas y desventajas. ....	25
<i>Tabla 6.</i> Necesidad hídrica del cultivo de arroz en cada uno de sus fases de producción.....	26
<i>Tabla 7.</i> Consumo de agua en cultivos de arroz con tecnologías alternativas (TA) VS Sistemas convencionales.....	29
<i>Tabla 8.</i> Composición química de la cascarilla de arroz. ....	31
<i>Tabla 9.</i> Intoxicaciones por grupo de sustancia, Colombia (2017). ....	37
<i>Tabla 10.</i> Muertes por intoxicaciones por grupo de sustancia química,.....	38
<i>Tabla 11.</i> Estudios de uso de la cascarilla de arroz en países latinoamericanos y de la zona andina.....	42
<i>Tabla 12.</i> Tipos de adsorción .....	43
<i>Tabla 13.</i> Metodologías de activación de la cascarilla de arroz y su efectividad.....	45
<i>Tabla 14.</i> Análisis comparativo de las técnicas de modificación de la cascarilla de arroz, respecto a diferentes contaminantes en medio acuoso. ....	48

## Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Área sembrada, cosechada, producción y rendimiento-Total Nacional. ....	22
<i>Figura 2.</i> Estructura de un grano entero de arroz. ....	30
<i>Figura 3.</i> Incineración de la cascarilla de arroz a cielo abierto. ....	33
Figura 4. Estructura química del Carbofurano.....	35
Figura 5. Clasificación del Carbofurano-Ficha de seguridad. ....	36

## Introducción

Las problemáticas ambientales en el recurso hídrico, generadas por el uso de pesticidas en la industria arrocera se asocian directamente con las malas prácticas agrícolas. El estudio e implementación de políticas ambientales por parte del gobierno y las entidades privadas colombianas, deben ser impulsadas para garantizar la calidad de los recursos y evitar un impacto ambiental negativo en los ecosistemas, es decir, una agricultura colombiana sostenible. La inexistencia de políticas y la falta de buenas prácticas agrícolas, ocasionan la contaminación de los cuerpos de agua, lo que genera problemáticas de salud pública. Para el caso del uso de pesticidas, no poseen una regulación que limite su uso y obligue a su tratamiento en tecnologías de depuración, además de que los sistemas convencionales, no poseen la capacidad de remover contaminantes específicos como los pesticidas (Mazari, 2014; Sánchez, Gutiérrez, Gomez, Loewy, & Guiñazú, 2016)

La cascarilla de arroz surge como alternativa para reducir la contaminación de fuentes hídricas que presentan elevada concentración de pesticidas como el Carbofurano, tomado como caso de estudio debido a su toxicidad (extremadamente peligroso) y falta de regulación en la industria arrocera Colombiana(Cuevas, 2012; ICA, 2016; Solís Fuentes, Morales Téllez, Ayala Tirado, & Durán de Bazúa, 2012).

La implementación futura del aprovechamiento y valorización de residuos sólidos por parte de la industria arrocera, podría contribuir al desarrollo sostenible en Colombia. De tal manera, la esencia de la revisión monográfica que aquí se propone consiste en conocer las alternativas viables para la remediación ambiental y el potencial que presenta la biomasa y/o residuos agroindustriales para la eliminación de contaminantes solubles en fuentes hídricas.

## Planteamiento del problema

Colombia posee un enorme potencial agrícola en extensión, además su economía se basa fundamentalmente en esta práctica (Caballero, 2016) , por lo tanto, es considerado como uno de los pilares de la economía colombiana. Ejemplo de ello es el arroz, uno de los cultivos más importantes de la industria agrícola con más de dos millones de toneladas producidas anualmente, utilizado en la canasta familiar, manufactura de cosméticos y productos de aseo, por lo que es clave para la generación de empleo y valorización de las exportaciones colombianas (Angarita, 2015; Quispe, Navia, & Kahhat, 2017; Samper, 2004; Yeganeh, Kaghazchi, & Soleimani, 2006).

A pesar de esto, el sector está saturado de problemáticas de contaminación, a razón de la falta de buenas prácticas agrícolas, la inadecuada gestión de los residuos sólidos generados en el proceso de producción, la contaminación de fuentes hídricas, acuíferos y degradación de suelos por uso excesivo de agroquímicos y productos de uso común que son considerados como contaminantes emergentes (medicamentos, productos de aseo, etc.), entre otros que al final llegan a afectar a los ecosistemas a través del recurso agua (Mazari, 2014; Sepúlveda, 2009; Steiner, 2008). Una de las razones de estas problemáticas se refleja en la contaminación por pesticidas, puntualmente en los cultivos de arroz; el cual, de acuerdo a su proceso de producción requiere una excesiva variedad de sustancias sintéticas para su desarrollo, entre los cuales se destacan los fungicidas, herbicidas e insecticidas (DANE & FEDEARROZ, 2018). A pesar de esto, la normatividad vigente solamente restringe el uso de Parathión y compuestos organoclorados, esto encontrado en las restricciones del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2016), siendo las demás políticas y normas, permisivas en el uso del resto de plaguicidas,

aunque también se usen más pesticidas categorizados como extremadamente peligrosos, todo esto sin prestar atención a normas internacionales, tal como el convenio de Rotterdam (Secretaría del Convenio de Rotterdam, 2017) aceptado y acogido por una gran cantidad de países, el cual restringe y prohíbe el uso de una gran cantidad de pesticidas, sin embargo, siguen siendo usados en Colombia de forma indiscriminada.

Hoy por hoy, los sistemas de tratamiento físico-químicos y biológicos convencionales, además de costosos y de difícil operación, no remueven pesticidas y la adición de compuestos químicos para el tratamiento puede generar contaminantes de mayor toxicidad (Benítez-Díaz & Miranda-Contreras, 2013; Fernández, 2012), tal como los procesos de desinfección con cloro, pueden desencadenar reacciones de cloración de compuestos orgánicos. Todo lo anterior, se ve reflejado en la pérdida de biota acuática y de la dinámica ecosistémica y la aparición de enfermedades crónicas y degenerativas en las poblaciones que captan agua en afluentes contaminados con dichos compuestos.

Según los antecedentes, la ubicación geográfica y las actividades agroindustriales que se generan en Colombia (caso de estudio zona centro del país: Tolima y Huila), es importante establecer medidas para el control y la mitigación de problemáticas de índole socio ambiental. Por ello, durante la ejecución de esta revisión monográfica se pretende contestar la siguiente pregunta:

Según los antecedentes bibliográficos, ¿La cascarilla de arroz puede ser empleada para la obtención de materiales adsorbentes que contribuyan a la remediación de fuentes hídricas en casos de contaminación con pesticidas (Carbofurano) en las industrias arroceras de la zona centro del país?

## Justificación

La demanda alimentaria obliga a la industria agrícola a mejorar los sistemas de producción, acelerando los procesos, sin sacrificar la calidad (Deniz, 2013; Lombard-Latune et al., 2018; Manea, 2014; Satayeva et al., 2018; Serrano & Borrachero, 2012) esto, a través del uso de agroquímicos y sistemas automatizados, cumpliendo con la demanda de producción, pero generando problemáticas de contaminación de cuerpos de agua (Mazari, 2014), desencadenando un sin número de impactos tales como: Eco toxicidad (bioacumulación) en la biota acuática, aves, artrópodos no diana y abejas, además de contaminación de acuíferos (Committee, 2017; Yersey, 2005). Por otro lado, la industria agrícola en Colombia tiene una excesiva generación de residuos sólidos, como es el caso de la producción arroceras, la cual genera un 20% de la totalidad de su producción en cascarilla, de la cual se aprovecha no más de un 5% y el 95% restante termina por ser incinerada (DANE, 2018). Actualmente, las alternativas de solución se direccionan únicamente al cobro de tasas retributivas, además de que las soluciones, tales como sistemas de tratamiento de aguas residuales y de reducción de residuos, lo que se ve reflejado en una alteración de la salud pública de las comunidades ubicadas dentro del área de influencia de esta actividad agrícola (Deniz, 2013).

Por tal razón, las investigaciones analizadas proponen como alternativa de solución inicialmente tres aspectos de importancia estratégica para alcanzar una mayor responsabilidad socio ambiental de Colombia en el sector arroceras, en términos de la investigación básica:

1. El aprovechamiento de los residuos sólidos agrícolas para la obtención de materiales adsorbentes, mediante la modificación fisicoquímica de la cascarilla de arroz.
2. La evaluación del potencial de uso de la cascarilla de arroz como material adsorbente para la remoción de pesticidas (Carbofurano) en aguas contaminadas de origen de la industria arrocera; y, por último,
3. La prohibición del Carbofurano como pesticida comercial en el territorio colombiano.

Esta revisión monográfica estudia una alternativa de tratamiento viable, que se pueda perfeccionar a partir de investigaciones futuras y se aplique a las productoras arroceras, de tal manera que se minimicen las problemáticas generadas por contaminantes agroquímicos, la reducción de la cantidad de residuos desechados y la mejora de la calidad de vida de las comunidades afectadas.

Por lo anterior, el resultado de esta revisión bibliográfica sintetizará las metodologías para el aprovechamiento y/o la valorización de residuos agrícolas de la industria arrocera, caso de estudio zona centro del país: Tolima y Huila.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Estudiar las metodologías de modificación fisicoquímica de la cascarilla de arroz para ser usada como material adsorbente para la remoción de pesticidas (Carbofurano) en cuerpos de agua de origen agrícola de las industrias arroceras en Colombia. Caso de estudio zona centro del país: Tolima y Huila.

### **Objetivos específicos**

Analizar las alternativas de producción sostenible en términos del uso del recurso agua y suelo para la industria arroceras en Colombia

Identificar los impactos socio ambientales que generan el uso de Carbofurano en la industria agrícola.

Comparar estudios de modificación de la cascarilla de arroz para la remoción de otros compuestos químicos contaminantes de cuerpos de agua.

## **Diseño metodológico**

### **Ubicación y Características agro-climatológicas:**

La universidad de Cundinamarca, seccional Girardot en su compromiso con la sociedad incluye la búsqueda de alternativas para la solución de problemáticas de índole medioambiental, que afectan particularmente la zona a la cual pertenece o tiene gran influencia en los procesos de formación y desarrollo, tal como los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila (zona centro del país). Colombia, país de producción agrícola por excelencia, se encuentra a 72°0'0" de longitud y N 4°0'0" 40° 09' de Latitud, estando situado en la zona ecuatorial, lo que indica que cuenta con estacionalidad bimodal (dos periodos lluviosos y dos periodos secos),

Cuenta con una extensión total de 1'142.748 km<sup>2</sup>, y una temperatura media de 29°C, Con pisos térmicos que van desde zonas áridas hasta nieves perpetuas (Caballero, 2016; Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, 2017).

Para la recolección de la información se consultaron todas las bases de datos a las cuales se tiene acceso vía digital, tanto, por medio de la biblioteca de la universidad, como también de las demás corporaciones educativas y de carácter investigativo a las que se pueda permite ingresar de forma gratuita, tales como: Science Direct, Scopus, Scielo, entre otras; para la selección de los estudios a analizar, se priorizaron los más citados y los desarrollados en países suramericanos, sin embargo, también se encontraron estudios con potencial de información desarrollados en otras zonas del mundo y se filtraron por los más recientes y congruentes con el objeto de estudio.

La metodología de esta monografía se divide en 4 aspectos de importancia estratégica que incluye: i) Identificar el impacto ambiental que ejerce las malas prácticas agrícolas sobre la industria arrocera de Colombia (especialmente zona centro). ii) Aprovechamiento de residuos

sólidos agrícolas para la obtención de materiales adsorbentes de origen natural. iii) Estudiar el potencial de aprovechamiento de la cascarilla de arroz modificada como material adsorbente y iv) Evaluar la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz modificada para la remoción de pesticidas en aguas contaminadas.

Impacto ambiental sobre la industria arrocera: Se realizó un reconocimiento de los estudios realizados con cascarilla de arroz y demás materiales con potencial adsorbente en Colombia principalmente, sin embargo, también se tomaron en cuenta estudios en países de mayor desarrollo investigativo y económico de manera que se tengan diferentes perspectivas sobre el objeto investigado y los impactos negativos de carácter socio ambiental de la problemática a tratar.

Aprovechamiento de residuos sólidos agrícolas para la obtención de materiales adsorbentes de origen natural: Dado que la cascarilla de arroz es considerada como un desecho de la industria agrícola y su disposición consiste en la incineración, genera otras problemáticas ambientales. Por lo que generar alternativas de gestión y reutilización es de vital importancia.

Para ello se plantea la revisión monográfica del aprovechamiento y la reutilización de la cascarilla de arroz como material adsorbente para el tratamiento de aguas de la industria agrícola, que reduzcan tanto la problemática de contaminación hídrica, como de generación de residuos sólidos.

El aprovechamiento del residuo se basa en su constante utilización, ya que el material adsorbente tiene un punto de saturación en el cual pierde su utilidad, por lo que es necesario producir material adsorbente con cierta frecuencia.

Estudiar el potencial de aprovechamiento de la cascarilla de arroz como material adsorbente: Se analizarán las diferentes alternativas de tratamiento de la cascarilla de arroz para la

modificación de sus propiedades porosas y aumentar su capacidad adsorbente, de igual manera se buscaran los diferentes sistemas de depuración que se basen en lechos porosos para su proceso, contemplando la posibilidad de sustituir los lechos filtrantes convencionales por la cascarilla de arroz, adecuando el sistema al uso de la cascarilla sin afectar la eficiencia del mismo.

Dentro de los métodos de activación, se enfatizó en los menos contaminantes y de mayor facilidad de realización, de manera que puedan ser realizados en ambientes diferentes a los laboratorios.

A partir de la revisión monográfica, estudiar la remoción la capacidad de adsorción de la cascarilla de arroz modificada para la remoción de pesticidas en aguas contaminadas: Para esto se consultó en los estudios seleccionados, la efectividad de los diferentes métodos de activación de la cascarilla de arroz, realizando un diagnóstico de la razón principal de las eficiencias obtenidas en los distintos métodos de tratamiento y de acuerdo a la bibliografía, las modificaciones que se podrían efectuarse para mejorar la capacidad adsorbente del material poroso.

## **Análisis de resultados**

### **Capítulo 1**

#### **Generalidades del arroz**

##### *Propiedades y características del arroz*

En la actualidad se cultivan dos tipos de arroz, la especie *Oryza sativa L* (Asiática) y la *Oriza glaberrima L* o arroz rojo (África occidental), estas se separan de acuerdo a su variedad: Indica, Japónica y Janábrica; también se clasifican de acuerdo a su composición de aminoácidos en glutinosos y no glutinosos, teniendo los primeros un 83% de amilopectina y 17% de amilosa y los segundos poseen un 27% de amilosa y un 73% de amilopectina, los cuales determinan el tamaño de arroz como producto final, como también sus propiedades alimenticias (Beatríz & Almarza, 2007; CESDE, 2015). Aunque las características alimenticias del arroz varían de acuerdo a la especie y variedad cultivada, su composición estructural por lo general se mantiene en un mismo rango siendo la cascarilla un 20%, el pulido de 4 al 10% y el grano o endosperma de 70 a 75% (FEDEARROZ, 2017a; Marchesi, 2002), 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
<b>Cáscara de arroz</b>	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

Fuente: (Beatríz & Almarza, 2007; DANE & FEDEARROZ, 2018a).

## Producción arrocera

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el departamento de agricultura de los Estados Unidos, el arroz es el principal alimento para la mitad de la población mundial, y la principal fuente de proteínas para las familias de escasos recursos (FAO, 2017).

A continuación, se realiza una breve contextualización sobre la producción arrocera a nivel mundial y el papel de los países del área andina:

*Producción arrocer a nivel mundial*

La producción de arroz en la actualidad supera los 400 millones de toneladas, distribuidos en 112 países, lo que lo constituye en el principal alimento para el 60% de la población mundial.

*Tabla 2.* Principales productores de arroz en el mundo

<b>Países</b>	<b>Producción (Ton/año)</b>	<b>Porcentaje</b>
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%
Japón	7.944.000	1,98%
Brasil	8.996.000	2,24%
Resto del mundo	91.115.000	22,65%
Total	402.209.000	100%

Fuente: Producción mundial de arroz para el año 2012-USDA.

Para el caso del área andina, la producción se ha triplicado en los últimos 30 años, sin embargo, sigue siendo poca comparada con la de países asiáticos, la diferencia radica en el tamaño de las áreas de producción, la falta de tecnologías de producción más efectivas y a la deficiencia de la inversión gubernamental en países en vía de desarrollo (FAO, 2017; Observatorio De Corporaciones Transnacionales, 2007).

A continuación se muestra el escalafón de producción arrocerá en los países del área andina:

*Tabla 3.* Producción arrocerá en el área Andina.

País	Producción (ton/año)
Brasil	9'000.000
Colombia	2'400.000
Perú	2'200.000
Argentina	1'400.000
Uruguay	1'300.000
Ecuador	1'200.000
Bolivia	400.000
Chile	200.000

Fuente: (FEDEARROZ, 2018).

Colombia, ocupa el segundo puesto en producción en Latinoamérica y el Caribe, y es el producto de mayor importancia en la canasta familiar, siendo la mayor fuente de proteínas y calorías en el caso de las familias de escasos recursos (DANE, 2018; Shamah, Cuevas, Mayorga, & Valenzuela, 2014).

## Capítulo 2

### Importancia económica y social del arroz en Colombia

En Colombia el arroz, después del café y el maíz es el cultivo de mayor importancia a razón de área cultivada, toneladas producidas y la generación de empleo (AGRONET, 2014). La producción de arroz supera los 2'000.000 toneladas anuales, sin embargo la producción se ha visto afectada a razón del tratado de libre comercio, por el cual se importan alrededor de 100.000 toneladas anuales (DANE & FEDEARROZ, 2018a).

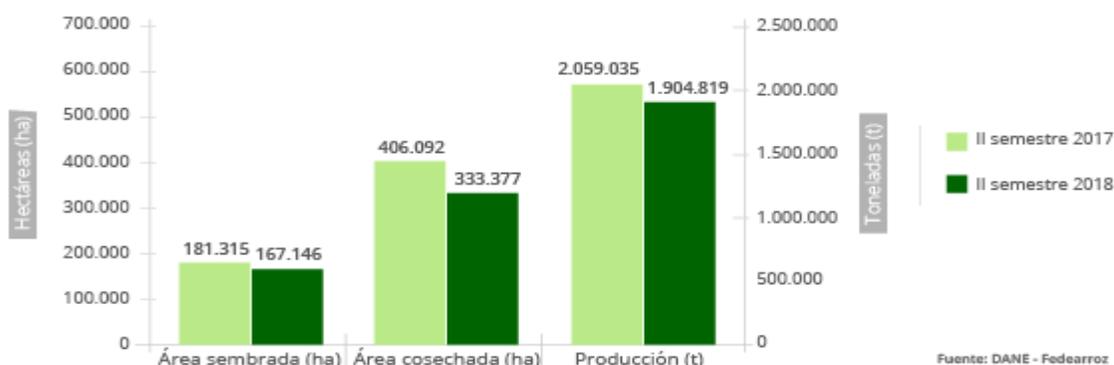


Figura 1. Área sembrada, cosechada, producción y rendimiento-Total Nacional.

Fuente: Estadísticas agropecuarias-(DANE, 2018)

La competitividad de Colombia en la industria arrocera depende principalmente por las tecnologías y estrategias de producción, las cuales se basan principalmente en distritos de riego en las áreas de producción, ya que el rendimiento de la producción depende mayormente de la disponibilidad de agua (Chica L., Tirado O., & Barreto O., 2016; Montes, Candelo Ricardo, & Muñoz de Gaviria, 2012).

La actividad arrocera en Colombia está organizada en dos gremios: Agricultores y comerciales:

*Federación Nacional de Arroceros “Fedearroz”*: es el encargado de la investigación de nuevas tecnologías, producción de insumos y capacitación (Fedearroz, 2015).

*Industriales del arroz “Induarroz”*: Se encarga del proceso de transformación, comercialización del arroz, apoyo y acompañamiento de los agricultores (Ramírez, Gómez, Becerra, & Por, 2013).

Según el DANE, la industria arrocera es el tercer productor con mayor importancia en la sociedad Colombiana, con la generación de más de 500.000 empleos directos e indirectos (215 municipios) además de su papel en la canasta familiar, particularmente en las familias de escasos recursos (DANE & FEDEARROZ, 2018)

El sector arrocero está conformado por 21.800 agricultores: El 59% trabajan mediante arrendamientos, que cambian cada temporada de área, por lo que están limitados para hacer mejoras en infraestructura. El 92% siembran menos de 50 ha y producen cerca de 50% del arroz, mientras el 8% de los productores responden por la otra mitad. El nivel de productividad es el más alto de la zona del trópico y las diferencias entre agricultores no se relacionan con el tamaño, pero si están marcadas por las tecnologías de producción, que para los grandes agricultores es mejor, debido a que su capacidad de tecnificación es mucho más alta comparada con los pequeños productores (FEDEARROZ, 2017).

## Producción arrocera en los departamentos del Huila y Tolima

Tabla 4. Producción de arroz-Departamentos de estudio

Departamento	Producción (Ton/año)
Tolima	411.463
Huila	119.624

Fuente: (DANE & FEDEARROZ, 2018a)

A pesar de ser más del 25% de la producción nacional de arroz, en los municipios de Huila y Tolima no se implementan estrategias para la descontaminación de los vertimientos agrícolas (DANE, 2018; EAAA, 2015; López, Pinedo, & Zambrano, 2015), sin embargo, mediante la implementación de una política sostenible, se podría mitigar esta problemática.

### Capítulo 3

#### Problemáticas de la industria arrocera en Colombia

##### Vertimientos provenientes del cultivo de arroz

El área andina al estar ubicada en zona tropical, cuenta con una buena riqueza hídrica; sin embargo, en el caso del cultivo del arroz, con el objetivo de aumentar la rentabilidad del agricultor y la protección de la cosecha en caso de presentarse periodos de sequía, es necesaria la implementación de sistemas de producción, los cuales se basan en el requerimiento de agua (Benavides & Jara, 2014; FAO, 2004). En la tabla 6 se presentan los tres principales sistemas de cultivo en Colombia, con sus ventajas y desventajas:

*Tabla 5.* Sistemas de cultivo de arroz-Ventajas y desventajas.

	<b>Tradicionales de inundación permanente</b>	<b>Intermitentes de cultivo en seco y húmedo</b>	<b>Cultivo en seco (Secano y bajo riego)-Sin inundación</b>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Múltiples usos del agua.</li> <li>Costos compartidos de manejo del agua.</li> <li>Control de Malezas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ahorro del agua (Solamente en el cultivo).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se requiere suministro adicional de agua (buena precipitación).</li> <li>Ahorro del agua en el campo.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta extracción del agua.</li> <li><b>Riesgo de contaminación por lixiviados de pesticidas.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere agua de buena calidad.</li> <li>Elevados costos de manejo.</li> <li>Requiere deshierba.</li> <li><b>Riesgo de contaminación por lixiviados de pesticidas.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere deshierba.</li> <li>Mayor proliferación de plagas</li> </ul>

Fuente: (Benavides & Jara, 2014).

Técnicas de cultivo de arroz en Colombia.

Es el único cereal que necesita de largos procesos de inmersión para su desarrollo y producción por lo que es catalogado como el cultivo que más consume dicho líquido en el mundo (3000 a 5000 L agua/Kg) (FAO, 2004, 2017).

*Tabla 6.* Necesidad hídrica del cultivo de arroz en cada uno de sus fases de producción.

USO	Consumo promedio (mm/día)	Descripción
Preparación del terreno	200	humedad del suelo, arado y fanguero
Evapotranspiración	850	
Infiltración y percolación	450	Mantenimiento de la lámina de inundación
Drenaje	75	Recambio de la cuenca hídrica
Total	1525*	

\*Los valores pueden variar de acuerdo a la variedad y especie cultivada.

Fuente: (FAO, 2006a, 2017).

Es importante recalcar la cantidad de agua vertida por la industria arrocera en las fuentes hídricas, lo que ratifica el problema de contaminación por pesticidas; si se toma en cuenta que la producción de más del 92% a nivel nacional lo realizan pequeños productores, los cuales implementan en su mayoría sistemas tradicionales por inundación (Ministerio del Medio Ambiente, 2015; Montes et al., 2012), lo que aumenta el riesgo de contaminación por vertimientos (Chica L. et al., 2016; Fernández, 2012; Varona & Idrovo, 2016).

Actualmente, en los departamentos del Huila y Tolima, no existen sistemas de tratamiento para las aguas residuales de la producción arrocera, esto debido mayormente al elevado costo de estas tecnologías, por lo que los productores prefieren asumir las tasas retributivas del impacto ambiental que generan (CAR, 2010; EAAA, 2015; MINVIVIENDA, 2017).

En el caso del distrito de riego de los cultivos de arroz del municipio del Espinal, Tolima (Usocoello). Lo que se hace es implementar sistemas de monitoreo y control de la calidad de las aguas residuales vertidas por los cultivos, sin embargo, en estos análisis no se contempla la contaminación por pesticidas; por otro lado, no se tienen desarrolladas estrategias para la descontaminación de dichas aguas (EAAA, 2015; Minambiente, 2015).

## **Capítulo 4**

### **Alternativas de producción sostenible en el cultivo de arroz**

El sistema de producción agrícola nacional se caracteriza por la intensificación de los procesos de producción, la expansión de las fronteras agrícolas hacia zonas de vulnerabilidad ambiental y el uso y contaminación del recurso hídrico (CIAT, 2017).

Por lo anterior, es fundamental implementar estrategias sostenibles ambientalmente y sustentables a nivel económico (Chica L. et al., 2016); para el caso del cultivo de arroz, existen diferentes tecnologías de producción sostenibles implementadas en algunos países con procesos de investigación más avanzados:

#### *Sistema de riego por goteo*

El agua por goteo es un sistema que consiste en la conducción del agua mediante una red de tuberías que llegan al cultivo por medio de emisores, entregando pequeños volúmenes de agua con cierta frecuencia. Se denominan riesgos localizados, ya que humedecen el cultivo por sectores, con el agua suficiente para el desarrollo del cultivo, este método permite el ahorro de

más del 70% de agua que normalmente se utiliza para cualquier tipo de cultivo, reduciendo la cantidad de vertimientos generados por el proceso de producción (Liotta, 2015).

#### *Sistemas de riego por aspersión*

El sistema de riego por aspersión consiste en la aplicación del agua en forma de gotas de lluvia sobre el suelo. Este método solamente funciona si el agua es impulsada a presión, hasta llegar a los aspersores. Además del agua para riego, también se pueden aplicar abonos e insecticidas, reduciendo el riesgo de contaminación de las fuentes hídricas, además de que se genera un ahorro sustancial del consumo de agua (Chartuni & Magdalena, 2017; FRAG, 2015).

#### *Sistema intensificado del cultivo de arroz (SICA)*

Tiene por objetivo incrementar la productividad del cultivo de arroz por área cultivada, este sistema se basa en el trasplante de plántulas jóvenes de arroz a corta edad (< 8 días), es importante dejar una distancia entre plántulas mayor a la utilizada en los sistemas convencionales, de manera que se prevenga la competencia entre plantas por los nutrientes del suelo y favorezca el crecimiento de nuevas plántulas (Ochoa, Chica, & Álava, 2017; PRO-A, 2016). Este método de riego, debe ser de manera intermitente y sin inundación para favorecer las condiciones aeróbicas del suelo y el desarrollo de las plántulas; lo que reduce significativamente el consumo de agua en el cultivo (González, 2015).

#### *Sistema de producción de arroz con suelo cubierto (GCPRS)*

Consiste en la recirculación del agua de salida, permite que no se viertan residuos de pesticidas a los canales públicos. Eleva el agua de desagüe de la última tabla hasta la tabla de cota más alta mediante una bomba de poca potencia a través de una tubería o de un canal. Posee la ventaja de generar cierta flexibilidad requiriendo un periodo más corto de retención de agua después de la aplicación de los productos químicos que los sistemas convencionales.

Los costos de la construcción y uso de un sistema cubierto dependen de la superficie y las características topográficas del terreno (Agri-Nova, 2017).

*Sistema de producción con suelo saturado (SS)*

Este sistema reside en un canal de drenaje que circula perpendicularmente a los desagües de los tablones. El canal está separado de cada zona por válvulas que controlan la profundidad dentro de cada tablón. Tiene la ventaja que mantiene las aguas con residuos de pesticidas lejos de ser vertidos a fuentes de agua y elimina la necesidad de un sistema de bombeo como el empleado en el GCPRS, además, se controla de forma independiente la entrada de agua, limitándose la pérdida de agua por evapotranspiración y percolación. No es adecuado para suelos salinos y además se reduce el terreno cultivable debido a la construcción del canal de drenaje (Maria & Bernis, 2018).

*Tabla 7.* Consumo de agua en cultivos de arroz con tecnologías alternativas (TA) VS Sistemas convencionales.

País	Tecnología Alternativa	Sistema convencional	TA Implementada
		$m^3/Ha - Cosechada$	
India	23.333	29.231	SICA
Irak	17.931	33.636	GCRPS
China	20.830	34.860	

Fuente: (González B. & Alonso, 2017).

Según la guía ambiental del arroz de la Federación Nacional de arroceros, en Colombia no se implementan a gran escala sistemas de producción sostenible; Sin embargo, dicha federación elaboró una guía para la implementación del sistema SRI (Sistema de riego intensificado) o SICA (Moreira, 2018), pero no es muy acogida por los productores debido a la falta de políticas que promuevan y recompensen la implementación de tecnologías sostenibles (González B. &

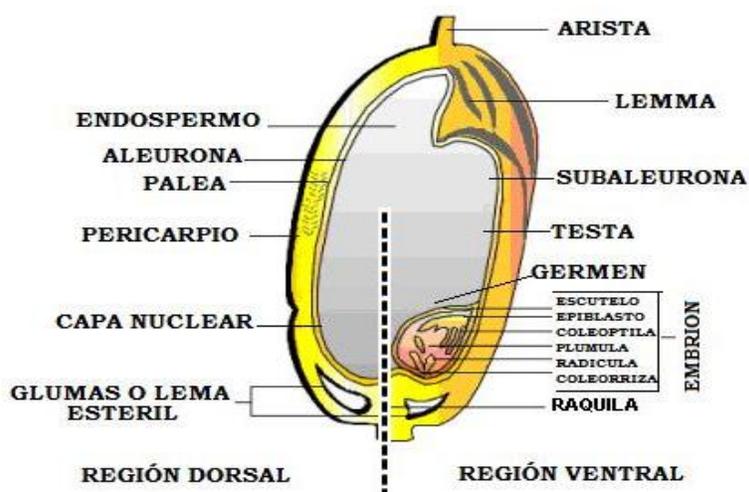
Alonso, 2017), por lo que sigue predominando el riego continuo debido a la abundancia del recurso hídrico en la mayorías de zonas de producción (Ministerio del medio ambiente, 2015).

## Capítulo 5

### Cascarilla de arroz

#### *Propiedades y composición de la cascarilla de arroz*

La cascarilla de arroz es el mayor subproducto obtenido del proceso de molienda del arroz cultivado, esta representa alrededor de un 20% de su composición estructural, esta se ubica en la parte externa del grano la cual está compuesta por dos glumas denominadas palea y lemma que a su vez se encuentran unidas por un pericarpio, su objetivo principal es la protección del grano (Mazari, 2014; Vargas, Alvarado, Vega, & Porras, 2013).



*Figura 2.* Estructura de un grano entero de arroz.

Fuente: (Universidad nacional autonoma de Mexico, 2016).

La cascarilla de arroz es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición debido a su baja capacidad de retención de humedad, sin embargo, es una buena fuente energética para algunas especies de animales, principalmente rumiantes, debido a sus propiedades alimenticias, además también posee potencial de usos industriales y comerciales. (Arias Ortiz & Meneses Cruz,

2016a). Algunos autores han reportado que este material, presenta propiedades abrasivas, muestra una estructura porosa del 54% y se utiliza como componente principal de los sistemas de aislamiento térmico debido a su coeficiente de conductividad térmica (Sierra Aguilar, 2009). En la tabla 9, se puede apreciar valores numéricos de la composición química de la cascarilla de arroz, datos tomados de la cascarilla de arroz que se produce en Colombia, cabe resaltar que estos valores pueden variar dependiendo del tipo de variedad de arroz y las condiciones hidro geográficas de la zona donde se produce.

Tabla 8. Composición química de la cascarilla de arroz.

<b>ELEMENTOS O COMPUESTOS</b>	<b>PORCENTAJE O PPM</b>
Silicio ( $SiO_2$ )	10-12%
Cenizas	12-13%
Boro	4-10 ppm
Cobre	3-5 ppm
Manganeso	200-800 ppm
Hierro	200-400 ppm
Azufre	0,12-0,14%
Magnesio	0,10-0,12%
Calcio	0,10-0,15%
Potasio	0,20-0,40%
Fosforo	0,08-0,10%
Humedad	0,10-0,12 L/L
Nitrógeno	0,50-0,60%
Cap. Intercambio	2-3%
Densidad	0,12-0,13 G/MI
Zinc	15-30 ppm

Fuente: (Manuel & Nievas, 2017; Sierra Aguilar, 2009).

La fracción orgánica de la cascarilla de arroz es similar al de cualquier fibra orgánica:

Compuestos nitrogenados, ácidos y lípidos orgánicos, lignina, hemicelulosa y celulosa; siendo las dos últimas, la mayor parte de los hidratos de carbono presentes en la cascarilla entre un 16 y 22% para la hemicelulosa y 28 y 49% para la celulosa; caso contrario a los componentes inorgánicos, siendo en su mayoría Silicio (Serrano & Borrachero, 2012).

A pesar de poseer en sus componentes inorgánicos mayormente Silicio, en su composición orgánica posee lignina, la cual es el principal componente en la creación de carbón (Mussatto et al., 2010), también es sabido que la celulosa y la hemicelulosa se eliminan durante la pirolisis, asociado al bajo rendimiento del carbón, debido a que se pierde una fracción de este durante la pirolisis; pero también favorece la creación de microporos (Zhao et al., 2017). Sin embargo, estas afirmaciones no son del todo exactas puesto que las ya nombradas propiedades de la cascara de arroz dependen de diversos factores, tales como: Geografía, clima, características del suelo, variedad del arroz y el proceso de producción (Benassi et al., 2015).

## Capítulo 6

### Problemática de la cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz por ser una quinta parte del total de la producción arroceras, se genera en grandes cantidades (82 ton/día aproximadamente en Colombia), en la mayoría de las producciones es tratado como un residuo, lo que lo convierte en un problema debido al inadecuado manejo que se le da, siendo en la mayor parte de los casos incinerado de forma indiscriminada o dispuesto en botaderos a cielo abierto, generando problemáticas de contaminación ambiental y salud pública (Atehortua & Gartner, 2013).

Durante las cosechas, la practica más frecuentada por los agricultores es la quema en el campo, esto, debido al elevado costo de la gestión externa del material, lo que genera la producción de grandes concentraciones de partículas tales como:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles ( $\text{COV}_s$ ), compuestos poli clorados, dioxinas, furanos e hidrocarburos aromáticos poli cíclicos ( $\text{PAH}_s$ ), compuestos que contaminan el medio ambiente y producen enfermedades cancerígenas en la salud humana (Abril, Navarro, & Abril, 2014; FAO, 2017). Otro de los gases producido en la quema es el metano, el cual destruye la capa de ozono, siendo 23 veces más potente que el dióxido de carbono (Calvo, 2012; Muñoz & Posada, 2014).



*Figura 3.* Incineración de la cascarilla de arroz a cielo abierto.

Fuente: (MAESTRIA UNI: LOS INNOVADORES, 2012).

Los principales agravantes de la contaminación por el mal manejo de la cascarilla de arroz como desecho son: La falta de control por parte de los entes gubernamentales, la indiferencia de los agricultores por el cumplimiento de las normas ambientales, y la ausencia de sostenibilidad en los procesos de producción; todo esto magnifica la problemática, más aun cuando se trata de países en vías de desarrollo, donde no se evidencia una inversión contundente a la agricultura sostenible, lo que se ve reflejado en políticas de solución deficientes (Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz, & Garcés-Jaraba, 2015), lo que obliga a los pequeños productores a recurrir a prácticas agrícolas que impactan negativamente en el medio ambiente (Angarita, 2015).

Actualmente no existe una alternativa de disposición amigable con el medio ambiente, sin embargo, existen varios usos potenciales de la cascarilla aplicables a la industria pero que continúan en investigación o proyectos piloto (Mattey, Robayo, Díaz, Delvasto, & Monzó, 2015).

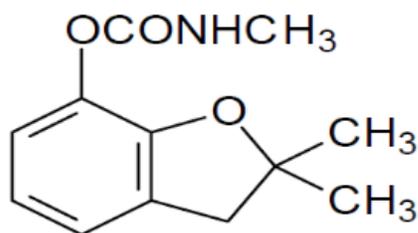
En Colombia, se están produciendo anualmente cerca de 400 mil toneladas de cascarilla, de las cuales cerca del 25% son generadas por los departamentos del Huila y Tolima, y más del 90% del total de este material es incinerado (FEDEARROZ; DANE, 2018).

## Capítulo 7

### Problemáticas socio ambientales por el uso de Carbofurano en la industria agrícola Colombiana.

El Carbofurano es un sólido de aspecto cristalino, de color blanco e inodoro, con cualidades disolventes. Pertenece al grupo de los carbamatos y es utilizado en la fumigación de los cultivos, principalmente de arroz y maíz como nematicida e insecticida (Committee, 2017). La rotulación química del Carbofurano según la IUPAC es: 2,2-dimetil-2,3-dihidro-1-benzofurano-7-ilo, y su fórmula molecular es: C<sub>12</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub> (IUPAC et al., 2007).

Figura 4. Estructura química del Carbofurano



Fuente:(Secretaría del Convenio de Rotterdam, 2017).

El Carbofurano es un compuesto derivado del ácido carbámico, es considerado el pesticida más tóxico del grupo de los carbamatos, actúa causando la inactivación de la enzima acetilcolinesterasa (la cual juega un papel fundamental en el funcionamiento del sistema nervioso), sin embargo, es menos tóxico que los pesticidas organofosforados, los cuales inhiben esta enzima de forma irreversible (Song, 2014).

El Carbofurano figura en la lista de las sustancias peligrosas (Hazardous substance list) y ha sido citado por la ACGIH, el DOT, el NIOSH, el DEP, el IRIS y la EPA debido a su grado de toxicidad (UTZ, 2013).

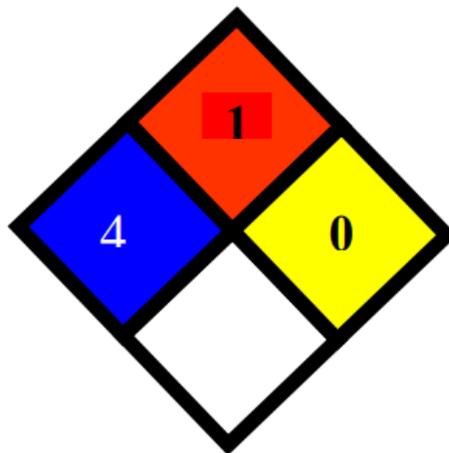


Figura 5. Clasificación del Carbofurano-Ficha de seguridad.

Fuente: (IUPAC et al., 2007).

La categorización de riesgo del Carbofurano según el DOT es de 6,1 (Tóxico), de manera que, una exposición muy corta podría ocasionar la muerte o lesiones residuales graves, aunque se proporcione un tratamiento médico rápido; es una sustancia que debe ser precalentada para que sea inflamable, esto debido a su estabilidad química, por lo que tampoco es considerada una sustancia explosiva, ni reactiva en contacto con el agua (IUPAC et al., 2007; UTZ, 2013).

El Carbofurano es clasificado como altamente peligroso (IB) según la OMS y como altamente tóxico según la EPA. Como efectos agudos genera irritabilidad dérmica y ocular, y a nivel crónico es considerado neurotóxico (nivel 2), mutagénico y disruptor endocrino, por otro lado algunas investigaciones aseguran que en largos periodos de exposición produce lesiones graves en los órganos genitales (masculino y femenino) (Boucaud-Maitre et al., 2019).

El Carbofurano es clasificado como pesticida “poco persistente” según la DOT, se caracteriza por ser estable en suelos con materia orgánica y en el agua, además, de presentar una persistencia elevada en este último, por lo que puede contaminar tanto aguas superficiales como subterráneas, a razón de esto, se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma para agua potable en Holanda (IRET, 2018; Kharbouche, Gil García, Lozano, Hamaizi, & Galera, 2019).

Este pesticida es elevadamente tóxico para insectos (abejas y especies benéficas), zooplancton, crustáceos peces y aves, las cuales se pueden contaminar al alimentarse de pequeños insectos que han estado expuestos a estos a este pesticida por lo que en algunos cultivos es utilizado como avicida para el control de loros en cultivos de maíz (OMS, 2014).

El uso de pesticidas en el mundo cobra alrededor de 8000 muertes por intoxicación al año (Boucaud-Maitre et al., 2019), de allí, las restricciones de uso en algunos países; sin embargo, en el caso de Colombia se evidencia un alto grado de indiferencia en la adopción de estas políticas de control y restricción por parte de los entes gubernamentales (Ldrovo, 2014) .

La falta de control del uso de pesticidas en Colombia, puede estar generando problemáticas de salud pública, principalmente a poblaciones vulnerables. En la literatura se reportan algunos estudios de muertes y malformaciones genéticas, asociadas al consumo de agua contaminadas con pesticidas (Salcedo, Díaz, González, Rodríguez, & Varona, 2012; Tonón-Marulanda, 2010). Los pesticidas en Colombia son el segundo causante de intoxicaciones a la salud humana (después de las sustancias psicoactivas) (Chaparro-Narváez & Castañeda-Orjuela, 2015; López et al., 2015):

*Tabla 9.* Intoxicaciones por grupo de sustancia, Colombia (2017).

GRUPO	No. CASOS	%
Medicamentos	13372	33,7
Sustancias psicoactivas	9640	24,3
<b>Plaguicidas</b>	<b>8423</b>	<b>21,2</b>
Otras sustancias	5320	13,4
Solventes	1332	3,4
Gases	1168	2,9
Metanol	267	0,7
Metales	187	0,5
Total general	39709	100

Fuente: (SIVIGILA, 2017; Varona & Idrovo, 2016).

Por otro lado, constituyen la principal causa de muerte a nivel nacional (2% de los casos de intoxicación por pesticidas):

Tabla 10. Muertes por intoxicaciones por grupo de sustancia química, Colombia, 2017.

GRUPO	No. MUERTES	%
<b>Plaguicidas</b>	<b>150</b>	<b>57,47</b>
Sustancias psicoactivas	33	12,64
Medicamentos	29	11,11
Otras sustancias	27	10,34
Gases	12	4,60
Solventes	6	2,30
Metanol	4	1,53
Metales	0	0,00
Total general	261	100

Fuente: (SIVIGILA, 2017; Varona & Idrovo, 2016)

Las intoxicaciones generadas dentro de los cultivos de arroz, se deben mayormente a la falta de conocimiento técnico, falta de capacitaciones a los operarios y desconocimiento del grado de toxicidad de algunos pesticidas (Guzmán-Plazola, Guevara-Gutiérrez, Olguín-López, & Mancilla-Villa, 2016).

En Colombia, a razón de los elevados casos de intoxicación y muertes por pesticidas, el Instituto Nacional de Salud creó el programa “PICCVEO”, el cual consiste en generar una vigilancia epidemiológica de plaguicidas Organofosforados (OF) y carbamatos (C), mediante el análisis de la enzima acetilcolinesterasa en la población de los municipios participantes y las fuentes de agua que abastecen dichas poblaciones (Rosero, 2016).

## Capítulo 8

### Normatividad para pesticidas

El desarrollo económico y la seguridad alimentaria ha llevado a la industria agrícola a implementar procesos de producción basados en el uso de compuestos químicos, los cuales generan impactos negativos al medio ambiente y la salud humana; esto, obligó a organizaciones internacionales a generar mecanismos normativos para la regulación del uso de dichos compuestos. Además, algunos países han desarrollado convenios internacionales para la prohibición y control de la comercialización de sustancias peligrosas para la salud humana (Nivia, 2012):

- Convenio de Basilea (Control de movimientos fronterizos de sustancia toxicas).
- Protocolo de Montreal (Prohibición de sustancias que destruyen la capa de ozono).
- Convenio de Rotterdam (Control del comercio de sustancias peligrosas).
- Convenio de Estocolmo (Prohibición de compuestos orgánicos persistentes)

Para el caso de los pesticidas se pueden recalcar los convenios y protocolos creados para la regulación del uso de pesticidas, tales como el Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas, el cual esta direccionado al aseguramiento de la producción agrícola, minimizando los impactos ambientales que estos generan (FAO, 2006b), también existen varias listas de pesticidas prohibidos a nivel mundial por el peligro que representan para la salud humana y el medio ambiente, de estas las más importantes son las expedidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) (FAO, 2011; OMS, 2009).

## Regulación colombiana para pesticidas

En Colombia la norma que rige el uso y manejo de pesticidas es el decreto 1843 de 1991, este establece las directrices para la comercialización de pesticidas a nivel nacional con el fin de evitar afectaciones al medio ambiente y la salud pública, sin embargo, esta ley no genera sanciones ambientales por el uso indebido de estos compuestos (Ministerio de Salud, 1991).

Debido a la falta de regulación estricta con respecto al uso de pesticidas, Colombia ocupa la cuarta posición a nivel mundial en exposición a pesticidas (Chaparro-Narváz & Castañeda-Orjuela, 2015). En términos generales se puede afirmar que toda población colombiana se encuentra expuesta a pesticidas directa o indirectamente (Salcedo et al., 2012).

Actualmente, Colombia solo restringe los pesticidas clasificados por la OMS como “extremadamente tóxicos” y algunos “altamente tóxicos”(ICA, 2016), de allí la problemática por el uso de pesticidas, ya que no se toman en cuenta aquellos con una clasificación menor, los cuales pueden generar problemáticas ambientales y sociales de igual magnitud a los más tóxicos (Boucaud-Maitre et al., 2019). Actualmente, más del 41% de los pesticidas disponibles en el mercado colombiano están prohibidos por la OMS o la FAO (Nivia, 2012).

Para el caso del pesticida Carbofurano, Colombia posee varias normas de regulación para su uso en producciones agrícola (ICONTEC, 2004; Social, 2007), sin embargo, la falta de control y verificación en los procesos de producción en la industria agrícola por parte de las entidades competentes, vuelven estas normas prácticamente obsoletas; a razón, de que las sanciones ambientales por el uso indebido de este pesticida son poco severas, además, en la mayoría de los casos no se detectan los incumplimientos por parte de los agricultores (Díaz, 2016).

## Capítulo 9

### Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz

El rápido crecimiento económico genera cada vez más problemáticas al medio ambiente, lo que obliga al ser humano a generar alternativas de producción sostenible; en el caso de la industria arrocera y las grandes cantidades de residuo de cascarilla de arroz que esta produce, ha impulsado investigaciones que se han enmarcado en el aprovechamiento de este material, incorporándolo a procesos industriales o buscando alternativas de disposición final amigables con el medio ambiente (Montes et al., 2012; Samper, 2004).

En países en vía de desarrollo, se han propuesta diversas alternativas de aprovechamiento económicas y de fácil incorporación en algunos procesos industriales (Abril et al., 2014; Prada & Cortés, 2013).

Clasificación de los usos que se le dan a la cascarilla de arroz en países de la región andina y Latinoamérica:

- Generación de biocombustible.
- Creación de bloques de concreto.
- Sustrato en los cultivos hidropónicos.
- Como camas para la cría de aves.
- Generación de compost y abonos.
- Material adsorbente para la descontaminación de fuentes hídricas.

Tabla 11. Estudios de uso de la cascarilla de arroz en países latinoamericanos y de la zona andina.

País	Uso	Estudio	fuentes
Ecuador	Sustitución del biodiesel	Reemplazar el uso de diésel por cascarilla de arroz empleado para generación de vapor. aspectos técnicos y económicos	(Urquiza, Acero, & Rodríguez, 2011)
Perú	Biocombustible	Combustible alternativo: la cascarilla de arroz	(Assureira, 2006)
Costa Rica	Formación de poliuretanos	Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos	(Vargas et al., 2013)
Nicaragua	Producción de bioetanol	Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol	(Arias Ortiz & Meneses Cruz, 2016a)
Colombia	Bloques para construcción	Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción	(Mafla B., 2017; Novoa Galeano, Becerra León, & Vásquez Piñeros, 2017)
Colombia	Sustrato en cultivos hidropónicos	Propuestas de mejora del manejo logístico y tecnológico de sustratos con cascarilla de arroz usados en los cultivos de clavel en la sabana de Bogotá	(Castro & Arango, 2013)
Colombia	Cama para cría de aves	Estudio de gestión ambiental para la empresa avícola agrícola mercantil del cauca - AGRICCA S.A	(Gomez, 2012)
Perú	Carbón activado		
		Optimización de la producción de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la adsorción de Cromo (VI)	(Manrique, 2014)
Colombia	Material adsorbente	La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación	(Llanos Páez, Ríos Navarro, Jaramillo Páez, & Rodríguez Herrera, 2017)
Ecuador		Adsorción del colorante anaranjado 2 GL sobre sílice activa elaborada a partir de cascarilla de arroz	(Adolfo, Robles; Juana, Carriazo; Garriazo, 2015)

Principales estudios sobre las alternativas de uso de la cascarilla de arroz

## Capítulo 10

### Cascarilla de arroz como material adsorbente

La depuración de vertimientos es una de las principales necesidades de los procesos industriales en la actualidad, sin embargo, los sistemas de tratamiento convencionales son excesivamente costosos y no remueven contaminantes específicos como metales pesados y pesticidas (Lara, Tejada, Villabona, & Arrieta, 2017), por lo que se han estudiado tecnologías alternativas de bajo costo que suplan esta necesidad.

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, & González, 2013; Tejada Tovar, Ruiz Paternina, Gallo Mercado, & Moscote Bohorquez, 2015).

La adsorción se produce por la acción de fuerzas de atracción presentes en la superficie del sólido, de acuerdo a la naturaleza de estas fuerzas la adsorción se puede clasificar en:

Tabla 12. Tipos de adsorción

Adsorción física	Adsorción química
Las interacciones entre la superficie del material y el contaminante son de naturaleza física, fundamentalmente fuerzas de Van der Waals. Por lo que no hay transferencia de cargas, manteniéndose la individualidad	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.
Adsorbente y el adsorbato, por lo que es un proceso reversible.	Los grupos funcionales son de diversa naturaleza de acuerdo al tipo de modificación

Fuente: (Tovar, Ortiz, & Villadiego, 2017).

La adsorción posee la ventaja de ser versátil, conveniente en diferentes procesos y fácil de producir, siendo el carbón activado el mejor de las tecnologías de adsorción, sin embargo, debido a su alto costo de producción no se ha implementado a gran escala (Valladares, 2016).

Una de las alternativas más viables para la obtención de materiales adsorbentes es la cascarilla de arroz, debido a que en la industria arrocera es tratada como desecho y su disposición final se da mediante incineración, lo que ocasiona otras problemáticas ambientales por lo que su adquisición no requiere ningún costo (Arias Ortiz & Meneses Cruz, 2016b).

De acuerdo a la composición de la cascarilla de arroz (ver tabla 9), esta no posee cualidades para la obtención de carbón activado (Lombard-Latune et al., 2018), debido a que su estructura es mayormente silicio (>90%); sin embargo, su estructura natural posee una buena porosidad y área superficial, cualidades que se pueden aumentar mediante una activación física o química. Dando como resultado un buen material adsorbente (Arias Ortiz & Meneses Cruz, 2016b; Deokar & Mandavgane, 2015).

Además de su potencial adsorbente, la cascarilla también ha sido utilizada en algunos estudios, para la degradación de compuestos como el Carbofurano, a través de mezclas biológicas con hongos ligníticos en donde se ha reportado una efectividad de degradación de la toxicidad del pesticida en un 100% (Madrigal-Zúñiga et al., 2016).

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:

*Tabla 13. Metodologías de activación de la cascarilla de arroz y su efectividad.*

Contaminante	Metodología de activación	Eficiencia en pruebas de adsorción	Fuente
Cromo (III)	Cascarilla de arroz natural	49,2%	(Milena Rodríguez, Paola Salinas, Alberto Ríos, & Yolanda Vargas, 2012)
	Activada con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	54,5%	
	Activada con NaOH	72,8%	
Cromo (VI)	Trituración e incineración	94%	(Doria, Hormaza, & Gallego, 2011)
	Pretratamiento a vapor		(Toncón , Leal; Sanchez, 2015)
Mercurio (II)	Impregnación con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Térmico en mufla	95%	
Colorante amarillo anaranjado	Térmico	66%	(Adolfo, Robles; Juana, Carriazo; Garriazo, 2015)
Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	Mezcla: 90% cascarilla 10% carbón	8,66%	(Deokar & Mandavgane, 2015)
Metil-parathion	Tratamiento térmico	82%	(Akhtar, Hasany, Bhangar, & Iqbal, 2007)
Colorante verde malaquita	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> y carbonización	88%	(Rahman, Saad, Shaidan, & Sya Rizal, 2005)
	NaOH y carbonización	>95%	(Rahman et al., 2005)
<b>Carbofurano</b>	Térmico con Nitrógeno	84%	(Vithanage, Mayakaduwa, Herath, Ok, & Mohan, 2016)

## **Análisis de las técnicas de activación de la cascarilla de arroz**

Si bien, no existe mucha bibliografía respecto a las técnicas de activación de la cascarilla de arroz como material adsorbente para la remoción de contaminantes en cuerpos de agua, es posible el análisis teórico de los resultados expresados en la tabla 14, tomando en cuenta los diferentes parámetros que intervienen en el proceso:

### **Fundamentos fisicoquímicos**

Generalmente, la extracción de contaminantes mediante el uso de biomasa residual, se da por la presencia de componentes orgánicos, tales como carbohidratos, proteínas y grupos funcionales, e inorgánicos como iones metálicos y de diferente valencia (Padrón et al., 2013), por ello, para el estudio del porqué de las eficiencias obtenidas, se debe de tomar en cuenta todas las variables que intervienen en el proceso:

#### *Efecto de la temperatura*

Un choque térmico sobre el material adsorbente puede generar un cambio en la textura del mismo, en el tamaño de los poros de su estructura y en el área superficial de la misma, lo que puede ser un inconveniente a la hora de retener contaminantes a base de pigmentos, ya que su adsorción se basa netamente en una captación física por fuerza de Van Der Waals, esto, a razón de que no existe una atracción electrostática de iones que intervengan en el proceso, sin embargo, la integración de dos técnicas de activación, tanto física (térmica) como química (adición de grupos funcionales) puede aumentar el grado de eficiencia, ya que la captación del contaminante no se determinaría por las condiciones de la estructura, sino que también habría una atracción de los grupos funcionales del adsorbato como en el sorbente, esto podría ser la razón por la cual en el estudio de (Rahman et al., 2005), la eficiencia de adsorción de colorante verde de malaquita, aumenta cuando se efectúan dos técnicas de activación en la cascarilla de

arroz, tomando en cuenta que realizaron un control de la temperatura en ambos procesos (Barrios-Ziolo, Gaviria-Restrepo, Agudelo, & Cardona Gallo, 2015).

### *Efecto del pH*

El pH de la solución en la cual se da el proceso de adsorción es fundamental para el resultado final de la cinética generada, principalmente cuando intervienen grupos metálicos, debido a que es el parámetro que determina la distribución de partículas en el material adsorbente y determina la adherencia de aniones y cationes, en donde es más efectivo para el primero en valores  $>$  a 4,5 y para el segundo en valores entre 1,5 y 4 (Tejada-Tovar et al., 2015), por tal razón, en la adsorción de este tipo de contaminantes, el control del valor del pH es casi tan importante como la técnica de activación a implementar (Tejada Tovar, Villabona Ortiz, & Ruiz Paternina, 2014).

### *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 pueden 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, Fernandez, & 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).

Tabla 14. Análisis comparativo de las técnicas de modificación de la cascarilla de arroz, respecto a diferentes contaminantes en medio acuoso.

### Comparación de las técnicas de activación

Cte. Tec.	Cromo (III)	Cromo (VI)	Mercurio (II)	Colorante amarillo anaranjado	Ácido 2,4-diclorofenoxi acético	Metil-parathion	Colorante verde malaquita	Carbofurano
Cascarilla de arroz natural	Evidencia las propiedades adsorbentes naturales que posee la cascarilla de arroz y encuentra una afinidad hacia los metales pesados, mediante adsorción física.							
Activada con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Evidencia una cierta afinidad entre grupos funcionales, sin embargo, no es una eficiencia significativa que justifique su implementación a gran escala para la remoción de metales pesados.							
Activada con NaOH	Evidencia una mayor eficiencia de remoción, debido a una mayor afinidad entre grupos funcionales.							
Trituración e incineración	Justifica la importancia de la optimización de la estructura del sorbente, aumentando su área superficial y tamaño de poros.							
Pretratamiento a vapor Impregnación con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Térmico en mufla	La conjugación de un pre tratamiento y un tratamiento físico y químico, garantiza una alta eficiencia de remoción del contaminante a tratar, debido, a que se eliminan impurezas del material y se genera una atracción química de grupos funcionales, atracción electrostática de los iones y física mediante la optimización de la estructura del sorbente.							
Térmico	Se evidencia una eficiencia aceptable de remoción, sin embargo, esta se podría potenciar mediante el control de las variables que intervienen en el proceso, o bien, realizando una activación adicional.							
Mezcla: 90% cascarilla 10% carbón	Se evidencia una eficiencia en la combinación de dos materiales adsorbentes, esto tal vez por la ausencia de afinidad entre los materiales y el contaminante, o por la falta de una optimización del material y un catalizador del proceso.							

ANÁLISIS

Tratamiento térmico	Es posiblemente el tratamiento más adecuado para la adsorción de todo tipo de contaminantes, debido a que es el que optimiza la estructura del sorbente, mediante la adición de poros y el aumento del área superficial del mismo.	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> y carbonización	Si bien, el tratamiento térmico es el mismo, la variación de la eficiencia entre ambas activaciones radica en la afinidad de los grupos funcionales entre adsorbato y sorbente, los cuales son adicionados por el tratamiento químico. De allí la importancia de generar una catálisis del proceso por medio de la atracción de iones y cationes.	
NaOH y carbonización		
Térmico con Nitrógeno	Si bien es el único tratamiento que se efectúa en la bibliografía en donde se concluye una eficiencia de remoción, es clara la determinación del porqué. El tratamiento térmico garantiza la optimización de la estructura del material, mientras que la utilización del nitrógeno genera una atracción entre grupos funcionales, ya que el ácido carbámico (principio activo del Carbofurano) también posee en su estructura nitrógeno, lo que aumenta la atracción entre sorbente y adsorbato.	

Fuentes: (Adolfo, Robles; Juana, Carriazo; Garriazo, 2015; Akhtar et al., 2007; Deokar & Mandavgane, 2015; Doria et al., 2011; Milena Rodríguez et al., 2012; Rahman et al., 2005; Toncón, Leal; Sanchez, 2015; Vithanage et al., 2016)

## Conclusiones

- De acuerdo con la literatura, la técnica de modificación física mediante el tratamiento térmico de la cascarilla, fue la más efectiva en la adsorción de todo tipo de contaminantes, debido a que es el tratamiento encargado de optimizar la estructura del material adsorbente mediante la mejora de la estructura porosa y el aumento del área superficial del material, sin embargo, es necesario la utilización de un método químico adicional para catalizar el proceso de atracción del contaminante hacia la superficie del adsorbente. Por otro lado, es necesario la realización de estudios investigativos que confirmen la información solicitada por la literatura investigada en esta monografía.
- Colombia posee uno de los mejores rendimientos arroceros de Latinoamérica, no obstante, los procesos de producción en su mayoría generan impactos negativos a la sociedad y al medio ambiente; esto se debe principalmente a la indiferencia por parte del gobierno a la hora de promover sistemas de producción sostenibles y a la falta de apoyo y garantías hacia los pequeños productores.
- La problemática ambiental y social generada por el mal manejo y uso de los pesticidas en Colombia, se debe principalmente a la falta de políticas de control y monitoreo a los grandes productores, además, de la falta de capacitación de los pequeños productores en el manejo de estos agroquímicos.
- El Carbofurano es un agroquímico que genera una utilidad a la industria arrocerera, sin embargo, es necesario implementar un sistema de control y restricción de su uso, para reducir la incidencia de problemáticas de salud pública y contaminación ambiental que este ocasiona.

- La cascarilla de arroz puede ser utilizada para la remoción de colorantes, agroquímicos y metales pesados, presentando una mayor eficiencia en estos últimos, sin embargo, es necesaria la adaptación de este material adsorbente en sistemas de tratamiento a escala industrial, de manera que se optimice su eficiencia en estos procesos.

## **Recomendaciones**

Es necesaria la realización de estudios referentes al impacto que generan los pesticidas más tóxicos permitidos Colombia, de manera que se justifique la implementación de políticas de control y seguimiento al uso de estos compuestos. Por otro lado, se recomienda contemplar el uso de materiales adsorbentes (obtenidos de desechos agrícolas) en sistemas de tratamiento de agua residual convencionales y no convencionales para la remoción de contaminantes específicos, buscando una producción agrícola sostenible.

A partir de la revisión realizada en esta monografía, se recomienda realizar ensayos investigativos de activación de la cascarilla de arroz por métodos térmicos y realizar estudios de adsorción de contaminantes en medio acuoso, ya sean metales pesados o agroquímicos, con el fin de continuar el enfoque de este trabajo, el cual es la descontaminación del recurso hídrico mediante técnicas de bajo costo e implementación.

### Referencias bibliográficas

- Abril, D., Navarro, E. A., & Abril, A. J. (2014). aprovechamiento LA PAJA DE ARROZ. CONSECUENCIAS DE SU MANEJO Y ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO. *ResearchGate*, (January).
- Adolfo, Robles; Juana, Carriazo; Garriazo, J. (2015). Adsorción de colorante amarillo anaranjado en solución acuosa utilizando carbones activados obtenidos a partir de desechos agrícolas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(2), 135–147. Retrieved from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2015000200006&lang=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000200006&lang=pt)
- Agri-Nova. (2017). Agricultura. El cultivo del arroz. 1ª parte. Retrieved May 19, 2019, from <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>
- AGRONET. (2014). INDICADORES ECONOMICOS DEL ARROZ. Retrieved May 11, 2019, from <https://www.agronet.gov.co/Paginas/Resultados-de-busqueda.aspx?k=arroz#Default=%7B%22k%22%3A%22arroz%22%7D%23d5f5e2e8-eb0f-41e6-a11c-04e4b5fd95a4=%7B%22k%22%3A%22arroz%22%7D>
- Akhtar, M., Hasany, S. M., Bhangar, M. I., & Iqbal, S. (2007). Low cost sorbents for the removal of methyl parathion pesticide from aqueous solutions. *Chemosphere*, 66(10), 1829–1838. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.006>
- Angarita, W. (2015). Incidencia Del Sector Agrario En La Dinámica Del Comercio Exterior Colombiano. *Trabajo de Grado Especialización Gerencia de Comercio Internacional*, 1, 28. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Arias Ortiz, R. A., & Meneses Cruz, J. D. (2016a). *Caracterización residuos agroindustriales ( cascarilla de arroz y cascarilla de café ), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol*. 122.
- Arias Ortiz, R. A., & Meneses Cruz, J. D. (2016b). *Caracterización residuos agroindustriales ( cascarilla de arroz y cascarilla de café ), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol*. 122. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>
- Assureira, E. (2006). Combustible alternativo: la cascarilla de arroz. *PORTAL DE ASUNTOS PÚBLICOS DE LA PUCP*, 1–6.
- Atehortua, E., & Gartner, C. (2013). ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA BIOMASA SECA DE EICHHORNIA CRASSIPES COMO ADSORBENTE DE PLOMO Y CROMO EN AGUAS PRELIMINARY. *Revista Colombiana de Materiales*, 4(1), 81–92. Retrieved from <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/materiales/article/view/15084>
- Barrios-Ziolo, L. F., Gaviria-Restrepo, L. F., Agudelo, E. A., & Cardona Gallo, S. A. (2015). Tecnologías Para La Remoción De Colorantes Y Pigmentos Presentes En Aguas Residuales. Una revisión. *Dyna*, 82(191), 118–126. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.42924>
- Beatríz, M., & Almarza, R. (2007). *Determinación de la Composición Química y Propiedades Físicas y Químicas del Pulido de Arroz (Oryza sativa L.)*.
- Benassi, L., Bosio, A., Dalipi, R., Borgese, L., Rodella, N., Pasquali, M., ... Bontempi, E. (2015). Comparison between rice husk ash grown in different regions for stabilizing

- fly ash from a solid waste incinerator. *Journal of Environmental Management*, 159, 128–134. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2015.05.015>
- Benavides, A. V., & Jara, E. I. (2014). *Comparación de tres sistemas de riego para la producción de arroz con tres densidades de siembra en Zamorano*. 1–27.
- Boucaud-Maitre, D., Rambourg, M. O., Sinno-Tellier, S., Puskarczyk, E., Pineau, X., Kammerer, M., ... Langrand, J. (2019). Human exposure to banned pesticides reported to the French Poison Control Centers: 2012–2016. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 69(March), 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.017>
- Calvo, E. (2012). Impactos ambientales de la quema de biomasa. *UNMSM*, 1–7.
- CAR. (2010). *Distritos de riego CAR*. Retrieved from [file:///C:/Users/MASTER/Downloads/Carta Ambiental 25.pdf](file:///C:/Users/MASTER/Downloads/Carta%20Ambiental%2025.pdf)
- Castro, D. S., & Arango, M. S. (2013). *Propuestas de mejora del manejo logístico y tecnológico de sustratos con cascarilla de arroz usados en los cultivos de clavel en la sabana de Bogotá*. Retrieved from <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/6312>
- Cazón, J. P. (2012). Remoción de metales pesados empleando algas marinas. Universidad Nacional de la Plata.
- CESDE. (2015). El arroz. In *Formación academica*. Retrieved from [http://files.cocinacaliente.webnode.es/200000015-22833237d8/El ARROZ.pdf](http://files.cocinacaliente.webnode.es/200000015-22833237d8/El%20ARROZ.pdf)
- Chaparro-Narváez, P., & Castañeda-Orjuela, C. (2015). Mortalidad debida a intoxicación por plaguicidas en Colombia entre 1998 y 2011. *Biomédica*, 35(0), 90–102. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2472>
- Chartuni, E., & Magdalena, C. (2017). Manual de agricultura de precisión. In *Procisur*. Retrieved from [http://www.procisur.org.uy/adjuntos/fb97915de88a\\_ura\\_de\\_precision.pdf](http://www.procisur.org.uy/adjuntos/fb97915de88a_ura_de_precision.pdf)
- Chica L., J., Tirado O., Y. C., & Barreto O., J. M. (2016). Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 16. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.49>
- CIAT. (2017). Producción eco eficiente del arroz en America Latina. In *Produccion Eco-Eficiente del Arroz en America Latina Tomo I*. Retrieved from [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/2010\\_Degiovanni-Produccion\\_eco-eficiente\\_del\\_arroz.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf)
- Committee, chemical R. (2017). CRC-11 / 3 : Carbofuran. *Convenio de Rotterdam*.
- Cuevas, A. (2012). Manejo Integrado de Plagas en el Cultivo del Arroz. *Instituto Colombiano Agropecuario*, 52.
- DANE. (2018). Encuesta nacional de arroz mecanizado. In *Boletín técnico*. Retrieved from [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol\\_arroz\\_Isem15.pdf?phpMyAdmin=a9ticq8rv198vhk5e8cck52r11](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_Isem15.pdf?phpMyAdmin=a9ticq8rv198vhk5e8cck52r11)
- DANE, & FEDEARROZ. (2018). *Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) 2018*. 1–17.
- DANE, & FEDEARROZ. (2018). *Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) I Semestre 2018*. 1–17.

- Deniz, F. (2013). Dye removal by almond shell residues : Studies on biosorption performance and process design. *Materials Science & Engineering C*, 33(5), 2821–2826. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.03.009>
- Deokar, S. K., & Mandavgane, S. A. (2015). Rice Husk Ash for Fast Removal of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid from Aqueous Solution. *Adsorption Science & Technology*, 33(5), 429–440. <https://doi.org/10.1260/0263-6174.33.5.429>
- Diaz, J. (2016). *LA INFLUENCIA DEL ORDENAMIENTO JURIDICO COLOMBIANO EN LA IMPLEMENTACION DE PLANES POSCONSUMO DE RESIDUOS PELIGROSOS*. Universidad Libre.
- Doria, G. M., Hormaza, A., & Gallego, D. (2011). Cascarilla de arroz: material alternativo y de bajo costo. *Gestion y Ambiente*, 14(1), 73–84.
- EAAA. (2015). Ficha de vertimientos del municipio de El Espinal, Tolima. In *Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo del Espinal*.
- FAO. (2004). *El arroz y el agua: una larga historia matizada*.
- FAO. (2006). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. Retrieved May 16, 2019, from [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Pila-de-cascarilla-de-arroz-FAO-2006\\_fig1\\_307631222](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Pila-de-cascarilla-de-arroz-FAO-2006_fig1_307631222)
- FAO. (2006). Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. (*Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y El Desarrollo*), 35. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-a0220s.pdf>
- FAO. (2011). “*Manual para el Registro de Plaguicidas en Centroamérica*.”
- FAO. (2017). Seguimiento del mercado del Arroz de la FAO. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*, 10.
- Fedearroz. (2015). Adopción masiva de tecnología - Guía de trabajo. *AMTEC*, 29.
- FEDEARROZ. (2017). IV Censo nacional arrocero 2016. *Division de Investigaciones Económicas*. Retrieved from [http://www.fedearroz.com.co/doc\\_economia/Libro zona Bajo Cauca.pdf](http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Libro zona Bajo Cauca.pdf)
- FEDEARROZ. (2017). PLAN ESTRATÉGICO FONDO NACIONAL DEL ARROZ 2011 – 2020. *FONDO NACIONAL DEL ARROZ*, 38.
- FEDEARROZ. (2018). *CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ARROZ EN PERÚ*. 66.
- Fernández, C. (2012). Tratamientos De Depuración De Aguas Residuales Contaminadas Con Pesticidas. *Vetor Plus Artículos*, 78–87. Retrieved from [http://repositorio.ulpgc.es/bitstream/10553/6652/1/0231633\\_00029\\_0006.pdf](http://repositorio.ulpgc.es/bitstream/10553/6652/1/0231633_00029_0006.pdf)
- FRAG. (2015). *El Riego por Aspersión*.
- Gomez, E. (2012). ESTUDIO DE GESTION AMBIENTAL PARA LA EMPRESA AVICOLA AGRICOLA MERCANTIL DEL CAUCA - AGRICCA S.A.
- Gonzales, X. (2015). Propuesta de investigación para el manejo sustentable del cultivo de arroz en la sierra, tolima. *SEMILLERO COMPETITIVIDAD ECONOMICA AMBIENTAL - CEA PROYECTO CURRICULAR ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL Autoras:*, 9(2), 29–32.
- González B., M., & Alonso, A. M. (2017). Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz. *Nova*, 14(26), 111. <https://doi.org/10.22490/24629448.1757>
- Guzmán-Plazola, P., Guevara-Gutiérrez, R. D., Olguín-López, J. L., & Mancilla-Villa, O.

- R. (2016). Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. *Idesia (Arica)*, 34(3), 69–80. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300009>
- ICA. (2016). Subgerencia Protección y Regulación Agrícola Restricciones, Prohibiciones y Suspensión de Registros Restricciones, Prohibiciones y Suspensión de Registros. *Instituto Colombiano Agropecuario*, 10. Retrieved from <http://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/PLAGUICIDAS-PROHIBIDOS.aspx>
- ICONTEC. (2004). NTC 2591. *ICONTEC*.
- IRET. (2018). carbofuran. Retrieved May 18, 2019, from MANUAL DE PLAGUICIDAS DE CENTROAMÉRICA website: <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/101-carbofuran>
- IUPAC, Psicol, D., Elena, M. E. M., Medina-mora, M. E., Soc, P., Palacios-espinoza, X., ... Fishkind, A. (2007). CARBOFURAN DATOS. *Lancet Neurology*, 6(4), 256–260. <https://doi.org/10.1021/ac901271f>
- Kharbouche, L., Gil García, M. D., Lozano, A., Hamaizi, H., & Galera, M. M. (2019). Solid phase extraction of pesticides from environmental waters using an MSU-1 mesoporous material and determination by UPLC-MS/MS. *Talanta*, 199(September 2018), 612–619. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.02.092>
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, A., & Arrieta, A. (2017). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista Ion, Investigación, Optimización y Nuevos Procesos En Ingeniería*, 29(2), 111–122. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009>
- Ldrovo, A. J. (2014). Intoxicaciones masivas con plaguicidas en Colombia. *Biomédica*, 19(1), 67. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v19i1.1009>
- Liotta, M. (2015). RIEGO POR GOTEÓ. *UCAR*, 15. Retrieved from [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manual\\_riego\\_por\\_goteo.pdf%0Afile:///C:/Users/SURI/OneDrive/Documentos/inta\\_manual\\_riego\\_por\\_goteo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf%0Afile:///C:/Users/SURI/OneDrive/Documentos/inta_manual_riego_por_goteo.pdf)
- Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C. A., & Rodríguez Herrera, L. F. (2017). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia*, 11(2), 150–160. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a12>
- Lombard-Latune, R., Pelus, L., Fina, N., L'Etang, F., Le Guennec, B., & Molle, P. (2018). Resilience and reliability of compact vertical-flow treatment wetlands designed for tropical climates. *Science of the Total Environment*, 642, 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.036>
- López, K., Pinedo, C., & Zambrano, M. (2015). Prácticas de Salud Ocupacional y niveles de biomarcadores séricos en aplicadores de plaguicidas de cultivos de arroz en Natagaima-Tolima, Colombia. *Revista de Toxicología*, 32(2), 102–106. [https://doi.org/10.3319/TAO.2008.19.5.473\(T\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2008.19.5.473(T))
- Madrigal-Zúñiga, K., Ruiz-Hidalgo, K., Chin-Pampillo, J. S., Masís-Mora, M., Castro-Gutiérrez, V., & Rodríguez-Rodríguez, C. E. (2016). Fungal bioaugmentation of two rice husk-based biomixtures for the removal of carbofuran in on-farm

- biopurification systems. *Biology and Fertility of Soils*, 52(2), 243–250.  
<https://doi.org/10.1007/s00374-015-1071-7>
- MAESTRIA UNI: LOS INNOVADORES. (2012). VIVIENDAS ECOLOGICO – ECONOMICAS DE INTERES SOCIAL. Retrieved May 17, 2019, from <http://innovadores2008.blogspot.com/2008/04/viviendas-ecolgieconmicas-de-inter.html>
- Mafla B., A. (2017). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *Inventum*, 4(6), 74–78.  
<https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.4.6.2009.74-78>
- Manea, A. D. (2014). Influences of Religious Education on the Formation Moral Consciousness of Students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 149, 518–523. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.08.203>
- Manrique, P. (2014). OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ Y SU USO EN LA ADSORCIÓN DE CROMO (VI). Retrieved May 18, 2019, from Alicia website: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM\\_1e2b5ee44b8f8ab4829166e1664ad4fa/Description#tabnav](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_1e2b5ee44b8f8ab4829166e1664ad4fa/Description#tabnav)
- Manuel, A., & Nievas, R. (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de arroz. *UTMACH*, 1(1), 767–777.
- Marchesi, C. (2002). El arroz, Pilar de la alimentación mundial. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*, 52(1), 1–5.
- Maria, J., & Bernis, F. (2018). *EL NUEVO SISTEMA DE SIEMBRA EN SECO DEL ARROZ*. Retrieved from [www.regantsesquerra.org](http://www.regantsesquerra.org)
- Mattey, P., Robayo, R., Díaz, J., Delvasto, S., & Monzó, J. (2015). APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ OBTENIDA DE UN PROCESO AGRO-INDUSTRIAL PARA LA FABRICACION DE BLOQUES EN CONCRETO NO ESTRUCTURALES. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 33(2), 285–294.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000200011>
- Mazari, M. (2014). Agricultura y contaminación del agua. *Problemas Del Desarrollo.*, 45(177), 199–201. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362014000200011&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362014000200011&lang=es)
- Milena Rodríguez, Y., Paola Salinas, L., Alberto Ríos, C., & Yolanda Vargas, L. (2012). Adsorbentes A Base De Cascarilla De arroz En La Retención De Cromo De Efluentes De La Industria De Curtiembres. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 146 . 156. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a17>
- Minambiente. (2015). Resolución 631. *Republica de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2015(49). Retrieved from [https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R\\_MADS\\_0631\\_2015.pdf](https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf)
- Ministerio de Salud. (1991). Decreto Número 1843 De 1991. *Ministerio de Salud*, 1991(julio 22), 1–49. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio del medio ambiente. (2015). Guia Ambiental Del Arroz. *Ministerio Del Medio*

- Ambiente*, 1–34.
- MINVIVIENDA. (2017). ESTADO Y AVANCES SANEAMIENTO BASICO “MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.” In *Republica de Colombia*. Retrieved from [http://www.minvivienda.gov.co/Ministerio/Normativa/Vivienda/Decretos/0075 - 2013.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Ministerio/Normativa/Vivienda/Decretos/0075-2013.pdf)
- Montes, G., Candelo Ricardo, & Muñoz de Gaviria, A. M. (2012). *La Economía del Arroz en Colombia*.
- Moreira, M. D. A. (2018). Guía para el establecimiento y monitoreo del cultivo de arroz bajo la metodología del SRI. *FEDEARROZ*, 44. Retrieved from <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2017/07/SRI-Colombia-Guia-para-Establecimiento-y-Monitoreo-del-Cultivo-de-arroz-bajo-SRI-VF-Enero-2018.pdf>
- Muñoz, J., & Posada, A. (2014). SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO Y METANOL A PARTIR DE LA GASIFICACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ CON VAPOR. *Instituto de Energía y Termodinámica, Universidad Pontificia Bolivariana Sede Medellín*, 165, 122–131.
- Mussatto, S. I., Fernandes, M., Rocha, G. J. M., Órfão, J. J. M., Teixeira, J. A., & Roberto, I. C. (2010). Production, characterization and application of activated carbon from Brewer’s spent grain lignin. *Bioresource Technology*, 101(7), 2450–2457. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.025>
- Nivia, E. (2012). Los plaguicidas en Colombia. Retrieved May 19, 2019, from Revista Semillas website: <http://www.semillas.org.co/es/los-plaguicidas-en-colombia>
- Novoa Galeano, M. A., Becerra León, L. D., & Vásquez Piñeros, M. P. (2017). La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.233>
- Nunell, G. V, Fernandez, M. E., & Bonelli, P. R. (2013). Desarrollo de un adsorbente específico en base a biomasa forestal para el tratamiento terciario de aguas contaminadas con iones nitrato. *VII CAIQ, 2das(JASP)*.
- Observatorio De Corporaciones Transnacionales. (2007). La producción y el comercio internacional de arroz. *OCT*, (16), 54.
- Ochoa, E., Chica, E., & Álava, E. (2017). Comparación de un sistema de intensificación del cultivo de arroz (SICA) con sistemas tradicionales de siembra en la zona de Churute, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i1.121>
- OMS. (2009). The who recommended classification of pesticides by hazard. *IPCS*, 6(2), 103. Retrieved from [https://www.invima.gov.co/images/stories/normatividad/decreto\\_1843\\_1991.pdf](https://www.invima.gov.co/images/stories/normatividad/decreto_1843_1991.pdf)
- OMS. (2014). Carbofuran. *World Health Organization*, 673–674. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00108-1>
- Padrón, R., Rodríguez, C., Gómez, A., García, A., & González, C. L. (2013). El Carbón Activado, un material adsorbente. *Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos,” I(c)*, 16.
- Prada, A., & Cortés, C. E. (2013). *LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO*

- INTEGRAL*. 14(1), 155–170. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>
- PRO-A. (2016). El Sistema de Intensificación del Cultivo Arrocero (SICA). *Asociación de Promoción y Desarrollo Agrario*, (01), 1–6.
- Quispe, I., Navia, R., & Kahhat, R. (2017). Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review. *Waste Management*, 59, 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.001>
- Rahman, I. A., Saad, B., Shaidan, S., & Sya Rizal, E. S. (2005). Adsorption characteristics of malachite green on activated carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process. *Bioresource Technology*, 96(14), 1578–1583. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.015>
- Ramírez, J. M., Gómez, D., Becerra, A., & Por, P. (2013). Política Comercial para el Arroz. *FEDESARROLLO*.
- Rosero, L. (2016). Protocolo Programa PICCVEO. *Instituto Nacional de Salud*, 12. Retrieved from [https://www.ins.gov.co/TyS/Documents/PROTOCOLO\\_PICC-VEO\\_2016.pdf](https://www.ins.gov.co/TyS/Documents/PROTOCOLO_PICC-VEO_2016.pdf)
- Salcedo, A., Díaz, S., González, J., Rodríguez, A., & Varona, M. (2012). Exposición a plaguicidas en los habitantes de la ribera del Río Bogotá (Suesca) y en el pez Capitán. *Revista Ciencias de La Salud*, 10(SPECIAL ISSUE), 29–41. <https://doi.org/10.12804/REVISTAS.UROSARIO.EDU.CO/REVSALUD/A.2026>
- Samper, A. (2004). *Síntesis P Anorámica De La Economía Agrícola Actual En Colombia*. 217–240. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/17768/1/13447-37925-1-PB.pdf>
- Sánchez, V., Gutiérrez, C., Gomez, D., Loewy, M., & Guiñazú, N. (2016). Residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos en aguas subterráneas de bebida en las zonas rurales de Plottier y Senillosa, Patagonia Norte, Argentina Organophosphate and carbamate pesticide residues in drinking groundwater in the rural areas of P. *Acta Toxicológica Argentina*, 24(1), 48–57.
- Satayeva, A. R., Howell, C. A., Korobeinyk, A. V., Jandosov, J., Inglezakis, V. J., Mansurov, Z. A., & Mikhalovsky, S. V. (2018). Investigation of rice husk derived activated carbon for removal of nitrate contamination from water. *Science of the Total Environment*, 630, 1237–1245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.329>
- Secretaría del Convenio de Rotterdam. (2017). Aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a productos químicos prohibidos o rigurosamente restringidos. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*.
- Sepúlveda, C. I. M. (2009). *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento u adopción de buenas prácticas agrícolas*.
- Serrano, T., & Borrachero, M. V. (2012). MORTEROS ALIGERADOS CON CASCARILLA DE ARROZ: DISEÑO DE MEZCLAS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES. *Dyna*, 79(175), 128–136.
- Shamah, T., Cuevas, L., Mayorga, E., & Valenzuela, D. (2014). Consumo de alimentos en América Latina y el Caribe. *An Venez Nutr*, 27(1), 40–46.
- Sierra Aguilar, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en*

- Colombia. Universidad de Sucre.
- SIVIGILA, I. nacional de salud. (2017). Boletín epidemiológico. *Minsalud*, 1–45.
- Social, M. de la protección. (2007). *RESOLUCION NÚMERO 2906 DE 2007*.
- Solís Fuentes, J. A., Morales Téllez, M., Ayala Tirado, R. C., & Durán de Bazúa, M. D. C. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña Activated carbon from agroindustrial wastes for color removal from sugarcane juice. *Tecnología Ciencia (IMIQ)*, 27(1), 36–48. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48224413006>
- Song, X. (2014). Carbofuran. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 1, 673–674. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00108-1>
- Steiner, R. (2008). La creatividad como un desafío para la educación del siglo XXI Creativity as a Challenge to Education in the Xxi Century. *Universidad de La Sabana. Facultad de Educación.*, 191–210.
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109–123. <https://doi.org/ISSN: 0123-7799>
- Tejada Tovar, C., Ruiz Paternina, E., Gallo Mercado, J., & Moscote Bohorquez, J. (2015). Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb (II) en solución. *Prospectiva*, 13(1), 59. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.360>
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, A., & Ruiz Paternina, E. (2014). Remoción de Pb (II), Ni (II) y Cr (VI) en soluciones acuosas usando matrices modificadas químicamente. *Prospectiva*, 12(2), 7–17. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i2.265>
- Toncón, Leal; Sanchez, S. (2015). *ADSORCIÓN DE Hg(II) CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO A PARTIR DE CASCARILLA DE CAFÉ PRETRATADA CON EXPLOSIÓN DE VAPOR*.
- Tonón-Marulanda, F. (2010). Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. *Revista de Salud Pública*, 12(2), 300–307.
- Tovar, C. T., Ortiz, Á. V., & Villadiego, M. J. (2017). Remoción de cromo hexavalente sobre residuos pretatados químicamente. *Actualidad y Divulgación Científica*, 20(1), 139–147.
- Universidad nacional autónoma de México. (2016). Arroz (*Oryza Sativa*). Retrieved May 16, 2019, from [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20&Itemid=24](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=24)
- Urquiza, J., Acero, H., & Rodríguez, J. (2011). REEMPLAZAR EL USO DE DIESEL POR CASCARILLA DE ARROZ. *Revista Tecnológica ESPOL*, 63(August), 29–32. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19195>
- UTZ. (2013). LISTA DE PLAGUICIDAS PROHIBIDOS Y LISTA DE PLAGUICIDAS EN VIGILANCIA. *Rotterdam*, 0–18.
- Valladares, M. (2016). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55–73. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>

- Vargas, J., Alvarado, P., Vega, J., & Porras, M. (2013). Caracterización del subproducto cascarilla de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Científica*, 23(1), 87–102.
- Varona, M. E., & Idrovo, A. J. (2016). Determinantes sociales de la intoxicación por plaguicidas entre cultivadores de arroz en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 18(4), 617. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n4.52617>
- Vithanage, M., Mayakaduwa, S. S., Herath, I., Ok, Y. S., & Mohan, D. (2016). Kinetics, thermodynamics and mechanistic studies of carbofuran removal using biochars from tea waste and rice husks. *ScienceDirect Chemosphere Journal*, 150, 781–789. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.002>
- Yeganeh, M. M., Kaghazchi, T., & Soleimani, M. (2006). Effect of Raw Materials on Properties of Activated Carbons. *Chemical Engineering & Technology*, 29(10), 1247–1251. <https://doi.org/10.1002/ceat.200500298>
- Yersey, D. de salud y servicios mayores de N. (2005). *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas*. Retrieved from <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0341sp.pdf>
- Zhao, X., Becker, G. C., Faweya, N., Rodriguez Correa, C., Yang, S., Xie, X., & Kruse, A. (2017). Fertilizer and activated carbon production by hydrothermal carbonization of digestate. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13399-017-0291-5>