



## *Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa*

### *Use of rice husk (*Oryza sativa*) for the production of cellulose fibres*

### *Uso de casca de arroz (*Oryza sativa*) para obtenção de fibras de celulose*

Génesis Alejandra Zambrano-Zambrano <sup>I</sup>  
[gzambrano2164@utm.edu.ec](mailto:gzambrano2164@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-5602-8833>

Valery Lilibeth García-Macías <sup>II</sup>  
[vgarcia9392@utm.edu.ec](mailto:vgarcia9392@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-0634-0976>

Carlos Alfredo Cedeño-Palacios <sup>III</sup>  
[alfredo.cedeno@utm.edu.ec](mailto:alfredo.cedeno@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-2698-9254>

Ulbio Eduardo Alcívar-Cedeño <sup>IV</sup>  
[ulbio.alcivar@utm.edu.ec](mailto:ulbio.alcivar@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-7941-6401>

**Correspondencia:** [gzambrano2164@utm.edu.ec](mailto:gzambrano2164@utm.edu.ec)

Cienciasde naturales  
Artículo de revisión

\***Recibido:** 15 de febrero de 2021 \***Aceptado:** 10 de marzo de 2021 \* **Publicado:** 08 de abril de 2021

- I. Egresada de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Egresada de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Ingeniero Agroindustrial, Magister en Procesamiento de Alimentos, Doctor en Ciencias Agrarias, Departamento de Procesos Químicos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- IV. Ingeniero Agroindustrial, Magister en Administración Ambiental, Doctor en Ciencias Técnicas, Departamento de Procesos Químicos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.



## Resumen

La tendencia actual está orientada hacia la sostenibilidad, por ello, es necesario encontrar procesos eficientes y amigables con el medio ambiente para darle valor agregado a residuos agroindustriales que generan contaminación como la cascarilla de arroz en un país productor de arroz como Ecuador. Esta revisión tiene por objetivo analizar el aprovechamiento de la cascarilla de arroz para la obtención de fibras de celulosa. Para el desarrollo de este artículo se realizó la investigación bibliográfica que permitió identificar que para extraer el material celulósico de la cascarilla de arroz es fundamental separar las fibrillas de los demás componentes de la estructura lignocelulósica a través de las diferentes modificaciones del método Kraft para que la separación se produzca en óptimas condiciones, destacando un rendimiento del 96% utilizando hidróxido de sodio. La utilización de la cascarilla de arroz permite mitigar la huella ecológica generada por la agroindustria ya que permite dar un valor agregado a este residuo que no es aprovechado y que se proyecta como una materia prima potencial para la obtención de fibras de celulosa la cual puede ser empleada en la producción de papel y en la elaboración de materiales poliméricos totalmente biodegradables.

**Palabras claves:** Cascarilla de arroz; sostenibilidad; celulosa; agroindustria; Ecuador.

## Abstract

The current trend is oriented towards sustainability, so efficient and environmentally friendly processes must be found to add value to agro-industrial waste that generates pollution such as rice husk in a rice-producing country like Ecuador. This review aims to analyse the use of rice husks for the production of cellulose fibres. For the development of this article, bibliographic research was carried out that it was possible to identify that in order to extract the cellulosic material from the rice husk it is essential to separate the fibrils from the other components of the lignocellulosic structure through the different modifications of the Kraft method so that the separation takes place in optimal conditions, highlighting a 96% yield. The use of the rice husk makes it possible to mitigate the ecological footprint generated by the agro-industry because it allows to give an added value to this waste that is not used and that is projected as a potential raw material for obtaining cellulose fibres which can be used in the production of paper and in the production of fully biodegradable polymeric materials.

**Keywords:** Rice husk; sustainability; cellulose; agro-industry; Ecuador.

## Resumo

A tendência atual está voltada para a sustentabilidade, portanto, é necessário encontrar processos eficientes e ecologicamente corretos para dar valor agregado aos resíduos agroindustriais que geram poluição como a casca de arroz em um país produtor de arroz como o Equador. O objetivo desta revisão é analisar o uso da casca de arroz na obtenção de fibras de celulose. Para o desenvolvimento deste artigo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que permitiu identificar que para extrair o material celulósico da casca de arroz é fundamental separar as fibrilas dos demais componentes da estrutura lignocelulósica por meio das diferentes modificações do método Kraft para que a separação ocorra em condições ótimas, destacando um rendimento de 96% usando hidróxido de sódio. O uso da casca de arroz permite mitigar a pegada ecológica gerada pelo agronegócio, pois permite agregar valor a esse resíduo que não é aproveitado e que se projeta como potencial matéria-prima para obtenção de fibras de celulose que podem ser utilizadas na produção de papel e na produção de materiais poliméricos totalmente biodegradáveis.

**Palavras-chave:** Rice husk; sustentabilidade; celulose; indústria agrícola; Equador.

## Introducción

Hoy en día la utilización de residuos agroindustriales como materia prima de bajo costo en procesos químicos y biotecnológicos ha adquirido gran importancia debido al uso de recursos renovables en lugar de los petroquímicos. La biomasa lignocelulósica es de especial interés por su elevada disponibilidad, así como las diferentes fuentes agroindustriales que lo generan (Álvarez et al., 2012). En Ecuador, el sector agrícola se considera uno de los principales de la economía, pues genera el 8% del PIB y actualmente cubre el 95% de la demanda interna de los alimentos que consume la población (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019; Peralta et al., 2018). En el año 2019 se registró una producción agrícola de 25 millones de toneladas con 2,2 millones de hectáreas sembradas, siendo los principales cultivos: cacao, arroz, palma aceitera, maíz duro seco, banano, plátano, caña de azúcar, café arábigo y papa (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020) que constituyen las materias primas empleadas en la agroindustria con la finalidad de obtener alimentos o materias primas semielaboradas, sin embargo como resultado de estas actividades se generan residuos agroindustriales lignocelulósicos que representan cantidades significativas y son considerados un problema ambiental (Corredor, 2018).

Una de las agroindustrias más representativas a nivel de Ecuador es el procesamiento de arroz, generando desechos como la paja, cascarilla, ceniza, salvado y arroz partido (Pode, 2016). Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) - ESPAC (2018) en conjunto con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2020), el cultivo de arroz es el cuarto con mayor producción al nivel del Ecuador, cosechándose alrededor de 1,6 millones de toneladas por año que generan alrededor del 20% de cascarilla (Ávila, 2019; Costa, 2018). Este último es un residuo que debido a sus características abrasivas y alto contenido de cenizas y sílice, aproximadamente 18-20% y 15-20%, respectivamente (Syarif et al., 2016; Pode, 2016), no es empleada en la alimentación de animales siendo quemadas de manera descontrolada o depositadas en botaderos (Proaños et al., 2014).

La eliminación de estos desechos representa un foco de contaminación que deben enfrentar todos los países pues el arroz es una de las plantas más cultivadas en el mundo con una producción de alrededor de 1 200 millones de toneladas al año, por ende, se generan toneladas de residuos todos los días y gran parte de estos no tiene una disposición final adecuada (Costa et al., 2018). En países de América Latina y en Ecuador, no se da un aprovechamiento eficiente a estos residuos tanto en el proceso agroindustrial como en la postcosecha, debido a que se le considera de poco valor, ya que solo se utiliza como combustible sólido, cama para animales, material para abonos y para la construcción (Riera et al., 2018; Proaños et al., 2014).

Es por esto que la utilización de recursos renovables como el caso de la cascarilla de arroz es de gran interés para la industria (Cury et al., 2017), las recientes investigaciones están enfocadas en encontrar nuevas metodologías para una amplia gama de aplicaciones, como la producción de energía, aproximadamente una tonelada de cascarilla de arroz puede generar 800 kW/h de energía eléctrica (Pode, 2016), así como los diferentes bioprocesos para la obtención de bioetanol, biohidrógeno, bioplaguicidas fúngicos y ácido láctico láctico (Sala et al., 2020; Tosuner et al., 2019; Madu et al., 2018; Proaños et al., 2014), además de su aprovechamiento en la obtención de fibras de celulosa debido a su alto contenido de este compuesto entre 35-40% (Gao et al., 2018), este último, constituye la materia prima de propiedades similares a las de las fibras de celulosa que se usan hoy en día para textiles y papel (Reddy et al., 2009; Reddy et al., 2007), es el precursor de la nanocelulosa, un material único y prometedor que ha destacado por sus aplicaciones en la elaboración de productos de base biológica, que pueden dar solución a numerosos problemas, como la reducción de productos

derivados del petróleo, la huella de carbono y la sostenibilidad (Nechporchuk et al., 2016; Lin et al., 2014).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta revisión es analizar el aprovechamiento de la cascarilla de arroz para la obtención de fibras de celulosa, para dar una alternativa de solución a la problemática ambiental que conllevan, así como también a la generación de nuevos materiales sostenibles.

## Metodología

Para el desarrollo de este artículo se realizó la investigación bibliográfica de tipo explorativo y descriptivo a través de diferentes fuentes de información, entre reportes técnicos y artículos de revistas, empleando ecuaciones de búsqueda relacionadas al tema de estudio que se presenta en la siguiente Tabla.

**Tabla 1:** Ecuaciones de búsqueda empleadas en la revisión.

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Resultados</b>
Producción de arroz Ecuador	9
Aprovechamiento de la cascarilla de arroz	4
Propiedades de la cascarilla de arroz	14
Celulosa características y obtención	15
Obtención de celulosa a partir de la cascarilla de arroz	10
Celulosa SEM, TEM, FTIR	5
Usos de la celulosa	8
Total	65

Elaborado por: Los Autores.

Como se observa en la Tabla 1, se emplearon siete (7) ecuaciones de búsqueda, dando un total de 65 documentos encontrados que fueron seleccionados de acuerdo al año de publicación, idioma y la base de datos que se encuentre indizada la revista para garantizar la calidad y veracidad de la información como se detalla a continuación.

**Tabla 2:** Descripción de las fuentes consultadas.

Año de Publicación		Idioma		Indización Revista	
2016-2020	≤ 2015	Español	Inglés	Scopus/WOS	Regionales
65%	35%	39%	61%	69%	31%

Elaborado por: Los Autores.

Para estimar estos porcentajes se consideraron las 65 fuentes bibliográficas citadas en el caso de año e idioma de publicación, mientras que para la base de datos se tomó en cuenta a los 59 artículos de investigación, el restante corresponde a reportes técnicos que aportaron con datos y análisis estadísticos dentro de esta revisión, entonces, la mayor parte de la literatura citada es reciente, en idioma inglés, y en el caso de las revistas el 69% está indizada en las bases de datos de Scopus/WOS.

## Desarrollo

### Arroz y cascarilla de arroz en la agroindustria ecuatoriana

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), una definición común y tradicional de la agroindustria se refiere a la subserie de actividades de manufacturación mediante las cuales se elaboran materias primas y productos intermedios derivados del sector agrícola. La agroindustria significa la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

Por medio de la agroindustria se impulsa el desarrollo económico, social y ambiental, siempre que se sustente un balance entre la actividad desarrollada y la protección del medio ambiente en cada proceso, desde el manejo de la materia prima hasta su posterior distribución y colocación final de los subproductos generados (Corredor & Pérez, 2018).

La agroindustria puede clasificarse en dos clases, la industria alimentaria y las no alimentarias, mientras que la segunda está compuesta por las industrias proveedoras de materia prima (como la molienda de trigo y arroz) y consumidoras de materia prima (como la fabricación de pan) (Mejías et al., 2016).

El sector agroindustrial del Ecuador es históricamente una parte determinante de la economía del país (Gavilanes et al., 2017) y los últimos años se puede observar avances. Estos avances promueven el aumento de la productividad del país ya que mantienen la dinámica de la economía.

Los productos de origen agrícola que se han industrializado y además obtenidos productos derivados de calidad generan un valor agregado (Martínez & García, 2018).

El cultivo de arroz es el cuarto más extenso en el Ecuador, está localizado principalmente en la región Costa. La mayor superficie de terrenos cosechados se encuentra en la provincia del Guayas con 237,17 ha, seguido de Los Ríos con 107,27 ha y Manabí con una aportación de 17,74 ha (INEC, 2016).

El cultivo de arroz es uno de los pocos cultivos de ciclo corto que se han mantenido estables a pesar de la variabilidad de la agricultura ya que es una de las principales fuentes alimenticias, forma parte de la dieta de los habitantes de la Costa Ecuatoriana, se consumen anualmente alrededor de 53,20 kilogramo por habitante (Viteri & Zambrano, 2016).

Cada año, millones de libras de cascarilla de arroz son generadas por los países productores de arroz y la mayoría se desecha como subproducto de desecho. La cascarilla de arroz representa aproximadamente el 20% del peso seco de la cosecha de arroz (Jacometti et al., 2015).

La producción de arroz para el 2020 según organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO) indica que ascenderá a 509,2 millones de toneladas, con un 1.7% más que en 2019 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020).

### **Caracterización fisicoquímica de la cascarilla de arroz**

La cascarilla de arroz es la capa más externa del grano de arroz que se separa de los granos de arroz durante el proceso de molienda. Diversos autores coinciden que la cascarilla de arroz contiene en su estructura alrededor de 35 a 40% de celulosa, 15 a 20% de hemicelulosa y 20 a 25% de lignina (Gao et al., 2018). Entre sus características fisicoquímicas se menciona la densidad de 1125 kg/m<sup>3</sup>, con un poder calorífico de 1 kg de cascarilla de arroz de 3300 kcal, 6,62% de humedad y un área superficial de 272,50 m<sup>2</sup>/g (Llanos et al., 2016; Ummah et al., 2015). La cascarilla del arroz durante el crecimiento representa baja densidad y gran volumen. Las capas de la cascara de arroz son de cuatro tipos: estructurales, fibrosas, esponjosas o celulares. La fracción inorgánica contiene entre un 95% y un 98% en peso de sílice hidratada amorfa en promedio (Fernandes et al., 2016).

La superficie abaxial o externa de la cascarilla de arroz, llamada exocarpo, se caracteriza por tener una estructura simétrica constituida por celdas convexas (presencia de papilas simples), las cuales están separadas por surcos y granos de compuestos de silicio dispersos sobre toda la superficie. Hay presencia de macropelos unicelulares (estructuras aciculares) con un tamaño promedio de 200 μm.

El tamaño de los microfotolitos (cuerpos de sílice) varía entre 2,2 y 7,5  $\mu\text{m}$  y el tamaño promedio de las superficies redondeadas y de los surcos está entre 50 x 45,64 y 21,52  $\mu\text{m}$  respectivamente. La superficie adaxial o interna (endocarpo) de la muestra de cascarilla presenta celdas cóncavas con una distancia promedio de 46,98  $\mu\text{m}$  entre ellas. (Arcos et al., 2007)

La composición química de la cascarilla de arroz se encuentra dada por 39,1% de carbono, 5,2% de hidrógeno, 0,6% de nitrógeno, 37,2% de oxígeno, 0,1% de azufre y 17,8% de cenizas (Prada & Cortés, 2010).

### **Limitaciones del uso de la cascarilla de arroz**

Recientemente se han empleado diferentes metodologías para la extracción de celulosa a partir de la cascarilla de arroz, aun así, es necesario superar algunos inconvenientes de este residuo que dificultan el tratamiento de la estructura lignocelulósica afectando al rendimiento en el proceso de producción (Ullah et al., 2019; Kargarzadeh et al., 2017). Así pues, la extracción de las fibras de celulosa de la cascarilla de arroz es todo un desafío debido a las siguientes limitantes que se detallan a continuación.

### **Bajo rendimiento en la remoción de lignina y hemicelulosa**

En la pared celular de la cascarilla de arroz, la celulosa existe en un complejo lignocelulósico junto con la lignina y la hemicelulosa, la lignina está constituida por grupos carboxilos y fenólicos y la hemicelulosa por polímeros heterogéneos de pentosas (Wang et al., 2016; Chávez et al., 2013). Al unirse mediante enlaces de hidrógeno intermoleculares e intramoleculares, los polímeros de celulosa presentan una estructura de microfibrillas en la naturaleza (Wang et al., 2016). Para extraer dichas fibras, el tratamiento termoquímico es un proceso común y eficaz para destruir los enlaces químicos que mantienen unidas a la matriz lignocelulósica (Chio et al., 2019), sin embargo, en algunos estudios no se logra una eficaz remoción, reportando valores de 28% de remoción de lignina en la cascarilla de arroz en el pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 6% (He et al., 2008), un rendimiento bajo en comparación con otros residuos lignocelulósicos como el bagazo de la caña de azúcar que presentó una remoción de 41% en hidrólisis alcalina (Rezende et al., 2011). Además, en la investigación de Torres et al., (2017) se determinó el efecto de diferentes pretratamientos químicos: hidróxido de sodio al 10%, ácido sulfúrico al 10% y combinado, todos a 70°C, sobre la

composición química del aserrín de madera, bagazo de caña y cascarilla de arroz, este último residuo presentó mayores porcentajes remoción de lignina en la hidrólisis alcalina y combinada con valores de 54,3% y 72,9%, respectivamente, sin embargo se evidenció una pérdida considerable de celulosa de 19,8% y 15,8% en cada caso, los autores demostraron una disminución del 13% en la cristalinidad en el tratamiento alcalino, es decir se incrementó la proporción de la fase amorfa del material, esto se debe a que la cascarilla posee una mayor proporción de unidades guayacilo con la consecuente mayor recalcitrancia de su lignina. Es decir, la eficiencia de la hidrólisis se debe a factores como el área superficial, es decir un área menor dificulta el contacto entre el álcali y la lignina, la cristalinidad de la celulosa y el contenido de lignina que este posea (Pabón et al., 2019).

### **Elevado contenido de sílice y cenizas**

El proceso tradicional de pulpas a la soda antraquinona (AQ) consiste en cocinar las materias primas lignocelulósicas a altas temperatura en una solución conocida como licor blanco que disuelve la lignina para obtener pulpa y una solución altamente concentrada de materia orgánica, en su mayor parte lignina entre el 30-45% y químicos usados (Adel et al., 2016; Gilarranz et al., 1998), denominada licor negro que usualmente se quema en el horno de recuperación, siendo la lignina la mayor fuente de energía térmica, con el objetivo de producir energía para el molino y recuperar los químicos de la pulpa (Adel et al., 2016), no obstante, cuando se utilizan residuos agrícolas, los molinos operan a su capacidad de diseño por la elevada concentración de sílice que dificulta la combustión y se generan derrames de licor negro (Gilarranz et al., 1998).

De acuerdo con el análisis de las características fisicoquímicas de diferentes variedades de arroz de cuatro países realizado por Valverde et al., (2007), la cascarilla de arroz posee en promedio 19,54 % de ceniza, donde se concentra el contenido de dióxido de sílice que supera el 90 % y se considera altamente reactivo.

En consecuencia, la producción de celulosa utilizando residuos como la cascarilla de arroz, se limitan los procesos de recuperación por la presencia elevada de sílice en el licor negro que se descarga sin tratamiento previo (Gilarranz et al., 1998). Por otro lado, estudios recientes han demostrado la efectividad de nuevos métodos acerca de la pirólisis de ligninas derivadas del licor negro, tal como el estudio de Zhang et al., (2017) que da a conocer al despulpado soda-oxígeno, como método eficaz de despulpado ya que puede alcanzar una tasa de deslignificación del 70% antes de 100 °C, además de la acción sinérgica de los álcalis y el oxígeno ocasionando una mayor degradación de la lignina

y una menor pérdida de carbohidratos con un rendimiento de la pulpa superior al 50%, por último se presenta un menor contenido de sílice en el licor negro, la viscosidad disminuye, lo que facilita la evaporación y la combustión. También es posible sintetizar simultáneamente celulosa y un biofiller de lignina-sílice a partir de cascarilla de arroz, como se manifiesta en la investigación de Barana et al., (2019), en la cual, la celulosa se procesó más para producir nanocristales de celulosa, mientras que la lignina y la sílice se coprecipitaron del licor negro con un rendimiento global del 35%; 12% en los nanocristales de celulosa y el restante para el material inorgánico/orgánico.

### **Química y aislamiento de celulosa**

La celulosa es el biopolímero natural más abundante y ha recibido una gran atención debido a sus buenas propiedades mecánicas, reactividad química y ser un recurso renovable (Wei et al., 2015), por lo cual su producción va en aumento de más 1,5 billones de toneladas por año (Maepa et al., 2015), es de origen vegetal principalmente de la madera de los árboles hasta en un 90% y en el algodón que contiene hasta un 98% (Gupta et al., 2016), también está presente en menores proporciones en la cáscara de los cereales como maíz, trigo y arroz, considerados como residuos (De Oliveira et al., 2017).

Independientemente de la fuente, la celulosa presenta una estructura compleja con dos niveles de organización, el nivel supramolecular compuesto por regiones cristalinas y amorfas y el nivel molecular que consiste en unidades de D-anhidroglucopiranosas (AGU) dispuestas en la configuración de silla, unidas por enlaces  $\beta$ -1,4-glicosídicos que dan como resultado un giro alternativo del eje de la cadena de celulosa por  $180^\circ$  (Trivedi et al., 2019). Cada AGU repetida posee tres grupos hidroxilo, un grupo primario en C6 y dos grupos secundarios en C2 y C3 que pueden formar enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares dando lugar a la formación de estructuras cristalinas tridimensionales altamente ordenadas. (Trivedi et al., 2019; Heinze, 2015).

Es fundamental conocer el grado de polimerización (GP), índice de cristalización (CI) y la estabilidad térmica de cualquier material celulósico para la optimización de sus procesos de conversión, tanto a escala de laboratorio como industrial ya que de esto depende la calidad de los productos a base de celulosa (Mattonai et al., 2018), como por ejemplo el papel, cuyo grado de polimerización es de 1200, sin embargo, las reacciones químicas de ácido-hidrólisis, pirólisis y la oxidación provocan la despolimerización de la celulosa (Crespo et al., 2020).

### **Proceso de obtención de celulosa a partir de residuos lignocelulósicos**

El proceso de extracción de fibras de celulosa utilizando residuos lignocelulósicos como la cascarilla de arroz es un gran desafío debido a la naturaleza protectora bioquímica y estructural de la lignocelulosa, por lo cual, para aislar las fibras se debe eliminar en primer lugar a la lignina, en este proceso se pierde una cierta cantidad de carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) debido a que no hay un químico completamente selectivo hacia este componente (Wu et al., 2018; Khalil et al., 2012). El proceso kraft es el método de extracción de fibras de celulosa más aplicado en el mundo, de manera general, los procesos de conversión empleados comprenden tres etapas: reducción del tamaño de partícula, tratamiento alcalino o deslignificación y blanqueamiento (Battezzore et al., 2014), estos procesos han sido descritos por varios investigadores con diferentes metodologías que generan diferentes rendimientos los cuales se muestran más adelante.

### **Reducción de tamaño de partícula**

La finalidad de reducir el tamaño de partículas es facilitar el acceso del ácido o del álcali a las zonas cristalinas de la estructura lignocelulósica para separar la lignina de la celulosa, se utilizan maquinas trituradoras o molinos de acción mecánica, posteriormente se hace pasar por el tamiz para optimizar el proceso de separación de la celulosa, el tamaño oscila entre 0,5-3mm (Torres et al., 2017; Johar et al., 2012).

### **Tratamiento alcalino**

Este tratamiento se lo realiza para purificar la celulosa, eliminando la región amorfa de hemicelulosas y lignina de las fibras celulósicas a través del tratamiento de la biomasa con hidróxido de sodio o hidruro de potasio como álcali a elevadas temperaturas de entre 90-160°C o a la temperatura de reflujo durante un lapso de 1-2h en combinación con sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>S) (Johar et al., 2012).

### **Proceso de blanqueamiento**

Después del tratamiento alcalino, se puede blanquear la pulpa, para obtener un producto más blanco con menor cantidad de impurezas y una mejor resistencia al envejecimiento, se lo realiza en varias

etapas empleando sustancias de naturaleza oxidantes como peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), entre otras (Khalil et al., 2012).

### Métodos de extracción de fibras de celulosa utilizando cascarilla de arroz

Según Hokkanen et al., (2016) la madera es la materia prima por excelencia para la producción comercial de celulosa, para producir una tonelada de papel virgen se requiere de 2 a 3,5 toneladas de árboles, este proceso demanda grandes cantidades de agua, energía y químicos, así como también genera un impacto ambiental negativo para el planeta (Place, 2006), debido a la deforestación de bosques, esta situación ha dado paso a la investigación de otros materiales lignocelulósicos que pudieran sustituir a la madera (F.A.O, 2008), alrededor del 89% de la producción mundial de celulosa proviene de la madera mientras que solo el 11% se fabrica a partir de otras fibras (Place, 2006), especialmente de residuos agroindustriales como la cascarilla de arroz, que ha llamado la atención por su elevada disponibilidad y poco aprovechamiento.

Bajo este contexto, en los últimos años diversos estudios han dado su aporte en la producción de celulosa a partir de la cascarilla de arroz como una posibilidad de llevar a cabo estos procesos a escala industrial. A continuación, se muestran los más relevantes.

**Tabla 3:** Métodos de extracción de fibras de celulosa a partir de la cascarilla de arroz.

Concentración del álcali o ácido	Condiciones	Rendimiento	Referencia
NaOH 4% (p/v) Tampón de ácido acético, clorito acuoso (1,7% en peso) + Agua destilada	NaOH, temperatura de reflujo, 2h Tampón+Agua, 100-130°C, 4h	96%	Johar <i>et al.</i> , 2012
NaOH o H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 2, 4, 6 y 8% (p/v)	Cuatro cambios escalonados: 40°C (4h)-60°C(20h); 40°C (4h)-80°C(20h); 60°C (4 h)-80°C(20h); 80°C (24h)	81% (8% NaOH, 80°C)  37% (8% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 80°C)	Wang <i>et al.</i> , 2016
NaOH/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 2, 4, 6 y 8% (p/v)/ 5% (p/v)	Cuatro cambios escalonados: 40°C (4h)-60°C(20h); 40°C (4h)-80°C(20h); 60°C (4 h)-80°C(20h); 80°C (24h)	88% (8% NaOH + 5% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 80°C,24h)	Wang <i>et al.</i> , 2016

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 7% (p/v) KOH 9% (p/v) NaClO <sub>2</sub> 5% (p/v)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 90°C, 2h KOH 90°C, 2h NaClO <sub>2</sub> +CH <sub>3</sub> COOH 75°C, 4h	26%	Battezzore <i>et al.</i> , 2014
NaOH 4% Tampón de acetato, clorito de sodio (1,7% en peso)	NaOH temperatura de reflujo, 3h Tampón, temperatura de reflujo, 4h	50%	Collazo <i>et al.</i> , 2018
NaOH 5% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 2% TAED 0,2% CH <sub>3</sub> COOH 80% (v/v)+HNO <sub>3</sub> 70% (v/v) C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 95% +H <sub>2</sub> O destilada	NaOH 121°C, 30 min H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y TAED 48°C, 12h CH <sub>3</sub> COOH+HNO <sub>3</sub> , 120°C, 30 min C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH+H <sub>2</sub> O destilada (lavado)	28%	Rosa <i>et al.</i> , 2012

Elaborado por: Los Autores.

### Técnicas de caracterización de celulosa

Las propiedades de la celulosa están ligadas a la estructura molecular y supramolecular, por lo cual su estudio ha sido motivo de interés durante años, se están utilizando técnicas como microscopía electrónica como Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Microscopía de transmisión electrónica (TEM) para analizar la morfología de la celulosa extraída (Krishnamachari *et al.*, 2011). Estudios en base a estas técnicas han demostrado que aglomeraciones de fibras indican la presencia de materiales aglutinantes como hemicelulosas y lignina, el diámetro de las fibras oscilan entre 3 a 20nm, sin embargo, depende de la fuente de celulosa (Naveda *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2016).

Agregando a lo anterior, las características del material celulósico dependen en gran medida de las interacciones entre las cadenas de celulosa y dentro de ellas, por esta razón es muy utilizada la Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) ya que es capaz de una determinación cualitativa rápida y no invasiva de interacciones covalentes y no covalentes dentro de la celulosa, lo que permite medir la cristalinidad del material, expresada como índices de cristalinidad luego de haber pasado por los distintos procesos (Kruer *et al.*, 2018).

Diversas observaciones a muestras de celulosa evidencian que presenta picos de absorción de los grupos hidroxilo (3200–3600 cm<sup>-1</sup>), C – H que se extiende desde los grupos –CH<sub>2</sub> (2700–3000 cm<sup>-1</sup>), C – O que se extiende (1000–1300 cm<sup>-1</sup>), estiramiento C– O – C (1164 cm<sup>-1</sup>), enlaces glicosídicos (895 cm<sup>-1</sup>), de esta manera se determinan las modificaciones de los conjuntos funcionales (Gupta *et al.*, 2016).

### Usos y aplicaciones de la celulosa

El uso de la celulosa ha sido una de las más aplicadas en diferentes campos de la industria, que van desde la producción de papel hasta la elaboración de materiales poliméricos totalmente biodegradables. Estas fibras naturales que son de origen agroindustriales han sido objeto de estudio como agentes de refuerzo en materiales compuestos, y estos resultados han sido atractivos por su bajo costo y sus buenas propiedades mecánicas resultantes (Pinos & Braulio, 2019).

Como se mencionó anteriormente, la celulosa posee en cada monómero tres grupos hidroxilos que tienen gran afinidad con cationes de metálicos y metaloides, es por eso, que se usa ampliamente para remover contaminantes metálicos en aguas residuales principalmente (Basu et al., 2019).

La celulosa es capaz de mejorar las propiedades mecánicas de distintos materiales según lo afirma Battegazzore et al., (2014) que lograron mejorar las propiedades mecánicas y de permeabilidad al oxígeno (sin afectar la estabilidad térmica del ácido poliláctico), empleando tanto celulosa comercial y celulosa derivada de la cascarilla de arroz.

Finalmente, otra aplicación muy importante es la modificación química de la celulosa para producir derivados que poseen excelentes propiedades mecánicas, además son de bajo costo, reciclables y biocompatibles. Los derivados de celulosa como la nanocelulosa, se utilizan a menudo para modificar la liberación de fármacos en formulaciones de comprimidos y cápsulas y también como agentes aglutinantes de comprimidos, espesantes y de control de la reología, para la formación de películas, retención de agua y mejora de la fuerza adhesiva (Nascimento et al., 2016).

### Discusión

De las técnicas mencionadas en esta revisión para extraer fibras de celulosa de la cascarilla de arroz se obtiene mayores porcentajes de rendimiento de hasta el 96% utilizando hidróxido de sodio que realiza un efecto de saponificación en los enlaces intermoleculares unidos entre la xilano-hemicelulosa y la lignina, esto disminuye el grado de polimerización y cristalización y, por lo tanto, rompe los enlaces cruzados que existen en la estructura de la lignina, es decir se eliminó de forma eficiente la hemicelulosa y la lignina, dando como resultado fibras de celulosa casi puras, sin embargo, en la investigación de Rosa et al., (2012) se obtiene un rendimiento inferior de 28% debido a que no se adiciona cloro en la extracción y blanqueamiento la celulosa si no disolventes orgánicos,

no obstante, este rendimiento es muy similar al del 26% empleando ácido sulfúrico en la etapa de hidrólisis, esto evidencia que las condiciones básicas favorecen la hidrólisis de lignina y hemicelulosa a diferencia del tratamiento con ácido que se ve influenciado por la temperatura y el tiempo de reacción, por lo general a mayor tiempo de reacción tiende a disminuir el rendimiento del proceso como se muestra en el estudio de Ávila et al., (2018), además de la resistencia de la lignina frente al ácido sulfúrico como se observó en la investigación de Domínguez et al., (2012), aunque es posible la obtención de nanocelulosa a través de la oxidación de la celulosa mediante hidrólisis ácida para romper los enlaces glicosídicos de la misma.

En definitiva, los residuos lignocelulósicos se perfilan como una materia prima potencial para la obtención de importantes productos de interés como la celulosa cuyas aplicaciones van desde mejorar las propiedades mecánicas de ciertos materiales mencionados anteriormente hasta removedor de contaminantes en aguas residuales, actualmente, la madera es el recurso natural que contiene celulosa más explotado comercialmente, sin embargo en los últimos años ha crecido el interés hacia los subproductos agrícolas como fuente de celulosa, tal cual es el caso de la cascarilla de arroz. A pesar de que existen muchos logros prometedores en laboratorio o escala piloto todavía no existe una forma práctica para producir celulosa a partir de la cascarilla de arroz a escala industrial, sin embargo, una mayor investigación hacia métodos de obtención para optimizar el proceso a través del análisis del material celulósico, además de disminuir el tiempo de contacto con los reactivos sin afectar de forma significativa el rendimiento podría ser la clave para el aprovechamiento de este residuo en la industria de la celulosa ya que se cuenta con materia prima de bajo costo y disponible todo el año.

## Referencias

1. Adel, A. M., El-Gendy, A. A., Diab, M. A., Abou-Zeid, R. E., El-Zawawy, W. K., & Dufresne, A. (2016). Microfibrillated cellulose from agricultural residues. Part I: Papermaking application. *Industrial Crops and Products*, 93, 161-174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.043>
2. Álvarez-Castillo, A., García-Hernández, E., Domínguez-Domínguez, M. M., Granandos-Baeza, J., Aguirre-Cruz, A., & Morales-Cepeda, A. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 13(4), 140-150. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/283334651\\_APROVECHAMIENTO\\_INTEGRAL\\_DE\\_LOS\\_MATERIALES\\_LIGNOCELULOSICOS](https://www.researchgate.net/publication/283334651_APROVECHAMIENTO_INTEGRAL_DE_LOS_MATERIALES_LIGNOCELULOSICOS)

3. Arcos, C. A., Pinto, D. M., & Páez, J. E. R. (2007). La cascarilla de arroz como fuente de SiO<sub>2</sub>. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (41), 7-20. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43004102>
4. Ávila, J. M. S., Herrero, J. S., & Sastre, M. M. (2019). Ajuste cinético de reacciones en serie en la hidrólisis ácida de celulosa y hemicelulosa de cascarilla de arroz. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 7. <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.003608>
5. Ávila, J. M. S., Soler, J., & Menéndez, M. (2018). Hidrólisis ácida de cascarilla de arroz para la generación de azúcares reductores. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 6. <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.201802852>
6. Barana, D., Orlandi, M., Salanti, A., Castellani, L., Hanel, T., & Zoia, L. (2019). Simultaneous synthesis of cellulose nanocrystals and a lignin-silica biofiller from rice husk: Application for elastomeric compounds. *Industrial Crops and Products*, 141, 111822. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111822>
7. Basu, H., Saha, S., Mahadevan, I. A., Pimple, M. V., & Singhal, R. K. (2019). Humic acid coated cellulose derived from rice husk: A novel biosorbent for the removal of Ni and Cr. *Journal of Water Process Engineering*, 32, 100892. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100892>
8. Battezzore, D., Bocchini, S., Alongi, J., Frache, A. y Marino, F. (2014). Cellulose extracted from rice husk as filler for poly (lactic acid): preparation and characterization. *Celulose*, 21 (3), 1813-1821. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0207-5>
9. Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323629266003>
10. Chio, C., Sain, M., & Qin, W. (2019). Lignin utilization: a review of lignin depolymerization from various aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 232-249. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008>

11. Collazo-Bigliardi, S., Ortega-Toro, R., & Boix, A. C. (2018). Isolation and characterisation of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and comparative study with rice husk. *Carbohydrate polymers*, 191, 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.022>
12. Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
13. Costa, J. A. S., & Paranhos, C. M. (2018). Systematic evaluation of amorphous silica production from rice husk ashes. *Journal of Cleaner Production*, 192, 688-697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.028>
14. Crespo-Sánchez, G., Cabrera-Sánchez, J. L., Padrón-Padrón, A., & García-Sánchez, Z. (2020). Estimación del tiempo de vida útil restante en transformadores de fuerza a partir de la despolimerización de la celulosa del aislamiento. *Tecnología Química*, 40(1), 118-133. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852020000100118&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852020000100118&script=sci_arttext&tlng=pt)
15. Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R., & Ch, L. C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 122-132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
16. De Oliveira, J. P., Bruni, G. P., Lima, K. O., El Halal, S. L. M., da Rosa, G. S., Dias, A. R. G., & da Rosa Zavareze, E. (2017). Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. *Food chemistry*, 221, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.048>
17. Domínguez-Domínguez, M. M., Álvarez-Castillo, A., Granados-Baeza, M., & Hernández-Campos, F. (2012). Estudio de la cinética del pretratamiento e hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 13(4), 200-211. R de: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/SEP12/dominguez.pdf>
18. F. A. O. (2008). *Biocombustibles: Perspectivas, riesgos y oportunidades. El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma, 11.
19. Fernandes, I. J., Calheiro, D., Kieling, A. G., Moraes, C. A. M., Rocha, T. L. A. C., Brehm, F. A., & Modolo, R. C. E. (2016). Characterization of rice husk ash produced

- using different biomass combustion techniques for energy. *Fuel*, 165, 351–359. <https://doi:10.1016/j.fuel.2015.10.086>
20. Gao, Y., Guo, X., Liu, Y., Fang, Z., Zhang, M., Zhang, R., ... & Liu, R. H. (2018). A full utilization of rice husk to evaluate phytochemical bioactivities and prepare cellulose nanocrystals. *Scientific reports*, 8(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27635-3>
  21. Gilarranz, M. A., Rodriguez, F., Oliet, M., & Revenga, J. A. (1998). Acid precipitation and purification of wheat straw lignin. *Separation science and technology*, 33(9), 1359-1377. <https://doi.org/10.1080/01496399808544988>
  22. Gupta, V. K., Carrott, P. J. M., Singh, R., Chaudhary, M., & Kushwaha, S. (2016). Cellulose: a review as natural, modified and activated carbon adsorbent. *Bioresource technology*, 216, 1066-1076. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.106>
  23. He, Y., Pang, Y., Liu, Y., Li, X., & Wang, K. (2008). Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production. *Energy & Fuels*, 22(4), 2775-2781. <https://doi:10.1021/ef8000967>
  24. Heinze, T. (2015). Cellulose: structure and properties. In *Cellulose chemistry and properties: fibers, nanocelluloses and advanced materials* (pp. 1-52). Springer, Cham. [https://doi:10.1007/12\\_2015\\_319](https://doi:10.1007/12_2015_319)
  25. Hokkanen, S., Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2016). A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. *Water research*, 91, 156-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.048>
  26. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (INEC). Ecuador en cifras. Estadísticas agropecuarias, 2018 Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
  27. Johar, N., Ahmad, I., & Dufresne, A. (2012). Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.12.016>
  28. Kargarzadeh, H., Johar, N., & Ahmad, I. (2017). Starch biocomposite film reinforced by multiscale rice husk fiber. *Composites Science and Technology*, 151, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.08.018>

29. Khalil, H. A., Bhat, A. H., & Yusra, A. I. (2012). Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. *Carbohydrate polymers*, 87(2), 963-979. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.078>
30. Krishnamachari, P., Hashaikeh, R., & Tiner, M. (2011). Modified cellulose morphologies and its composites; SEM and TEM analysis. *Micron*, 42(8), 751-761. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2011.05.001>
31. Kruer-Zerhusen, N., Cantero-Tubilla, B., & Wilson, D. B. (2018). Characterization of cellulose crystallinity after enzymatic treatment using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). *Cellulose*, 25(1), 37-48. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1542-0>
32. Lin, N., & Dufresne, A. (2014). Nanocellulose in biomedicine: Current status and future prospect. *European Polymer Journal*, 59, 302-325. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.07.025>
33. Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C. A., & Rodríguez Herrera, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción+ Limpia*, 11(2), 150-160. <https://dx.doi.org/10.22507/pml.v11n2a12>
34. Madu, J. O., & Agboola, B. O. (2018). Bioethanol production from rice husk using different pretreatments and fermentation conditions. *3 Biotech*, 8(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-1033-x>
35. Maepa, C. E., Jayaramudu, J., Okonkwo, J. O., Ray, S. S., Sadiku, E. R., & Ramontja, J. (2015). Extraction and characterization of natural cellulose fibers from maize tassel. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 20(2), 99-109. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2014.961118>
36. Mattonai, M., Pawcenis, D., del Seppia, S., Łojewska, J., & Ribechini, E. (2018). Effect of ball-milling on crystallinity index, degree of polymerization and thermal stability of cellulose. *Bioresource technology*, 270, 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.029>
37. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019, Septiembre). *Agricultura, la base de la economía y la alimentación – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. [agricultura.gob.ec](http://agricultura.gob.ec). <https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la-alimentacion/>

38. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020, Junio). Panorama Agroestadístico. [sipa.agricultura.gob.ec](http://sipa.agricultura.gob.ec).  
[http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama\\_estadistico/panorama\\_estadistico.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf)
39. Nascimento, P., Marim, R., Carvalho, G., & Mali, S. (2016). Nanocellulose produced from rice hulls and its effect on the properties of biodegradable starch films. *Materials Research*, 19(1), 167-174. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0423>
40. Naveda Rengifo, R. A., Jorge Montalvo, P. A., Flores del Pino, L., & Visitación Figueroa, L. (2019). Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarilla de arroz por explosión con vapor. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 352-361. Recuperado de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300007&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300007&script=sci_arttext&tlng=en)
41. Nechyporchuk, O., Belgacem, M. N., & Bras, J. (2016). Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. *Industrial Crops and Products*, 93, 2-25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.016>
42. Pabón, A. M. A., Restrepo, A. F. V., Zapata, W. A., Chamorro, E. R., & Area, M. C. (2019). Optimización de la hidrólisis enzimática de la cascarilla de arroz. *Revista de Ciencia y Tecnología: RECYT*, 32(1), 64-70. <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2019.32.010>
43. Peralta, S. L. P., Aguilar, H. R., Loayza, A. G. E. A., & Morejón, L. A. S. (2018). Aporte del sector agropecuario a la economía del Ecuador. Análisis crítico de su evolución en el período de dolarización. Años 2000–2016.
44. Pinos, A., & Braulio, J. (2019). Modificación de la celulosa obtenida de la fibra de banano para el uso de polímeros biodegradables. *Afinidad*, 76(585). Obtenido de: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/353398>
45. Place, G. (2006). El Futuro de la Producción de Celulosa y las técnicas de producción más favorables para el medio ambiente. Recuperado de <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/4/el-futuro-dela-produccion-de>. pdf.
46. Pode, R. (2016). Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1468-1485. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.051>

47. Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14(1), 155-170. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89622691013>
48. Proaños, J., & Castro, Y. P. (2014). Evaluación de la producción de ácido láctico a partir de cascarilla de arroz por *Lactobacillus delbrueckii*. *Revista Mutis*, 4(1), 33-39. <https://doi.org/10.21789/22561498.908>
49. Reddy, N., & Yang, Y. (2007). Structure and properties of natural cellulose fibers obtained from sorghum leaves and stems. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(14), 5569-5574. <https://doi.org/10.1021/jf0707379>
50. Reddy, N., & Yang, Y. (2009). Properties and potential applications of natural cellulose fibers from the bark of cotton stalks. *Bioresource technology*, 100(14), 3563-3569. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.047>
51. Rezende, C. A., de Lima, M. A., Maziero, P., deAzevedo, E. R., Garcia, W., & Polikarpov, I. (2011). Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. *Biotechnology for biofuels*, 4(1), 54. <https://doi:10.1186/1754-6834-4-54>
52. Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 227-247.
53. Rosa, S. M., Rehman, N., de Miranda, M. I. G., Nachtigall, S. M., & Bica, C. I. (2012). Chlorine-free extraction of cellulose from rice husk and whisker isolation. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1131-1138. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.084>
54. Sala, A., Artola, A., Sánchez, A., & Barrena, R. (2020). Rice husk as a source for fungal biopesticide production by solid-state fermentation using *B. bassiana* and *T. harzianum*. *Bioresource technology*, 296, 122322. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122322>
55. Syarif, H. U., Suriamihardja, D. A., Selintung, M., & Wahab, A. W. (2016). Analysis SEM the chemical and physics composition of used rice husks as an absorber plate. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 2(1), 25-30. <https://doi.org/10.15866/irea.v2i1.1140>
56. Torres Jaramillo, D., Morales Vélez, S. P., & Quintero Díaz, J. C. (2017). Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Ingeniare. Revista*

- chilena de ingeniería, 25(4), 733-743. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000400733>
57. Tosuner, Z. V., Taylan, G. G., & Özmiççi, S. (2019). Effects of rice husk particle size on biohydrogen production under solid state fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(34), 18785-18791. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.230>
58. Trivedi, P., & Fardim, P. (2019). Recent advances in cellulose chemistry and potential applications. In *Production of materials from sustainable biomass resources* (pp. 99-115). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3768-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3768-0_4)
59. Ullah, Z., Man, Z., Khan, A. S., Muhammad, N., Mahmood, H., Ghanem, O. B., ... & Raheel, M. (2019). Extraction of valuable chemicals from sustainable rice husk waste using ultrasonic assisted ionic liquids technology. *Journal of Cleaner Production*, 220, 620-629. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.041>
60. Ummah, H., Suriamihardja, DA, Selintung, M. & Wahab, AW (2015). Análisis de la composición química de la cáscara de arroz utilizada como placas absorbentes de agua de mar en agua limpia. *Revista ARPAN de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*, 10 (14), 6046-6050. Obtenido de: <http://www.arpanjournals.com/jeas/>
61. Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 13(37), 255-260. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903743>
62. Wang, Z., Li, J., Barford, J. P., Hellgradt, K., & McKay, G. (2016). A comparison of chemical treatment methods for the preparation of rice husk cellulosic fibers. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 2(1), 2454-1850.
63. Wei, L., McDonald, A. G., & Stark, N. M. (2015). Grafting of bacterial polyhydroxybutyrate (PHB) onto cellulose via in situ reactive extrusion with dicumyl peroxide. *Biomacromolecules*, 16(3), 1040-1049. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.5b00049>
64. Wu, J., Elliston, A., Le Gall, G., Colquhoun, I. J., Collins, S. R., Wood, I. P., ... & Waldron, K. W. (2018). Optimising conditions for bioethanol production from rice husk and rice straw: effects of pre-treatment on liquor composition and fermentation

inhibitors. *Biotechnology for biofuels*, 11(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1062-7>

65. Zhang, L., Chen, K., & Peng, L. (2017). Comparative research about wheat straw lignin from the black liquor after soda-oxygen and soda-AQ pulping: structural changes and pyrolysis behavior. *Energy & Fuels*, 31(10), 10916-10923. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b01786>

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).