



## TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE CELULOSA EN RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

## CELLULOSE EXTRACTION TECHNIQUES IN AGROINDUSTRIAL WASTE

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5739370>

AUTORES: Erika Maribel Cabascango Guasgua<sup>1</sup>  
Kerli Alexandra Arteaga Chinche<sup>2</sup>  
Andreina Rasheł Sánchez Naranjo<sup>3</sup>  
Byron Fernando Navarro Merino<sup>4</sup>  
Carlos Rodrigo Jácome Pilco<sup>5</sup>

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: [ecabascango@mailes.ueb.edu.ec](mailto:ecabascango@mailes.ueb.edu.ec)

Fecha de recepción: 14 de junio del 2021

Fecha de aceptación: 30 de julio del 2021

**RESUMEN:** En el presente trabajo de revisión bibliográfica, se pretende dar a conocer las técnicas de extracción de celulosa en residuos Agroindustriales, los métodos descritos en este trabajo son el método Alcalino y el método Kraft, en donde se describe al método Alcalino, el mismo que se caracteriza principalmente por el uso de NaOH, el cual separa tanto la hemicelulosa como la lignina, así también el método Kraft mismo que consiste en la separación de las fibras de celulosa mediante la disolución de la

<sup>1</sup> Estudiante de Pregrado de la carrera de Agroindustrias en la Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5901-187X>  
Email: [ecabascango@mailes.ueb.edu.ec](mailto:ecabascango@mailes.ueb.edu.ec)

<sup>2</sup> Estudiante de Pregrado de la carrera de Agroindustrias en la Universidad de Bolívar. Guaranda. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8975-1422> Email: [karteaga@mailes.ueb.edu.ec](mailto:karteaga@mailes.ueb.edu.ec)

<sup>3</sup> Estudiante de Pregrado de la carrera de Agroindustrias en la Universidad de Bolívar. Guaranda. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0377-7600> E-mail: [andsanchez@mailes.ueb.edu.ec](mailto:andsanchez@mailes.ueb.edu.ec)

<sup>4</sup> Estudiante de Pregrado de la carrera de Agroindustrias en la Universidad de Bolívar. Guaranda. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4617-6525> E-mail: [bnavarro@mailes.ueb.edu.ec](mailto:bnavarro@mailes.ueb.edu.ec)

<sup>5</sup> Ingeniero Agroindustrial. Master en Biotecnología. Doctor en Ciencias Especialización en Biotecnología. Consultor en Biotecnología y Bioingeniería. Docente de la Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda. E-mail: [cjacome@ueb.edu.ec](mailto:cjacome@ueb.edu.ec)

lignina con una digestión basada en una mezcla de NaOH y Na<sub>2</sub>S, en estos dos métodos también describimos la técnica del blanqueo, la cual se basa en la mezcla porcentual de diluciones de Cl<sub>2</sub>; todo lo antes mencionado, en base a trabajos de estudios desarrollados que han considerado los residuos agroindustriales para la obtención de celulosa, con la finalidad que el presente trabajo aporte a los lectores, consolidando el conocimiento en las técnicas de extracción de celulosa; como objetivo se pretende concientizar el uso de técnicas de extracción de celulosa, para su aplicación sobre residuos agroindustriales y su aprovechamiento para la obtención de celulosa, dándonos la creación de nuevos subproductos que aporten en su reutilización y por ende la disminución del impacto ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** celulosa; método Alcalino; método Kraft; residuos agroindustriales.

#### **ABSTRACT**

In the present work of bibliographic review, it is intended to present the techniques of cellulose extraction in Agroindustrial waste, the methods described in this work are the Alkaline method and the Kraft method, where the Alkaline method is described, the same as It is characterized mainly by the use of NaOH, which separates both hemicellulose and lignin, as well as the Kraft method itself, which consists of separating the cellulose fibers by dissolving the lignin with a digestion based on a mixture of NaOH and Na<sub>2</sub>S, in these two methods we also describe the bleaching technique, which is based on the percentage mixture of Cl<sub>2</sub> dilutions; all of the aforementioned, based on studies carried out that have considered agro-industrial waste to obtain cellulose, with the purpose that this work contributes to readers, consolidating knowledge in cellulose extraction techniques; The objective is to raise awareness of the use of cellulose extraction techniques, for its application on agroindustrial waste and its use to obtain cellulose, giving us the creation of new by-products that contribute to its reuse and therefore the reduction of environmental impact.

**KEY WORDS:** cellulose; Alkaline method; Kraft method; agro-industrial waste.

#### **INTRODUCCIÓN**

Se estima que a nivel mundial se desecha aproximadamente una tercera parte de los alimentos destinados para el consumo humano, produciendo residuos que van desde el cultivo de la materia prima hasta su comercialización (FAO, 2014). Es por esto que a través de los años se ha identificado un creciente interés en el aprovechamiento de los diferentes residuos agroindustriales, a causa de su bajo costo, su alta disponibilidad, generándose nuevos productos y a su vez reduciendo el impacto ambiental (Casas & Sandoval, 2014).

Según el (INEC, 2018) en su último informe de impacto ambiental menciona que aproximadamente cada ecuatoriano produce 0.58 Kg de residuos sólidos al día, considerando que se generan principalmente residuos provenientes de las actividades agrícolas como café, arroz, palma de aceite, maíz, banano, caña de azúcar y plátano. Las mismas que son una de las actividades humanas más importantes que se extiende en un área equivalente al 26% de la superficie del Ecuador dando como consecuencia una alta generación de este tipo de desechos y que en su mayoría son incinerados o utilizados en rellenos sanitarios (Loor, Andrade, & Lizarzaburu, 2017).

En el estudio titulado Obtención de celulosa a partir de residuos de piña (*Ananas comosus* L. Merrill) (Presenda, y otros, 2020) señalan que el método Alcalino utiliza una solución de sosa cáustica para la extracción de la mayor cantidad de lignina obteniendo un rendimiento del 93% de celulosa, por lo que se propone como una alternativa en la elaboración de biomateriales. En base del trabajo titulado "Obtención de celulosa blanqueada de *Ricinus communis* L. mezclada con fibra industrial para fabricar papel bond" (Escoto, Murillo, Anzaldo, Rivera, & Rodríguez, 2015) se indicó que con el proceso alcalino se obtuvieron mejores resultados, debido a la efectividad del correcto uso en relación al porcentaje de álcali activo, aplicado en el proceso de cocción inicial (NaOH 23 % y Kraft, Na<sub>2</sub>S 26 %).

Actualmente, se siguen realizando estudios enfocados al desarrollo de nuevos productos, que utilizan residuos agroindustriales como materia prima, tomando en cuenta que conciernen a biomasas lignocelulósicas que permiten la obtención de celulosa, caracterizada por ser un polímero natural, funcional y estructural con algunas propiedades importantes que incluyen renovabilidad, biocompatibilidad, biodegradabilidad además de poseer una amplia capacidad de modificación química (Masrat, Mohammad, Zoheb, & Luqman, 2020).

El presente trabajo de revisión bibliográfica tuvo como objetivo identificar diferentes técnicas de extracción de celulosa para su aprovechamiento en la obtención de bioenergéticos, papel, abonos orgánicos, balanceados, entre otros, con el fin de generar beneficios ambientales y económicos que promuevan un desarrollo sustentable.

## DESARROLLO

La celulosa es el compuesto orgánico de mayor abundancia en la naturaleza, de gran importancia a nivel biológico y un polímero de interés industrial (Guarnizo, Martínez, & Valencia, 2009). Químicamente es un polisacárido formado por moléculas de cadenas lineales de  $\beta$  (1,4)-D-glucopiranosas, que tienden a formar microfibrillas empaquetadas muy densamente con diámetros de 1 a 10 nm y longitudes de 25 nm (Jiménez, 2016). En la célula vegetal gran parte de la celulosa contiene regiones cristalinas y amorfas susceptibles a la bioconversión (celulasas) utilizada como

materia prima en industrias de papel y textil (Gutiérrez & Del Río, 2010).

### Métodos de extracción

Corresponden a las metodologías encaminadas a la obtención de pasta de celulosa mediante la separación de fibras de los diferentes residuos agroindustriales, en donde la lignina puede ser aislada del material lignocelulósico mediante diferentes procesos mecánicos y/o químicos (Chávez & Domine, 2013). El primer grupo aísla la celulosa por medio de grandes fuerzas de cizallamiento y a grandes presiones en los que se libera la celulosa y hemicelulosa mediante solubilización, dejando la lignina como residuo insoluble, mientras que la segunda trata a la muestra con reactivos químicos que implican la disolución de la lignina, dejando como residuos insolubles la celulosa y la hemicelulosa (Hernández, 2018).

El método alcalino es el más convencional, elimina la lignina con un alto rendimiento, comúnmente asistido por antraquinona como catalizador y estabilizador de los carbohidratos (Gutiérrez & Del Río, 2010).

El tratamiento alcalino es capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina, sin tener grandes efectos sobre los demás componentes (Balat, 2011). Los reactivos más utilizados son NaOH, NH<sub>3</sub>, CaO y Ca (OH)<sub>2</sub>, necesitan tiempos prolongados de reacción debido a sus temperaturas bajas, además no degradan tanto los azúcares (Ballesteros, Alvira, & Tomás, 2010). El uso de un álcali provoca la degradación del éster y cadenas laterales alterando la estructura de la lignina. De esta manera se provoca una pérdida de la cristalinidad de la celulosa y solvatación parcial de la hemicelulosa (Brodeur, y otros, 2011).

Sin embargo, este tratamiento tiene como desventaja, que algunas bases se convierten a sus sales no pudiendo recuperarlas y algunas de estas pueden quedar incorporadas en la biomasa en el proceso del tratamiento (Balat, 2011).

### Extracción de celulosa

A nivel de laboratorio el material lignocelulósico es tratado con (NaOH) al 10% para eliminar ceras, pectinas y resinas, la cocción se realiza en un vaso precipitado de 1000 ml en una plancha caliente. Al observar la primera burbuja se deja calentar por 10 min a 90 °C, posteriormente se deja reposar por 20 minutos para enfriar y lavar con agua normal; a continuación, se realiza otro lavado con agua purificada (pH 7) para luego desfibrar manualmente. Finalmente se seca en una estufa de aire forzado a 65 °C y se deja reposar 12 h (García, y otros, 2017).

### Blanqueo

El blanqueado tiene por objetivo de refinar y aclarar la pulpa obtenida del despulpado, de tal forma que se elimina la lignina residual que se mantiene unido a la celulosa después del pasteado. El resultado del blanqueado es el brillo de la pulpa

para que se pueda utilizar en productos de papel de bond y papel de seda (Valdivieso, 2020).

A fin de fabricar pastas químicas de alta calidad con elevados grados de blancura es necesario utilizar métodos de blanqueo que continúen la deslignificación de la pasta iniciada en la cocción y reduzcan el color. El blanqueo total de una pasta química se realiza en sucesivas etapas, utilizando diferentes productos químicos ( $\text{Cl}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaClO}$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NaHS}$  y agentes quelantes como el ácido etilendiaminotetraacético ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ ) a diferentes condiciones de consistencia, concentración del reactivo químico, pH, temperatura y tiempo de retención. Los reactivos varían en cada etapa teniendo en cuenta que se puede conseguir una mayor blancura con una menor degradación de las fibras si se aplican varias etapas en serie con cantidades más pequeñas de reactivos y con un lavado entre etapas (Martín, 2012). Frecuentemente se usan xilanasas en el blanqueo para hidrolizar xilanos con lignina acoplada, teniendo en cuenta que los xilanos se asocian con la celulosa logrando reducir el gasto de reactivos clorados (Gutiérrez & Del Río, 2010).

Los reactivos clorados ( $\text{Cl}$ ,  $\text{HClO}$  y  $\text{ClO}_2$ ) utilizados para el blanqueo de pasta cloran la lignina residual, solubilizándola y generando cloroligninas tóxicas, los mismos que imposibilitan la recuperación de los efluentes de blanqueo de forma análoga a lo que se hace con las lejías residuales de cocción. Por esta razón se busca reducir o eliminar el uso de agentes clorados en el blanqueo (Martín, 2012).

En la actualidad, a causa de la imposición de límites estrictos en la emisión total de compuestos clorados orgánicos de haluros orgánicos absorbibles y dioxinas en los efluentes de las plantas de blanqueo, se están imponiendo cada vez más los métodos de blanqueo ECF (Parcialmente exento de cloro) y TCF (Totalmente exento de cloro) (Carreño, Caicedo, & Martínez, 2012). El método (ECF) propicia tiempos de cocción más prolongados y una etapa de preblanqueo con oxígeno seguido de otra etapa más corta de blanqueo con  $\text{ClO}_2$  con el fin de evitar la aparición de niveles detectables de dioxina en la pulpa o en el efluente reduciendo la cantidad de AOX (compuestos orgánicos halogenados adsorbibles); mientras que el método (TCF) prescinden de cualquier blanqueante clorado y recurren en su lugar a compuestos oxigenados (peróxido de hidrógeno y ozono). Este proceso incrementa el brillo de la pulpa, pero no separa lignina adicional. La pasta obtenida está constituida por fibras más cortas de manera que no se detecta dioxinas ni AOX en el efluente (López, 2005).

A nivel de laboratorio la fibra de celulosa obtenida es sometida a una hidrólisis ácida con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 0.4 %, seguido de una cloración y blanqueo con  $\text{NaClO}_2$  al 3.5% y 0.5%. Finalmente se efectúan lavados hasta obtener un pH neutro para desintegrarlo y secarlo en una estufa de aire forzado a 65 °C por 24 h (García Estrada et al., 2017).

En la actualidad el método Kraft es uno de los más utilizados, cubriendo alrededor del 72% de la producción mundial de celulosa (Bajpai, 2015). Su nombre proviene del alemán que significa resistente, descubierto por Dahl en 1879, cuando observó que el álcali perdido en el proceso alcalino era sustituido por  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  que se reduce a  $\text{Na}_2\text{S}$  durante la incineración del licor gastado, por lo que realmente los agentes activos en el proceso son  $\text{NaOH}$  y  $\text{Na}_2\text{S}$  (Alarcón, 2011).

El método consiste básicamente en separar las fibras de celulosa mediante un proceso alcalino que genera la disolución de la lignina, es decir, la materia prima se somete a una digestión con una mezcla de  $\text{NaOH}$  y  $\text{Na}_2\text{S}$  aproximadamente a  $170^\circ\text{C}$ . Durante la digestión se produce la despolimerización de la lignina (ruptura de los enlaces  $\alpha$ - y  $\beta$ -aril éter) y de los enlaces entre lignina y carbohidratos que inicialmente es efectuada en las unidades fenólicas y posteriormente sobre las unidades no fenólicas (Chávez & Domine, 2013).

Normalmente, en el proceso de blanqueo se pierde alrededor del 7% de la pasta color café, para alcanzar la blancura estándar entre 87-90%, según la norma ISO-2470 (Mues, Rolón, & Rodríguez, 2016). El rendimiento global del proceso es del 60%, en el cual destaca su capacidad de ser autosuficiente en cuanto a la provisión energética. Además, el proceso incluye la recuperación de uno de sus desperdicios convirtiéndolo nuevamente en un reactivo utilizable en la deslignificación (el licor blanco) (Colodette, Gomes, Rabelo, & Eiras, 2005). La celulosa que se obtiene a partir de este método se utiliza en la fabricación de papel que requiere mejores características de calidad (Stellman, 2008), que puede emplearse en el embalaje, papeles y cartón de alta resistencia (Valdivieso, 2020).

Según (Criollo, 2018), el proceso de cocción de los materiales lignocelulósicos se realiza durante dos a cuatro horas y a una temperatura de  $170^\circ\text{C}$  a  $180^\circ\text{C}$ , en una solución de  $\text{NaOH}$  y  $\text{Na}_2\text{S}$  contenida en un digestor a presión. El  $\text{NaOH}$  degrada la lignina y el  $\text{Na}_2\text{S}$  acelera las reacciones de cocción, y decrece la degradación de la celulosa causada por el  $\text{NaOH}$ . El método Kraft emplea a parte de  $\text{NaOH}$  también  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , a elevada presión y temperatura ( $150$ - $170^\circ\text{C}$ ) además, requiere periodos cortos de cocción debido a una deslignificación catalizada por  $\text{H}_2\text{SO}_4$  disminuyendo la despolimerización y degradación de la celulosa. El rendimiento de pasta varía entre 40 y 60 % parcialmente debido a la eliminación de más lignina.

En el trabajo de investigación titulado "Obtención de celulosa blanqueada de *Ricinus communis* L. mezclada con fibra industrial para fabricar papel bond" (Escoto, Murillo, Anzaldo, Rivera, & Rodríguez, 2015) describen el procedimiento para obtener celulosa de *Ricinus communis* en donde se aplicaron los procesos alcalino y Kraft.

Los tratamientos de cocción se llevaron a cabo en un digestor en el cual las astillas, junto con el licor de cocción se vaciaron

en su interior en ambos procesos. Terminado el tiempo de cocción, se retiraron las astillas para descartar el licor residual a través de un lavado en función de desfibrarlo en un refinador, cumpliendo con las condiciones de cocción que se pueden evidenciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones para la cocción Alcalino y Kraft.

Condiciones	Proceso Alcalino	Proceso Kraft
Astillas base seca (g)	859.5	859.5
Temperatura (°C)	165	165
Tiempo (min)	120	120
NaOH (%)	23	26
NaOH (g)	203.53	-
Na <sub>2</sub> S + NaOH (g)	-	223.47

Fuente: (Escoto, Murillo, Anzaldo, Rivera, & Rodríguez, 2015)

Con respecto al proceso de cocción Alcalino y Kraft, el rendimiento, el número de Kappa (contenido de lignina residual o capacidad de blanqueo) y la viscosidad fueron similares; sin embargo, el proceso Alcalino presenta mejores resultados debido, al menor porcentaje de álcali activo aplicado en el proceso de cocción, como se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del proceso de cocción.

Procesos de cocción	Rendimiento (%)	Núm. de Kappa	Viscosidad cp
Alcalino	41	17.46	8.1
Kraft	39	15.09	7.9

Fuente: (Escoto, Murillo, Anzaldo, Rivera, & Rodríguez, 2015)

En cuanto al porcentaje de blancura las pulpas sometidas a NaOH y al SO<sub>4</sub>, se les aplica el tratamiento de blanqueo con cuatro secuencias: oxígeno, dióxido de cloro, oxígeno/peróxido y dióxido; la pulpa del método Kraft (82.22%) muestra mejor respuesta debido a la aplicación de las diferentes secuencias de blanqueo en comparación con la pulpa del método Alcalino (81.87%), como se puede visualizar en la Tabla 3 y en la Fig.1.

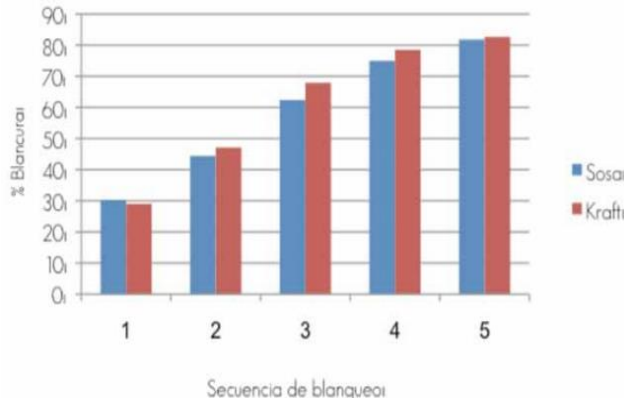
Tabla 3. Porcentaje de blancura en las etapas de blanqueo en pulpa de *Ricinus Communis L.*

Pulpa	Sin blanquear	O	D	O/P	D
Alcalino	30.27 %	44.77 %	62.35 %	75.02 %	81.87 %
Kraft	29.04 %	47.15 %	67.79 %	78.51 %	82.22 %



**Fuente:** (Escoto, Murillo, Anzaldo , Rivera , & Rodríguez, 2015)

**Fig. 1.** Efecto de las secuencias de blanqueo en pulpa de *Ricinus communis L.*



Los resultados que se obtuvieron en el trabajo citado nos indican que la celulosa de *R. communis* blanqueada y obtenida por medio del método Alcalino y Kraft, pueden proponerse como componentes fibrosos del papel bond, en un intervalo de 40 a 80 % mezclada con fibra larga industrial proveniente de los pinos; además de mejorar la opacidad y rugosidad, lo que generaría un ahorro de energía y reducción de costos de materia prima con respecto a la fibra corta industrial proveniente de eucaliptos, pues *R. communis* es una maleza arbustiva que puede aprovecharse para producir pulpa celulósica.

En otra investigación titulada “Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de *Agave salmiana* B. Otto ex Salm. Optimización” (Jiménez, 2016) señalan que el agave es una especie no maderable, que puede ser utilizada para la obtención de celulosa manipulando diferentes métodos para su extracción. Sus resultados indican que *A. salmiana* y *A. mapisaga* presentan mejores características para la elaboración de papel a través del método Alcalino. Para obtener pulpa de celulosa de *Agave salmiana* mediante pulpeo alcalino se estableció condiciones óptimas y reproducibles que fueron: (NaOH) 12%; 24 horas; (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 2.5% y (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.2%. Los mejores rendimientos se obtienen con concentraciones más altas de NaOH y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mientras que el tiempo y la concentración de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> deben ser valores más bajos. Esto se debe directamente al grado de causticidad y sulfidez que está directamente relacionado con el grado de deslignificación. Además, cabe mencionar que el rendimiento depende de otros factores como son la naturaleza del precursor y de la calidad de las fibras.

Por otra parte, se obtuvieron rendimientos de pulpa de celulosa de yute (*Corchorus capsularis*) entre 26 a 46% por el método alcalino, en el cual utilizaron cargas de NaOH de 14 a 18%, lo



cual influye significativamente en el rendimiento de la pulpa de celulosa (Sarwar, Jannatun, Islam, & Quaiyyum, 2016).

## CONCLUSIONES

Se puede obtener celulosa utilizando diferentes residuos agroindustriales que depende directamente del nivel de pureza de la pulpa de celulosa que se desee obtener por medio de los diferentes métodos de extracción, en cuanto al método Alcalino su principal función es separar tanto la hemicelulosa como la lignina, sin generar grandes efectos sobre los demás componentes, asistido por NaOH principalmente. Mientras que el método Kraft relaciona los factores de calidad y bajo costo, ya que puede realizarse en maderas blandas y duras, esto permite que la pulpa obtenida mediante este proceso tenga gran resistencia, debido a la longitud de sus fibras, su color particular, por ello es utilizada en la fabricación de cartones. Finalmente se puede deducir que la obtención de una mejor pulpa de celulosa depende del tipo de precursor maderable o no maderable que se emplee, así como del tipo de método de extracción y las condiciones de operación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alarcón, L. (2011). Anteproyecto para la implementación de una empresa productora de bolsas de papel tipo Kraft en el D.F. México: Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Obtenido de Proceso de obtención de pulpa Kraft: <https://tesis.ipn.mx/>

Bajpai, P. (2015). Pulp and Paper Industry. Elsevier. Obtenido de <https://es.scribd.com/read/282668404/Pulp-and-Paper-Industry-Microbiological-Issues-in-Papermaking>

Balat, M. (2011). Producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos a través de la vía bioquímica: una revisión. *Conversión y gestión de energía*, 52(2), 858-875. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.08.013>

Ballesteros, M., Alvira P., & Tomás, E. (2010). Tecnologías de pretratamiento para un proceso de producción de bioetanol eficiente basado en hidrólisis enzimática: una revisión. *Tecnología Bioambiental*, 101(13), 4851-4861. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.093>

Brodeur, G., Yau, E., Badal, K., Collier, J., Ramachandran, K., & Subramanian, R. (2011). Pretratamiento químico y fisicoquímico de la biomasa lignocelulósica: una revisión. *Enzima Res.* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21687609/>

Canché Escamilla et al. (2005). Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del banano. *Información Tecnológica*, La Serena, 16(1), 83-88. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>

Carchi Maurat, D. E. (2014). Aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes del cultivo de banano para obtener nanocelulosa. Aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes del cultivo de

banano para obtener nanocelulosa. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5292/1/tesis.pdf>

Carreño, L., Caicedo, L., & Martínez, C. (2012). Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. *Ingeniería Y Ciencia*, 8(16), 307-335. doi:<https://doi.org/10.17230/ingciencia>

Casas, L., & Sandoval, F. (2014). Enzimas en la valorización de residuos agroindustriales. *Revista Digital Universitaria*, 15(12), 1-15. Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num12/art95/#:~:text=Las%20enzimas%20que%20tienen%20aplicaci%C3%B3n,et%20a%C2%2006>.

Cazaurang et al. (1990). Dissolving grade pulps from henequen fiber (Vol. 24). *Cellulose Chemistry and Technology*.

Chávez, M., & Domine, M. (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. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323629266003>

Colodette, J., Gomes, C., Rabelo, M., & Eiras, K. (2005). Avances en el blanqueo de pulpa Kraft de Eucaliptus. II Coloquio de Eucalipto, 1-10. Obtenido de <https://xdoc.mx/documents/avances-en-el-blanqueo-de-pulpa-kraft-de-eucaliptus-6052d29ca5c86>

Criollo, G. (2018). Extracción de Celulosa de cáscara de naranja, estudio de método y aplicaciones. *Ingeniería Química*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8663/1/96T00465.pdf>

Escoto, T., Murillo, R., Anzaldo, J., Rivera, J., & Rodríguez, A. (2015). Obtención de celulosa blanqueada de *Ricinus communis* L. mezclada con fibra industrial para fabricar papel bond. *Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(2), 106-125. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/634/63442133008.pdf>

FAO. (2014). Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i3901s/i3901s.pdf>

García, Y., Salgado, S., Bolio, G., Córdova, S., Lagunes, L., Falconi, R., & Veleza, L. (2017). Métodos para extraer celulosa de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad*, 10(11), 54-59. Obtenido de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/65/60>

Guarnizo, A., Martínez, P., & Valencia, H. (2009). Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación. *Scientia Et Technica*, XV (42), 284-289. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84916714053.pdf>

Gutiérrez, A., & Del Río, J. (2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas. Sevilla, España. Obtenido de <https://digital.csic.es/handle/10261/66265>

Hernández, A. (2018). Influencia del método de desengrasado en la extracción de celulosa a partir de la especie *Stipa ichu*. Preparación de análogos semisintéticos. Química. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17337/1/T-UCE-0008-CQU-067.pdf>

INEC. (2018). El Instituto Nacional de Estadística y Censos. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

Jiménez Muñoz, E. (2017). "Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de agaváceas: potencial elaboración de papel tipo artesanal". Química. Hidalgo, México: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Obtenido de [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/doctorado/documentos/tesis\\_edith.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/doctorado/documentos/tesis_edith.pdf)

Jiménez, E. (2016). Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para la elaboración de papel. Universidad Nacional de Colombia, 232-242. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n197.52243>

Loor, M., Andrade, F., & Lizarzaburu, L. (2017). Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2-44.

López, E. (2005). Fabricación de pasta de celulosa. Aspectos técnicos y contaminación ambiental. Ingeniería Química. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Palermo. Obtenido de <https://www.palermo.edu/ingenieria/>

Martín, R. (2012). Integración del proceso Kraft de obtención de pasta de celulosa en el esquema de una biorrefinería. Ingeniería Química. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/14750/1/T33494.pdf>

Masrat, R., Mohammad, J., Zoheb, K., & Luqman, A. (2020). Propiedades morfológicas, fisicoquímicas y térmicas de la celulosa microcristalina (MCC) extraída de la fibra de bambú. Moléculas, 25(12), 1-15. doi: <https://doi.org/10.3390/moleculas25122824>

Mues, F., Rolón, J. N., & Rodríguez, M. E. (2016). Determinación de Costos para la producción de celulosa mediante Método Kraft y Mecánico. Tecnología y Ciencia (32), 307-318. Obtenido de <http://rtyc.utn.edu.ar/>

Presenda, A., Bolio, G., Azamar, J., Ramírez, R., Sarracino, O. Hernández, M., Veleza, L. (2020). Obtención de celulosa a partir de residuos de piña (*Ananas comosus* L. Merrill). Agroproductividad, 13(2), 77-82. doi: <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1608>

Sarwar, M., Jannatun, M., Islam, M., & Quaiyyum, M. (2016). Características químicas del yute retado con cinta y su efecto sobre

las propiedades de fabricación de pasta y papel. Cultivos y productos industriales, 84, 116-120.doi:

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.054>

Stellman, J. M. (2008). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo. Santiago de Chile, Chile: Chantal Dufresne, BA. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/>

Valdivieso, J. (2020). Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (Zea mays. var. Ceratina). Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/>