


Artículo original


**OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR
RESIDUOS DE TALLOS DE *Chenopodium
quinoa***

CELLULOSE OBTAINING FROM *Chenopodium quinoa* STEMS
RESIDUES

JHON ERICK QUISPE PINO¹

 <https://orcid.org/0000-0002-2275-7333>

PERCY FERMIN VELÁSQUEZ COSSI²

 <https://orcid.org/0000-0001-7006-7583>

Recibido: 18/10/2022

Aceptado: 01/12/2022

Publicado: 14/12/2022

^{1,2}Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga,
Ayacucho, Perú

E-mail: ¹jhon.quispe.22@unsch.edu.pe, ²percy.velasquez@unsch.edu.pe



Resumen

El empleo de residuos provenientes de la biomasa ha generado expectativas para aprovecharlos como material alternativo para obtención de materiales celulósicos con la intención de insertarlos en la economía circular. Con la finalidad de extraer celulosa se empleó residuos provenientes de tallos de quinua variedad blanca, para ello se construyó un equipo digestor que posee una capacidad de volumen de operación de 77 L, siendo su volumen nominal de 84 L, trabaja a temperatura y presión controlada, la fuente de energía es suministrada a través de aceite térmico mediante una chaqueta que se calienta a través de gas propano. Para el proceso de extracción se realizó 8 corridas experimentales controlando la temperatura entre 98 a 110 °C, presión entre 2 a 4 bar y tiempo entre 3 a 5 horas. Todos los tratamientos se efectuaron en medio alcalino 15 % (p/v) de NaOH y una proporción de materia prima y licor blanco de 1/15. La máxima extracción fue de 48,1 % de celulosa cuando las condiciones de operación eran 5 h como máximo, temperatura de 110 °C y una presión de 4 bares. La celulosa proveniente de los tallos de quinua tiene un futuro prometedor para emplearlos en distintas aplicaciones.

Palabras clave: Celulosa; tallos de quinua; digestión alcalina.

Abstract

The use of biomass residues has generated expectations for it to be used as an alternative material to obtain cellulose materials with the intention of inserting them into the circular economy. In order to extract cellulose, residues from white quinoa stems were used. For this purpose, a digester equipment was built with an operating volume capacity of 77 L, being its nominal volume 84 L. It works at controlled temperature and pressure; the energy source is supplied through thermal oil by means of a jacket that is heated through propane gas. For the extraction process, 8 experimental runs were carried out controlling the temperature between 98 to 110 °C, pressure between 2 to 4 bar, and time between 3 to 5 hours. All treatments were carried out in an alkaline medium at 15 % (w/v) NaOH and a ratio of raw material and white liquor of 1/15. The maximum extraction was 48.1 % cellulose when the operating conditions were 5 h maximum, temperature of 110 °C, and pressure of 4 bar. Cellulose from quinoa stems has a promising future for use in various applications.

Keywords: Cellulose; quinoa stems; alkaline digestion.

1. Introducción

En las últimas décadas, la humanidad enfrenta serios cambios climáticos debido a los problemas de contaminación generada durante siglos, la adecuada gestión de los residuos y la reducción del impacto ambiental son los principales retos de la sociedad actual para asegurar el cumplimiento de los pilares de la sostenibilidad (Simão, et al., 2020), en el Perú la En el Perú el 71,5 % de residuos generados se desechan al medioambiente sin ningún tratamiento, el 22,1 % se queman, el 3,8 % se vierte en ríos, lagunas o al mar (Congreso de la República 2012).

Estos residuos se componen principalmente de 47,0 % residuos orgánicos, y provienen de cosechas de cultivos que se generan a partir de podas, tallos, cascaras, raquis, etc. (Meer, 2014), pasando a formar parte de la biomasa lignocelulósica cuyos principales componentes son la Lignina (10 a 25 %), celulosa (40 a 80 %) y hemicelulosa (15 a 30 %) que pueden variar según el material (Faba et al., 2013; Sing et al., 2017). Los materiales que se pueden obtener a partir de celulosa han sido ampliamente estudiados por la comunidad científica durante los últimos años, pero la aplicación de sus derivados en el campo de las ciencias ambientales y energéticas, sigue siendo muy limitada, con un 4 % y 3 % respectivamente (Mohamed et al., 2017). Por lo tanto, la utilización de esta biomasa renovable podría ser una alternativa para obtención de celulosa como una forma de dar el valor agregado, este compuesto es el principal componente de las paredes celulares de las plantas, por lo que su disponibilidad es muy alta, ya que se pueden obtener biomasa lignocelulósica (Wilde y Deconinck, 2013).

La celulosa es un polímero que tiene una estructura base de enlaces 1,4- β presenta estructura semicristalina que puede variar según la fuente de procedencia (Gardner et al., 2008), y se encuentran en todo tipo de cuerpos vegetales. Tradicionalmente, es aislada empleado diferentes tipos de procesos físicos, mecánicos y químicos según el tamaño y pureza deseada, en el cual se remueven los compuestos no celulósicos que la acompañan o se reducen progresivamente de tamaño debido a la estructura jerárquica en la que se encuentra. Adicionalmente, se debe considerar la procedencia que influirá sobre el grado de polimerización (Gañán et al., 2017).

Un cultivo que contribuye a la generación de residuos de este tipo es el cultivo de la quinua, ya que de la planta solo se aprovecha el fruto (Canché-Escamill, et al., 2005) en el caso particular solo el grano, y los demás partes se desechan y se destinan a la quema como combustible o residuo sin aprovechar. La parte más voluminosa del residuo corresponde a los tallos que poseen una epidermis cutinizada, corteza firme, compacta con membranas celulósicas, interiormente contiene una médula, que desaparece en la madurez, quedando seca, esponjosa y vacía, este tallo por su riqueza y gran contenido de pectina y celulosa se puede utilizar en la fabricación de papel y cartón (Cornejo 1976, citado en Herrera y Rojas, 2017), de hecho según Sung y Cheng (2002), los tallos de quinua poseen entre 41,04 a 43,34 % de celulosa, 20,31 % de hemicelulosa y 13,2 a 12,82 % de Lignina, lo que la hace comparable con otros tipos de materiales cuya fuente principal es la celulosa, tales como las maderas duras y suaves que tienen entre 40 a 50 % de celulosa.

En Ayacucho la actividad agroindustrial de la quinua es emergente con posibilidades de mayor crecimiento, de hecho en años recientes su producción creció en niveles muy importantes, como referencia se tiene entre los años 2005 al 2016 tuvo un crecimiento de 838 % (Mercado, 2018), mucho antes la FAO (2011), indicaba que existían 272 MMT de biomasa, de

las cuales 256 MMt corresponden a leña y 16 MMt a residuos derivados de actividades agrícolas, agroindustriales y madereras.

2. Objetivo

El objetivo de la investigación es obtener celulosa a partir de tallos de quinua variedad blanca mediante digestión alcalina.

3. Metodología

La metodología para la obtención de la celulosa consistió en limpiar, clasificar y separar los tallos buenos de los deteriorados y clasificar por tamaños y diámetros, posteriormente se realizó el astillado, previamente se separó las raíces y entrenudos, obteniendo los chips con una tijera con cortes de 2 cm, posteriormente se realizó el pesado para determinar el rendimiento, luego se lavó con agua potable con la finalidad de eliminar el polvo e impurezas.

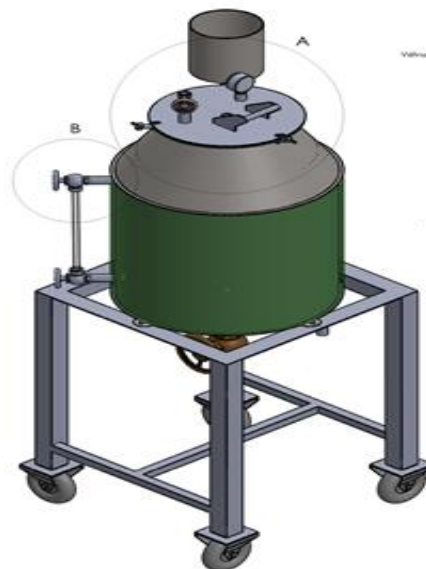
Seguidamente, se efectuó la molienda en un molino de tornillos para reducir más el tamaño, seguidamente se realiza el deslignificado mediante una digestión, que es un proceso químico que consiste en separar la lignina de la celulosa de los chips de los tallos de quinua, se preparó soluciones de sosa cáustica (NaOH) a la concentración de 15 % P/V de hidróxido de sodio y agua destilada respecto a la materia prima H₂O/MP de 15/1. El experimento consiste en 8 corridas experimentales según lo mostrado en la tabla 1, siendo el tiempo entre 3 y 5 horas, la temperatura entre 98 y 110 °C y presión de 2 a 4 PSI. Finalmente, una vez realizada la digestión se lavó la pasta obtenida y realizó el licuado obteniéndose la pasta virgen de celulosa para secarla a 105 °C hasta peso constante.

3.1. Equipo de digestión

El equipo digestor tiene la finalidad de separar la celulosa de la lignina mediante procedimientos de disgregación química. Para ello se construyó un equipo digestor que posee una capacidad de volumen de operación de 77 L, siendo su volumen nominal de 84 L que trabaja a temperatura y presión controlada, la fuente de energía es suministrada a través de aceite térmico mediante una chaqueta que se calienta a través de gas propano (ver figura 1).

Las fibras se cargan al digestor para su cocción con álcali concentrado. Para conseguir un funcionamiento automatizado del digestor monitorea el nivel o volumen, presión y temperatura durante todo el proceso de deslignificado.

Figura 1
Equipo de digestión



3.2. Determinación del contenido de celulosa

La determinación de celulosa se llevó a cabo de acuerdo al método Kurscher y Hoffner, (Technical Association for the Pulp and Paper Industries, 1978) la fracción de muestra fue tamizada en una malla N.º 45 de acuerdo a la norma TAPPI Tos- 59. Se pesó 1 gramo de muestra anhidra libre de extractos con una precisión de 0,1 mg, y paralelamente se analizó y determinó la humedad de la muestra. Se introdujo la muestra pesada; en un balón de una capacidad de 100 ml con sistema de reflujo con refrigerante. Se añadió a un vaso 10 ml de ácido nítrico con 10 ml de etanol, toda esta mezcla se añadió al balón donde yacía la muestra en un principio, llevándose posteriormente a un baño maría, usando refrigerante a reflujo por 1 hora. Luego de ello se decantó el líquido mediante un filtro N.º 2, agregándose 50 ml de la mezcla nitro alcohólica, evitando el paso del aserrín a través del filtro y este filtro se llevó a hervir por 1 hora. El ataque con la solución nitro alcohólica se hizo por tercera vez y luego de una ebullición suave en baño María, se filtró al vacío con la ayuda de un instrumento llamado crisol filtrante. Una vez hecho las pruebas se obtuvieron los resultados de pesos, según la ecuación 1:

$$Celulosa (\%) = \frac{Por}{Po} * 100 \quad (1)$$

Donde:

Por es el peso seco del residuo (g) y *Po* es el peso anhidro de la muestra (g).

4. Resultados

Cantidad de celulosa

La cantidad de celulosa de quinua obtenida a partir de las variables planteadas se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1

Condiciones de obtención de celulosa

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Celulosa ± SD (%)
3	98	2	39,2 ± 0,424
		4	41,15 ± 0,636
	110	2	40,35 ± 0,354
		4	42,7 ± 0,141
5	98	2	43,5 ± 0,283
		4	45,15 ± 0,071
	110	2	41,55 ± 0,071
		4	47,7 ± 0,566

Para el estudio se realizó un diseño experimental factorial 3k, bajo el modelo estadístico siguiente

$$Y = \mu + A + B + C + AB + AC + BC + ABC + \varepsilon \quad (2)$$

Dónde:

Y= Variable dependiente (% de celulosa). A, B, C= Variables dependientes de proceso (tiempo, temperatura y presión respectivamente).

El análisis de varianza de la obtención de celulosa en función de las variables se muestra en la tabla 2, se observa que las variables del proceso de obtención de celulosa afectan en forma significativa los rendimientos finales, incluido sus interacciones de manera óptima.

Tabla 2

Análisis de Varianza para extracción de Celulosa en función de las variables

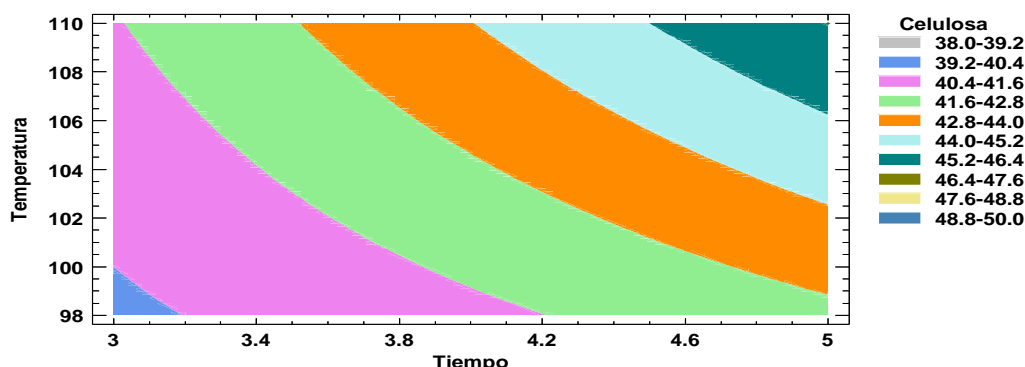
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	52,5625	1	52,5625	81,14	0,0000
B:Temperatura	27,5625	1	27,5625	42,55	0,0002
C:Presión	6,0025	1	6,0025	9,27	0,0160
AB	6,5025	1	6,5025	10,04	0,0132
AC	3,4225	1	3,4225	5,28	0,0506
BC	6,0025	1	6,0025	9,27	0,0160
bloques	0,16	1	0,1600	0,25	0,6326
Error total	5,1825	8	0,6478	-	-
Total (corr.)	107,398	15	-	-	-

Nota. R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 90,9521 %.

Tal como se observa en la figura 1, la posibilidad de máxima extracción de celulosa sucede cuando la temperatura es aproximadamente 110 °C con un tiempo de 5 horas y una presión de aproximadamente 3 bar, se extrae entre 45,2 a 46,4 % de celulosa.

Figura 2

Contorno de superficie respuesta estimada para extracción de celulosa (%)

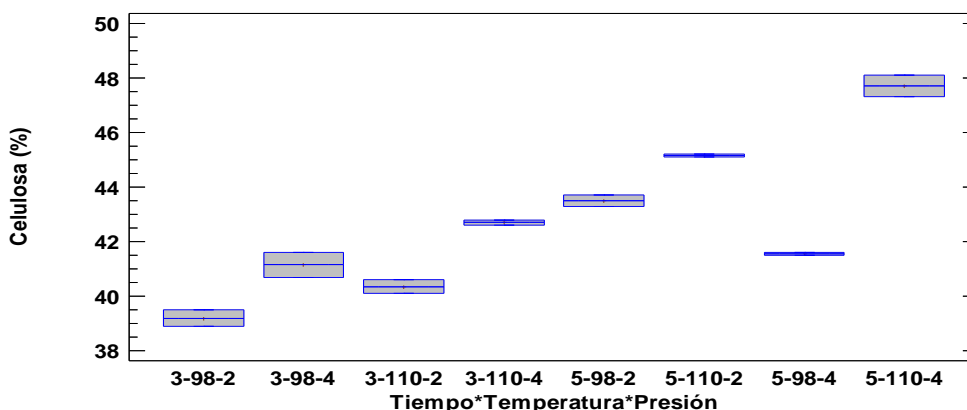


Nota. La presión se mantiene constante a 3 bares.

La comparación de los tratamientos (figura 3) permite apreciar que tratamientos tienen mejores resultados, tal como se puede apreciar, el que mejor resultado tiene es el tratamiento sometido a 5 horas, 110 °C y 4 bares que arroja un $47,7 \pm 0,566$ % de celulosa.

Figura 3

Comparación de tratamientos en función de la cantidad de celulosa obtenida



5. Discusión

Se determinó que el mayor porcentaje de celulosa ($47,7 \pm 0,566$ %) se obtiene cuando el proceso dura 5 horas, a una temperatura de 110 °C y una presión atmosférica de 4 bar, siendo la concentración del álcali de 15 % en peso y una razón de licor respecto al residuo de tallos de quinua de 15/1. Este porcentaje es un poco menor frente a lo que se obtiene de las fuentes no madereras como el pino, que están por los 60 %, pero similares a los obtenidos por Valdez y Morales (2017) que indican que los tallos de quinua pertenecen al grupo de biomasa lignocelulosa leñosa y que el contenido de celulosa es aproximadamente 55,39 % y en general el rango fluctúa entre 25 y 67 %, también en esa misma línea Chambi y Canacapa (2021) indican que la celulosa es aproximadamente entre 49,9 a 50,9 %, otro estudio con resultados diferentes, es el realizado por Herrera et al. (2017) quienes estudiaron residuos de quinua variedad grano grande y ajara, encontrando que los tallos poseen 26,86 % a 37,85 % de celulosa respectivamente, respecto al pH de extracción o digestión de los residuos para obtener

celulosa; Gaché-Escamilla et al. (2005), indica que la extracción de celulosa a pH altos (8,4), recuperándose alrededor de 27 %, otra variedad que parece tener mejor composición de celulosa son los tallos de la variedad blanca de Juli que resultó con un contenido de celulosa de 62,15 % con respecto a la epidermis. No obstante ello, en el estudio, el pH fluctuó en valores de 14, ello evidenciaría que a valores más alcalinos la extracción sería mejor, en ese sentido Fernández et al., (2015) probaron diferentes pretratamientos efectuados sobre los tallos molidos, tanto con peróxido de hidrógeno como con NaOH resultando el más efectivo una solución alcalina de 8 % de NaOH a 120 °C por un tiempo de 90 min.

6. Conclusiones

La condición óptima de extracción de celulosa a partir de tallos de quinua es 4 bares, una temperatura máxima de 110 °C, un tiempo máximo de 5 horas de proceso y con una concentración del álcali al 15 % en peso y una razón licor/residuo de 15/1, obteniendo un máximo del porcentaje de celulosa de 48,1 %.

7. Referencias Bibliográficas

- Canché-Escamilla, G., De los Santos-Hernández, J.M., Andrade-Canto, S., & Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. Información tecnológica, 16(1), 83-88. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
- Chambi Quispe, G., & Cancapa Caceres, V. (2012). Determinación de parámetros del equipo refinador de pasta para la obtención de papel kraft a partir de tallos de quinua (*Chenopodium quinoa* wild.). (Tesis pre-grado). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno.
- Cornejo, G. (1976). Hojas de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) fuente de proteína. En: Convención Internacional de Chenopodiaceas. 2da. Potosí, Bolivia. 26-29 abril. IICA. Serie informes de conferencias, cursos y reuniones. No. 96. Bolivia. pp. 177-180.
- Faba, L., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2013). La biomasa como materia prima para la obtención de combustibles líquidos. Ecotimes, revista ambientum. <http://www.ambientum.com/revista/2013/junio/biomasa-como-materia-prim-a-para-obtencion-combustibles-liquidos.asp#>
- Fernandez Coss, O. A., Álvarez Aliaga, M. T., & Carrasco Villanueva, C. Hidrólisis enzimática de tallos de quinua (*Chenopodium quinoa* wild), para la obtención de una plataforma de azúcares fermentables (Doctoral dissertation). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/17342>
- FAO. (2011b). Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Perú (pp. 1-37). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/as415s/as415s.pdf>

- Gardner, Douglas J., Gloria S. Oporto, Ryan Mills & My Ahmed Said Azizi Samir (2008) Adhesion and Surface Issues in Cellulose and Nanocellulose, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 22:5-6, 545-567, DOI: 10.1163/156856108X295509
- Gañán, P., Zuluaga, R., Castro, C., Restrepo-Osorio, A., Velásquez Cock, J., Osorio, M., Montoya, Úrsula, Vélez, L., Álvarez, C., Correa, C., & Molina, C. (2017). Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro. *Revista Colombiana De Materiales*, (11), 1–4. Recuperado a partir de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/328779>
- Herrera Tarifa, L. D., Rojas Arcani, C. F., & Gemio Siñani, R. Modificación de la molécula de celulosa obtenida a partir de tallos de quinua y su propuesta de aplicación industrial (Doctoral dissertation). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/16014>
- Mercado, W. (2018). Economía institucional de la cadena productiva de la quinua en Junín, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 329-342. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.04>
- MEER. (2014). Atlas bioenergético del Ecuador. Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad - Ministerio de Electricidad y Energía Renovable - Instituto Nacional de Preinversión. <http://historico.energia.gob.ec/biblioteca/>
- Mohamed, M. A., Mutalib, M. A., Hir, Z. A. M., Zain, M. F. M., Mohamad, A. B., Minggu, L. J., Awang, N. A., & Salleh, W. N. W. (2017). An overview on cellulose-based material in tailoring bio-hybrid nanostructured photocatalysts for water treatment and renewable energy applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 1232-1256. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.181>
- Quispe, P. (2004). Aspectos económicos de la Producción de la Quinua. UNA. Puno
- Simão, Lisandro, Hotza, Dachamir, Raupp-Pereira, Fabiano, Labrincha, João A., & Montedo, Oscar R.K.. (2019). CHARACTERIZATION OF PULP AND PAPER MILL WASTE FOR THE PRODUCTION OF WASTE-BASED CEMENT. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1), 237-246. Epub 21 de agosto de 2020. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.17>
- Singh, Y. D., Mahanta, P., & Bora, U. (2017). Comprehensive characterization of lignocellulosic biomass through proximate, ultimate and compositional analysis for bioenergy production. *Renewable Energy*, 103, 490-500. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.039>
- Sun Y., Cheng J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour. Technol.* 83, 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Valdés Fundora A. y Morales R. (2017). Obtención de bioetanol a partir de tallos de quínoa (*Chenopodium quinoa*) utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14009/1/70121_1.pdf
- Wilde, B. de, & Deconinck, S. (2013). Benefits and challenges of bio- and oxo-degradable plastics. https://www.ows.be/wp-content/uploads/2013/10/Final-Report-DSL-1_Rev02.pdf