

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL, FÍSICA Y QUÍMICA DE LA FIBRA DE RASTROJO DE LA COSECHA DE PIÑA (*Ananas comosus*) GOLDEN COMO ALTERNATIVA PARA ELABORAR PAPEL

STRUCTURAL, PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF PINEAPPLE HARVEST FIBER (*Ananas Comosus*) GOLDEN AS AN ALTERNATIVE TO PAPER PROCESSING

John Wilder Mendoza Cisneros ¹
Percy Fermín Velásquez Ccosi ²
Yohel Gómez Gálvez ³

Información del artículo:
Recibido: 01/02/2020
Aceptado: 11/11/2020

^{1,3}Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú

²Docente en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de Huamanga

E-mail: ¹john.mendoza.22@unsch.edu.pe ²percy.velasquez@unsch.edu.pe,

³Yohel.gomez.22@unsch.edu.pe

Resumen

El artículo presenta los resultados obtenidos en la caracterización estructural, física y química de la fibra de rastrojo de la cosecha de piña (*Ananas Comosus*) Golden como alternativa para elaborar papel. Se determinaron las propiedades biométricas de las fibras (longitud y diámetro, grosor de la pared y diámetro del lumen), para luego obtener los índices de calidad de pulpa para papel, como también se analizaron los porcentajes de celulosa, Holocelulosa y lignina, según las Normas TAPPI para cada componente y el método de Jayme-Wise. Este estudio se hizo con la finalidad de tener información para su posterior aprovechamiento en la industria de pulpa y papel. Las muestras de los rastrojos de piña fueron extraídas del centro poblado de Omayá, Pichari del Valle de los ríos Apurímac, ENE y Mantaro (VRAEM)- Perú. Los resultados indican que presentan medidas biométricas de: Longitud de la fibra: 1105 μm , Grosor de la pared: 2,75 μm , Ancho de la fibra: 20,0625 μm , Diámetro de Lumen: 5,35 μm , que esta materia prima es apta para producir papel de calidad regular presentando un coeficiente de Runkel de 1,028, un coeficiente de flexibilidad de 0,27 y un coeficiente de rigidez de 0,27; Según sus características químicas la fibra de hojas de piña Golden presenta un bajo contenido de lignina siendo el 12,335 %, Holocelulosa 41,72 % y un alto contenido de celulosa 44,04 % siendo un material potencial en la industria de pulpa y papel.

Palabras clave: Caracterización química, morfología de fibra, pulpa celulósica.

Abstract

The article presents the results obtained in the structural, physical and chemical characterization of the stubble fiber of the pineapple harvest (*Ananas Comosus*) Golden as an alternative to elaborate paper. The biometric properties of the fibers were determined (length and diameter, wall thickness and lumen diameter), to later obtain the pulp quality indexes for paper, as well as the percentages of cellulose, Holocellulose and lignin, according to the TAPPI Standards for each component and the Jayme-Wise method. This study was made with the purpose of having information for its later use in the pulp and paper industry. Pineapple stubble samples were extracted from the population center of Omayá, Pichari in the Valley of the Apurimac, ENE and Mantaro Rivers (VRAEM) - Peru. The results indicate that they present biometric measurements of: Fiber length: 1105 μm , Wall thickness: 2,75 μm , Fiber width: 20,0625 μm , Lumen diameter: 5,35 μm , that this raw material is suitable to produce regular quality paper presenting a Runkel coefficient of 1,028, a flexibility coefficient of 0,27 and a rigidity coefficient of 0,27; According to its chemical characteristics the fiber of Golden pineapple leaves presents a low content of lignin being 12,335 %, Holocellulose 41,72 % and a high content of cellulose 44,04 % being a potential material in the industry of pulp and paper.

Keywords: Chemical characterization; fiber morphology; cellulose pulp.

1. Introducción

La producción de piña se ha incrementado durante los últimos años, en todo el Perú, incluido la costa norte, principalmente Hawaina, Samba, Golden y Cayena Lisa. Según el Ministerio de Agricultura al año 2017, estimó que existen cerca de 14 000 hectáreas de piña plantadas con un rendimiento promedio de 15 t/ha. Además, existen proyectos de desarrollo del cultivo de piña en las variedades Cayena Lisa y Golden promovidas por los Gobiernos regionales, las Municipalidades y Organizaciones no Gubernamentales (ONG) que hacen un total de áreas nuevas proyectadas de 600 a 800 hectáreas dirigidos todas al mercado de Lima, lo que podría en el futuro afectar el precio de la fruta. Regionalmente el Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) en el año 2018 se consideró como una zona de producción de piña más representativa de las regiones de Ayacucho – Cusco. Según, la producción de piña en sus diferentes variedades, los distritos de mayor rendimiento son: Kimbiri con 76 ha/año y Pichari con 50 ha/año, a ello se une la producción de la región Ayacucho (margen izquierda del Río Apurímac) con 37 ha/año.

La actividad como cualquiera de su rubro genera desechos que no son aprovechados y que podrían tener un valor agregado, por ello surge de la necesidad del aprovechamiento de los residuos vegetales generados en la cosecha de la piña en el VRAEM, al momento de cosecha se producen grandes cantidades de residuos vegetales que no son aprovechados, valorándose solo la fruta (piña) y los hijuelos, desperdiciándose las hojas y los tallos.

El trabajo de investigación se evalúa la posibilidad de emplear la fibra obtenida de los rastrojos como material potencial para su aprovechamiento y alternativa para la producción de papel, para ello es necesario conocer las características físicas (Densidad lineal, peso, espesor, diámetro, diámetro de lumen y resistencia a la tracción); así mismo la cuantificación del contenido de celulosa, Holocelulosa y lignina de la fibra de rastrojos de piña Golden.

2. Objetivos

Realizar la caracterización estructural, física y química de la fibra de rastrojo de la cosecha de piña (*Ananas comosus*) Golden como alternativa para elaborar papel.

3. Metodología

Los análisis físicos o biométricos de la fibra de hojas de piña Golden que corresponde a Longitud, Lumen y Espesor de la pared de la fibra se desarrollaron de acuerdo a las normas internacionales de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT 30: 1 – 019 y COPANT 30: 1 – 012) y el Ancho de la fibra empleando la ecuación 1, los datos fueron utilizados para determinar los Índices de calidad de pulpa para papel según los coeficientes de Runkell, Flexibilidad y Rigidez (Ecuación 2, 3 y 4), Densidad lineal. El Peso y longitud total de la fibra se calculó haciendo uso de la ecuación de György planteado por Castillo (2013) que se aprecia en la ecuación 5, la resistencia a la tracción, peso, longitud y resistencia se desarrolló siguiendo la norma TAPPI-494-om 92.

$$\text{Espesor de la pared} = \left(\frac{\text{ancho de fibra} - \text{lumen}}{\text{lumen}} \right) \mu\text{m} \quad [1]$$

$$\text{Relación de Runkel} = \left(\frac{2 * E}{\text{Lumen}} \right) \mu\text{m} \quad [2]$$

$$\text{Coeficiente de Flexibilidad} = \frac{\text{Lumen}(\mu\text{m})}{\text{ancho de la fibra}(\mu\text{m})} \quad [3]$$

$$\text{Coeficiente de Rigidez} = \frac{\text{Diametro de la fibra}(\mu\text{m})}{\text{Dos veces el espesor de la pared celular}(\mu\text{m})} \quad [4]$$

Tabla 1
Clasificación de Runkel

Grado	Rango	Calidad
I	menor de 0,25	Excelente para papel
II	0,25 a 0,5	Muy buena para papel
III	0,5 a 1,00	Buena para papel
IV	1,00 a 2,00	Regular para papel
V	mayor a 2,00	Mala para papel

Nota. Adaptado de Porres y Valladares (1979).

Tabla 2
Clasificación de los coeficientes de flexibilidad

Rango	Grosor de la pared	Características
< 0,3	Muy gruesa	Las fibras no se colapsan poca superficie de contacto pobre unión de fibra a fibra
0,30–0,50	Gruesa	Las fibras no se colapsan Poca superficie de contacto Pobre unión fibra a fibra
0,50 – 0,65	Media	Buena superficie de contacto buena unión fibra a fibra fibras parcialmente colapsadas
0,65 – 0,80	Delgadas	Fibras parcialmente colapsadas Buena superficie de contacto Buena unión fibra a fibra
>0,80	Muy delgada	Fibras colapsadas, buena superficie de contacto Buena unión fibra a fibra

Nota. Adaptado de Fuentes (1987).

Tabla 3
Clasificación del Coeficiente de rigidez

Rango	Grosor de la pared
Mayores a 0,70	Muy gruesa
0,70 a 0,50	Gruesa
0,50 a 0,35	Media
0,35 a 0,20	Delgada
Menor a 0,20	Muy delgada

Nota. Adaptado de Fuentes (1987).

Análisis químicos para fibra extractiva

El método empleado en la preparación de fibra extractiva libre – Norma TAPPI T 204 se fundamenta en Limpiar y secar el matraz de extracción, procediendo a colocar el material que se extrae en el cartucho de extracción y Colocar el cartucho en posición en el aparato Soxhlet. Luego colocar un pequeño cono de alambre fino tamiz de malla en la parte superior del dedo de guante para evitar cualquier pérdida de la muestra. Extracto con 200 ml de disolvente durante 6 a 8 h, manteniendo en ebullición el líquido rápidamente de manera que el sifonaje del extractor es no menos de cuatro veces por hora. El volumen de disolvente debe ser suficiente para asegurar que hay al menos 50 ml de disolvente que queda en el matraz de extracción cuando el tubo de extracción Soxhlet está listo para sifón. Después de la extracción con acetona, la transferencia de la fibra a un embudo Büchner y se lava con succión utilizando varias porciones de agua caliente para eliminar la acetona. Transferir la muestra a un matraz de 1000 ml Erlenmeyer y añadir 500 ml de agua destilada hirviendo. Mantener el matraz en calor durante 1 h en el baño de agua caliente. Cubrir el matraz con un vidrio de reloj para impedir la evaporación. Mantener el agua a temperatura de ebullición y rodear el matraz en el baño con agua hirviendo. Después de la extracción, el filtro en un embudo Buhner a través de un papel de filtro N° 5 Whatman o equivalente y lavar con 500 ml de agua destilada hirviendo. Permitirá que la fibra se seque al aire completamente. Finalmente se mezcla y guarda en un recipiente hermético en un lugar fresco.

Determinación de lignina por método TAPPI T 222

El método empleado es descrito por Romero Uscanga et al., (2014) y corresponde a la norma TAPPI T 222 que consiste en un procedimiento de hidrolisis acida cuantitativa práctica en dos etapas: la primera con ácido sulfúrico al 72 % que hidroliza los polisacáridos en oligosacáridos y una segunda al 4 % que rompe los oligomeros en monosacáridos, para ello se tomó la cantidad próxima a 1 gramo libre de extraíbles, la muestra se colocó en un vaso de precipitado de 50 ml a la cual se agregaron 15 ml de H₂SO₄ al 72 %, y se mantuvo dos horas en agitación, al poco tiempo de adherir el ácido sulfúrico se notará que la muestra se torna oscura, una vez pasado el tiempo, se vació a un vaso de precipitado de 1L y se realizó una disolución al 4 % de H₂SO₄ agregando agua destilada y se dejó en ebullición suave por 4 horas. Se esperó hasta que la muestra se asentara para decantar y filtrar. Una vez filtrada llevó a estufa a 105 ±3°C durante 24 horas y se procedió a pesar.

Determinación de holocelulosa según Norma ASTM D-104

El análisis se realizó siguiendo la norma ASTM D-104, que consiste en pesar 2 g de fibra seco libre de extractivos con una humedad conocida y tamizado en malla N° 45. La muestra se depositó en el matraz Erlenmeyer y se añadió 150 ml de solución de clorito de sodio al 1,5 % y 10 gotas de ácido acético concentrado, luego se cubrió con una luna de reloj y se dejó en baño María a 70°C durante 30 minutos agitando de vez en cuando. Después del tiempo transcurrido se añadió 10 gotas de ácido acético concentrado y 150 ml de clorito de sodio, se repitió esta operación cada 30 minutos. Hasta completar cuatro veces. Terminado el tratamiento, se enfrió en agua helada y se filtró en un crisol previamente pesado, se lavó el residuo con agua destilada fría. Luego se secó en estufa a 103°C ± 2°C hasta peso constante. Se enfrió haciendo uso de una campana con silica gel y se pesó en balanza a 0,01 g de precisión. Se determinó el porcentaje de Holocelulosa mediante la fórmula siguiente (Palomar et al., 2015).

$$\% \text{Holoceulosa} = \frac{\text{Peso de residuo}}{\text{peso de la muestra}} \times 100 \quad [5]$$

Determinación de celulosa por el método Kurscher y Hoffner

La determinación de celulosa se llevó a cabo de acuerdo al método Kurscher y Hoffner, la fracción de muestra tamizada en la malla N° 45 previamente libre de extractivo en Acetona de acuerdo a la norma TAPPI Tos- 59. Se tomó una muestra de fibra molida, tamizada en tamiz N° 45 libre de extraíbles, se pesó 1 gramo con 0,1 mg de precisión, se determinó paralelamente la humedad de la muestra. Se colocó la muestra pesada en un balón de 100 ml con refrigerante a reflujo. En un vaso de precipitado se tomó 10 ml de ácido nítrico más 10 ml de etanol. Se agregó la mezcla en el balón con la muestra. Se llevó a ebullición suave en baño María, usando un refrigerante a reflujo durante una hora. Luego se decantó el líquido sobre el crisol filtrante N° 2, agregándose otros 50 ml de la mezcla nitro - alcohólica cuidando de que no pase aserrín al filtro y se puso a hervir otra hora. Se repitió por tercera vez el ataque con la solución nitro – alcohólica y luego de una hora de ebullición suave, se filtró al vacío con la ayuda del crisol filtrante. Se lavó el residuo con agua caliente des ionizada y se secó en estufa a 103°C±2°C hasta peso constante. El resultado se calculó con la siguiente fórmula como porcentaje promedio de celulosa con dos decimales.

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(\text{peso del residuo seco})}{(\text{peso seco de la muestra})} \times 100 \quad [6]$$

4. Resultados

En la tabla 4 se presentan las características biométricas, las cuales se usarán para determinar la clasificación de calidad de pulpa proveniente de las fibras de hojas de piña Golden.

Tabla 4

Resultado del análisis biométrico de la fibra de hojas de piña Golden.

Ensayo	Método/ norma	Promedio (µm)	Máximo (µm)	Mínimo (µm)	C.V. (%)
Longitud de fibra		1105,00	1735,00	736,40	26,00
Diámetro de Lumen	COPANT 30 :1- 019	5,350	7,290	3,780	20,00
Grosor de la pared de la fibra	CONPANT 30:1- 012	2,750	3,510	2,160	16,00
Ancho de la fibra	= (espesor de la pared * lumen) + lumen		20,0625		

Nota. Elaboración propia.

Las características biométricas de las células vegetales como la longitud de la fibra, diámetro de lumen, grosor de la pared y ancho de la fibra influyen en la calidad del papel, por lo tanto, se deben tomar en cuenta para determinar si una materia prima es apta para obtener material fibroso. El diámetro de la fibra se determinó haciendo uso de la ecuación 1 reportándose un diámetro de 20,06 µm. El ancho registrado resultó ser mayor a diferencia de otras fibras no maderables, lo cual representa más ventajas en el proceso de producción de papel, porque origina una rigidez mayor y

aumenta considerablemente la resistencia al rasgado, así como una resistencia a la degradación por la acción mecánica durante el batido (Monteoliva, 2005).

Teniendo las mediciones biométricas como largo, ancho, lumen y espesor de la pared celular reemplazamos en las ecuaciones 2, 3 y 4 obteniendo las relaciones de Runkel, coeficiente de flexibilidad y rigidez las cuales clasifican la calidad de pulpa y determinan si esta será apta o no para la elaboración de papel.

Tabla 5
Clasificación de la calidad de pulpa proveniente de las fibras de hojas de piña Golden.

Ensayo	Valor	Clasificación
Relación Runkel	1,028	Regular
Flexibilidad	0,27	Muy gruesa
Rigidez	0,27	Delgada

Nota. Elaboración propia.

Usando la tabla 1 se realiza la clasificación de calidad de fibra de hojas de piña Golden, según la relación de Runkel que presenta un valor de 1,028 que se encuentra entre el rango de 1,00 y 2,00 lo cual indica una calidad de pulpa regular para elaboración de papel; Los resultados del coeficiente de flexibilidad de la fibra de hojas de piña Golden resulta ser una fibra muy gruesa con un índice de 0,27, al respecto Fuentes (1987) caracteriza a las fibras según rango, correspondientes a < 0,3 como fibras muy gruesas; calificándolo como “fibras no se colapsan, poca superficie de contacto, pobres en unión de fibra a fibra” presenta un Coeficiente de rigidez de 0,27 siendo clasificada como pared celular delgada; indica que habrá mayor grado de aplastamiento o colapso de las fibras durante la formación del papel, esta característica está relacionada directamente con la superficie de adherencia entre las fibras y producto de esta se obtendrá la resistencia del papel.

En la tabla 6 se aprecia que la fibra de las hojas de piña Golden presenta una resistencia a la tracción de 985,00 N/mm², se tiene una fibra con una buena resistencia lo cual se puede aprovechar en la industria textil (Universidad Tecnológica del Perú, 1966).

Tabla 6
Resultado del análisis físico de la fibra de hojas de piña Golden.

Ensayo	Método/ Norma	Unidad	Promedio	Máximo	Mínimo	C.V. (%)
Resistencia	ASTM D1577-07	N	1,680	2,250	1,350	23,974
Resistencia a la tracción	TAPPI 494-om92	N/mm ²	985,00	1624,00	619,00	31,000
Deformación	TAPPI 494-om92	%	6,000	9,000	3,000	30,000

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 7, se presentan la composición química de la fibra de hojas de piña Golden, presenta 44,04 % celulosa, Holocelulosa 41,72 % (comprende hemicelulosa más celulosa) y lignina 12,32 %.

Tabla 7*Composición química de la fibra de hojas de piña Golden.*

Ensayo	Método/ norma	X1	X2	X3	\bar{X}	C.V. (%)
Lignina (%)	TAPPI 222	12,32	12,3	12,39	12,335	0,31
Holocelulosa (%)	ASTM D- 104	40,74	42,71	41,72	41,72	1,93
Celulosa (%)	Kurscher y Hoffner	43,7	44,38	44,04	44,04	0,63

Nota. Elaboración propia.

Así mismo la Tabla 7, evidencia que las fibras de piña Golden posee 44,04 % de celulosa, esta característica hace que sea una materia prima potencial para la elaboración de papel, además posee 41,72 % de Holocelulosa que es el total de carbohidratos poliméricos, es decir a la suma de celulosa y Hemicelulosa por lo tanto, también resulta ser un material de potencial uso en la industria del papel.

Por otro lado el contenido de la lignina en las hojas de piña Golden es bajo presentando un valor de 12,3 %, lo cual significa que será fácil de eliminarla, porque es necesario reducirla en el proceso de elaboración de papel para que las fibras se puedan adherir y formar las hojas.

5. Discusión

Las medidas biométricas determinan la calidad de pulpa de un material lignocelulósico, según Porres (1979) la fibra que presenta coeficiente de Runkel menor a 0,25 son excelente materia prima para la elaboración de papel, por lo tanto la fibra de la piña Golden se encuentra dentro de la calidad regular por presentar un coeficiente entre el rango de 1 y 2. un coeficiente de flexibilidad de 0.27 lo cual indica que la fibra es muy gruesa, al respecto (Cea Parra, 2011) refiere que cuanto menor es el grosor de la fibra, presentara una mayor flexibilidad de las fibras y mayor posibilidad de producir papel de buena calidad y con un coeficiente de rigidez muy delgada, no obstante Petroff, (1968) establece que el coeficiente de rigidez influye de manera notoria en la resistencia al rasgado, siendo ésta una de las características más importantes en pulpas sin batir. Presenta, además, una relación negativa en la porosidad de la hoja, por lo tanto la fibra de las hojas de piña Golden se puede usar con refuerzo de otro material que cumpla con las características buenas de coeficiente Runkel, flexibilidad y rigidez para obtener un papel de buena calidad.

según González et al., (2016) hay residuos que son considerados potenciales para la elaboración de papel como es el caso de vástago de plátano, de yuca, pellejo, los tallos de rosa, girasol, clavel, de maíz, la cáscara de mango y de tomate de árbol que presentan valores de celulosa por encima del 40 %, haciendo una comparación con otras fuentes de materia prima para la elaboración de papel, en el trabajo se encontró residuos con contenidos de lignina por encima del 30 % como los tallos de maíz, de rosa, de clavel, cáscara de mango, de tomate de árbol, de piña, y de lulo según lo reportado por González et al., (2016).

6. Conclusiones

De acuerdo a las medidas biométricas presentadas se determinó que la fibra de rastrojo de piña Golden es materia prima apta para producir papel de calidad regular presentando un coeficiente de Runkel de 1,028, un coeficiente de flexibilidad de 0,27 por lo cual las fibras no se colapsan, presentan poca superficie de contacto y son pobres en unión de fibra a fibra por lo cual se obtendrá un papel poco flexible y un coeficiente de rigidez de 0,27 por presentar una pared delgada por lo tanto habrá un efecto de mayor grado de aplastamiento y se obtendrá un papel resistente al rasgado y a la tracción.

Según sus características químicas la fibra de hojas de piña Golden presenta un bajo contenido de lignina siendo el 12,335 %, esto hace que en el proceso de deslignificado se emplee menor cantidad de reactivo deslignificante y menor tiempo. Presenta 41,72 % Holocelulosa y un alto contenido de celulosa 44,04 % por lo tanto es una materia prima potencia en la industria de papel.

7. Referencias bibliográficas

- Castillo Quiroz, D., Sáenz Reyes, J. T., Narcia Velasco, M., & Vázquez Ramos, J. A. (2013). Propiedades físico-mecánicas de la fibra DE Agave lechuguilla Torr. DE CINCO procedencias bajo plantaciones physical and mechanical properties of agave lechuguilla torr. fiber under plantations of five provenances. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 78–91. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v4n19/v4n19a7.pdf>
- Cea Parra, C. E. (2011). Evaluación De Fibras Celulosicas Producidas En Planta De Celulosa Nueva Aldea. Biblioteca Central Da UFV - BRASIL, 156.
- Fuentes S. M. 1987. Efecto de la digestión en los índices de calidad de pulpa de la madera de *Pinus montezumae*, LAMB. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.
- GEPLACEA, CUBA - 9, PNUD, I. (1990). Atlas del bagazo de la caña de azucar. México.
- González Velandia, K. D., Daza Rey, D., Caballero Amado, P. A., & Martínez González, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, 43(43), 499–517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Monteoliva, S. (2005). Facultad De Ciencias Agrarias Y Forestales Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la plata, facultad de ciencias agrarias y forestales, 218.
- Palomar, L., Bautista, G., Montero, G., Díaz, L., Ramos, R., & Romero, E. (2015). Determinación simplificada del contenido de lignina en paja de trigo por método volumétrico y su caracterización química. *Ciencia y Tecnología*, 15(1850-0870 115), 113–124.
- Petroff, G. y D. Normand. 1968. The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of papers, from tropical hardwoods. *Pulp and paper development in Africa and the ear East*. FAO I. 269-287.

Porres J. y Valladares. 1979. Producción de pulpa y papel con materias primas autóctonas centroamericanas. Producción de pulpa con 17 maderas de Peten, Guatemala, empleando el proceso kraft o al sulfito. División de investigación aplicada, Guatemala.

Romero Uscanga, E., Montero Alpírez, G., Toscano Palomar, L., Pérez Pelayo, L., Torres Ramos, R., & Beleno Cabarcas, M. T. (2014). Determinación de los principales componentes de la biomasa lignonocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico. XVII Congreso Internacional En Ciencias Agrícolas, (October 2015). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/282365664>

Tappi. (1997). Preparation of wood for chemical analysis. Group, 1988, 1–4. <https://doi.org/10.1094/ASBCMOA-Barley-4>.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por el financiamiento de la investigación.