

OBTENCIÓN DE FIBRA DE RASTROJO DE LA COSECHA DE PIÑA (*Ananas comosus* L.) Y SU CARACTERIZACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA ELABORAR PAPEL

Jorge A. Málaga Juárez, Percy Velásquez Ccosi

Unidad de investigación e Innovación de Ingeniería Química y Metalurgia
Programa de Investigación en Procesos Industriales - Área de Procesos Alimentarios y Agroindustriales
E-mail: jorge.malaga@unsch.edu.pe

RESUMEN

Los análisis de los rastrojos de la piña, la obtención de fibras y la evaluación de sus propiedades se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en el laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo y en el laboratorio de textil de la Universidad de Huancavelica. Se obtuvo fibra de rastrojos de piña (*Ananas comosus* L.), específicamente de la variedad Golden que se cultiva en el Valle de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), mediante el uso del equipo desfibrador y la metodología propuesta por Velásquez & Málaga, (2018), la presencia de lignina y holocelulosa, alrededor de 8% y 66% en base seca respectivamente, según Córdova (2011) hace que las fibras de rastrojo de piña puedan emplearse como una alternativa para la elaboración del papel. Se evaluó las propiedades estructurales, químicas y físicas obteniéndose; longitud de fibra 1208 μm , diámetro lumen 5,32 μm , grosor de pared 2,66 μm , diámetro de fibra 46,86 μm , ancho de fibra 19,471 μm , densidad lineal 35,743 g/m, resistencia 1,674 N, resistencia a la tracción 988 N/m², relación Runkel 1,00, coeficiente de flexibilidad 0,273 y coeficiente de rigidez 0,38, determinándose que; la fibra de rastrojo de piña tiene características intermedias adecuadas para elaborar papel.

Palabras clave: rastrojo, fibra, papel, celulosa, desfibrado.

OBTAINING FIBER OF STUBBLE FROM THE HARVEST OF PINEAPPLE (*Ananas comosus* L.) AND ITS CHARACTERIZATION AS AN ALTERNATIVE TO MAKE PAPER

ABSTRACT

The analyzes of pineapple stubble, the obtaining of fibers and the evaluation of their properties were obtained in the laboratories of the Faculty of Chemical Engineering and Metallurgy of the National University of San Cristóbal de Huamanga, in the laboratory of Agroindustrial Process Engineering of the National University of Trujillo and in the textile laboratory of the University of Huancavelica. Fiber was obtained from pineapple stubble (*Ananas comosus* L.), specifically of the Golden variety that is cultivated in the Valley of the Apurímac, Ene and Mantaro rivers (VRAEM), by using the shredding equipment and the methodology proposed by Velásquez & Malaga, (2018), the presence of lignin and holocellulose, around 8% and 66% on a dry basis respectively, according to Córdova (2011) makes pineapple stubble fibers can be used as an alternative for papermaking. The structural, chemical and physical properties were evaluated, obtaining; fiber length 1208 μm , lumen diameter 5.32 μm , wall thickness 2.66 μm , fiber diameter 46.86 μm , fiber width 19.471 μm , linear density 35.743 g / m, resistance 1.674 N, tensile strength 988 N / m², Runkel ratio 1.00, flexibility coefficient 0.273 and stiffness coefficient 0.38, determining that; pineapple stubble fiber has suitable intermediate characteristics for making paper.

Keywords: stubble, fiber, paper, cellulose, shredded.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se dispone de una gran cantidad restos de la cosecha de piña de diferentes variedades provenientes del valle del río Apurímac, Ene y el Mantaro; las cuales generan contaminación del medio ambiente al ser quemados o son abandonados en los campos ocupando espacio de los terrenos; la planta de piña Golden es de rápido crecimiento, presenta un ciclo de producción más corto que otras variedades y los rendimientos de producción son

altos (Brenes, 2005 & USDA, 2013). El ciclo vegetativo comercial es de 27 meses, y durante él se cosechan dos frutas, la primera a los 15 meses y la segunda 12 meses después. Las coronas de piña y las frutas inservibles que no cumplan con los parámetros de calidad establecidos se desechan luego de la recolección. Pasadas las dos cosechas se elimina el rastrojo y se siembra de nuevo. Este cultivo produce aproximadamente cuatro millones de toneladas de biomasa residual cada dos años (Ramírez F., E. Roldán y C. Villegas, 2012). Michael, Rodolfo y Augusto (citado en López-Herrera, WingChing-Jones, & Rojas-Baurillón, 2014) indican que por cada hectárea de cultivo de piña cosechada quedan entre 200 y 250 toneladas de material verde (planta entera) que no tiene uso. Según Maya (citado en Quesada, 2005) Se ha determinado que, por hectárea de piña cultivada, se genera cerca de 300 TM de rastrojo. Considerando que en el país hay aproximadamente 9.000 hectáreas cultivadas, el total desechado correspondería a 2 millones de TM por año. Según Araya (citado en Quesada, 2005) Para la eliminación de los desechos de rastrojo, debido su volumen y a su lenta degradación, se recurre al uso de herbicidas tóxicos como el dicloruro de dimetil-4,4'-bipiridilo (Paraquat), que lo deseca y finalmente se incinera. La toxicidad del Paraquat es acumulativa, contamina los suelos, amenazando su uso futuro e incluso al mismo mercado de la piña. En el caso del VRAEM según la Agencia Agraria Ayacucho y Cusco en el año 2010 se implementó 163 hectáreas de piña con una tasa de crecimiento anual de 5% que a la actualidad se tienen implementado grandes extensiones del cultivo de piña siendo las más cultivadas las variedades de Golden (Municipalidad distrital de Kimbiri, La Convención, n.d.). Los residuos biomásicos producidos no son utilizados, generalmente porque no están debidamente caracterizados y sus propiedades no son conocidas por las empresas generadoras. Lo usual es dejarlos en la plantación en donde se descomponen naturalmente y forman abono orgánico o compostaje. Los que se utilizan (cascarilla del arroz, bagazo de la caña, broza del café, pinzote de la palma, raquis del banano y otros) son tratados con el fin de generar la energía requerida en el mismo proceso agroindustrial o para la producción de alimento para animales [20], pero el alto contenido de humedad en el rastrojo de la piña representa desventajas a la hora de la combustión, almacenamiento y transporte de la biomasa, con el propósito de aprovecharla como fuente de energía para calderas y quemadores en forma directa o como pellets, ya que gran parte de la energía obtenida debe ocuparse en evaporar el agua. Una combustión resulta incompleta con producción de carbón, monóxido de carbono y partículas, y el valor ideal de humedad no debe superar el 20 %, aunque la mayoría de los hornos empiezan a operar pobremente a valores cercanos al 50 % (Gavrilescu D. 2008 y Nussbaumer T. 2003). Un alto porcentaje de cenizas en la biomasa indica dificultades en su uso como combustible debido al bajo poder calórico que genera y a la formación de incrustaciones en las piezas metálicas de los hornos, un ejemplo de ello es el caso de la biomasa de piña de Sarapiquí (Córdoba M. 2011).

La principal fuente de fibra para la producción de pulpa en este siglo ha sido la madera procedente de los bosques de coníferas, aunque en los últimos años ha aumentado la utilización de bosques tropicales y boreales. La presión ejercida por los grupos ecologistas para la conservación de los recursos forestales, manifestada en la defensa del empleo de papel reciclado, de cultivos agrícolas y de bosques de plantación de rápida rotación como fuentes de la materia prima, puede modificar la distribución de las instalaciones de producción de pulpa y papel en todo el mundo en las próximas décadas (Teschke, 2009).

La ONU en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sistemas alimentarios sostenibles propone que las personas: Estamos decididos a poner fin a la pobreza y el hambre en todas sus formas y dimensiones, y a velar por que todos los seres humanos puedan realizar su potencial con dignidad e igualdad y en un medio ambiente saludable. Y con respecto a nuestro planeta: Estamos decididos a proteger el planeta contra la degradación, incluso mediante el consumo y la producción sostenible, la gestión sostenible de sus recursos naturales y medidas urgentes para hacer frente al cambio climático, de manera que pueda satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras (Naciones Unidas & CEPAL, 2018).

El objetivo de la investigación es obtener y caracterizar fibra de rastrojo de la cosecha de piña (*Ananas comosus* L.) como alternativa para elaborar papel; para lo cual se desarrollará las siguientes etapas; determinación de la composición fisicoquímica de los rastrojos de la piña, obtención de fibras de rastrojo, determinación de las propiedades estructurales, químicas y físicas de las fibras de rastrojo y evaluación de las propiedades estructurales, químicas y físicas de las fibras de rastrojo de piña.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de la fibra de los rastrojos de piña Golden, se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Mejoramiento Genético (Área: Análisis de Fibras Textiles) de la Universidad Nacional de Huancavelica, Laboratorio de Física y Centro Experimental de Curtiembre de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y el Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de Cuero y Calzado (CITEccal) Lima.

Los rastrojos de piña variedad Golden estudiada provienen de los productores de diferentes zonas del VRAEM como Palmapampa, Anchiuay, San Francisco y Kimbiri, ofertan una gran cantidad de la piña Golden aproximadamente se tiene 58 hectáreas disponibles para el presente trabajo. Se utilizó varios pseudo tallos y en mayor porcentaje de 7 meses aproximadamente de edad, cuyo color varía de acuerdo con la edad desde un color verde hasta y color amarillo. Para los análisis de caracterización, obtención de fibras y pulpa de papel.

La humedad del rastrojo de piña variedad Golden se determinó en base a la norma T APPI T 412 OM 94, de la Asociación Técnica de la Industria de pulpa y Papel de los Estados Unidos. La densidad se determinó por el método de desplazamiento de agua en una probeta graduada midiendo el volumen de una masa conocida de rastrojo pesada con una balanza analítica ACCULAB sartorius Group con cuatro decimales de precisión.

Para la obtención de la fibra celulósica del rastrojo de piña variedad Golden previamente se seleccionaron que no tengan ningún tipo de infección y que no estén resecos para no complicar la operación de desfibrado, luego se lavaron para eliminar impurezas adheridas y cortezas sucias; el desfibrado se realizó con el desfibrador mecánico piloto PVC2018, por fricción a gran velocidad.

La fibra celulósica se sometió a diferentes concentraciones de sosa caustica para deslignificar la pulpa de celulosa de fibra de piña, según la Tabla 1, disolviendo hidróxido de sodio en volúmenes conocidos de agua luego se hace remojar la fibra bruta y se somete a cocción a temperatura de 170 °C a diferentes tiempos, según tratamiento para eliminar la resinosa y la lignina hasta llegar en que se desintegra la masa separándose en fibras, luego se realiza un blanqueado con hipoclorito de sodio al 5% en agua caliente dejando en inmersión durante 3 a 4 horas, después se lava sobre unos bastidores o tamices varias veces hasta comprobar un pH neutro, finalmente se realizó la operación de licuado en una licuadora por 4 minuto a 80 rpm y filtrado en cedazos para obtener la pulpa de “papel”.

Tabla 1. Hidromodulos para el deslignificado de la pulpa de celulosa de fibra de piña.

Peso Item	V(ml) NaOH (g)	V(ml) H ₂ O	H (ml)	Completar	20 Tiempo (min)	V(ml) gel	Peso(g) goma	Tiempo min licuado	V(ml) NaClO
1	50	350	100	250	30	50	5	5	150
2	50	300	165	235	35	55	8	6	100
3	50	250	225	225	45	65	11	7	80
4	50	200	285	215	50	75	14	8	70
5	50	100	600	0	60	85	17	9	50
6	50	300	150	250	30	90	20	10	55
7	50	300	170	230	40	95	23	11	50
8	50	300	190	210	50	100	26	12	45
9	50	300	210	190	60	105	29	13	35
10	50	300	250	170	70	110	32	14	30

La humedad de la pulpa se determinó por el método T APPI T 412 OM- 94, la fibra se caracterizó físicamente determinando su humedad por el método de secado en estufa, la densidad lineal y longitud total de la fibra mediante la ecuación de György planteado por Castillo (2017), el peso y longitud mediante la balanza analítica AND HR-200 y una cinta métrica Truper FH-5M, respectivamente, la resistencia mediante un dinamómetro HYWE 3065-03 y la resistencia a la tracción siguiendo la norma TAPPI-494-om 92.

La caracterización química de la fibra de rastrojo de piña se realizó previa preparación de fibra extractiva libre, luego determinando el contenido de holocelulosa, celulosa y lignina mediante los métodos TAPPI T 204, ASTM D-104, Kurscher y Hoffner y TAPPI 222 respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad promedio del rastrojo de piña variedad Golden es de 85,54%, necesaria y favorable para la obtención de la fibra bruta en el equipo desfibrador ya que permite un mejor funcionamiento del equipo, además la pérdida de humedad hace que la fibra se fije a la pulpa lo cual hace que no se pueda obtener, causando la ruptura.

En la Tabla 2 se presenta la composición química de muestras de corona y rastrojo de piña variedad MD2 de diversas procedencias, resaltando el contenido de lignina (8%) y homocelulosa (66%) que según Córdova (2011) da las características de las fibras de rastrojo de piña para emplearse como alternativa para elaborar papel.

Tabla 2. Composición química de muestras de corona y rastrojo de piña variedad MD2 de diversas procedencias.

	Rastrojo piña Golden			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Humedad	85,89	84,48	86,25	85,54
Cenizas <i>b.s.</i>	12	13	11	12
Extractos en	17	16	16	16
Extractos en etanol <i>b.s.</i>	-	-	-	-
Extractos en agua	20,5	19,7	21,3	20,5
Lignina <i>b.s.</i>	8	9	7	8
Homocelulosa <i>b.s.</i>	66	67	65	66

La fibra bruta del rastrojo de piña Golden se realizó empleando un prototipo de desfibrador mecánico, obteniéndose fibras de las hojas húmedas de piña, el equipo funciona a diferentes velocidades y separa la fibra presente en la cáscara de la pulpa, es importante la humedad alrededor del 80% para facilitar la operación, si está muy seca disminuye el rendimiento.



Figura 1. Obtención de fibra de rastrojo de piña con desfibradora mecánica.

El rendimiento en la obtención de fibra a partir de las hojas de la fibra de piña Golden es del 17,84 %



Figura 2. Fibra bruta de rastrojo de piña Golden

En la Tabla 3 se muestran las características físicas de la fibra de hojas de piña Golden, el ancho de fibra es mayor a otras fibras no maderables lo cual favorece la producción de papel porque aumenta la resistencia al rasgado, así como a la degradación por acción mecánica (Monteoliva, 2005).

$$\text{Espesor de la pared} = \frac{\text{ancho de fibra} - \text{lumen}}{\text{lumen}} \dots \dots \dots (1)$$

Tabla 3. Características físicas de la fibra de hojas de piña Golden.

Ensayo	Método/norma	Mínimo	Máximo	Promedio
Longitud de fibra (µm)		729,00	1687,00	1208,00
Diámetro de lumen	COPANT 30 :1- 019	3,69	7,17	5,32
Grosor de la pared de la fibra (µm)	CONPANT 30:1-012	2,17	3,42	2,66
Diámetro de la fibra (µm)	Modulómetro		46,86	
Ancho de la fibra (µm)	Formula			19,471

En la Tabla 4 se muestran las propiedades físicas de la fibra de rastrojos de piña Golden, El peso de la fibra depende de su longitud, es así que para 0,617 m de fibra tiene una masa de 0,003 g, con estos datos se determina la densidad lineal haciendo uso de la ecuación de Gyorgy, obteniéndose 35,743 decitex término empleado para definir la finura; el que indica que la fibra de piña Golden es dura y áspera.

Tabla 4. Propiedades físicas de la fibra de rastrojos de piña Golden.

ENSAYO	Método/ norma	Unidad	promedio	máximo	mínimo
Peso	ASTM D1577-07	g	0,003	0,004	0,001
Longitud total	ASTM D1577-07	m	0,617	0,810	0,470
Densidad lineal	GYORGY	Decitex	35,743	45,671	25,815
Resistencia	ASTM D1577-07	N	1,679	2,244	1,360
Resistencia a la Deformación	TAPPI 494-om92	N/mm ²	988,000	1624,000	619,000
	TAPPI 494-om92	%	6,000	9,000	3,000

Según el valor de resistencia a la tracción de 988,00 N/mm², la fibra de piña Golden tiene una fibra con una buena resistencia lo que indica que puede aprovecharse en la industria textil.

Con las características físicas de la fibra (Tabla 3) y mediante las ecuaciones (2), (3) y (4) se determinaron la relación de Runkel, el coeficiente de flexibilidad y de rigidez para evaluar la calidad de la fibra, según los valores que se presentan en la Tabla 5 para la relación de Runkel nos indica una fibra de calidad entre buena y regular ya que según Porres (1979) una fibra de calidad excelente para elaborar papel presenta valores de relación de Runkel menores a 0,25.

$$\text{Relación de Runkel} = \frac{2 \cdot E}{\text{Lumen}} \dots \dots \dots (2)$$

$$CF = \frac{\text{Lumen}}{\text{ancho de la fibra (traqueida)}} \dots \dots \dots (3)$$

$$CR = D / 2P \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

- $2P$ = Dos veces el espesor de la pared celular
- D = Diámetro total de la fibra

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

Ensayo	Valor	Clasificación
Relación Runkel	1,00	Regular
Flexibilidad	0,273	Muy gruesa
Rigidez	0,38	Delgada

El coeficiente de flexibilidad según Fuentes (1987) se trata de una fibra muy gruesa por lo cual las fibras no se colapsan, tienen poca superficie de contacto y pobre unión fibra a fibra.

El coeficiente de rigidez indica según Fuentes (1987) una pared celular de grosor medio indicando una adherencia intermedia entre fibra y fibra dando cierta resistencia al papel, mostrando una cierta incongruencia con el coeficiente de flexibilidad.

Las propiedades químicas de la fibra de rastrojo de piña se presentan en la Tabla 6, según el valor promedio del contenido de lignina 12,23 % éste es bajo en la fibra; contenido promedio de holocelulosa 41,62% incluye a la hemicelulosa y la celulosa, mientras que el contenido de la celulosa en un 43,93 %.

Tabla 6. Resultado de los Análisis químico de la fibra de rastrojos de piña Golden.

Ensayo	Método/ norma	Unidad	X1	X2	X3	Ā
Lignina (%)	TAPPI 222		11,93	12,37	12,40	12,23
Holocelulosa (%)	ASTM D- 104	%	41,76	40,87	42,23	41,62
Celulosa (%)	Kurscher y Hoffner		44,21	43,45	44,12	43,93

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, por el financiamiento del presente trabajo de investigación, a los colegas por sus críticas constructivas y estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por su acompañamiento al presente trabajo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águila, M./Gonzales, D./Gonzales, O./Otero, E./Patiño, J./Pérez, A. R.Y. (2015). Ecopapel a base de cogollo de la piña. Undergraduate Research.
- Bartholomew, D. P.; Paull, R. E. and Rohrbach, K. G. 2002. The Pineapple: botany, production and uses. University of Hawaii at Manoa. CABI Publishing. Honolulu. USA. 301pp.
- Basantes Aguas S. & Chasipanta Ushiña J. (2012). Determinación del requerimiento nutricional del fósforo sobre la inducción floral en el cultivo de piña, tesis para optar título de Ingeniero Agropecuario, Escuela Politécnica del Ejército. Sangolqui - Ecuador.
- Bello Amez, Segundo D. (1989). El Cultivo de la Piña (*Ananas comosus L. Merr*) en la Selva Central del Perú y Algunos Estudios Realizados para Mejorar su Tecnología. UNALM. Trabajo profesional.
- Betancourt, P.; Montilla, Y.I.; Hernández, C. y E. Gallardo. (2005). Universidad de Zulia – Maracaibo – Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía. Vol. 22:4, pág. 382 – 392.
- Brenes, S., Inter Sedes. (2005), 27-34. Vol. VI.
- CENTA. (2011). Guía Técnica del Cultivo de piña. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdoba, 20. Retrieved from <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/GUIA TECNICA PIÑA 2011.pdf>.
- Chongwen, C. (2001). The fiber Society. Properties and processing of plant fiber: New frontiers in fiber science. Spring Meeting May 23-25.
- Córdoba, M., (2011). Determinación del efecto de la concentración de la base NaOH de la celulosa y celobiasa en la hidrólisis para la producción de etanol a partir del rastrojo de piña. Tesis de licenciatura en ingeniería química, Universidad de Costa Rica: Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
- Eduardo, C., Parra, C. E. A., & Brasil, M. G. (2011). Evaluación De Fibras Celulósicas Producidas En Planta De Celulosa Nueva Aldea.

- González-Velandia, K.-D., Daza-Rey, D., Caballero-Amado, P.-A., & MartínezGonzález, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, 43, 499–517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Gavrilescu, D., (2008). *Energy from biomass inpulp and paper mills*, Environmental Engineering and CRC Press: United Kingdom, p. 232-16.
- Hernández, M., (2013). *Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña Ananas comosus (L) Merr.* Tesis de licenciatura en ingeniería forestal industrial, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Jiménez, J., (1999). *Manual práctico para el cultivo de piña de exportación*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Kerns, K.R., Collins, J.L. and KIM, H. (1936). Developmental studies of the pineapple *Ananas comosus (L) Merr.* *The New Phytologist* 35:305-317.
- López-Herrera, M., WingChing-Jones, R., & Rojas-Baurillón, A. (2014). Metaanálisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 383.
- MINAE, MAG, P. (2009). Informe del proyecto “Reduciendo el escurrimiento de plaguicidas al mar caribe,” 124.
- Monteoliva, S. (2005). Facultad de ciencias agrarias y forestales. Tesis Doctoral.
- Mora Rodríguez, L., Álvarez García, E., & Hernández González, J. F. (2009). Determinación de propiedades mecánicas de las fibras de *Bambusa Vulgaris* a utilizar en tableros prensados. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(2), 153–166. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732009000200003>
- Municipalidad distrital de Kimbiri, La Convención, C. (n.d.). Creación de Servicios de Apoyo en la Cadena Productiva de Piña en Diez Localidades del Distrito de Kimbiri - La Convención – Cusco Creación de Servicios de Apoyo en la Cadena Productiva de Piña en Diez Localidades del Distrito de Kimbiri - La Convención –, 1–45.
- Naciones Unidas, & CEPAL. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*, 61. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Nussbaumer T., *Energy & Fuels*, (2003). 17, 1510-1521.
- Prado-Martínez, M., Anzaldo-Hernández, J., Becerra-Aguilar, B., Palacios-Juárez, H., Vargas-Radillo, J. de J., & Rentería-Urquiza, M. (2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera Bosques*, 18(3), 37–51.
- Quesada, K. et al. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas*). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6(2), 157–179.
- Ramírez, F., Carazo, E., Roldán, C., Villegas, G., (2007). Encuesta de oferta y consumo energético nacional a partir de la biomasa en Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección Sectorial de Energía, Publicación N° 200, San José.
- Rodríguez García, I. M. (2006). Caracterización química de fibras de plantas herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad.
- Rutiaga Quiñones, José Guadalupe; Anzaldo Hernández, José; Vargas Radillo, J. de J., & Sanjuán Dueñas, R. (2002). Pino mezclada con médula del bagazo de caña de azúcar. TAPPI. (2001). *Physical testing of pulp handsheets*. Tappi, 1–6.
- Teschke, K. (2009). Industria del papel y de la pasta de papel. *Enciclopedia de Salud y Seguridad En El Trabajo*. Universidad Técnica Federico Santa. (n.d.). Capítulo Vii / Masa y densidad masa y densidad, 213–262. Retrieved from http://www.bibliotecas.usm.cl/web/wpcontent/uploads/fis100/247_11 - Capitulo VII - Masa y Densidadv2.pdf
- Yusof, Y., Yahya, S. A., & Adam, A. (2015). Novel technology for sustainable pineapple leaf fibers productions. *Procedia CIRP*, 26, 756–760. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.160>