

Obtención de papel artesanal a partir de *S. Californicus* del lago de Tecocomulco y estudio de su biodegradabilidad

Artisanal paper from *S. Californicus* from lake of Tecocomulco and its biodegradability study

R. N. Hernández-Hernández ^{a*}, M. del R. Osti-Castillo ^{b†}, R. Á. Vázquez-García ^a,
J. L. Imbert-Palafox ^c, J. R. Villagomez-Ibarra ^b

^a Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, México.

^b Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, México.

^c Área Académica de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias de la Salud, Pachuca - Actopan Km. 4.5, Campo de Tiro, Pachuca de Soto, Hidalgo, 42039, México.

Resumen

En este artículo se establece la importancia del papel en nuestra vida cotidiana y el impacto ambiental y social que provoca su elaboración. También se aborda la caracterización de la celulosa obtenida de *S. californicus* o tule, planta invasora que debido al exceso de nutrientes provenientes de escorrentías naturales y antropogénicas, crece desmedidamente abarcando un gran porcentaje del lago de Tecocomulco; razón por la cual, se plantea su uso como materia prima para la elaboración de papel artesanal y cuyo ensayo de biodegradabilidad en un digestor demuestra que es posible emplearlo como una alternativa sustentable, implicando beneficios importantes como combatir la eutrofización del lago y promover la economía de la región mediante su elaboración.

Palabras Clave:

Tule, Celulosa, Papel, Artesanal

Abstract

This document establishes the importance of paper in our daily life and its environmental and social impact caused by its production. It is also addressed the characterization of cellulose from *S. californicus* or tule, an invasive plant that, due to the surplus of nutrients provided by natural and anthropogenic running off waters, it grows up in excess and covers a large percentage of the lake of Tecocomulco; which is why its use has been raised as raw material for the making of artisanal paper, whose biodegradability essay in a digester confirm that it is possible to use it as a sustainable alternative, involving important benefits such as combating eutrophication of the lake and promoting the economy of the region through its elaboration.

Keywords:

Tule, Cellulose, Paper, Artisanal

1. Introducción

Desde que fue creado, el papel nos ha brindado múltiples beneficios mediante su empleo en educación, comunicación, higiene, salud, etc.; su cadena de producción consta de muchos procesos y planificación, esta comienza con la recolección de la materia prima y termina en diferentes productos, desde cartón hasta papel de alta calidad (Jaehn & Juopperi, 2018); su importancia es tal, que en la actual crisis sanitaria por el COVID-19 se ha dado un incremento en la demanda de productos elaborados de papel, especialmente aquellos utilizados para

higiene personal, embalaje de alimentos y de uso médicos (toallas de papel, cajas y bolsas, popotes, papel corrugado para embalaje y transporte de comida, medicinas, entre otros) debido a la creciente conciencia de las personas sobre la higiene y seguridad, y a su vez a la demanda de servicios a domicilio por el aislamiento (Liu et. al., 2020).

Sin embargo, esta área de industria se ha visto envuelta en mitos y conceptos erróneos, entre los que destaca su responsabilidad por la deforestación masiva (Canciano et al., 2021). Como es bien sabido, las fuentes más importantes y tradicionales de pasta de madera para papel son los bosques naturales, más del 50% de la

*Autor para la correspondencia: laz carr_222@hotmail.com

Correo electrónico: laz carr_222@hotmail.com (Régula Nallely Hernández-Hernández), rosti_63@outlook.com (María del Rosario Osti-Castillo), rosavg@uaeh.edu.mx (Rosa Ángeles Vázquez-García), imbertox@hotmail.com (José Luis Imbert-Palafox), jrvi@uaeh.edu.mx (José Roberto Villagomez-Ibarra)

composición del papel promedio mundial procede de madera virgen (Dillen et al., 2016). De acuerdo a lo reportado por (Haggith et al., 2018) la industria del papel se abastece por más de cien millones de hectáreas de bosques, además las plantaciones de madera cubren antiguas tierras forestales, que en su mayoría fueron establecidas sin respetar los derechos de los bosques y de los pueblos indígenas. Por otra parte, este sector industrial contribuye con el 3% del consumo final de energía global y con el 40% de las aguas residuales industriales mundiales (X. Ma et al., 2018).

Por lo anterior, se han llevado a cabo estudios para la búsqueda e investigación de nuevas fuentes de materias primas para la producción de pulpa de celulosa, de tal manera que sean eficientes, amigables con el ambiente y económicas (Bhojvaid & Rai, 2004). Por ello, es importante destacar que otras fuentes de materiales para la producción de papel son los recursos lignocelulocicos, como los residuos de la agricultura y los productos diferentes a la madera (Zarkovic et al., 2011). Las ventajas de utilizar este tipo de fuentes vegetales provenientes de alternativas diferentes a las maderas convencionales permiten la producción de amplias gamas de papel especial, debido a las características morfológicas de las fibras y a la composición química de estas fuentes no leñosas (Eugenio et al., 2019). El papel artesanal, es un tipo de papel especial que se produce en pequeñas cantidades, de manera manual y tradicional, sus principales características como la orientación de las fibras en su estructura, los bordes irregulares y su aspecto rústico, dependen de la materia prima fibrosa y del método de elaboración, lo que le confiere cualidades para usos especiales en la decoración de lámparas, mamparas, para la elaboración de libretas, sobres, embalajes, agendas (Benitez et al., 2019) o para usos artísticos como pintura a mano, acuarela, stencil, entre otros (Jaramillo et al., 2017).

En las últimas décadas, la mayoría de las aguas superficiales del mundo han presentado problemas de eutrofización debido al cambio climático y a las descargas resultantes de actividades antropogénicas (escorrentías con fertilizantes e insecticidas, aguas residuales domésticas, industriales y ganaderas, etc.); este fenómeno consta de una carga elevada de nutrientes como N y P, que causan un excesivo crecimiento de plantas y algas (Song et al., 2020) (Qi et al., 2019) (Jian et al., 2019); que en consecuencia, provocan la disminución de la concentración de oxígeno, el aumento de los sedimentos con carga orgánica, la modificación del color y olor del agua, provocando el decremento de la calidad de esta y de la diversidad biótica (Luna & Aburto, 2014)

El lago de Tecocomulco es el último humedal relicto de los que existieron en la gran cuenca de México (Bautista et al., 2008), es refugio de peces, anfibios y aves; la vegetación acuática incluye muchas especies, sin embargo, debido a la eutrofización del lago (Villagómez et al., 2019) el tule (*S. californicus*) forma masas densas que cubren aproximadamente el 85% del cuerpo acuifero (GEH, 2003), lo que ha provocado una constante afección a la biodiversidad, pues se trata de una especie invasora que infesta los ecosistemas acuáticos (Bonilla & Santamaría, 2013), y que se encuentra distribuida en demasía “formando tulares” por toda América y parte del Pacífico Sur (Sloey et al., 2015) (González et al., 2008), sin embargo, (Blanco, 2018) reporta que el tule posee resistencia a altas concentraciones de metales pesados especialmente en la raíz y se adapta a variaciones ambientales como temperatura, radiación, salinidad y niveles de agua, dándole valor como materia prima para usos industriales, además ha sido utilizada tradicionalmente a través de la historia por las comunidades indígenas para elaborar casas, canoas, canastos y artesanías; y debido a sus propiedades biológicas que involucran una alta tasa de crecimiento rápido, renovación orgánica y

descomposición lenta, permite su cosecha dos veces al año; además, a causa de sus propiedades ecológicas, químicas, físicas y mecánicas (Hyskova et al., 2019) (Hidalgo et al., 2018) ha surgido el interés de estudiarlo como potencial fuente alternativa de materia prima no maderera para la producción de papel artesanal a baja escala (Hidalgo & García, 2017).

Por otra parte, es importante señalar que el término biodegradable se aplica a los materiales capaces de descomponerse en dióxido de carbono, agua, metano, compuestos inorgánicos o biomasa, bajo la acción de microorganismos como moho, hongos y bacterias en un periodo y ambiente no específicos (Niaounakis, 2015); debido a que la celulosa y la hemicelulosa de papel y cartón, son la principal fracción biodegradable de los residuos desechados en vertederos municipales o digestores (Pommier et al., 2010) es importante evaluar otros métodos como la composta o los digestores caseros para tratamiento de residuos, como el estudio realizado por (Ruiz et al., 2012) en donde evaluaron la descomposición de vasos de papel cubiertos de PLA, determinando que la capa de papel fue asimilada por el medio al desintegrarse completamente.

De este modo, se empleó la celulosa obtenida de *S. Californicus* proveniente del lago de Tecocomulco para la elaboración de papel tipo artesanal y se evaluó su biodegradabilidad en un digestor casero, con la intención de que en el futuro mediante la producción de este producto se pueda contribuir a la disminución del impacto de la planta en el lago y al crecimiento de la economía local.

2. Metodología

El proceso para la elaboración del papel se esquematiza en la Figura 1, incluyendo las etapas obtención de celulosa, caracterización, elaboración de papel, y ensayo de biodegradabilidad.

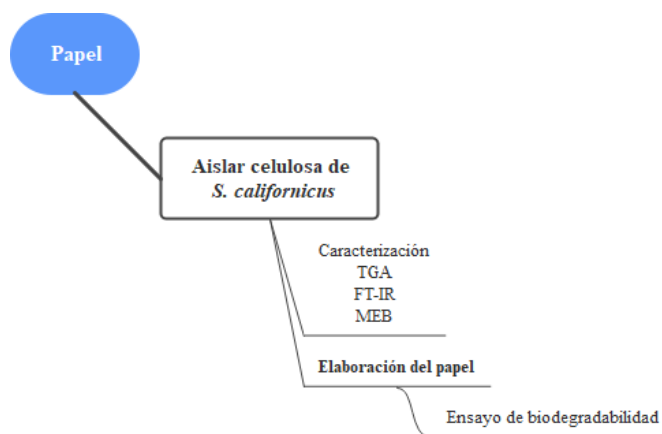


Figura 1. Esquema del proceso de elaboración del papel.

2.1. Obtención de celulosa

Para la elaboración del papel (Figura 1) se aisló celulosa de *S. californicus* mediante el método al sulfato. En un matraz se mezclaron 10 g de materia prima con una solución de hidróxido de sodio al 12%, carbonato de sodio, sulfato de sodio y agua destilada, la mezcla se mantuvo en agitación constante a 60 °C por 24 h, al finalizar la muestra se lava y se seca en horno hasta peso constante.

2.2. Caracterización de la celulosa

2.2.1. Microscopía electrónica de barrido

El análisis morfológico se realizó en un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5900LV SEM con EDS Oxford y voltaje de aceleración de 20 kV, esta es una técnica no destructiva que, debido a su alta resolución, permite observar las características morfológicas, estructurales y químicas de los materiales (Egerton, 2016).

2.2.2. Análisis termogravimétrico

El TGA es una técnica destructiva que, mediante la pérdida de masa en un material en función de la temperatura y atmósfera controlada, determina los compuestos presentes en la muestra y su estabilidad térmica (Prime et al., 2009). La curva de TGA se realizó en un equipo STA 449 F3 Jupiter-TG-DSC

2.2.3. Análisis vibracional FT-IR

Los espectros de infrarrojo por transformada de Fourier se obtuvieron en el rango medio de $4000-400\text{ cm}^{-1}$ con un espectrómetro Perkin-Elmer System 2000 con pastillas de KBr, esta técnica no destructiva es utilizada para la identificación de materiales orgánicos, en donde, la radiación IR es absorbida por los átomos de la muestra y provoca vibraciones características en cada material (Dutta A., 2017).

2.3. Elaboración del papel

Brevemente, 10 g de celulosa de tula seca se mezclaron con 250 mL de agua, 1 g de caolín y 1 g de almidón, cumpliendo la función de aglutinantes en un equipo VORT-X de Royal Prestige, cuando se obtuvo la pulpa homogénea se vertió en una tina amplia; posteriormente se utilizaron marcos de madera de 15 cm por 15 cm con malla de 0.5 mm para tamizar la pulpa.

Los marcos fueron sumergidos en la mezcla de forma vertical y con movimientos suaves el molde fue inclinado hasta quedar en posición horizontal, llevándolo al fondo de la tina para empaparlos completamente, en la misma posición, se sacó y se sacudió de frente hacia atrás y de lado a lado para drenar el agua y dejar solamente la pulpa húmeda sobre el tamiz.

Finalmente, sobre el marco se colocó una franela que absorbió el exceso de agua, se volteó para desprender la lámina de pulpa y se dejó secar al aire libre para obtener el papel, Figura 2.

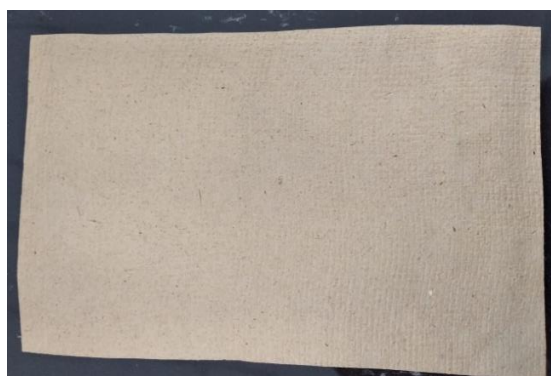


Figura 2. Papel secado al aire libre.

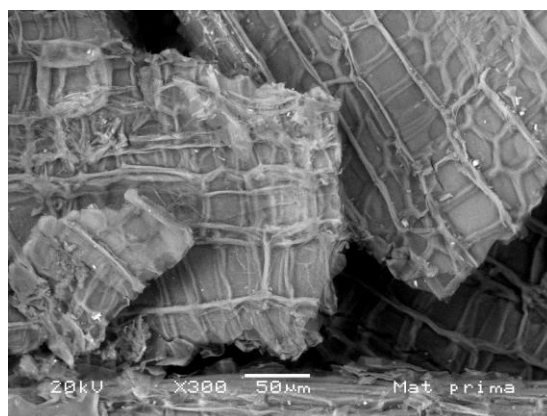
2.4. Ensayo de biodegradabilidad

Las muestras de papel de 14 cm por 14 cm fueron colocadas en un digestor de residuos artificial con lodo y tierra natural, se cubrieron con restos vegetales cuya descomposición es constante y natural; a condiciones de temperatura ambiente (de 10° a 20°C), sin agitación, en obscuridad durante 28 días, con una revisión a las 3 semanas. El ensayo se repitió dos veces.

3. Análisis y discusión de resultados

3.1. Caracterización de la celulosa

3.1.1. Microscopía electrónica de barrido (MEB)



3.a



3.b

Figura 3. Micrografías de MEB, 3.a) materia prima y 3.b) celulosa al sulfato.

En la Figura 3, se muestran las imágenes de las fibras de *S. californicus* antes y después del tratamiento alcalino; podemos observar que la micrografía 3.a de la materia prima, muestra bloques que forman la estructura celular de la planta y están constituidos por fibras de celulosa cementadas con hemicelulosa y lignina; por otra parte, en la imagen 3.b se observan fibras de celulosa separadas unas de otras y a su vez, agrupadas en pequeños conjuntos cuya superficie es lisa y libre de residuos, sin embargo, se advierten aglomeraciones que indican que durante el proceso de obtención de celulosa no se lleva a cabo una completa deslignificación.

3.1.2. Análisis termogravimétrico (TGA)

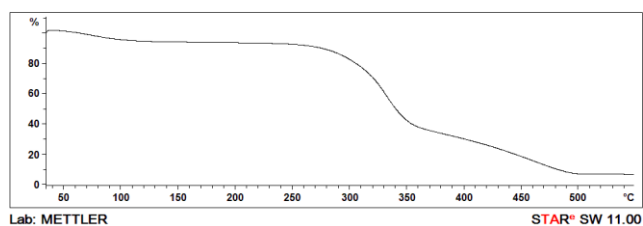


Figura 4. TGA de la celulosa de *S. californicus* del lago de Tecocomulco.

En la Figura 4, se muestra la curva de TGA de la celulosa de *S. californicus* del lago de Tecocomulco, en donde se observan tres caídas de masa, la primera concierne a la humedad de la muestra que se evapora entre los 50 y 100 °C. La segunda y tercera caídas, corresponden a la descomposición térmica de los materiales celulósicos que de acuerdo a lo reportado por (Stevulova et al., 2017) es ampliamente aceptado y ocurre entre 200 y 400 °C, por lo tanto, se podrá observar la despolimerización de la hemicelulosa y la descomposición de la lignina residual en la caída de 230 a 350 °C, por lo tanto, la caída de 350 a 500 °C corresponden a la descomposición de la celulosa cuya estabilidad térmica es mayor debido a su grado de cristalinidad, los resultados son comparables con los reportados por (Szczesniak et al., 2008) en donde evaluaron la descomposición de la celulosa. Las diferencias entre ambos estudios y este, se deben probablemente a las condiciones de calentamiento empleadas así como a las especificaciones del equipo.

3.1.3. Análisis vibracional (FT-IR)

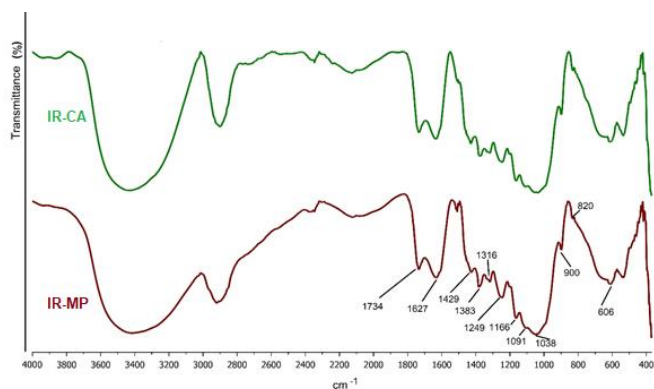


Figura 5. FT-IR de *S. californicus* del lago de Tecocomulco; IR-MP) infrarrojo de la materia prima, IR-CA) infrarrojo de la celulosa alcalina.

En la Figura 5, se muestra el pico amplio de absorción que se observa entre 3000 y 3700 cm^{-1} , corresponde a la región de vibración de estiramiento de los grupos OH de la celulosa (Fan, Dai, & Huang, 2012); el pico de 2900 cm^{-1} se atribuye a la vibración asimétrica de estiramiento de los enlaces C-H de las fibras de celulosa, por esta razón se intensifica después del tratamiento alcalino (Wang et al., 2019); por otra parte, la banda presente en 1734 cm^{-1} es característica de la hemicelulosa cuya vibración de estiramiento es propia de los ésteres y grupos carboxilo C=O (Kathirselvam et al., 2019), debido a esto, podemos determinar que el método alcalino no la remueve en su totalidad. La banda espectral en 1627 cm^{-1} , es respectiva a la vibración de flexión de los enlaces OH del agua absorbida por las fibras naturales debido a su carácter hidrófilo (Paul et al., 2008). Por otra parte, las bandas de absorción en 1429 y 1383 cm^{-1} están

asociadas con las vibraciones de flexión simétricas de los grupos CH_2 de la celulosa cristalina, por ello, podemos observar un incremento en su intensidad después del tratamiento de la fibra (Nagaraja & Muralikannan, 2016). En el pico 1316 cm^{-1} se ubica la banda vibracional de balanceo de los enlaces CH_2 de la celulosa (Contreras et al., 2010), (Nagaraja & Muralikannan, 2016). El pico que se observa en 1249 cm^{-1} denota el estiramiento de los enlaces C-O de los grupos acetil de la lignina, indicando que la deslignificación no es completa (Kathirselvam et al., 2019). La banda 1166 cm^{-1} pertenece al estiramiento asimétrico del puente C-O-C en la celulosa (Kale et al., 2018), (Contreras et al., 2010), así como los picos en 1091 y 1038 cm^{-1} que conciernen a los estiramientos C-O de la misma (Contreras et al., 2010), (Nagaraja & Muralikannan, 2016). El pico 900 cm^{-1} , se debe a los enlaces β -glucosídicos de los anillos de la glucosa en la celulosa (B. Sidi Yacoub et al., 2019), (Kathirselvam et al., 2019). Finalmente, las bandas en 820 y 606 cm^{-1} , corresponden al movimiento de flexión de los enlaces C-OH (Nagaraja & Muralikannan, 2016), (Kathirselvam et al., 2019).

3.2. Ensayo de biodegradabilidad



Figura 6. Digestor casero.



Figura 7. Medición de la zona de colocación de las muestras de papel, se observa que hay restos vegetales en descomposición.

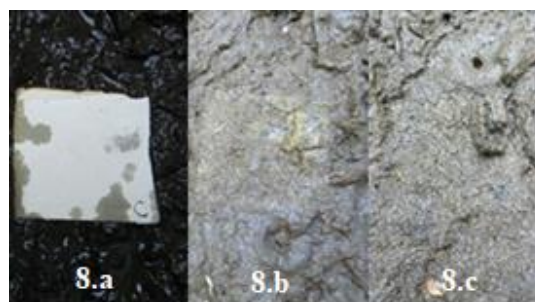


Figura 8. Muestras de papel antes, durante y después del periodo de incubación. 8.a) día 1, 8.b) semana 3, 8.c) día 28, no se distinguen restos de la muestra.

El digestor fue revisado en la semana 3 (Figura 8.b) y se observaron restos del material. Sin embargo, después del periodo

de incubación de 28 días (Figura 8.c), en el primer ensayo ya no se encontraron las muestras de papel; al realizar el segundo ensayo, sucedió lo mismo, por ello se concluye que las muestras fueron consumidas por la población de animales detritívoros (cochinillas de la humedad u oniscídeos (*Oniscidea spp.*) que se alimentan de restos de materia orgánica muerta mediante un proceso bioquímico de ingesta, digestión interna y absorción de nutrientes, así como degradadas por los microorganismos presentes en el digestor. Por otra parte, no se observaron crecimientos de organismos como larvas, moscas u otra clase de insectos que la luz y la aireación favorecen.

4. Conclusiones

A pesar de que el método alcalino no remueve por completo la lignina y la hemicelulosa, es posible elaborar un papel tipo artesanal con la celulosa obtenida de *S. californicus* del lago de Tecocomulco y que se biodegrada totalmente en un periodo corto de tiempo, permitiendo de esta manera, utilizar y aprovechar esta planta invasora que además de contar con altas tasas de crecimiento y propiedades fitorremediadoras, tiene un gran valor como materia prima para la artesanía local.

Agradecimientos

El presente manuscrito es dedicado a la memoria de la candidata a Dra. Rosario Osti, ella fue la pionera y promotora de esta investigación, quién nos permitió trabajar a su lado haciéndonos parte del proyecto, no sólo desde la perspectiva de un investigador, sino de la persona que apoya a una comunidad como Tepeapulco para hacer uso de sus recursos naturales, contribuyendo a un cambio social. En paz descanse.

Referencias

- Bautista Hernández, C. E., Hernández Hernández, D. L., Pulido Flores, G., & Monks, S. (2008). Lago de Tecocomulco. *Ciencia al Día UAEH*, 15-22.
- Benitez, J. B., Popo Amu, M., Vallejos, M. E., & Area, M. C. (2019). Calidad de papel artesanal a partir de fibras no convencionales de cinco especies colombianas. *RECYT*(31), 28-35.
- Bhojvaid, P. P., & Rai, A. K. (2004). Paper Raw Materials and Technology. *Elsevier*, 701-707.
- Blanco, J. A. (2018). Suitability of Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) for its use in constructed wetlands in areas polluted with heavy metals. *Sustainability*, 1-22. doi:10.3390/su11010019
- Bonilla Barbosa, J. R., & Santamaría Arú, B. (2013). Plantas Acuáticas Exóticas y Traslocadas Invasoras. En *Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad* (págs. 223-247). México.
- Canciano Fernández, J., Reinoso Valladares, M., & Fernández Martínez, X. (2021). Estimación de la huella de carbono en la industria papelera. *Avances*, 23(4), 431-442. Obtenido de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/654/1837>
- Contreras, H. J., Trujillo, H. A., Arias O., G., Pérez, J. L., & Delgado F., E. (2010). Espectroscopia ATR-FTIR de celulosa: aspecto instrumental y tratamiento matemático de espectros. *e-Gnosis*, 8, 1-13.
- Dillen, J., Dillén, S., & Hamza, M. F. (2016). Pulp and Paper: Wood Sources. *Elsevier*, 1-6. doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.09802-7
- Doldán García, X. R., & Chas Amil, M. L. (2001). La contaminación de la industria de pasta-papel en Galicia: un análisis de flujos de materiales y energía. *Estudios de economía aplicada*, 18(2), 143-158.
- Dutta, A. (2017). Fourier Transform Infrared Spectroscopy. En *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization* (págs. 73-93). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-323-46140-5.00004-2
- Egerton, R. F. (2016). The scanning Electron Microscope. En *Principles of Electron Microscopy. An introduction to TEM, SEM, and AEM*. Springer. doi:10.1007/978-3-319-39877-8
- Eugenio, M. E., Ibarra, D., Martín Sampedro, R., Espinosa, E., Bascón, I., & Rodríguez, A. (2019). Alternative Raw Materials for Pulp and Paper Production in the Concept of a Lignocellulosic Biorefinery. doi:10.5772/intechopen.90041
- Fan, M., Dai, D., & Huang, B. (2012). Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Natural Fibers. En S. Salih Mohammed, *Fourier Transform - Materials Analysis* (págs. 45-68). InTech.
- GEH. (2003). Ficha informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). *Consejo Estatal de Ecología*, 1-10.
- González Elizondo, M. S., González Elizondo, M., Tena Flores, J. A., López Enriquez, I. L., Reznicek, A. A., & Diego Pérez, N. (2008). Sinopsis de Scirpus S.L. (Cyperaceae) para México. *Acta Botánica Mexicana*, 15-41.
- Haggith, M., Kinsella, S., Baffoni, S., Anderson, P., Ford, J., Leithe, R., ... Tinhout, B. (2018). The state of the global paper industry. Shifting Seas: New Challenges and Opportunities for Forests, People and the Climate. *Environmental Paper Network*, 1-89.
- Hidalgo Cordero, J. F., & García Navarro, J. (2017). Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material. *Industrial Crops & Products*, 112, 467-480. doi:10.1016/j.indcrop.2017.12.029
- Hidalgo Cordero, J. F., Revilla, E., & García Navarro, J. (2018). Comparative Chemical Analysis of the Rind and Pith of Totora (*Schoenoplectus californicus*) Stems. *Journal of Natural Fibers*, 1-12. doi:10.1080/15440478.2018.1541773
- Hyskova, P., Hidalgo Cordero, J. F., & Hysek, T. (2019). Composite materials from totora (*Schoenoplectus californicus*. C. A. Mey, Sojak): Is it worth it? *Composite Structures. Journal Pre-proofs*. doi:10.1016/j.compstruct.2019.111572
- Jaehn, F., & Juopperi, R. (2018). A Description of Supply Chain Planning Problems in the Paper Industry with Literature Review. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 1-40. doi:10.1142/S0217595919500040
- Jaramillo Valle, F. E., Corral Ruiz, A. Y., Fois Lugo, M. d., & Reyes Pincay, B. L. (2017). Elaboración de papel vegetal que cumpla las normas TAPPI para el diseño e impresión a partir de la fibra de la cascara del plátano verde. *Polo del Conocimiento*, 2(6), 499-515. doi:10.23857/pc.v2i6.145
- Jian, Z., Qisheng, G., Qingqing, L., & Guo, F. (2019). Lake eutrophication recovery trajectories: Some recent findings and challenges ahead. *Ecological Indicators*, 1-6. doi:10.1016/j.ecolind.2019.105878
- Kale, R. D., Getachew Alemayeh, T., & Gorade, V. (2018). Extraction and characterization of Lignocellulosic fibres from *Girardinia Bullosa* (Steudel) Wedd. (Ethiopian Kusha Plant). *Journal of Natural Fibers*, 2-15. doi:10.1080/15440478.2018.1539940
- Kathirselvam, M., Kumaravel, A., Arthanaseswaran, V., & Saravanakumar, S. (2019). Characterization of cellulose fibers in *Thespesia populnea* barks: Influence of alkali treatment. *Carbohydrate Polymers*, 178-189. doi:10.1016/j.carbpol.2019.04.063
- Liu, K., Wang, H., Liu, H., Nie, S., Du, H., & Si, C. (2020). COVID-19: Challenges and Perspectives for the Pulp and Paper Industry Worldwide. *BioResources*, 15(3), 4638-4641.
- Luna Pabello, V. M., & Aburto Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32-55.
- Ma, X., Shen, X., Qi, C., Ye, L., Yang, D., & Hong, J. (2018). Energy and carbon coupled water footprint analysis for Kraft wood pulp paper production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier*, 96, 253-261. doi:10.1016/j.rser.2018.07.054
- Nagaraja Ganesh, B., & Muralikannan, R. (2016). Extraction and Characterization of Ligno-Cellulosic Fibers From *Luffa Cylindrica* Fruit. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 1-20. doi:10.1080/1023666X.2016.1146849
- Niaounakis, M. (2015). *Biopolymers: Processing and Products*. Oxford: Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-323-26698-7.00001-5
- Paul, S. A., Pothan, L. A., & Thomas, S. (2008). Advances in the characterization of interfaces of lignocellulosic fiber reinforced composites. En Q. H. Thomas, *Characterization of Lignocellulosic Materials* (págs. 251-274). Blackwell Publishing Ltd.

- Pommier, S., Mañas Llamas, A., & Lefebvre, X. (2010). Analysis of the outcome of shredding pretreatment on the anaerobic biodegradability of paper and cardboard materials. *Bioresource Technology*(101), 463–468. doi:10.1016/j.biortech.2009.07.034
- Prime, R. B., Bair, H. E., Vyazovkin, S., Gallagher, P. K., & Riga, A. (2009). Thermogravimetric analysis (TGA). En J. D. Menczel, & B. R. Prime (Edits.), *Thermal Analysis of Polymers. Fundamentals and applications* (págs. 241-317). Wiley.
- Qi, C., Mutao, H., & Xiaodong, T. (2019). Eutrophication assessment of seasonal urban Lakes in China Yangtze River Basin using Landsat 8-derived Forel-Ule index: A six-year (2013–2018) observation. *Science of the Total Environment. Journal Pre-proofs*. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135392
- Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2012). Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Información Tecnológica*, 24(2), 47-56. doi:10.4067/S0718-07642013000200007
- Sidi Yacoub, B., Oudghiri, F., Belkadi, M., & Rodríguez Barroso, R. (2019). Characterization of lignocellulosic components in exhausted sugar beet pulp waste by TG/FTIR analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. doi:10.1007/s10973-019-08179-8(0123456789(),-volV)(0123456789,-().volV)
- Sloey, T. M., Howard, R. J., & Hester, M. W. (2015). Response of *Schoenoplectus acutus* and *Schoenoplectus californicus* at Different Life-History Stages to Hydrologic Regime. *Springer*, 37-46. doi:10.1007/s13157-015-0713-8
- Song Shun, L., Shui Long, S., Annan, Z., & Hai Min, L. (2020). Assessment and management of lake eutrophication: A case study in Lake Erhai, China. *Science of the Total Environment. Journal Pre-proof*.
- Stevulova, N., Hospodarova, V., & Estokova, A. (2017). Study of thermal analysis of selected cellulose fibres. *GeoScience Engineering. De Gruyter, LXII*(3), 18-21. doi:10.1515/gse-2016-0020
- Szczesniak, L., Rachocki, A., & Tritt Goc, J. (2008). Glass transition temperature and thermal decomposition of cellulose powder. *Springer*(15), 445-451. doi:10.1007/s10570-007-9192-2
- Villagómez Ibarra, R., Prieto García, F., Delgadillo López, A. E., González Ramírez, C. A., Acevedo Sandoval, O. A., & Velázquez Gonzáles, C. (2019). Lagoon trophic state determination. Case of study Tecocomulco's lagoon, Hidalgo, México. *DYNA*, 86(209), 104-112. doi:10.15446/dyna.v86n209.75104
- Wang, X., Chen, H., Feng, X., Zhang, Q., Labbé, N., Kim, K., . . . Zhang, Y. (2019). Isolation and characterization of lignocellulosic nanofibers from four kinds of organosolv-fractionated lignocellulosic materials. *Wood Science and Technology*. doi:10.1007/s00226-020-01167-4
- Zarkovic, D. B., Rajakovic Ognjanovic, V. N., & Rajakovic, L. V. (2011). Conservation of resources in the pulp and paper industry derived from production approach. *Resources, Conservation and Recycling. Elsevier*, 1139-1145. doi:10.1016/j.resconrec.2011.07.003