

Recibido: 03.01.2018 | Aceptado: 12.03.2018

Palabras clave: Agave, procesos verdes, polímeros biodegradables, parénquima y zonas áridas.

Aplicaciones de la nanocelulosa obtenida del maguey



LEONARDO CHÁVEZ GUERRERO

leonardo.chavezgr@uanl.edu.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

El maguey, como se conoce comúnmente al género *Agave*, ha acompañado al ser humano en América desde hace más de 10 000 años (Aguirre Rivera, 2001), lo cual queda de manifiesto en múltiples objetos (restos de alimentos y fibras) conservados en cuevas y en la información que se conserva en códices. En la historia prehispánica, para los mexicanos, Mayáhuel era la diosa del maguey (figura 1), el cual se consideraba sagrado, con justa razón, ya que las aplicaciones de esta planta son muy variadas (*Códice borbónico*, siglo XVI).

Es una planta xerófila, lo que significa que puede sobrevivir en condiciones de baja precipitación, en zonas áridas

y semiáridas que corresponden a una tercera parte de nuestro país. Se cuenta con una gran cantidad y variedad de especies de maguey, pero sólo 200 de las 300 existentes se encuentran en esta nación y el resto en otros países del continente americano, de donde es originario (Colunga García Marín, Larqué Saavedra, Eguiarte y Zizumbo Villarreal, 2007). Actualmente es posible encontrar el maguey disperso en todo el mundo, especialmente en lugares con condiciones climáticas similares a las de México (figura 2).

Aplicaciones del maguey

Las aplicaciones más conocidas del maguey son para bebidas y para la ob-

tención de fibras. En el caso de las bebidas alcohólicas, el tequila, el mezcal y el pulque son las más comunes, pero existen otras de menor producción —en el ámbito regional— que son tradicionales, como la raicilla en Jalisco, el sotol en Durango y el bacanora en Sonora. En el siglo pasado, México fue el líder en producción de fibra natural, con las conocidas especies ixtleras, aunque en la actualidad países como Tanzania, China o Brasil lideran el mercado (Conacyt, CIA-TEJ, Agared, 2017).

Como pasa en la mayoría de los procesos de obtención de productos, se genera un desecho. En el caso del mezcal (en el que se incluye el tequila) se genera un residuo sólido denominado bagazo, además de las hojas (pencas) del maguey que quedan tiradas en el campo durante la cosecha, ya que sólo se utiliza la parte central, conocida como ‘piña’ o ‘cabeza’; en las empresas ixtleras sólo se aprovecha la fibra de algunas hojas, que representa 4 por ciento del producto, y el resto del material vegetativo es desechado, hasta 81 por ciento del total de la penca es agua (Chávez Guerrero, Sepúlveda Guzmán, Silva Mendoza, Aguilar Flores y Pérez Camacho, 2018).

¿Qué es la nanocelulosa?

La celulosa es el biopolímero más abundante en el planeta; su producción se estima en más de 100000 millones de toneladas por año (Espino, Cakir, Domek, Román Gutiérrez, Belgacem y Bras, 2014). Es un polisacárido, una fibra insoluble en agua compuesta de miles de unidades de glucosa; prácticamente todas las plantas terrestres poseen celulosa y nanocelulosa en diferentes proporciones.

La nanocelulosa es la celulosa cuya dimensión es de la escala nanométrica (1-100 nm), una millonésima parte de un milímetro (mm) (International Organization for Standardization, 2015). El tipo depende de la fuente de obtención y su método de extracción. La obtención de celulosa se lleva a cabo, principalmente, mediante un tratamiento mecánico o químico, o una combinación de ambos, y en la mayoría de los casos es necesario un pretratamiento o acondicionamiento de la materia prima. Para lograr la remoción de componentes no deseados (lignina, hemicelulosa y/o pectina), se han empleado diferentes estrategias como el uso de ácidos, álcalis, agentes oxidantes, líquidos iónicos, solventes, etcétera (Lee *et al.*, 2014). Con este pretratamiento se obtienen microfibras, con regiones amorfas y cristalinas. Estas microfibras son reducidas a tamaño nanométrico por diferentes métodos, el más comúnmente utilizado es la hidrólisis ácida, emplea ácido sulfúrico a altas concentraciones (50-65 % p/p) para lograr la despolimerización de la celulosa.

La materia prima para la producción de nanocelulosa a nivel comercial es la madera, debido a las ventajas que posee en ciertos países (Finlandia, Noruega, Canadá, Japón, entre otros) donde los árbo-



Jardín Botánico en Adelaide, Australia



Real Jardín Botánico en Madrid, España.

Figura 2.

Agaves en países con condiciones de clima similares a las de México.

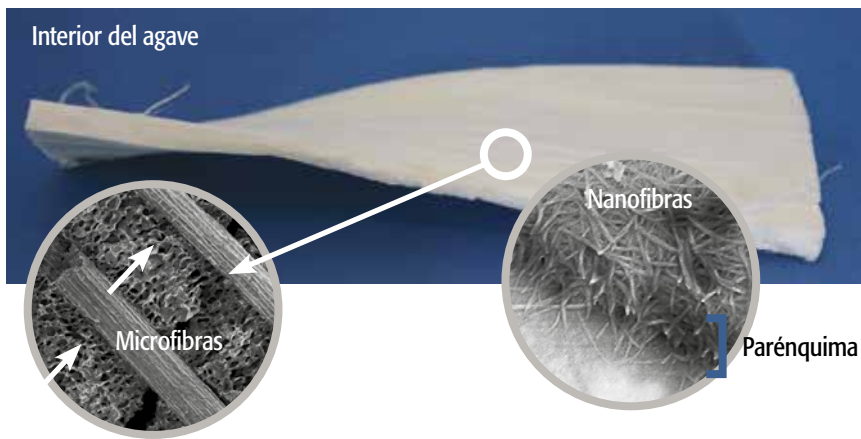
les crecen de manera acelerada debido a las condiciones ambientales favorables (temperatura, calidad de suelo y cantidad de lluvia anual). Pero el uso de la madera como materia prima para la celulosa tiene la desventaja de requerir grandes cantidades de agua y energía, además de generar subproductos contaminantes (residuos de compuestos clorados, peróxido de hidrogeno, ácidos, hidróxidos de potasio y de sodio), mismos que comparte con la industria del papel. Debido a que la madera es un material considerablemente duro, es necesario suministrar una cantidad importante de energía para reducir el tamaño en astillas o aserrín; posteriormente, se realiza un pretratamiento de blanqueado y, finalmente, la hidrólisis (división de las moléculas de agua que interactúan con otra molécula para formar una especie química distinta) con un ácido fuerte concentrado.



Figura 1.

La diosa Mayáhuil representada en un códice.

Figura 3. Interior de una hoja de agave y vista microscópica de las partes que la componen (matriz y fibra).



Propuesta desde la UANL

Por lo tanto, el grupo de trabajo en nanocelulosa de la UANL proponemos el uso de hojas (pencas) de maguey para la obtención de un biopolímero a base de nanocelulosa; normalmente las hojas son desechadas en todas las industrias que producen bebidas alcohólicas y, por lo tanto, no compite con dichas actividades, al contrario, las complementa al formar cadenas de valor que mejoran las condiciones económicas de los productores.

Las hojas del maguey se componen de una fibra milimétrica muy resistente, que se mantiene unida por una matriz, donde se encuentran los azúcares, proteínas, lignina (compuesto aromático que recubre a la celulosa) y el parénquima (células de soporte en el tejido vegetal). A su vez, el parénquima se compone de muchas nanofibras unidas entre sí de manera jerárquica, por medio de una matriz amorfa de nanocelulosa; como consecuencia, la amplitud de organización de la celulosa puede observarse en varias escalas (desde mm hasta nm) y provee a la planta con resistencia para soportar su propio peso.

Al aprovechar el parénquima de la hoja de maguey, hemos obtenido un biopolímero transparente de nanocelulosa con potencial para sustituir parcialmente las bolsas de polímeros sintéticos (plástico), principalmente aquellos destinados al

transporte de alimentos. El proceso tiene la principal característica de ser amigable con el medio ambiente, ya que requiere un menor volumen de reactivos químicos, por lo que se solicitó una patente en 2015 (en trámite) y recientemente se publicaron los resultados en la revista especializada *Cellulose* en 2017 (Chávez Guerrero, Sepúlveda Guzmán, Rodríguez Liñán, Silva Mendoza, García Gómez y Pérez Camacho, 2017). Debido a las ventajas que presenta el uso de madera para la obtención de nanocelulosa, en 2017 se desarrolló un proceso general (cuya patente está en trámite) en el que es posible el uso de cualquier tipo de material vegetal (a excepción de madera), para obtener nanocelulosa (Chávez Guerrero y Sepúlveda Guzmán, 2017).

Las microfibras contenidas en las plantas son mucho más resistentes y con mayor contenido de lignina (recubre dichas fibras), lo que les da un color café y aumenta la cantidad de reactivos durante el blanqueado, por lo que es necesaria su eliminación.

Uno de los requisitos para obtener nanocelulosa de agave es el uso exclusivo del parénquima, usando una cantidad de ácido sulfúrico concentrado de tan sólo dos por ciento en volumen, mientras que al usar madera se requiere el 64 por ciento, debido a que la madera tiene un porcentaje de lignina más alto que el

agave. El interior de las hojas de maguey es de color claro y muy frágil cuando se encuentra liofilizado (figura 3), por lo que será muy fácil blanquear y reducirlo a un tamaño apropiado (polvo o aserrín) para la hidrólisis, método que consiste en un paso y sólo requiere de 45 minutos en una autoclave a 110 °C (figura 4) para obtener un gel de nanocelulosa insoluble en agua. El uso de una autoclave no es indispensable, pero ayuda a reducir el tiempo y mejora la eficiencia, además, es una tecnología ampliamente usada en la industria de los alimentos, es decir, no se requiere de un equipo altamente especializado.

Aplicaciones del agave en el mundo

Actualmente existen diversas aplicaciones del agave en áreas emergentes, desarrolladas en México, Estados Unidos de América, Australia y China como la obtención de jarabes, edulcorantes, prebióticos, combustibles (bioetanol y carbón) y biopolímeros (nanocelulosa). Las posibles aplicaciones de la nanocelulosa son muy extensas: puede usarse en dispositivos electrónicos, en celdas solares, como apósito en medicina, como aditivo en polímeros y cosméticos, fibra dietética en alimentos, como recubrimientos y agregado en pinturas para controlar la viscosidad, entre muchas otras aplicaciones novedosas (Sekitani *et al.*, 2016).

Incluso la nanocelulosa de agave se ha usado en diversas aplicaciones quirúrgicas, ya que es posible emplearla en el tratamiento de patologías de carácter cardiovascular, oftálmico, ortopédico y en implantes permanentes. De igual forma, puede aplicarse como remedio provisional en la angioplastia coronaria, hemodiálisis y tratamiento de heridas. Recientemente se ha expandido su uso comercial en la industria cosmética, con películas que pueden liberar diversas sustancias a determinada velocidad



Figura 4. Gel de nanocelulosa y película transparente a base de agave.



LEONARDO CHÁVEZ GUERRERO

Es doctor en Nanociencias y Nanotecnología por el IPIICYT. Es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL, en donde trabaja con el proyecto "Producción de Nanocelulosa mediante procesos verdes".



ámbito mundial y siga el ejemplo excepcional de la industria del tequila y el mezcal, con el debido interés nacional, políticas apropiadas y la investigación científica constante para mejorar sus procesos de aprovechamiento sustentable e integral. **UP**

(figura 5a). Las investigaciones sobre biomateriales están en desarrollo, principalmente en el campo de la medicina como sustituto de órganos y tejidos para el tratamiento y diagnóstico de diversas enfermedades o padecimientos.

La figura 4 muestra algunas aplicaciones potenciales de la nanocelulosa laminar como bionanomaterial, en la forma de películas delgadas usadas como barrera (oxígeno, fluidos corporales) o sustratos transparentes, aplicaciones subcutáneas o películas con circuitos impresos, y en su uso para la liberación controlada de fármacos (figura 5 a y b).

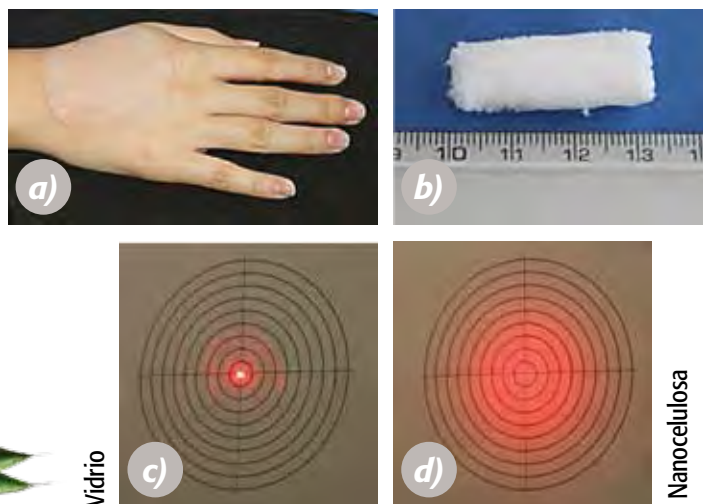
Dentro de los usos inmediatos, puede considerarse como soporte en el área de ingeniería de tejidos, como el cilindro que se muestra en la figura 5b, que mide un 1 centímetro (cm) de diámetro y 3 cm de longitud, con un peso 0.1217 gramos, por lo que tiene una densidad muy baja comparada con materiales similares. En el área de materiales avanzados, una

característica importante en dispositivos electrónicos, además de la transparencia, es la dispersión de la luz cuando pasa a través de un material (*transmission haze*), como se muestra en la figura 5d. Mientras que el haz de láser pasa a través de un vidrio y no se ve afectado (figura 5c), al pasar por una película de nanocelulosa el haz se dispersa, a pesar de ser transparente, lo cual es útil en celdas solares y dispositivos electrónicos (Sekitani *et al.*, 2016).

Las predicciones para el mercado de la nanocelulosa al año 2027 son alentadoras (*The Global Market for Nanocellulose*) (2016-2017), con miles de millones de dólares en ganancias y un crecimiento sostenido. Una vez más el maguey toma importancia, ahora en la producción de fibra soluble e insoluble y recientemente en la producción de nanocelulosa.

Esperamos que la industria de la nanocelulosa en México hecha a base de agave tenga un gran impacto en el

Figura 5. Posibles aplicaciones de la nanocelulosa en medicina o en materiales.



Vidrio

Nanocelulosa

Referencias bibliográficas:

Aguirre Rivera, J. R., Charcas Salazar, H. y Flores Flores, J. L. (2001). *El maguey mezcalero potosino*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Conacyt-Ciatej-Agared. (2017). Villarreal Hernández, S. (Coord. Ed.) *Panorama del aprovechamiento de los agaves en México*. Guadalajara: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Guzman-Mendoza/publication/319549654_Los_Agaves/links/59b2c56a458515a5b48d258a/Los-Agaves.pdf

Chávez-Guerrero, L., Sepúlveda Guzmán, S., Silva Mendoza, J., Aguilar Flores, C. y Pérez Camacho, O. (2017). Eco-friendly isolation of cellulose nanoplatelets through oxidation under mild conditions. *Carbohydrate Polymers*, 181, pp. 642-649. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.100>

Chávez Guerrero, L., Sepúlveda Guzmán, S., Rodríguez Liñán, C., Silva Mendoza, J., García Gómez, N. y Pérez Camacho, O. (2017). Isolation and characterization of cellulose nanoplatelets from the parenchyma cells of *Agave salmiana*. *Cellulose*, 24, pp 3741-3752. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-017-1376-9>

Sekitani, T., Yokota, T., Kuribara, K., Kaltenbrunner, M., Fukushima, T., Inoue, Y., Sekino, M., Isoyama, T., Abe, Y., Onodera, H. y Someya, T. (2016). Ultraflexible organic amplifier with biocompatible gel electrodes. *Nature Communications*. 7:11425, pp. 1-11. Recuperado de: <https://www.nature.com/articles/ncomms11425>