

# Uso de bagazo de la industria mezcalera como materia prima para generar energía

Leonardo Chávez Guerrero  
CIIDIT, FIME-UANL  
leonardo.chavezgr@uanl.edu.mx

## RESUMEN

*En la industria mezcalera, la planta xerófila, agave, es usada para producir mezcal, lo que produce un residuo denominado bagazo, el cual puede ser aprovechado como combustible de manera directa o en forma de carbón. Los resultados de DSC muestran los valores de calor de combustión del bagazo pirolizado (19.36 MJ/kg), bagazo (9.55 MJ/kg) y la fibra cruda (8.4 MJ/kg), demostrando con esto el potencial como fuente de energía renovable. Con estos resultados preliminares se demuestra que es posible utilizar los desechos generados en la producción de bebidas alcohólicas derivadas de plantas como el agave, las cuales pueden crecer en regiones áridas.*



## PALABRAS CLAVE

Agave salmiana, bagazo, biomasa, xerófitas, energía renovable.

## ABSTRACT

*In the mezcal industry, the xerophyte plant, agave, is used to produce mezcal (an alcoholic beverage), which produces a byproduct called bagasse. DSC results revealed differences in the heat of combustion values, where pyrolyzed bagasse (19.36 MJ/kg) had a value higher than bagasse (9.55 MJ/kg) or the raw material (8.4 MJ/kg), which proves the potential of the bagasse as a renewable source of energy. With these preliminary results it is shown that it is possible to use the byproducts generated in the alcoholic beverage production made from agave plants, which can grow in arid lands.*

## KEYWORDS

Agave salmiana, bagasse, biomass, xerophytes, renewable energy.

## INTRODUCCIÓN

La generación de fuentes renovables de energía es un tópico de gran importancia, ya que se pretende substituir parcialmente el uso de combustibles fósiles para disminuir las emisiones de compuestos como el  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$  en la atmósfera,<sup>1</sup> los cuales son responsables del efecto invernadero y de la lluvia ácida. Otra razón para proponer fuentes alternas de energía es debido a que la cantidad de combustible fósil es limitada, por lo tanto es necesario desarrollar nuevas tecnologías energéticas mientras el uso de los combustibles fósiles es aún económicamente viable.

Los cultivos energéticos como el maíz, caña, papa y frijol de soya, se han utilizando para producir biocombustibles, los cuales aportan una fracción considerable de la energía obtenida a partir de fuentes renovables.<sup>2</sup> Las tierras fértiles son normalmente usadas para producir estos cultivos, pero esto es un problema debido a que la producción de granos para consumo humano se puede reducir peligrosamente, generando hambruna o agudizándola. Además, esta práctica puede incrementar el uso de pesticidas y causar deforestación ante la inminente necesidad de más zonas de cultivo, sin tomar en cuenta que estos cultivos consumen más energía de la que producen.<sup>3-4</sup>

Existe una importante cantidad de zonas áridas y semiáridas alrededor del mundo, además, cada año esta cantidad se incrementa debido a la desertificación y a los campos abandonados por los granjeros que solían ser dedicados a la agricultura.<sup>5</sup> Es bien sabido que estas zonas áridas son capaces de producir ciertos cultivos utilizados para obtener combustible, fibras,

comida y compuestos químicos,<sup>6</sup> además de que las plantas que crecen en este ambiente pueden ser usadas como biomasa.

El clima seco y semiseco está presente en un 68% del territorio del estado de Nuevo León, como se puede observar en la figura 1,<sup>7</sup> la cual muestra, de manera simplificada, el potencial existente para el desarrollo de cultivos de agaves para producir bebidas alcohólicas con una consecuente producción de biomasa (bagaso), incrementando así las opciones del uso de energía sin poner en riesgo la producción de alimento para consumo humano.

Los agaves forman parte del grupo de las xerófilas, que son plantas que crecen en suelos con poca humedad. Existen cerca de 300 especies de agave, las cuales todas son nativas del continente americano, donde la mayoría pueden ser encontradas en México.<sup>8</sup> El agave ha sido usado por el hombre desde hace 10,000 años para producir comida, bebidas y fibras.<sup>9</sup> México cuenta con la tradición de usar el agave para producir bebidas alcohólicas destiladas,<sup>8</sup> esto data desde el siglo XVII y recientemente ha aumentado la popularidad de estas bebidas a nivel mundial. Estas bebidas son presentadas con diferentes nombres, dependiendo de la región de producción; las más populares son el tequila y el mezcal.

El mezcal es producido usando *Agave salmiana*, *Agave angustifolia* y *Agave potatorum*.<sup>8,10</sup> El proceso de producción de mezcal consiste en 5 pasos principales: cocido, molienda, fermentación, destilado y añejado.<sup>10</sup> La producción promedio de estas bebidas (base agave) iba en aumento hasta el 2007, con una generación de 9,400 L/mes,<sup>11</sup> después de lo cual ha venido disminuyendo en años recientes.

El proceso de obtención de estas bebidas alcohólicas genera un subproducto denominado bagazo, del cual se producen de 15 a 20 kg en base húmeda por cada litro de mezcal.<sup>8,12</sup> Si se generan 9,400 L/mes de mezcal y se producen 15 Kg de bagazo por litro se tendrán 141 toneladas de residuos al mes. Este subproducto puede ser utilizado como combustible dentro de la industria mezcalera y en los alrededores, pues la mayoría de las veces estas plantas productoras de mezcal se encuentran en lugares apartados donde no existe otra actividad que genere ingresos considerables para el sustento de las comunidades.



Fig. 1. Mapa de Nuevo León simplificado que indica los climas predominantes, en donde se puede ver que existen grandes regiones (68%) con clima seco propicio para el cultivo de agave.<sup>7</sup>

Una ventaja de utilizar la combustión del bagazo como fuente renovable de energía, es que debido a la naturaleza del proceso el bagazo está en contacto permanente con los productos de la fermentación, lo que significa que quedará impregnado con alcoholes que pueden incrementar la eficiencia de este al ser usado como combustible.

El presente trabajo tiene la finalidad de medir el calor de combustión del bagazo desechado por la industria mezcalera y mostrar las múltiples ventajas al usarlo como combustible sólido, estas ventajas son: 1) no proviene de productos destinados a la alimentación del ser humano (maíz, frijol de soya), 2) es un residuo agroindustrial 3) no es necesario contar con sistema de riego o fertilizar el agave para su crecimiento y lo más importante 4) el agave (materia prima) puede crecer en regiones áridas bajo condiciones extremas, que producirían estrés hídrico a otros cultivos.

## EXPERIMENTACIÓN

El bagazo analizado se obtuvo de la planta mezcalera Ipiña, S.A. de C.V. localizada en el municipio de Ahualulco, S.L.P. (Ubicación: 22° 26' LN, 101° 19' 30" LW; Altitud: 2120 msnm). Las muestras están conformadas por fibra de agave (*FA*) proveniente de la penca producto del desvirado figura 2(a), residuos de la cocción de la piña denominados bagazo (*FB*) figura 2(b) y bagazo pirolizado (*BP*) como se muestra en la figura 2(c).

La fibra (*FA*) se obtuvo de un producto comercial de la zona (cepillo de fibra), como lo muestra la

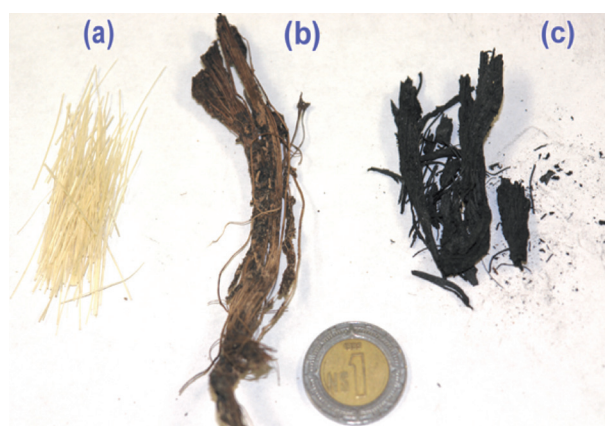


Fig. 2. Fibra de agave proveniente de la penca *FA* (a), residuo resultante de la producción de mezcal en forma de bagazo *FB* (b) y bagazo pirolizado *BP* (c).

figura 2(a). Como se puede observar en la figura 2(b) el bagazo proveniente de la “piña” del agave (*FB*) no sólo está conformado por fibra sino que es una mezcla heterogénea (fibra-matriz). Para producir el combustible en forma de carbón (*BP*) se colocaron 5 g de bagazo de agave (*FB*) en el interior de un tubo de cuarzo, después se colocó el tubo de cuarzo dentro de un horno tubular marca Barnstead modelo 2100 y se incrementó la temperatura hasta 400 °C y se mantuvo durante 30 minutos bajo estas condiciones. Todo el sistema se aisló del medio ambiente al hacer pasar un flujo de argón a través del tubo de cuarzo con una velocidad de 0.5 L/min, esto con el fin de evitar la combustión del material.

Los estudios de termogravimetría (TGA) se llevaron a cabo usando el bagazo (*FB*) con el fin de registrar el comportamiento térmico del desecho que se produce en mayor cantidad en la industria del mezcal. Se colocaron 4 mg de la muestra en un TGA Thermo Cahn modelo Versatherm en un rango de temperaturas de 25-1,000 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min en flujo de N<sub>2</sub>. Para los análisis de calorímetro diferencial de barrido (DSC) se usó un equipo DSC 60 Shimadzu, con atmósfera de nitrógeno a 100 mL/min usando contenedores de aluminio, en un rango de temperaturas de 25-500 °C durante 5,200 s. Se empleó la ecuación 1 para determinar la cantidad de energía generada (*Q*) en la combustión del bagazo y el calor de combustión (*Q<sub>c</sub>*) que se obtiene con la ecuación 2.

$$Q = mcDT \quad (1)$$

$$Q_c = Q/m \quad (2)$$

En donde *m* es la masa de combustible analizado, *c* es el calor específico del material y *DT* es la elevación de la temperatura durante el proceso. Experimentalmente el valor de *Q* se obtiene al determinar el área bajo la curva (Flujo de calor vs. tiempo) generada en el DSC. Con los valores de masa y el aumento del rango en el aumento de la temperatura (*DT*), se puede calcular el valor de *c*. Para el análisis físico del material, las muestras se recubrieron con oro aplicando 40 A por 40 segundos en atmósfera de Argón usando un equipo Cressington Sputter Coater 108 auto. Se usó el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) empleando un equipo FEI XL30 SFEG, se obtuvieron imágenes con voltajes en el rango de 3-7 kV, en el modo de electrones secundarios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis termogravimétrico (TGA) del bagazo

En el perfil 1 (azul) de la figura 3(a) podemos observar el historial térmico de la muestra *FB* que indica la pérdida de masa (mg) con respecto a la temperatura (°C). Se logra apreciar que la máxima pérdida de masa se encuentra en el rango de los 250-400°C y el porcentaje final remanente es de un 10 % el cual puede ser atribuido a las cenizas (CaCO<sub>3</sub>) o al material inorgánico. El perfil 2 (rojo) representa la primera derivada de la pérdida de masa con respecto al tiempo “*dmasa/dt*” (mg/min) de la curva 1, e indica los picos de máxima pérdida de masa, con lo que se puede identificar el desprendimiento de CO y CO<sub>2</sub>, siendo 303 y 397 °C las temperaturas respectivas. La figura 3(b) corresponde a una ampliación de la curva 2 en el rango de 29 a 200 °C donde se pueden observar diferentes picos o crestas que indican en este caso el punto de evaporación de un componente específico del mezcal.

En la tabla I se muestran los diferentes compuestos mayoritarios reportados normalmente en el mezcal,<sup>13</sup> además muestra los puntos de evaporación (BP) de algunos de estos componentes<sup>14,15</sup> y su relación con las crestas mostradas en la gráfica de TGA (figura 3(b)) con lo que se presume que el bagazo aún sigue impregnado de estos compuestos volátiles.

Por ejemplo, se sabe que la temperatura de evaporación del etanol es 78.5 °C el cual podemos relacionar con el pico situado a 80 °C en el análisis de TGA (figura 3(b)) confirmando que al quemarse el bagazo, este aún tendrá residuos de alcoholes y ésteres lo cual significa que tendrá un mejor rendimiento al ser usado como combustible (biomasa).

De la grafica mostrada en la figura 3 se puede deducir que ≈ 50% de la masa del bagazo se pierde en forma de CO y CO<sub>2</sub>, los cuales son gases que intensifican el efecto invernadero y son en parte responsables del calentamiento global.

Un aspecto remarcable sobre el proceso de generación de energía usando desechos de agave, es que el desprendimiento de CO y CO<sub>2</sub> durante la combustión del agave no incrementa la cantidad total neta de estos compuestos en el ambiente, esto debido al ciclo del carbono en el cual las plantas absorben CO<sub>2</sub> de la atmósfera para integrarlo en sus tejidos.

Los combustibles fósiles incrementan el CO<sub>2</sub> en el ambiente, lo que desencadena efectos negativos importantes en el cambio climático, además de que contienen NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y compuestos de plomo, responsables de la lluvia ácida.

Tabla I. Se muestran los diferentes compuestos encontrados en el mezcal indicando la temperatura (°C) de evaporación (BP) y su posible relación con un pico correspondiente al análisis de TGA, figura 3 (b).

Nombre	Metanol	Etil acetato	Etanol	n-propanol	2-butanol	2-metil-propanol	Ácido acético	2-metil-1-butanol	Alcoholes superiores
BP	64.6	77	78.5	97.2	99.5	108	117.9	128	137-157
TGA	60	68	80	99	99	112	125	136	149

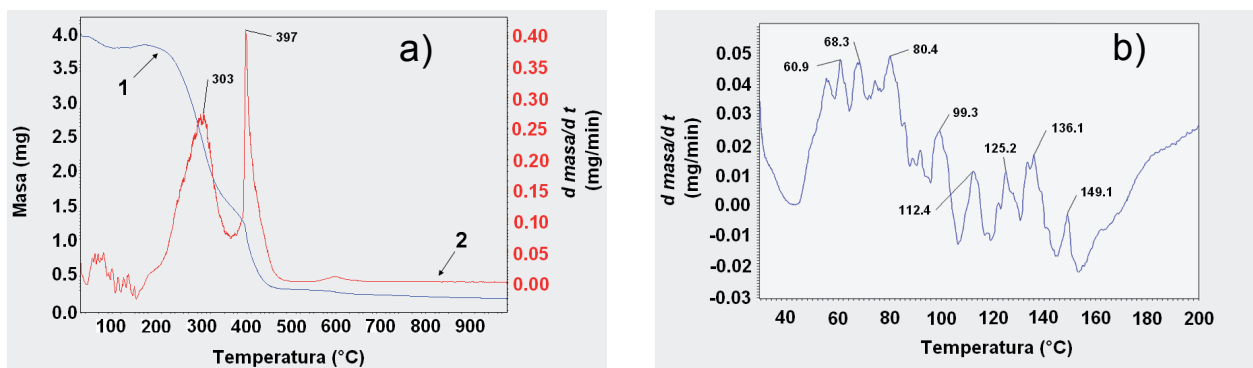


Fig. 3. Gráficas que muestran (a) el comportamiento térmico del bagazo de agave, y (b) las temperaturas de evaporación de las sustancias volátiles en el rango de 29 a 200 °C.



### CALORÍMETRO DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

En la figura 4 se muestran tres perfiles que corresponden a la materia prima analizada mediante DSC, donde se grafica el tiempo en segundos (s) y el flujo de calor en miliWatts (mW). Mediante estas curvas se puede determinar el calor de combustión  $Q_c$  del combustible al quemarse, esto se realiza mediante el software del equipo, el cual arroja los valores del área bajo la curva en un rango de temperaturas para la masa proporcionada.

Es necesario hacer notar que los experimentos de DSC se llevaron a cabo en atmósfera de nitrógeno con el fin de determinar el  $Q_c$  intrínseco o el mínimo que puede presentar el material, ya que si se calienta o se quema en presencia de una mayor cantidad de oxígeno el  $Q_c$  será mayor en función de la cantidad de  $O_2$  con la que se combine el combustible hasta llegar a un máximo conocido como el “oxígeno estequiométrico”, es decir el necesario para su combustión completa. Podemos observar que en el caso de la fibra (FA) y el bagazo (FB) aparecen 3 picos que indican la liberación de energía debido a procesos exotérmicos que se llevan a cabo al quemarse el material. Mientras que en el caso del bagazo pirolizado (BP) sólo aparece un pico más grande y exotérmico, lo cual indica la liberación de una mayor cantidad de calor que se traduce en un calor de combustión más uniforme y controlado.

La tabla II contiene todos los valores obtenidos mediante el DSC, con el fin de calcular el valor de calor de combustión  $Q_c$ . Con el área bajo la curva que se obtuvo de cada material mostrado en la figura 4, se obtiene  $Q$  utilizando el software del equipo. El factor de conversión es de 0.001 Joules por cada  $mW \cdot s$ , con lo que se puede ver en la tabla II que

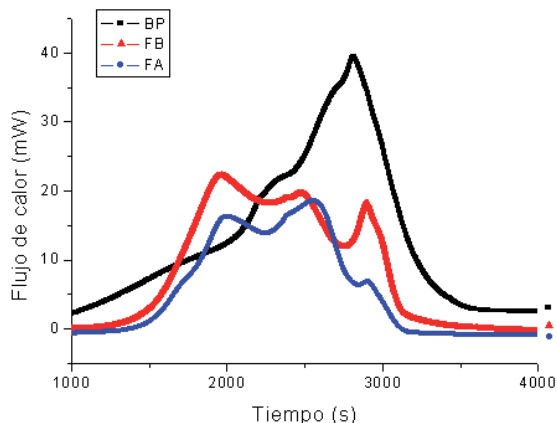


Fig. 4. Gráfica que muestra los perfiles de flujo de calor [mW] vs. tiempo [s], obtenidos mediante DSC de los 3 materiales analizadas en el presente estudio.

18.47  $mW \cdot s$  (área de la curva de FA) equivalen a 18.47 Joules y esta cantidad se divide entre la masa empleada que fue  $2.2 \times 10^{-3}$  g, para obtener un calor de combustión de 8.39 KJ/g o también 8.39 MJ/Kg. Con los valores contenidos en la tabla II, es posible efectuar comparaciones con otros combustibles de origen orgánico, lo cual ayudará a generar un balance energético de los materiales estudiados.

En la tabla III se muestran los valores  $Q_c$  de diversos materiales, donde se observa que el valor más alto de los experimentos fue el que corresponde al bagazo pirolizado 19.36 MJ/kg, dicho valor es mayor que el reportado para la madera 18.7 MJ/kg y el bagazo de caña 7.05 MJ/kg.<sup>16</sup> Como consecuencia se podría sustituir de manera parcial a la madera por el bagazo pirolizado en los procesos de calefacción dentro de la mezcalera, e incluso para su venta a nivel local o en la producción de electricidad.

Como se mencionó anteriormente, es posible que el bagazo se encuentre impregnado con algunos

Tabla II. Valores empleados para calcular el calor de combustión  $Q_c$  de las muestras.

	$M \times 10^{-3}$ (g)	$DT$ (k)	Área $\times 10^3$ ( $mW \cdot s$ )	$Q$ (J)	$c$ ( $J/g \cdot K$ )	$Q_c$ ( $KJ/g$ )
Fibra	2.20	552.65	18.47	18.47	15.19	8.39
Bagazo	2.60	571.67	24.84	24.84	16.71	9.55
Carbón	1.80	661.68	34.85	34.85	29.26	19.36

Tabla III. Valores calor de combustión ( $Q_c$ ) de diferentes materiales (MJ/kg).

Bagazo Pirolizado (BP)	Bagazo (FB)	Fibra (FA)	Bagazo de caña <sup>16</sup>	Etanol <sup>16</sup>	Leña <sup>16</sup>	Carbón Térmico <sup>16</sup>
19.36	9.55	8.39	7.05	26.81	14.48	18.98

alcoholes, con lo que se podría incrementar el calor de combustión de este. Por ejemplo, el etanol tiene un  $Q_c$  de 26.81 MJ/kg, así que al estar presente aún en pequeñas cantidades, el calor de combustión se vería incrementado. Con esto se puede mostrar la ventaja de usar el proceso de generación de mezcal, en donde se introduce el agave cocido en la tina de fermentación, lo cual no se utiliza en el proceso de producción de tequila.

En cuanto al valor del  $Q_c$ , existe una diferencia de  $\approx 1$  MJ/kg entre la *FA* y *FB* con lo que se deduce que el bagazo (*FB*) es mejor que la fibra, probablemente por los residuos de alcohol en el bagazo, así también se puede ver que el  $Q_c$  del bagazo pirolizado (*BP*) aumenta al doble con el proceso de pirólisis. Si se producen 141,000 kg de bagazo con un calor de combustión de 9.55 MJ/kg, al quemarse se estarían generando 1,346,550 MJ al mes, que si se aprovechan en las plantas mezcaleras,

ayudaría a reducir el consumo de combustibles fósiles. Si se quisiera generar esta cantidad de energía con el uso de leña ( $Q_c=14.48$  MJ/kg) o etanol ( $Q_c=26.81$  MJ/kg) serían necesarias  $\approx 93$  Ton y 50 Ton respectivamente.

Mediante estos resultados se comprueba que es posible emplear el bagazo pirolizado como una fuente de energía y de esta manera obtener beneficios ambientales importantes. Una ventaja de usar el método de pirólisis en el bagazo es la obtención de compuestos secundarios en forma gaseosa y líquida que pueden ser utilizados como combustible. Un punto importante a considerar es que sin tener el balance energético de *FB*, *FA* o *BP* (al ser usados como combustible), el quemar el bagazo en las mezcaleras para reducir su volumen es un hecho común, por lo tanto la cantidad de energía que se pueda aprovechar en el proceso de eliminación (reducción) del bagazo, siempre será positivo.

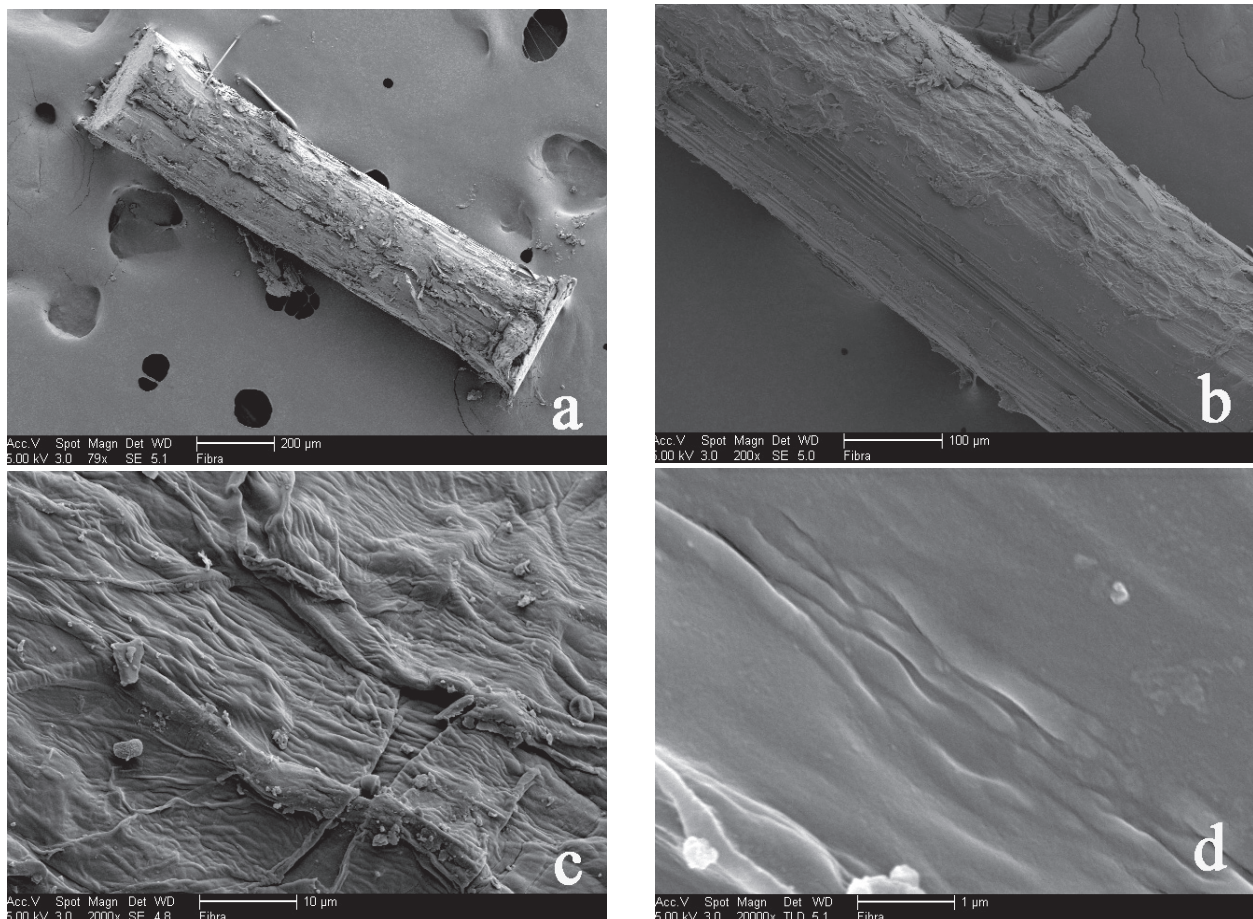


Fig. 5. Imágenes de MEB que muestran (a) una fibra de agave *FA*, (b) su superficie, y (c-d) la morfología superficial de la fibra a altas magnificaciones.<sup>17</sup>



## MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (MEB)

En la figura 5(a) se muestra una imagen obtenida mediante MEB donde se puede medir y observar la forma de una fibra de agave (*FA*). Las fibras tienen espesores y longitudes variables debido a la heterogeneidad de la muestra. En la figura 5(b-d) se muestra la fibra a una mayor magnificación donde se puede observar la morfología superficial de la fibra. La superficie es relativamente plana debido a que consiste en fibra natural extraída de la “penca” por lo que se observa bastante homogénea a esta magnificación.

En la figura 6(a) se muestra una fibra que corresponde al bagazo (*FB*) y se logra apreciar un cambio morfológico de la superficie mostrando huecos debido a la molienda, cocción y extracción de los azúcares en el proceso de fermentación. En la figura 6(b) se muestra el deterioro y algunos huecos de la fibra a una escala menor, donde se puede apreciar que la superficie ya no es homogénea como en el caso de la *FA* y en la figura 6(c-d) se aprecia la estructura interna del agave, la cual se revela debido al daño que sufre la *FA* durante el proceso de producción.

En la figura 7 se muestran imágenes del bagazo pirolizado donde se observan los daños causados por el tratamiento térmico (400 °C) ya que se eliminan los compuestos volátiles así como el H<sub>2</sub>O, CO y CO<sub>2</sub>. En estas imágenes también se puede observar la estructura interna del agave, la cual está compuesta de fibras rectangulares, ordenadas a manera de espiral, con estas imágenes es posible plantear un modelo de crecimiento de la planta a diferentes escalas, con el fin de generar mayor conocimiento y por lo tanto ampliar sus posibles aplicaciones con el uso de la biomimética.

En la figura 7(d) se observan partículas menores a 1 µm depositadas sobre las fibras, que posiblemente correspondan a precipitados de calcio y/o potasio que se formaron durante la pirólisis. Es importante notar que las dimensiones de estas caen en el dominio de estudio de la nanotecnología, por lo que estas partículas pueden ser aprovechadas. La caracterización exhaustiva mediante MEB se realiza con el fin de conocer a fondo la materia prima utilizada para generar energía, esto debido a que existe muy poca literatura sobre el bagazo de la industria mezcalera y las transformaciones que sufre en el proceso de producción.

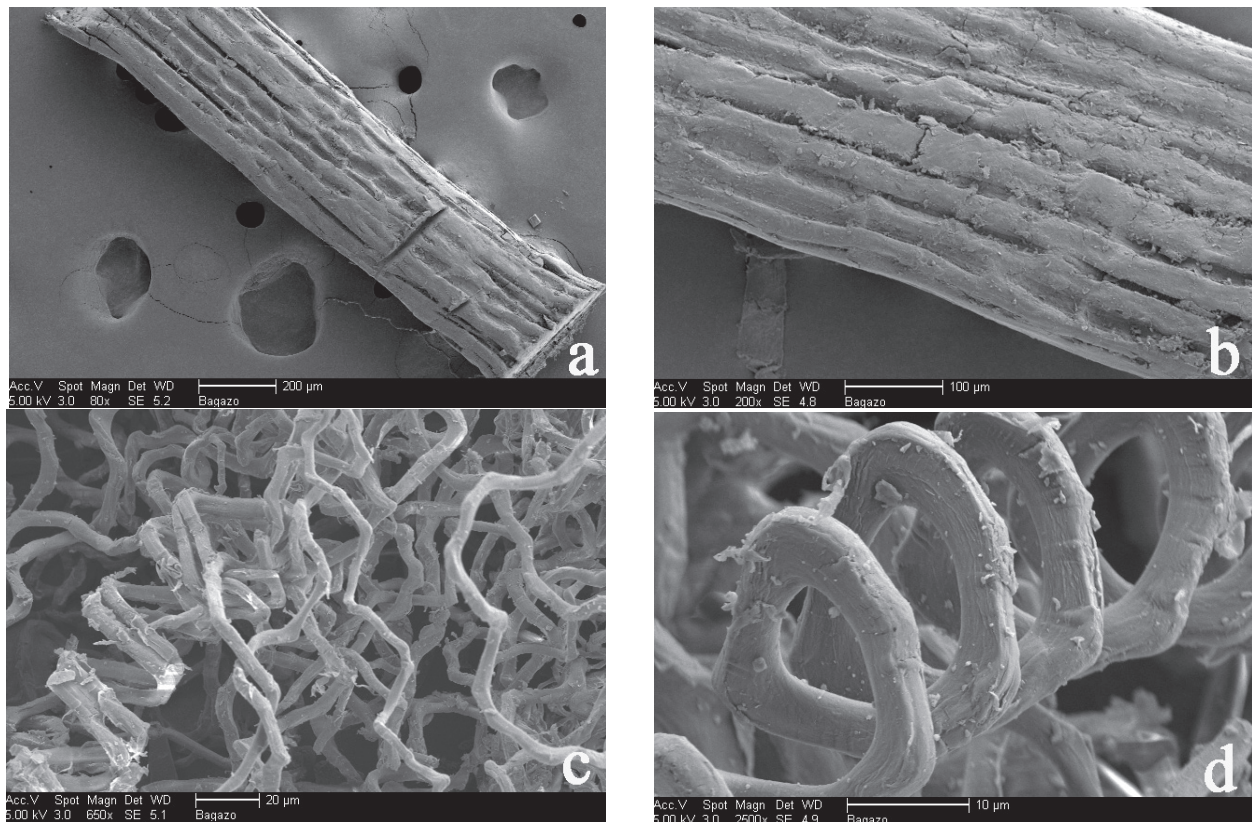


Fig. 6. Imágenes de MEB que muestran (a-b) las fibras de bagazo y (c-d) la morfología superficial de fibra en el bagazo.<sup>17</sup>

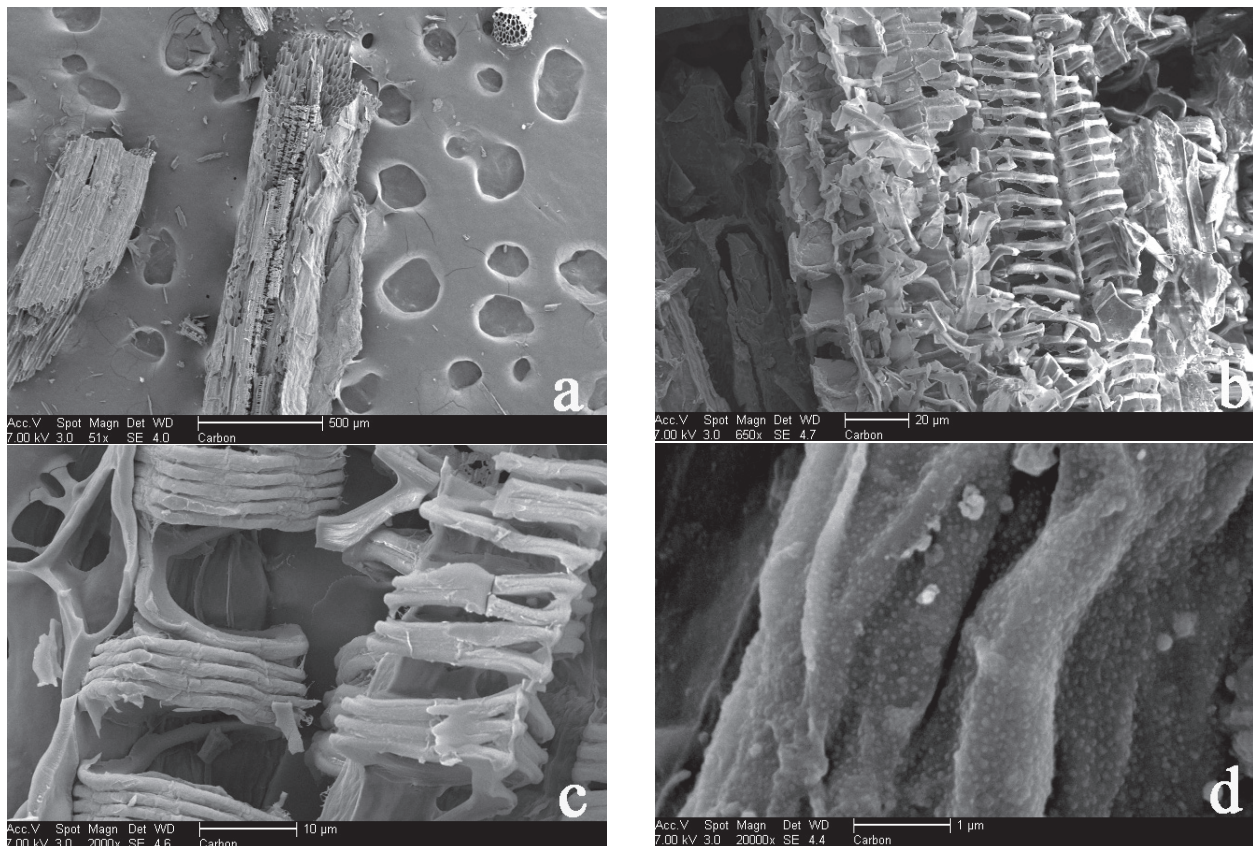


Fig. 7. Imágenes de MEB que muestran el bagazo pirolizado BP a diferentes magnificaciones, con las cuales se puede tener una idea de la estructura interna de las fibras de agave.<sup>17</sup>

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación, generan información que sustenta la viabilidad de utilizar bagazo de agave, ya sea en forma directa o pirolizado (carbón), como un combustible sólido.

Los valores del calor de combustión ( $Q_c$ ) encontrados fueron: 19.36 MJ/kg, 9.55 KJ/g, 8.39 KJ/g para el bagazo pirolizado, bagazo y la fibra respectivamente. Se encontró que el  $Q_c$  del bagazo se encuentra en concordancia con el de otros subproductos (caña) y que esta propiedad de los desechos puede ser incrementada utilizando la pirólisis, produciendo combustible sólido en forma de carbón y con posibilidad de obtener combustibles líquidos y gaseosos.

Con los resultados presentados se logró comprobar que en base a datos del calor de combustión y la cantidad de desecho generado ( $\approx 140$  Ton/mes), es factible emplear bagazo de la industria productora de

bebidas alcohólicas (cualquiera que sea su nombre) para generar energía.

El bagazo permanece impregnado con alcoholes al final del proceso, por lo que se beneficia la eficiencia energética de este al ser usado como combustible sólido.

Finalmente se muestra de una manera general, el potencial de las plantas xerófitas de ser cultivadas en regiones áridas para suplir de manera parcial las necesidades energéticas de un estado industrializado y con grandes regiones áridas como Nuevo León, todo esto de una manera sustentable, empleando energía renovable y disminuyendo así la dependencia de los combustibles fósiles.

Es claro que las aportaciones energéticas del bagazo son limitadas, pero se debe considerar para un futuro en el que otros combustibles no sean económicamente viables. Por lo tanto la conjunción de varias fuentes de energía renovable con pequeñas aportaciones, tendrán cada vez mayor importancia al crear una independencia del petróleo.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo principalmente en las instalaciones de la FIME y el CIIDIT de la UANL. El autor agradece el apoyo recibido del CONACYT a través de la beca de retención (#92991) otorgada en el 2008-2009, al IPICYT (SLP) por las atenciones hacia el autor en el uso de equipo de caracterización, y a A. R. Rosas y P. Guerrero por las observaciones realizadas al presente trabajo.

## REFERENCIAS

1. Arthur J. Ragauskas, Charlotte K. Williams, Brian H. Davison, George Britovsek, John Cairney, Charles A. Eckert, William J. Frederick, Jr., Jason P. Hallett, David J. Leak, Charles L. Liotta, Jonathan R. Mielenz, Richard Murphy, Richard Templer, and Timothy Tschaplinski (2006). The path forward for Biofuels and Biomaterials. *Science* 311, 484-489.
2. José Goldemberg (2007). Ethanol for a sustainable Energy Future. *Science* 315, 808-810.
3. Jens R. Rostrup-Nielsen (2005). CHEMISTRY: Marking Fuels from Biomass. *Science* 308, 1421-1422.
4. N. Jordan, G. Boody, W. Broussard, J. D. Glover, D. Keeney, B. H. McCown, G. McIsaac, M. Muller, H. Murray, J. Neal, C. Pansing, R. E. Turner, K. Warner, and D. Wyse (2007). Sustainable Development of the Agricultural Bio-Economy. *Science* 316, 1570-1571.
5. James F. Reynolds, D. Mark Stafford Smith, Eric F. Lambin, B. L. Turner, II, Michael Mortimore, Simon P. J. Batterbury, Thomas E. Downing, Hadi Dowlatabadi, Roberto J. Fernández, Jeffrey E. Herrick, Elisabeth Huber-Sannwald, Hong Jiang, Rik Leemans, Tim Lynam, Fernando T. Maestre, Miguel Ayarza, and Brian Walker Global (2007). Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* 316, 847-851.
6. C. Wiley Hinman. New Crops for Arid Lands (1984). *Science* 225, 1445-1448.
7. INEGI. Clima de Nuevo León. <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/nl/territorio/clima.aspx?tema=me&e=19>
8. Colunga-García P., Larqué A., Eguiarte L., Zizumbo-Villarreal D. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. pp 304. CONABIO, México, 2007. ISBN: 978-968-6532-18-0.
9. Jenna T. Kuttruff, S. Gail DeHart, and Michael J. O'Brien. 7500 Years of Orehisotic Footwear from Arnold research Cave, Missouri. *Science* 281 (1998), 72-75.
10. Antonio de León-Rodríguez, Pilar Escakante-Minakata, Ana P. Barba de la Rosa, Hans P. Blaschek. Optimization of Fermentation Conditions for the Production of the Mezcal from *Agave salmiana* Using Response Surface Methodology. *Chemical Engineering Processing* 47 (2008), 76-82.
11. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Bebidas destiladas de Agave/Tequila/volumen, México (último acceso 23 de marzo de 2010). <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/NIVC100640055003300090010003000090#ARBOL>
12. Armando Baena González (IPICYT 2005). Aprovechamiento del Bagazo de Maguey Verde (*Agave salmiana*) de la Agroindustria del Mezcal en San Luis Potosí para la Producción de Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*). Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales.
13. Antonio de León Rodríguez, Lidia González-Hernández, Ana P. Barba de la Rosa, Pilar Escalante-Minakata, and Mercedes G. López (2006). Characterization of Volatile Compounds of mezcal, an Ethnic Alcoholic Beverage Obtained from *Agave salmiana*. *J. Agric. Food Chem.* 54, 1337-1341.
14. The Merck Index (1989). 11 Edition Merck and Co. Rahway, N.J., U.S.A
15. Robert H. Perry, Don W. Green (1999). Perry's Chemical Engineers Handbook, 7th Edition. Mc. Graw Hill, USA.
16. Balance Nacional de Energía 2005. Secretaría de Energía, México 2005 (pp 84). [http://www.energia.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/balance2005.pdf](http://www.energia.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/balance2005.pdf)
17. Chávez Guerrero Leonardo (junio de 2008). Producción y Caracterización de Nuevos Materiales: Carbón Activado y Materiales Mesoporosos. Tesis de doctorado (nanociencias y nanotecnología) en el IPICYT (S.L.P.).