



BAGAZO DE AGAVE, LA OTRA CARA (VALIOSA) DE LA PRODUCCIÓN DE TEQUILA

Eliud Escudero-Enríquez ^a, Oscar Daniel Lara Montaña ^a, Sergio Iván Martínez Guido ^a, Claudia Gutiérrez-Antonio ^{a,*}

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. Cerro de las Campanas s/n, col. Las Campanas, 76010, Querétaro, Querétaro, México. claudia.gutierrez@uaq.mx

Resumen

El tequila es un importante producto mexicano, cuya producción ha ido en aumento año con año, dando cada vez más beneficios económicos a través de su comercio. Sin embargo, durante el proceso de elaboración del tequila se generan subproductos que, al no ser aprovechados, se convierten en desechos. En particular, el bagazo de agave representa una problemática importante; este residuo está constituido por las fibras vegetales restantes durante la molienda del agave. Actualmente, la única práctica de valorización adoptada es el compostaje del bagazo, el cual es un proceso lento, que requiere grandes extensiones de tierra, y cuyo bien último tiene poco valor comercial. Por otra parte, el incremento en la producción de tequila también ha causado un aumento en la generación de bagazo de agave; este hecho se ha convertido en una situación preocupante para el sector. Ante dicha problemática, han surgido diversas alternativas para afrontar el reto de revalorizar el bagazo de agave. Es así que, en el presente trabajo, se exponen las alternativas que se han propuesto como estrategias para reincorporar esta biomasa a la cadena de valor y contribuir así al crecimiento sostenible de la industria tequilera.

Palabras clave: Bagazo de agave; revalorización; economía circular; sustentabilidad; tequila.

AGAVE BAGASSE, THE OTHER (VALUABLE) SIDE OF TEQUILA PRODUCTION

Abstract

Tequila is an important Mexican product, whose production has been increasing year after year, giving more and more economic benefits through its trade. However, during the tequila production process, by-products are generated that, by not being used, become waste. In particular, the agave bagasse represents an important



problem; this residue consists of the vegetable fibers remaining during the grinding of the agave. Currently, the only valorization practice adopted is bagasse composting, which is a slow process that requires large OF land area, and whose ultimate good has little commercial value. On the other hand, the increase in tequila production has also caused an augment in the generation of agave bagasse; this fact has become a complex situation for the sector. Faced with this problem, various alternatives have emerged to face the challenge of revaluing the agave bagasse. Thus, in this paper, the alternatives that have been proposed as strategies to reincorporate this biomass into the value chain and thus contribute to the sustainable growth of the tequila industry are exposed.

Keywords: Agave bagasse; revalorization; circular economy; sustainability; tequila.



1. Introducción

El tequila se encuentra definido ante la Ley como “Bebida alcohólica regional por destilación de mostos, preparados directa y originalmente del material extraído, en las instalaciones de la fábrica de un productor autorizado la cual debe estar ubicada en el territorio comprendido en la Declaración General de Protección a la Denominación de Origen ‘Tequila’ derivados de las cabezas de Agave de la especie tequilana weber variedad azul” (NOM, 2012). La producción de tequila ha incrementado de manera sostenida; el total de litros producidos entre tequila y tequila 100% ha pasado de 104.3 millones de litros en 1995 a 601.5 millones de litros para 2022 (Figura 1) (CRT, 2023b); este aumento impacta de manera positiva en las ventas, los empleos y otros beneficios derivados de esta industria. Sin embargo, también se presentan efectos adversos derivados de la actividad de las tequileras, muchos de los cuales afectan de manera negativa al medio ambiente.

2. Proceso de elaboración del tequila

El proceso de producción de tequila consta de tres etapas principales. En primer lugar, se

cultiva el agave (Figura 2), el cual requiere alrededor de 8 años en estar listo para ser cosechado (Cedeño, 1995; CRT, 2019).

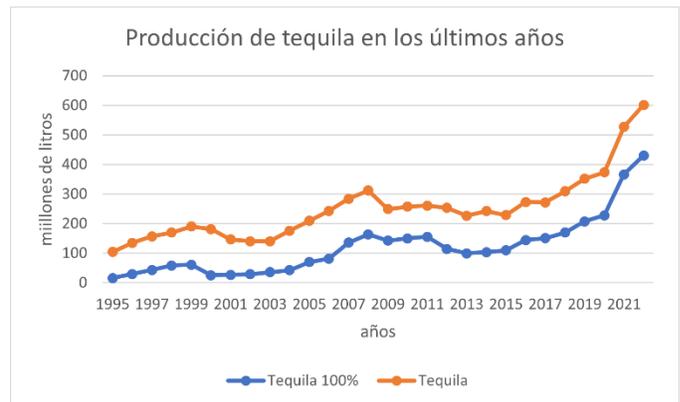


Figura 1. Producción anual de tequila y tequila 100% desde 1995 hasta 2022.

Elaboración propia con datos del CRT (2023).



Figura 2. Ejemplo de cultivo de agave.
Imagen tomada de Pixabay.

Una vez que se ha alcanzado la madurez adecuada para la cosecha, se colecta la cabeza del agave. En la cosecha del agave se quitan las pencas, dejando sólo la parte central de la planta, conocida como cabeza o piña.



Tras la cosecha, en la segunda etapa del proceso, las cabezas se ingresan en un horno. En este proceso, conocido como cocción del agave, se lleva a cabo la hidrólisis: ésta se define como una reacción química que se lleva a cabo en presencia de calor y agua, en la que se degradan moléculas complejas en otras más sencillas. En la hidrólisis, los compuestos químicos que se encuentran en el agave, especialmente de la inulina (un tipo de azúcar complejo), se convierten en azúcares simples que son fácilmente fermentables. Este proceso se puede llevar a cabo en hornos de piedra o mampostería, e inclusive en equipos más sofisticados como autoclaves.

El siguiente paso es la molienda, en la cual las cabezas de agave cocidas se colocan en molinos de distintos tipos; uno de los más antiguos, aún usado en la actualidad, es la tahona o molino cañero. En esta etapa, las piñas se someten a presión para ser exprimidas, y con esto separar los jugos de las fibras para llevarlos a la etapa de fermentación. En la fermentación se agregan levaduras a la mezcla para la transformación de los azúcares presentes en etanol.

Como etapa final, el líquido resultante de la fermentación se lleva a un equipo de destilación, en el que la mezcla se calienta a

una temperatura entre 95 °C y 100 °C para generar una fase de vapor que coexiste con la fase líquida (Cedeño, 1995; CRT, 2019). El fermentado consiste principalmente de etanol y agua, además de otras sustancias que dan el sabor, color y aroma característico del tequila. Durante la destilación, las moléculas más volátiles, que corresponden principalmente al alcohol, forman parte de la fase vapor. Este vapor asciende por la columna hasta llegar a un condensador, para así cambiar nuevamente al estado líquido. A este condensado que consiste en alcohol, agua y otros compuestos orgánicos se le conoce como tequila (Figura 3).

Es importante mencionar que cuando la fermentación se lleva a cabo de manera exclusiva con azúcares que provienen del agave tequilana weber var azul, el producto final se denomina tequila 100% (NOM, 2012). En contraparte, el tequila se obtiene cuando en la fermentación al menos el 51% de los azúcares provienen del agave tequilana weber var azul, y el 49% restante de azúcares siempre y cuando no provengan de otra variedad de agave (NOM, 2012).



Figura 3. La icónica bebida mexicana, el tequila. Imagen tomada de Pixabay.

2.1. Subproductos de la elaboración del tequila

Durante el proceso de elaboración del tequila se genera el bagazo, como resultado de la molienda y posterior separación de las fibras de las piñas. Aquí las preguntas que surgen incluyen ¿a dónde va el bagazo?, ¿qué consecuencias tiene al medio ambiente?, ¿se podría hacer algo con el bagazo?

Con respecto a su destino, la mayor parte del bagazo es desechado en terrenos cercanos a la planta de producción, o peor aún se realiza la quema al aire libre (CRT, 2019). ¿Existen consecuencias de esta acción?, la respuesta es sí, y éstas son muy graves. Cuando el bagazo se encuentra en el suelo lo vuelve más ácido, dañando el medio ambiente; por si fuera poco, debido a su naturaleza química el bagazo requiere años para poder degradarse (Abdel-

Hamid et al., 2013). En el caso de la quema directa, el impacto es aún mayor, al liberar grandes cantidades de CO₂ al medio ambiente ¿Existen alternativas que eviten que el bagazo sea desechado? Sí, actualmente existen muchas alternativas para emplearlo. Sin embargo, para que éstas puedan ser implementadas deben ser factibles no sólo técnicamente, sino también financieramente, y con un bajo impacto ambiental.

Cabe mencionar que la generación de bagazo de agave va al alza. Tan sólo en el transcurso de los últimos dos años (de 2021 a 2022) su generación ha pasado de 807,480 toneladas a 1,044,320 toneladas (CRT, 2023b). La importancia es tal que el Consejo regulador del tequila incluye la reutilización del bagazo entre los objetivos del último consorcio de investigación creado (CRT, 2023a).

Por ello, se debe cambiar el paradigma de considerar que al bagazo, al igual que muchos subproductos agrícolas, como basura y concebirlo como una nueva materia prima que puede usarse para generar otros productos (Kumar & Ram, 2021). Existen muchas investigaciones que indican que el bagazo de agave se puede utilizar para elaborar una gran cantidad de bienes. Así, a continuación se comparten algunas de las



alternativas que se han presentado para la valorización del bagazo de agave.

3. Estrategias para la valorización del bagazo de agave

3.1. Aglomerados

El bagazo de agave es catalogado como un compuesto lignocelulósico, ya que está compuesto por lignina, celulosa y hemicelulosa; estos compuestos químicos tienen un rol estructural en las plantas al brindarles rigidez y dureza. El contenido de estos compuestos en el bagazo de agave es muy parecido al de la madera, por lo que se han explorado usos similares a los propuestos en los residuos de la madera.

Los aglomerados como el tablero de densidad media (MDF, medium density fibreboard por sus siglas en inglés), el triplay (tabla formada por capas de madera entrecruzadas), o la madera plástica (WPC, wood-plastic composite por sus siglas en inglés) son materiales ampliamente empleados en la industria mueblera, así como para la elaboración de puertas y marcos de ventanas. La producción de los aglomerados se lleva a cabo por la compresión a altas temperaturas de aserrín u otras fibras vegetales, ya sea solo o en combinación con algún plástico. En este

contexto, la propuesta reside en emplear el bagazo de agave como materia prima, pues al igual que otras materias primas, experimentales y tradicionales, se trata de una fibra vegetal lignocelulósica (Huerta-Cardoso et al., 2020; Langhorst et al., 2018).

3.2. Biometano

El biometano es un biocombustible que puede utilizarse para cocinar o para la calefacción. Este biocombustible se obtiene a través de un proceso de biodigestión anaerobia, en el cual un material lignocelulósico se convierte en biogás gracias a la acción de ciertos tipos de bacterias. Dentro de los materiales lignocelulósicos que se han empleado se encuentran diferentes tipos de residuos, entre los cuales se incluyen excretas animales, residuos agrícolas, entre otros.

En este contexto, el bagazo de agave se puede emplear como materia prima para producir biogás; esto se debe a que dada su composición lignocelulósica, el bagazo de agave puede ser sometido a un tratamiento de ácido para liberar azúcares que, a su vez, pueden ser convertidos en biometano por un biodigestor. Este proceso de aprovechamiento permitiría tener un gran beneficio, ya que el biometano generado puede emplearse en el mismo proceso de



producción del tequila como reemplazo de los combustibles fósiles (Arreola-Vargas et al., 2015a, 2015b, 2016; Breton-Deval et al., 2018; Buitrón et al., 2019; Galindo-Hernández et al., 2018; López-Gutiérrez et al., 2021; Montiel Corona & Razo-Flores, 2018; Rios-Del Toro et al., 2021; Tapia-Rodríguez et al., 2019; Vital-Jácome et al., 2022).

3.3. Bioetanol

El bioetanol es un biocombustible líquido que se diferencia del etanol convencional en que es obtenido a partir de fuentes renovables. De hecho, el bioetanol se emplea en mezclas con gasolina en muchos países. De manera convencional, el bioetanol es producido mediante la conversión de materiales ricos en azúcares con la ayuda de microorganismos. A nivel internacional, una de las principales materias primas empleadas es el maíz. Sin embargo, en México este insumo no puede utilizarse a menos que exista un superávit en su producción y se cuenta con la autorización de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Adicionalmente, el uso de este grano para producir bioetanol pone en riesgo la seguridad alimentaria de la población mexicana.

Ahora bien, el bagazo de agave se compone principalmente de carbohidratos complejos; por ello, es posible fraccionar estos carbohidratos obteniendo así azúcares simples, en particular glucosa. Este proceso de “degradación” es conocido como hidrólisis. La glucosa así obtenida se puede emplear en procesos de fermentación, cuyo producto final sea el bioetanol. Este proceso de aprovechamiento permitiría tener un beneficio, ya que el bioetanol generado puede emplearse como aditivo en los vehículos con motores a gasolina o diésel, que sean empleados en la industria del tequila (Aguirre-Fierro et al., 2020; Caspeta et al., 2014; Delfin-Ruíz et al., 2021; Pérez-Pimienta et al., 2017; Rios-González et al., 2017).

3.4. Inulina

La inulina es una sustancia química, perteneciente a los carbohidratos complejos, que posee propiedades como probiótico, ya que tiene efectos positivos en la microbiota intestinal (Ahmed & Rashid, 2019; Boeckner et al., 2001). La inulina es un compuesto que está presente en grandes cantidades en el agave; por ello, se ha propuesto al bagazo de agave como una fuente de inulina.



De esta manera se propone la incorporación del bagazo de agave en alimentos preparados, entre los que se listan barras de cereal o galletas, por ejemplo. Otra estrategia sería la extracción de ese compuesto y su uso posterior en los alimentos preparados (Zamora-Gasga et al., 2014)

3.5. Nanopartículas de celulosa

Las nanopartículas son sustancias prometedoras, ya que sus usos potenciales incluyen creación de fármacos de liberación lenta, empleo en el trasplante de tejidos, así como materia prima para elaborar materiales aislantes.

El bagazo de agave se puede utilizar para elaborar nanocelulosa, ya que contiene mucha celulosa, y su extracción es un proceso factible. Una vez la celulosa es extraída se producen las nanopartículas, para lo cual pueden emplearse métodos químicos, físicos, biológicos, o bien una combinación de estos tres. De manera particular, la nanocelulosa obtenida de bagazo de agave requiere un proceso con poco impacto medioambiental; esto se debe a que se reduce el uso de sustancias ácidas y alcalinas que suelen emplearse en los procesos convencionales de producción (Espino et al., 2014; Robles et al., 2018).

3.6. Alimento para rumiantes

El alimento para rumiantes (como vacas, ovejas y cabras) consiste de diferentes ingredientes, los cuales permiten cumplir con su demanda nutrimental para procurar su adecuado crecimiento y desarrollo. Los rumiantes tienen la capacidad de digerir plantas o sus derivados, por lo cual el bagazo de agave puede ser utilizado como ingrediente en los alimentos de rumiantes.

Para elaborar alimento a partir del bagazo de agave, éste primero se muele y posteriormente se separa en dos fracciones con ayuda de un tamiz: una fracción es fácilmente digerible (compuesta de celulosa), y otra poco digerible (compuesta de lignina). Una vez separada, la fracción fácilmente digerible se mezcla con otros ingredientes para obtener un alimento balanceado para los rumiantes. El uso del bagazo de agave permite sustituir parcial o completamente al maíz, sorgo y/o trigo, con los que normalmente se preparan estos alimentos (Iñiguez-Covarrubias et al., 2001).

3.7. Sustrato para plantas

Un sustrato es aquel material que cumple la función de dar soporte a una planta, sobre todo para el desarrollo de raíces; en el sustrato



debe haber agua y nutrientes para que una planta pueda lograr un desarrollo óptimo. Si bien, el suelo (o tierra) suele ser el sustrato más común, no es el único; usualmente, en los invernaderos de alta tecnología el suelo no es el principal tipo de sustrato, debido a que sus propiedades suelen ser heterogéneas en extensiones grandes. Así, para reemplazar al suelo, han surgido múltiples sustratos alternativos que pueden cumplir la función del suelo y presentar mayor homogeneidad en sus propiedades; algunos de estos sustratos son la fibra de coco, musgos (como el peat moss), la perlita, etc.

En este contexto, el bagazo de agave ha surgido como una alternativa adicional a los sustratos ya existentes; la composición del bagazo le permite retener agua y nutrientes para el correcto crecimiento y desarrollo de una planta. De manera particular, los sustratos de bagazo de agave han sido probados exitosamente en el cultivo de tomates.

Para elaborar el sustrato a partir de bagazo de agave se lleva a cabo un compostaje del material; posteriormente, se agrega una carga de nitrógeno (uno de los principales nutrientes necesarios para las plantas) (Calleros et al., 2020; Iñiguez et al., 2014).

4. Conclusiones

La generación de bagazo de agave va en aumento como consecuencia del correspondiente incremento en la demanda y producción de tequila; la inadecuada disposición de este residuo junto con su lenta degradación tiene consecuencias graves para el medio ambiente.

Afortunadamente, se han propuesto muchas alternativas para su aprovechamiento, las cuales han sido propuestas en diversos estudios científicos. Sin embargo, aún queda camino por recorrer. Muchas de estas propuestas aún no tienen aplicaciones industriales, ya que adicionalmente a la factibilidad técnica se deben enfocar los esfuerzos en lograr la rentabilidad económica. El uso del bagazo de agave para la producción de nuevos bienes posibilita el desarrollo de nuevas empresas enfocadas en su valorización. Adicionalmente, se promueve el reciclaje de residuos, así como el desarrollo de la economía circular.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de Eliud



Escudero Enríquez para la realización de sus estudios de posgrado.

Referencias bibliográficas

Abdel-Hamid, A. M., Solbiati, J. O., & Cann, I. K. O. (2013). Insights into Lignin Degradation and its Potential Industrial Applications. En S. Sariaslani y G.M. Gadd (Eds.). *Advances in Applied Microbiology* Vol. 82, 1–28. Waltham: Academic Press Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407679-2.00001-6>

Aguirre-Fierro, A., Ruiz, H. A., Cerqueira, M. A., Ramos-González, R., Rodríguez-Jasso, R. M., Marques, S., & Lukasik, R. M. (2020). Sustainable approach of high-pressure agave bagasse pretreatment for ethanol production. *Renewable Energy*, 155, 1347–1354.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.055>

Ahmed, W., & Rashid, S. (2019). Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1), 1–13. Taylor and Francis Inc.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355775>

Arreola-Vargas, J., Flores-Larios, A., González-Álvarez, V., Corona-González, R. I., & Méndez-Acosta, H. O. (2016). Single and two-stage anaerobic digestion for hydrogen and methane production from acid and enzymatic hydrolysates of Agave tequilana bagasse. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(2),

897–904.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.016>

Arreola-Vargas, J., Ojeda-Castillo, V., Snell-Castro, R., Corona-González, R. I., Alatraste-Mondragón, F., & Méndez-Acosta, H. O. (2015a). Methane production from acid hydrolysates of Agave tequilana bagasse: Evaluation of hydrolysis conditions and methane yield. *Bioresource Technology*, 181, 191–199.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.036>

Arreola-Vargas, J., Ojeda-Castillo, V., Snell-Castro, R., Corona-González, R. I., Alatraste-Mondragón, F., & Méndez-Acosta, H. O. (2015b). Methane production from acid hydrolysates of Agave tequilana bagasse: Evaluation of hydrolysis conditions and methane yield. *Bioresource Technology*, 181, 191–199.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.036>

Boeckner, L. S., Schnepf, M. I., & Tunland, B. C. (2001). Inulin: a review of nutritional and health implications. *Advances in Food and Nutrition Research*, 43, 1–63. DOI: 10.1016/s1043-4526(01)43002-6

Breton-Deval, L., Méndez-Acosta, H. O., González-Álvarez, V., Snell-Castro, R., Gutiérrez-Sánchez, D., & Arreola-Vargas, J. (2018). Agave tequilana bagasse for methane production in batch and sequencing batch reactors: Acid catalyst effect, batch optimization and stability of the semi-continuous process. *Journal of Environmental Management*, 224, 156–163.



<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.053>

Buitrón, G., Hernández-Juárez, A., Hernández-Ramírez, M. D., & Sánchez, A. (2019). Biochemical methane potential from lignocellulosic wastes hydrothermally pretreated. *Industrial Crops and Products*, *139*, 111555.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111555>

Calleros, G. V., RamírezMeda, W., Casillas, J. de J. B., & Covarrubias, G. I. (2020). Composted Agave Bagasse for Growing Strawberries and Tomatoes. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, *9(2)*, 70-76. <https://doi.org/10.15640/jaes.v9n2a9>

Caspeta, L., Caro-Bermúdez, M. A., Ponce-Noyola, T., & Martínez, A. (2014). Enzymatic hydrolysis at high-solids loadings for the conversion of agave bagasse to fuel ethanol. *Applied Energy*, *113*, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.036>

Cedeño, M. (1995). Tequila Production. In *Critical Reviews in Biotechnology*, *15(1)*, 1-11. <https://doi.org/10.3109/07388559509150529>

CRT. (2019). *Manual del Técnico Tequilero*. Primera Edición. Consejo Regulador del Tequila.

CRT. (2023a). *Crean Consorcio de Investigación de la Cadena Productiva Agave-Tequila; estrategia de sustentabilidad del CRT*. <https://www.informador.mx/jalisco/Tequila-Crean-Consorcio-de->

[Investigacion-de-la-Cadena-Productiva-Agave-Tequila-20230228-0022.html](https://www.informador.mx/jalisco/Tequila-Crean-Consorcio-de-Investigacion-de-la-Cadena-Productiva-Agave-Tequila-20230228-0022.html)

CRT. (2023b). *Estadísticas CRT WEB*. <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRWeb/>

Delfin-Ruíz, M. E., Calderón-Santoyo, M., Ragazzo-Sánchez, J. A., Gómez-Rodríguez, J., & Aguilar-Uscanga, M. G. (2021). Ethanol Production from Enzymatic Hydrolysates Optimized of Agave tequilana Weber var. azul and Agave karwinskii bagasses. *Bioenergy Research*, *14(3)*, 785–798. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10196-7>

Espino, E., Cakir, M., Domének, S., Román-Gutiérrez, A. D., Belgacem, N., & Bras, J. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from industrial by-products of Agave tequilana and barley. *Industrial Crops and Products*, *62*, 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.017>

Galindo-Hernández, K. L., Tapia-Rodríguez, A., Alatríste-Mondragón, F., Celis, L. B., Arreola-Vargas, J., & Razo-Flores, E. (2018). Enhancing saccharification of Agave tequilana bagasse by oxidative delignification and enzymatic synergism for the production of hydrogen and methane. *International Journal of Hydrogen Energy*, *43(49)*, 22116–22125. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.071>

Huerta-Cardoso, O., Durazo-Cardenas, I., Longhurst, P., Simms, N. J., & Encinas-Oropesa, A. (2020). Fabrication of agave tequilana



bagasse/PLA composite and preliminary mechanical properties assessment. *Industrial Crops and Products*, 152, 112523. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112523>

Iñiguez, C. G., Bernal, C. J. J., Ramírez, M. W., & Villalvazo, N. J. (2014). Recycling Agave Bagasse of the Tequila Industry. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 04(02), 135–142. <https://doi.org/10.4236/aces.2014.42016>

Iñiguez-Covarrubias, G., Lange, S. E., & Rowell, R. M. (2001). Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fireberboard production. *Bioresource Technology*, 77(1), 25-32. 10.1016/s0960-8524(00)00137-1

Kumar, A., & Ram, C. (2021). Agave biomass: a potential resource for production of value-added products. *Environmental Sustainability*, 4(2), 245–259. <https://doi.org/10.1007/s42398-021-00172-y>

Langhorst, A. E., Burkholder, J., Long, J., Thomas, R., Kiziltas, A., & Mielewski, D. (2018). Agave-PP composites for cars. *BioResources*, 13(1), 820-835.

López-Gutiérrez, I., Montiel-Corona, V., Calderón-Soto, L. F., Palomo-Briones, R., Méndez-Acosta, H. O., Razo-Flores, E., Ontiveros-Valencia, A., & Alatraste-Mondragón, F. (2021). Evaluation of the continuous methane production from an enzymatic agave

bagasse hydrolysate in suspended (CSTR) and granular biomass systems (UASB). *Fuel*, 304, 121406. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121406>

Montiel Corona, V., & Razo-Flores, E. (2018). Continuous hydrogen and methane production from Agave tequilana bagasse hydrolysate by sequential process to maximize energy recovery efficiency. *Bioresource Technology*, 249, 334–341. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.032>

NOM. (2012). NOM-006-SCFI-2012 Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5282165&fecha=13/12/2012#gsc.tab=0

Pérez-Pimienta, J. A., Vargas-Tah, A., López-Ortega, K. M., Medina-López, Y. N., Mendoza-Pérez, J. A., Avila, S., Singh, S., Simmons, B. A., Loaces, I., & Martinez, A. (2017). Sequential enzymatic saccharification and fermentation of ionic liquid and organosolv pretreated agave bagasse for ethanol production. *Bioresource Technology*, 225, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.064>

Rios-Del Toro, E. E., Arreola-Vargas, J., Cardenas-López, R. L., Valdez-Guzmán, B. E., Toledo-Cervantes, A., González-Álvarez, V., & Méndez-Acosta, H. O. (2021). Two-stage semi-continuous hydrogen and methane production from undetoxified and detoxified acid hydrolysates of agave bagasse. *Biomass and Bioenergy*, 150, 106130.



<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.1106130>

Rios-González, L.J., Morales-Martínez, T. K., Rodríguez-Flores, M. F., Rodríguez-De la Garza, J. A., Castillo-Quiroz, D., Castro-Montoya, A. J., & Martínez, A. (2017). Autohydrolysis pretreatment assessment in ethanol production from agave bagasse. *Bioresource Technology*, 242, 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.039>

Robles, E., Fernández-Rodríguez, J., Barbosa, A. M., Gordobil, O., Carreño, N. L. V., & Labidi, J. (2018). Production of cellulose nanoparticles from blue agave waste treated with environmentally friendly processes. *Carbohydrate Polymers*, 183, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.015>

Tapia-Rodríguez, A., Ibarra-Faz, E., & Razo-Flores, E. (2019). Hydrogen and methane production potential of agave bagasse enzymatic hydrolysates and comparative techno-economic feasibility implications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(33), 17792–17801. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.087>

Vital-Jácome, M., Barragán-Trinidad, M., Buitrón, G., & Quijano, G. (2022). Transient shifts in hydraulic retention times improve the methane production from ruminal hydrolysates of agave bagasse. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 97(6), 1536–1544. <https://doi.org/10.1002/jctb.6853>

Zamora-Gasga, V. M., Bello-Pérez, L. A., Ortíz-Basurto, R. I., Tovar, J., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2014). Granola bars prepared with Agave tequilana ingredients: Chemical composition and invitro starch hydrolysis. *LWT – Food Science and Technology*, 56(2), 309–314.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.016>