

# Aprovechamiento de los subproductos del procesamiento de la caña de azúcar: Bagazo, cachaza, vinazas, metano, polifenoles, aguas residuales tratadas, etc.

## Use of by-products from sugarcane processing: Bagasse, cachasse, stillage (vinasse), methane, polyphenols, treated wastewater, etc.<sup>1</sup>

María-del-Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa

UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química, Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental

Correo-e (email): mcduran@quimica.unam.mx

04510 Ciudad de México, México

### Resumen

La caña de azúcar es un pasto perenne que crece entre los trópicos (30° latitud norte y 30° de latitud sur) en más de 100 países. Es la planta herbácea de la Tierra más eficiente para almacenar la energía solar como biomasa alcanzando rendimientos de campo de hasta 150 ton/ha. De esta versátil planta se obtienen diversos productos: Azúcar en cristales, melazas, bagazo, cachaza, etanol, vinazas, biogás rico en metano, polifenoles, entre otros. Por ello, es importante su diversificación para mejorar la calidad de vida de los trabajadores del campo, de los trabajadores de los ingenios azucareros y azucareros-alcoholeros y de toda la cadena productiva asociada y que esta cascada benéfica pueda ayudar a tener una sociedad con mayor equidad social y económica y, sobre todo, de autoestima (no está considerado en el texto, quitar).

Palabras clave: Aprovechamiento, subproductos, caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), bagazo, cachaza, vinazas, aguas residuales tratadas, etanol, methane, polifenoles

<sup>1</sup> Modificado de las contribuciones de la autora a la Enciclopedia del Agua (Durán-de-Bazúa, 2005) y al libro Degradación Biológica de Residuos (Durán-de-Bazúa et al., 1991) de donde se tomaron figuras y tablas, así como parte del texto. Se presentó en un Webinar colombiano en noviembre de 2021 / Modified from the author's contributions to the Encyclopedia of Water (Durán-de-Bazúa, 2005) and to the book Biological Degradation of Waste (Durán-de-Bazúa et al., 1991) from which figures and tables were taken, as well as part of the text. It was presented in a Colombian Webinar last November 2021

## Abstract

Sugarcane is a perennial grass that grows between the tropics (30° north and 30° south latitudes) in more than 100 countries. It is the most efficient herbaceous plant on Earth for storing solar energy as biomass, reaching field yields of up to 150 tons/ha. Various products are obtained from this versatile plant: crystal sugar, molasses, bagasse, cachasse, ethanol, stillage(vinasse), biogas rich in methane, and polyphenols, among others. For this reason, its diversification is essential to improve the quality of life of field workers, workers in sugar and sugar-alcohol mills, and the entire associated productive chain, and this beneficial cascade can help to have a society with more significant social and economic equity and justice, as well as above all, recognizing the value of working in the production of sugarcane products.

Keywords: Harvesting, by-products, sugarcane (*Saccharum officinarum*), bagasse, cachasse, stillage (vinasse), treated wastewater, ethanol, methane, polyphenols

# INTRODUCCIÓN

El azúcar (nombre químico, sacarosa) es una sustancia dulce, cristalina, blanca o incolora, derivada del jugo de varias plantas. La producción mundial de azúcar asciende aproximadamente a 180 millones de toneladas anuales; de las cuales dos tercios provienen de la caña de azúcar (nombre científico, *Saccharum officinarum*) y un tercio de la remolacha (nombre científico, *Beta vulgaris*). La caña de azúcar es un pasto perenne que crece entre los trópicos (30° latitud norte y 30° de latitud sur) en más de 100 países. Es la planta herbácea de la Tierra más eficiente para almacenar la energía solar como biomasa alcanzando rendimientos de campo de hasta 150 ton/ha. De esta versátil planta se obtienen diversos productos (Figura 1).

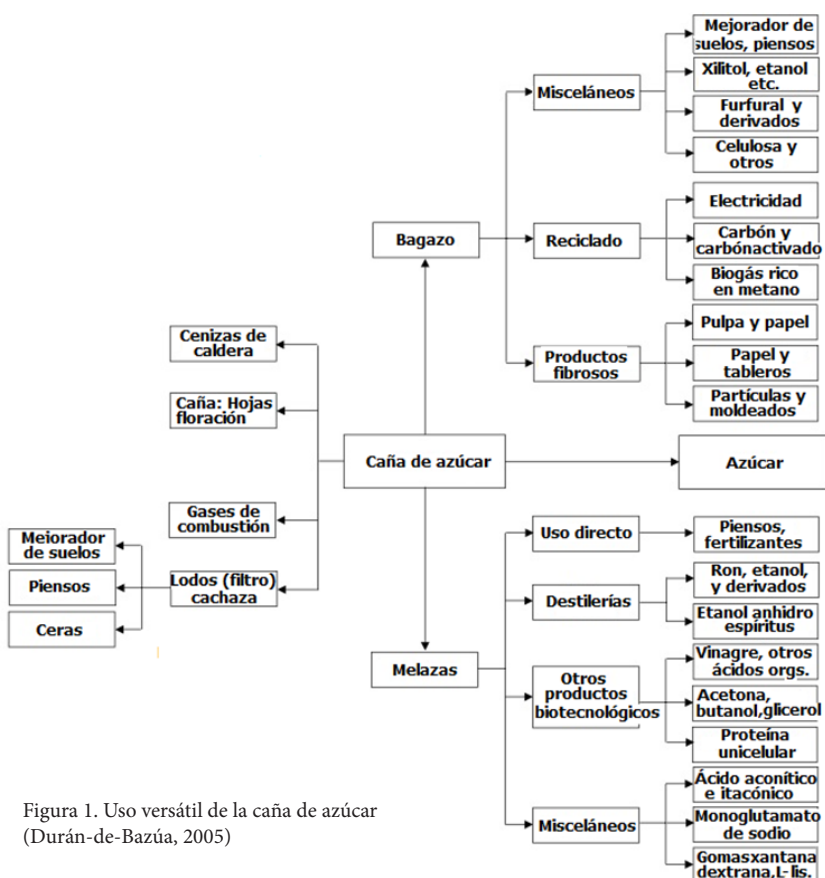
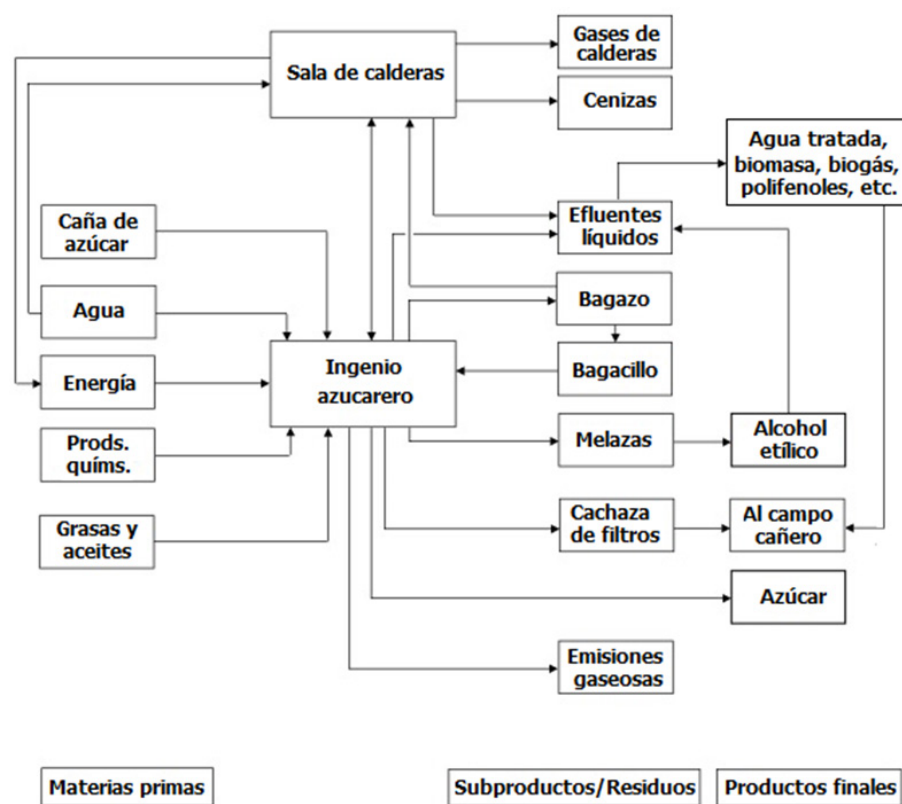


Figura 1. Uso versátil de la caña de azúcar (Durán-de-Bazúa, 2005)

Anualmente, se publican muchos estudios sobre la caña de azúcar en revistas y libros. El procesamiento de la caña de azúcar para producir azúcar representa una de las “industrias” más antiguas de los tiempos modernos. En América, las primeras plantas procesadoras de caña de azúcar se ubicaron en los territorios de la Nueva España así como en las islas del Caribe desde el siglo XVI. En México, por ejemplo, el primer ingenio de caña de azúcar se estableció en Veracruz en el Golfo de México en 1525 (Chaux et al., 1991; Durán-de-Bazúa et al., 1994). La energía para procesar la caña de azúcar provenía originalmente de fuentes de agua (ríos) y de la quema de bagazo de caña. Considerando que hasta la primera mitad del siglo XX la industria en su conjunto era sinónimo de humo, aguas residuales y desechos en general, la industria de la caña de azúcar no fue la excepción. Por tanto, considerando los conceptos modernos de sustentabilidad, las más de 2000 plantas procesadoras de azúcar aún operan en todo el mundo con tecnologías relativamente po-

bres desde un punto de vista ambientalmente amigable. La Figura 2 muestra un diagrama esquemático del procesamiento de la caña dentro de un ingenio azucarero como se les conoce en México (siendo en realidad una fábrica), incluyendo los desechos o más bien subproductos generados.



Aproximadamente, una tonelada métrica de caña de azúcar rinde los siguientes productos (Durán-de-Bazúa et al., 1991):

- 350 kg bagazo húmedo 35%
- 100 kg azúcar 10%
- 60 kg paja y hojas 6%
- 40 kg miel final, melazas 4%
- 40 kg cachaza 4%
- 100 kg cabezas o penachos de caña 10%
- 310 kg agua evaporada 31%
- 1000 kg caña de azúcar 100%

Después del azúcar, el subproducto con mayor valor agregado hasta hace muy poco tiempo eran las mieles finales o melazas. Las melazas son una fuente muy económica de carbono para elaborar muchos productos biotecnológicos incluyendo vacunas y antibióticos. La composición de las melazas se muestra en la Tabla 1. Por supuesto, las bebidas fermentadas y destiladas, como el ron, son los productos biotecnológicos más conocidos.

Figura 2. Materias primas, productos y subproductos de la industria cañera (Durán-de-Bazúa, 2005)

**Tabla 1. Composición de las melazas (Jiménez et al., 1995)**

Parámetro	% masa	Parámetro	% masa
Agua	20	K <sub>2</sub> O	3.5
Sacarosa	32	CaO	1.5
Glucosa	14	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2
Fructosa	14	Carbonatos, CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	1.6
Iones sulfato	0.4	Densidad, g/L	1.42
Compuestos nitrogenados y otros productos orgánicos	10	Otros inorgánicos	0.8

## Soluciones ambientalmente viables

Las Tablas 2 y 3 muestran la composición promedio de las aguas residuales del procesamiento de la caña de azúcar. La Tabla 4 presenta los límites regulatorios que México estableció a principios de la década de 1990 para esta agroindustria. Dado que esta normativa ya no es vigente, se debe comentar que la nueva que la sustituyó en 1997 hace unas semanas fue modificada y publicada con fecha de 2021. Esta última es aún más lesiva para el ambiente y, por ello, se presentan en esta tabla los valores comparativos de algunos de los parámetros de calidad del agua para que las y los lectores los conozcan. De la Tabla 3 se desprende claramente que los efluentes líquidos de una destilería en el ingenio de caña de azúcar (conocidas como vinazas) tienen un impacto muy importante en la composición general de sus aguas residuales. Por ello, las vinazas no deben considerarse aguas residuales sino subproductos útiles. Además, para cumplir con las regulaciones tanto para la producción de azúcar como para los productos destilados, a saber, etanol (alcohol etílico), una eficiencia de eliminación de más de 95% para aguas residuales generales y del 99.8% para vinazas deben alcanzarse. La mayoría de estas vinazas, hasta la fecha, se vierten a cuerpos receptores (suelo, fuentes de agua superficial) sin ningún tratamiento o recuperación o con una depuración parcial debido a la noción de que estas aguas residuales mejora el suelo. Sin embargo, esto solamente es cierto cuando los suelos son muy pobres en nutrientes. Para buenos suelos agrícolas, tienen un efecto negativo (Bautista-Zúñiga et al., 2000a,b; Villatoro-Reséndiz, 1998).

**Tabla 2. Características de los efluentes líquidos de algunas plantas procesadoras de caña de azúcar en el mundo**

<b>Parámetro</b>	<b>Puerto Rico (Anónimo, 1976)</b>	<b>Hawái (Anónimo, 1976)</b>	<b>Filipinas (Anónimo, 1976)</b>	<b>Luisiana (Anónimo, 1976)</b>	<b>India (Anónimo, 1976)</b>	<b>México (Castro-González, 2004; Castro-González et al., 2004)</b>
Valor de pH	5.3-8.8	n.r.*	5.3-7.9	n. r	6.8-8.4	3-10
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), mg/L	112-225	115-699	130-1220	81-562	67-660	20-36,700**
<b>Parámetro</b>	<b>Puerto Rico (Anónimo, 1976)</b>	<b>Hawái (Anónimo, 1976)</b>	<b>Filipinas (Anónimo, 1976)</b>	<b>Luisiana (Anónimo, 1976)</b>	<b>India (Anónimo, 1976)</b>	<b>México (Castro-González, 2004; Castro-González et al., 2004)</b>
Demanda química de oxígeno (DQO), mg/L	385-978	942-2340	50-1880	720-1430	890-2236	47-176,635**
Sólidos suspendidos totales, mg/L	500-1400	3040-4500	n.r.	409	792-2043	20-46,190**
Nitrógeno total, mg/L	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	0.2-1260
Fósforo total, mg/L	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	0.2-2000
Grasas y aceites, mg/L	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	0-570

\*n.r. No reportado, \*\*Cuando se consideran las vinazas

**Tabla 3. Composiciones promedio de las vinazas (Jiménez et al., 1995)**

Parámetro	Parámetro
Valor de pH	4.8- 4.9
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), mg/L	90,000
Sólidos totales, g/L	97-106
Sólidos disueltos totales, g/L	87- 97
Sólidos suspendidos totales, g/L	8-10
Sólidos fijos totales, g/L	21-23
Nitrógeno total, mg/L	730
Nitrógeno orgánico	446
Fósforo total, mg/L	150
Grasas y aceites, mg/L	2
Iones sulfato, mg/L	10,500
Demanda química de oxígeno (DQO), mg/L	106,000
Sólidos sedimentables, ml/L	27
Sólidos volátiles totales, g/L	76-83
Sólidos disueltos volátiles, g/L	69-76
Sólidos disueltos fijos, g/L	18-22
Calcio, mg/L	2,960
Potasio, mg/L	2,550
Magnesio, mg/L	1,370
Sodio, mg/	310
Iones amonio, mg/L	310

Para reducir costos asociados con el tratamiento de las aguas residuales en general y de las vinazas en particular, se prefieren los sistemas biológicos a los procesos fisicoquímicos. La Figura 3 muestra un proceso de ciclo completo similar a la naturaleza en lugar de los típicos procesos de contaminación lineal provocados por el hombre.

Puede verse en los diferentes bloques de la Figura 3 que es posible obtener productos con valor agregado a partir de los compuestos carbonosos que se disuelven en el agua transformándolos. Los ejemplos que se enfatizan en este artículo son los del aprovechamiento integral de las vinazas, produciendo gas metano usando microorganismos metanogénicos y recuperando los polifenoles que se formaron durante la concentración del jugo de caña y que quedaron en las mieles finales fermentadas para producir el alcohol etílico, ya que son compuestos antioxidantes útiles para combatir a bacterias, hongos y virus patogénicos, usando para recuperarlos justamente parte del bagazo de caña transformado en carbón activado.

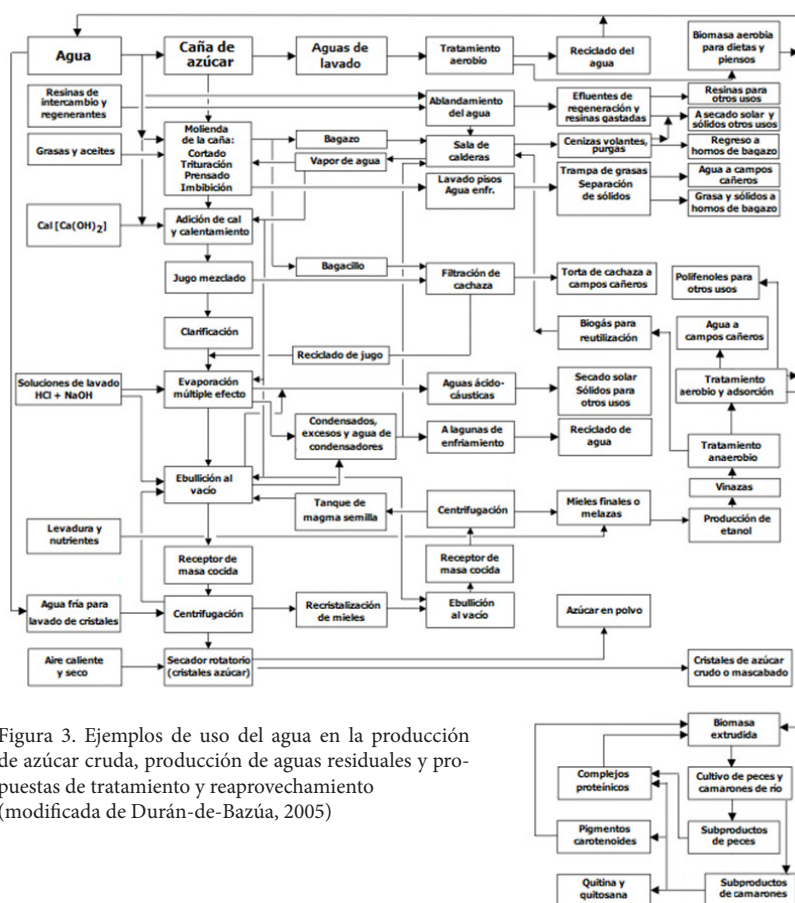


Figura 3. Ejemplos de uso del agua en la producción de azúcar cruda, producción de aguas residuales y propuestas de tratamiento y reaprovechamiento (modificada de Durán-de-Bazúa, 2005)



Específico, para el ejemplo señalado arriba, se eligen sistemas anaerobios para tratar aquellas corrientes de proceso que contienen compuestos biodegradables porque el biogás producido, rico en metano, puede ser una ventaja de la bioconversión. Por ello, de las torres de destilación se recuperan las vinazas (Figura 4). Para mejorar el biotratamiento y reutilizar el agua se emplea un ciclo biológico que permite obtener biomasa aerobia que, adicionada o mezclada con carotenoproteínas del cefalotórax y el exoesqueleto del camarón de río (la porción no comestible) se aglutinan ('peletizan') para producir alimentos balanceados de peces. A su vez, los residuos no comestibles del pescado se muelen y se utilizan para el cultivo del camarón (Durán-Domínguez et al., 1991; Sarabia-Bañuelos et al., 2015).

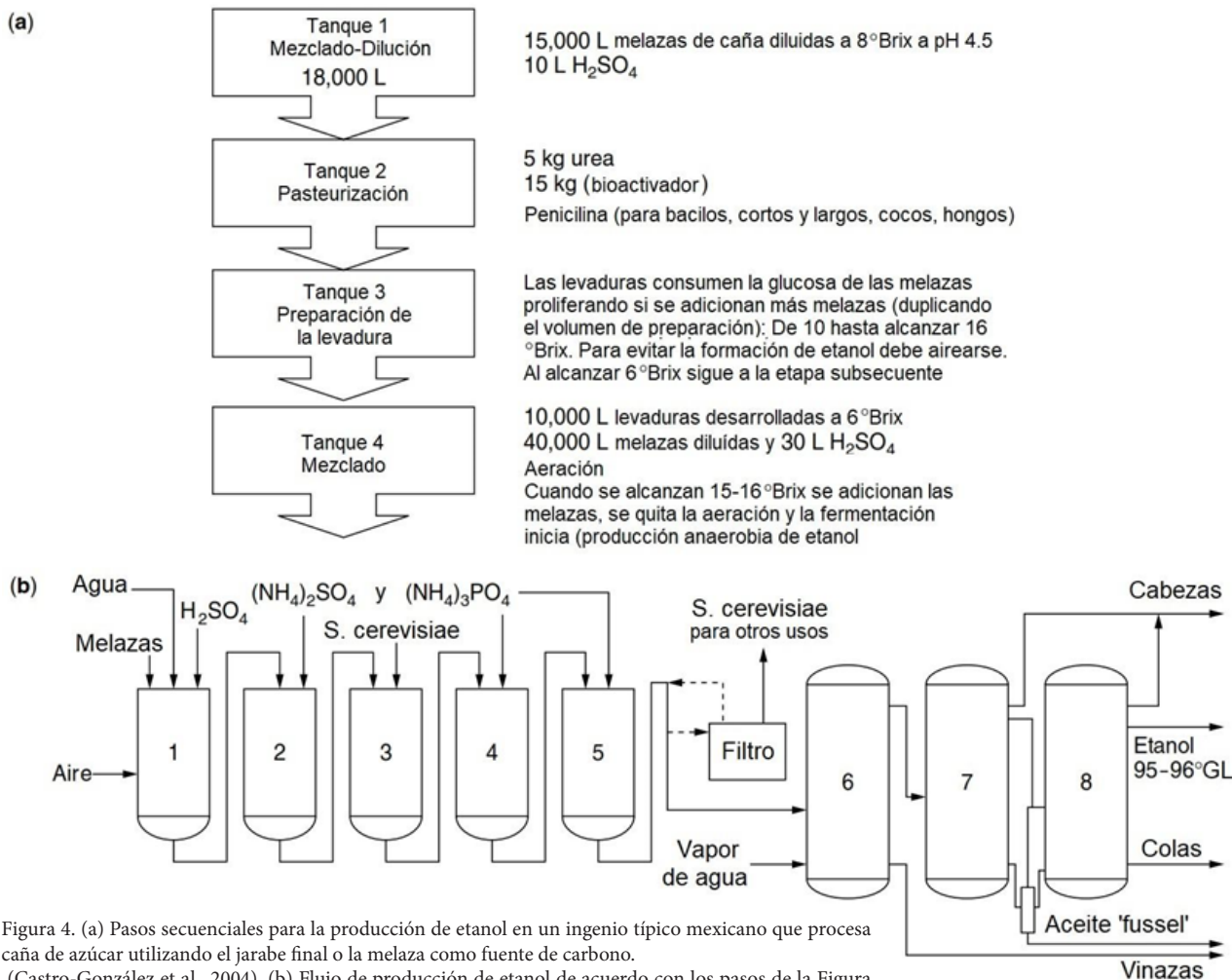


Figura 4. (a) Pasos secuenciales para la producción de etanol en un ingenio típico mexicano que procesa caña de azúcar utilizando el jarabe final o la melaza como fuente de carbono. (Castro-González et al., 2004). (b) Flujo de producción de etanol de acuerdo con los pasos de la Figura 4a y el tanque 5 es el fermentador. Las columnas 6 a 8 destilan el llamado vino del tanque 5 produciendo las vinazas en la torre agotadora 6. La torre 7 es la rectificadora donde salen las cabezas y el aceite fussel y la torre de destilación 8 produce el alcohol etílico a 96 grados Gay Lussac, °GL, así como colas y cabezas

En fechas recientes y justamente asociado con la pandemia del virus SARS-CoV-2 que produce la enfermedad conocida como Covid-19 se han estado estudiando diversas fuentes de polifenoles que son dañinas para virus, bacterias y hongos y no tanto para los seres humanos por lo que se plantea a las vinazas como una posible fuente de polifenoles (Gaspar-Mendoza et al., 2021). Por lo tanto las vinazas tratadas anaerobiamente pueden ser una fuente de energía secundaria por la producción de biogás rico en metano a partir de sus compuestos carbonosos y una vez eliminados estos pueden adsorber los polifenoles que no pueden ser metabolizados por las arqueas metanogénicas en el carbón activado producido con el bagazo residual de la caña de azúcar y desorbería para su posible utilización médica o como mejoradores de la salud (Contreras-Contreras, 2019; Contreras-Contreras et al., 2020; Gaspar-Mendoza, 2021). Con ello se evitaría tirarlas al suelo o a los cuerpos de agua recuperando antes estos componentes valiosos (Tabla 4).

**Tabla 4. Límites máximos permitidos en México para los efluentes líquidos de las plantas de producción de azúcar de caña y alcohol etílico o etanol (DOF, 1993, 1995)<sup>2</sup>**

Parámetro	Ingenios Azucareros		Plantas Destiladoras	
	Valores promedio diarios	Valores instantáneos	Valores promedio diarios	Valores instantáneos
Valor de pH	6–9	6–9	6–9	6–9
DBO <sub>5</sub> , mg/L	60	72	200	240
DQO, mg/L	n.r.*	n.r.	260	360
Sólidos suspendidos totales, mg/L	n.r.	n.r.	200	240
Sólidos sedimentables, mg/L	1.0	1.2	1.0	2.0
Nitrógeno total, mg/L	n.r.	n.r.	10	12
Fósforo total, mg/L	n.r.	n.r.	5	6
Grasas y aceites, mg/L	15	20	10	20
Fenoles, mg/L	0.5	0.75	n.r.	n.r.

\*n.r. No reportado

La inclusión de la recuperación de los polifenoles que se forman a pesar de la ebullición de las mieles al vacío mediante adsorción en carbón activado producido con el bagazo de la caña excedente y posterior desorción para recuperarlos. Las operaciones unitarias de producción de carbón activado a partir de bagazo, adsorción y desorción están en la tesis de Gaspar-Mendoza (2021), basados en los estudios del grupo del Dr. Solís-Fuentes de la Universidad Veracruzana (Guillén-Villegas et al., 2002a,b; Solís Fuentes et al., 2004, 2019a,b). Otro aspecto interesante es el uso de la quitina y quitosana de los exoesqueletos y cefalotórax de los camarones para purificar los jugos de la caña de azúcar y para otros usos (Durán-Olvera et al., 2016; García-Gómez et al., 2018; Sarabia-Bañuelos et al., 2015). Cuando las aguas residuales contienen altas concentraciones de compuestos inorgánicos y son muy solubles, como ocurre con las purgas de calderas y las soluciones ácido-cáusticas utilizadas para limpiar las superficies de transferencia de calor en evaporadores y sistemas de vacío, el proceso más adecuado es eliminar el agua por evaporación (preferiblemente evaporación solar, aprovechando las condiciones climáticas de las zonas tropicales donde se encuentran estas plantas procesadoras de la caña de azúcar). Las sales impuras resultantes, recolectadas como sólidos secos, pueden ser recicladas por las empresas que comercializan los productos cáusticos y ácidos utilizados como materias primas en el ingenio de caña de azúcar, reduciendo el impacto ambiental de ambos grupos empresariales (Durán-de-Bazúa et al., 1994).

Las Figuras 5 y 6 presentan los esquemas de una planta aerobia-anaerobia para el tratamiento de las aguas residuales de una empresa productora de azúcar, plantas conocidas en México como ingenios azucareros



(Castro-González et al., 1998). El sistema de tratamiento de aguas residuales de esta planta tenía un enfoque diferente ya que la composición de las aguas residuales es similar a las de otros países que no contienen vinasas (Tabla 2), por lo que una vez eliminada la materia en suspensión en un decantador primario, un reactor aerobio es adecuado para remover la mayoría de los contaminantes biodegradables disueltos. Aquí, se muestra la viabilidad de usar un reactor anaerobio para “digerir” la biomasa aerobia así como los residuos sólidos del sedimentador primario (Castro-González et al., 2001). Este reactor anaerobio da valor agregado por la producción de biogás rico en metano, una vez que el gas se extrae en una columna utilizando el agua tratada para disolver el H<sub>2</sub>S dejando el gas rico en metano libre de este compuesto corrosivo y “enriqueciendo” las aguas residuales tratadas con compuestos de azufre antes de enviarlo a los campos de caña como agua de riego. Cuando la biomasa aerobia no contiene organismos patógenos o sustancias tóxicas puede usarse para “corrales de engorda” de peces y camarones de río (Durán-Domínguez et al., 1991).

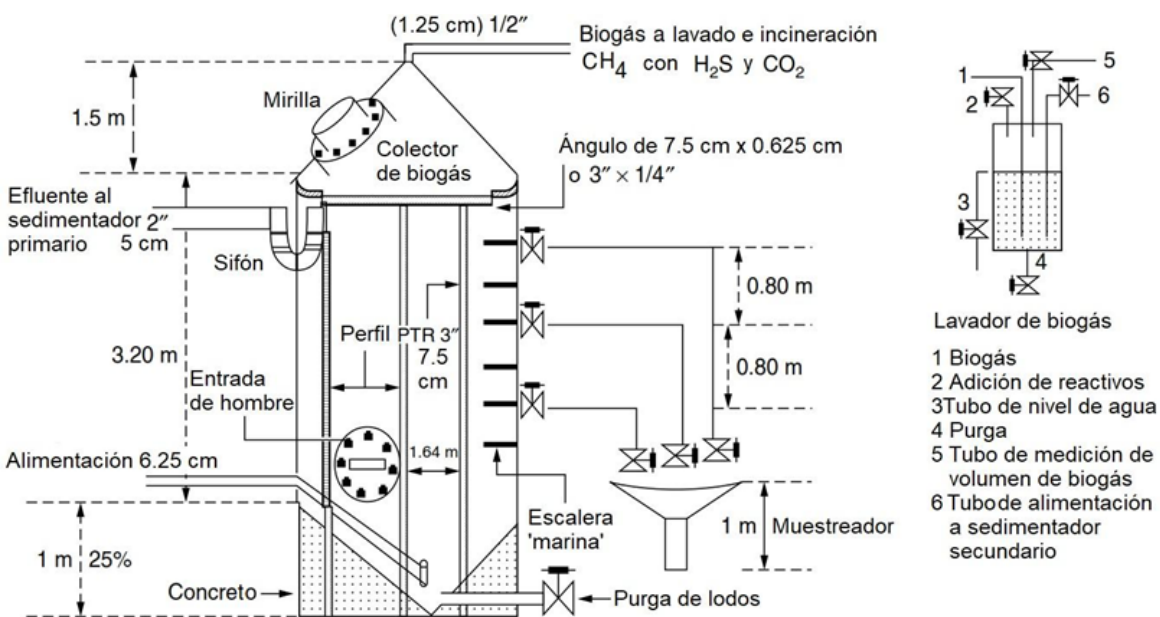
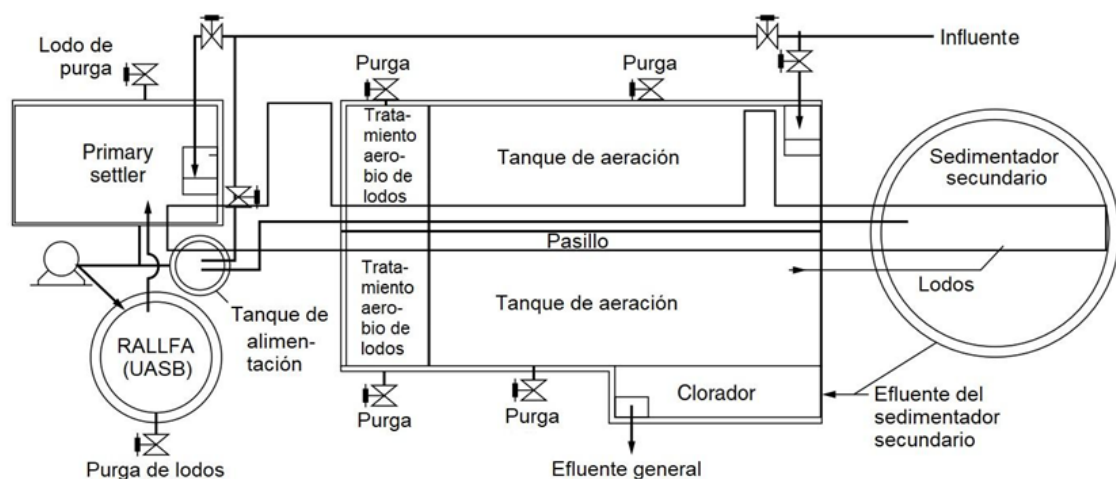


Figura 5. Reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente, RALLFA (UASB en inglés) y torre de absorción de biogás (stripping column en inglés) (Castro-González et al., 2001) (Durán-de-Bazúa, 2005)

Figura 6. Planta completa de tratamiento de aguas residuales de un ingenio que procesa caña de azúcar: Incluye un tanque de sedimentación primario, un tanque de alimentación al sistema anaerobio, un reactor tipo RALLFA (UASB en inglés) y una torre absorbidora para depurar el metano del biogás (Castro-González et al., 1998) (Durán-de-Bazúa, 2005)



# Componente social de este proyecto

Los trabajadores del campo son, junto con los mineros, los sectores sociales más desprotegidos de México y otros países. Por ello, es importante la diversificación del sector cañero, ya que muchas de estas soluciones pueden ser instrumentadas por los cañeros en la época en que no hay corte o procesamiento de la caña. Ellos pueden participar incluso con sus familias en el cultivo de peces y/o de camarones de río y, con ello, mejorar su calidad de vida. Se puede crear para los trabajadores del campo, los trabajadores de los ingenios azucareros y azucareros-alcoholeros y, en general, para toda la cadena productiva asociada con la caña de azúcar una cascada benéfica de co-productos, como se hace en Cuba, para ayudar a tener una sociedad con mayor equidad social y económica.

Una parte sumamente importante es darle valor al trabajo manual. Todos los trabajos son relevantes, sean intelectuales, culturales o manuales y deben recibir un pago equivalente y, sobre todo, un reconocimiento por parte de la sociedad en su conjunto. Los libros de texto gratuitos deben hacer esta labor de valorar todas las actividades que los seres humanos realizamos.

## CONCLUSIÓN

La caña de azúcar es un pasto maravilloso ya que puede usar la energía solar a través de la fotosíntesis para producir enormes cantidades de biomasa (de 60 toneladas por hectárea, t/ha, es el promedio mundial, aunque hay zonas que alcanzan hasta 150 a 200 t/ha). Sus usos son muchos y por ello se debe modificar la mentalidad de la sociedad, de los gobiernos emanados de ella y de los sectores productivos, educativos y de investigación para comprender que es posible con este pasto y su aprovechamiento integral dar empleos dignos a los trabajadores del campo, a los trabajadores de los ingenios azucareros y azucareros-alcoholeros y a toda la cadena productiva asociada y que esta cascada benéfica pueda ayudar a tener una sociedad con mayor equidad social y económica.

## RECONOCIMIENTOS

La autora quiere agradecer a todos(as) los(as) colegas, estudiantes, trabajadores(as) de los ingenios azucareros y azucareros-alcoholeros por su decidido apoyo a las investigaciones realizadas desde aquella primera vez que, en diciembre de 1985, tuvo el honor de conocer al Ing. Luis Eduardo Zedillo Ponce de León (qepd). Él la introdujo a apreciar el valor de esta maravillosa planta. Él la convenció de la pertinencia de investigar la caña de azúcar y paso a paso fue conociendo después gracias al invaluable apoyo de la Dra. Marianela Cordovés (qepd), del entonces GEPLACEA, quien le enseñó todo lo que sabe sobre esta fuente inagotable de recursos mientras brille el sol y no se contaminen el agua y el suelo donde crece. Después conoció al Ing. Manuel Enríquez Poy, al Ing. Eduardo MacGregor y al Ing. Marcos Chávez (qepd) del Ingenio El Potrero (en realidad era químico, colega egresado de la ahora FQ-UNAM, entonces ENCQ-UNAM), al Ing. Miguel Ahumada (qepd), al Ing. Lobo, al Ing. Blackaller y a tantas maravillosas personas que producen con sus manos esta planta extraordinaria y sus productos, que la autora no acabaría nunca con la enorme lista de personas asociadas con la caña de azúcar quienes han sido y son mentores, colegas y amigos(as) (Figuras 7-10).



De izquierda a derecha: Dos alumnos del IPN y la UASLP, el Q. Marcos Chávez del Ingenio El Potrero, la Dra. Carmen Durán, adelante, un alumno del IPN y dos alumnas de la UASLP, atrás, el Dr. Adalberto Noyola, un alumno de la UASLP y el Ing. Luis Eduardo Zedillo (qepd) [Planta piloto en el Ingenio Alianza Popular, 1988]

Figura 7. Detalle de la planta prototipo para la transformación de las vinazas en metano y biomasa para alimento de peces construida en un ingenio azucarero-alcoholero cooperante (tomada de Bazúa-Rueda et al., 2015)



Figura 8. Dr. Julio Alberto Solís-Fuentes, Dra. Marianela de los Ángeles Cordovés-Herrera y M. en C. Rolando Salvador García-Gómez después del Cuarto Minisimposium Internacional sobre Remoción de Contaminantes de Atmósfera, Aguas y Suelos [Noviembre 11, 2006]



Figura 9. En la Universidad de La Habana en Cuba, la autora con la Dra. Marianela de los Ángeles Cordovés-Herrera y de pie la Dra. Irina Salgado-Bernal y una profesora de la Universidad [Diciembre de 2012]



## REFERENCIAS

Anónimo. 1976. Uso del agua y manejo del agua residual en la industria. Vol. 8. Azúcar. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. México.

Bautista-Zúñiga, F., Reina-Trujillo, T. de J., Villers-Ruiz, L., Durán-de-Bazúa, C. 2000a. Mejoramiento de suelos agrícolas usando aguas residuales agroindustriales. Caso: Vinazas crudas y tratadas. Serie: Química Ambiental del Suelo. Vol. 1. PIQAYQA-FQ, UNAM. México D.F., México.

Bautista-Zúñiga, F., Durán-de-Bazúa, C., Reyna-Trujillo, T., Villers-Ruiz, L. 2000b. Agroindustrial organic residues: Handling options in cane sugar processing plants. Part I and Part II. Sugar y Azúcar. 95(9): 32-45; 95(10): 23-37.

Bazúa-Rueda, E.R., Bernal-González, M., Durán-de-Bazúa, C., Enríquez-Poy, M., Espinosa-Aquino, B., García-Gómez, R.S., Manahan, S.E., Ramírez-Burgos, L.I., Solís-Fuentes, J.A., Zedillo-Ponce-de-León, L.E. 2015. Red Internacional de Ciencias Ambientales. Una opción para proyectos interdisciplinarios: Producción termofílica de metano a partir de subproductos de destilación. Homenaje al Ing. Luis Eduardo Zedillo Ponce de León. Revista ATAM. 28(1): 21-30. ISSN 2007-610X.

Castro-González, A. 2004. Efecto de la temperatura en la actividad metanogénica y sulfatorreductora de consorcios microbianos en condiciones anaerobias. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas (Ingeniería Química). Defensa: Enero 28. Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ppt2004/0327304/Index.html>

Castro-González, A., Bernal-González, M., Durán-de-Bazúa, C. 2004. Tratamiento de vinazas de plantas destiladoras de alcohol usando consorcios microbianos anaerobios. Bebidas Mexicanas. 13(3): 12-14, 16-20, 22-25.

Castro-González, A., Durán-de-Bazúa, M.C., Enríquez-Poy, M., Pliego-Bravo, Y. 1998. Consideraciones en un ingenio azucarero para minimizar las descargas líquidas y mejorar las condiciones de operación de su planta de tratamiento de aguas residuales. Ingenio (México). 3(34): 2-7.

Castro-González, A., Enríquez-Poy, M., Durán-de-Bazúa, C. 2001. Design, construction, and starting-up of an anaerobic reactor for the stabilisation, handling, and disposal of excess biological sludge generated in a wastewater treatment plant. Anaerobe (Biotechnology). 7: 143-149.

Chaux, D., Durán-de-Bazúa, C., Cordovés, M. 1991. Towards a cleaner and more profitable sugar industry. UNIDO. Vienna, Austria.

Contreras-Contreras, J.A. 2019. Caracterización química de vinazas de torres de destilación y posible remoción de polifenoles de ellas empleando sistemas bioquímicos anaerobios. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. Defensa: Enero 25, 2019. <http://132.248.9.195/ptd2019/enero/0784401/Index.html>

Contreras-Contreras, J.A., Bernal-González, M., Solís-Fuentes, J.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2020. Polyphenols from sugarcane vinasses, quantification and removal using activated carbon after bioche-

mical treatment in laboratory-scale thermophilic upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Water Air and Soil Pollution*. 231(12):401:1-8 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04733-5>

DOF. 1993, 1995. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental. NOM-002-ECOL-1993, Proy. NOM-064- ECOL-1995. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol). Ciudad de México, México.

Durán-de-Bazúa, M.-d.-C. 2005. Sugar Industry Wastewater Treatment. In *Water Encyclopedia*. J.H. Lehr, J. Keeley, Eds. 1:614-620. Published Online: 15 JUL 2005. DOI: 10.1002/047147844X.iw154

Durán-de-Bazúa, C. 1994. Tratamiento biológico de aguas residuales industriales. PIQAYQA-Facultad de Química, UNAM. 5a ed. México, D.F. México.

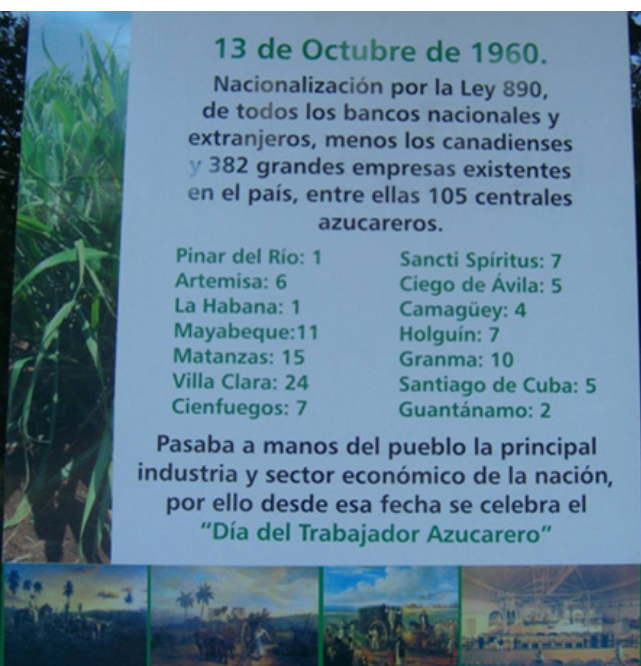


Figura 10. Fotografía de una vidriera en una calle de La Habana [Diciembre de 2012]

mical treatment in laboratory-scale thermophilic upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Water Air and Soil Pollution*. 231(12):401:1-8 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04733-5>

DOF. 1993, 1995. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental. NOM-002-ECOL-1993, Proy. NOM-064- ECOL-1995. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol). Ciudad de México, México.

Durán-de-Bazúa, M.-d.-C. 2005. Sugar Industry Wastewater Treatment. In *Water Encyclopedia*. J.H. Lehr, J. Keeley, Eds. 1:614-620. Published Online: 15 JUL 2005. DOI: 10.1002/047147844X.iw154

Durán-de-Bazúa, C. 1994. Tratamiento biológico de aguas residuales industriales. PIQAYQA-Facultad de Química, UNAM. 5a ed. México, D.F. México.

Durán-de-Bazúa, C., Cordovés, M., Zedillo, L.E. 1994. Demonstration of cleaner production techniques for the sugar cane agroindustry. Final Draft, Consultancy Report 1994. United Nations Industrial Development Office. Project US/INT/91/217/15-01-2. UNIDO/UNDP. Mexico City, Mexico.

Durán-de-Bazúa, C., Noyola, A., Poggi-Varaldo, H.M., Zedillo, L.E. 1991. Biodegradation of process industry wastewater. Case problem: Sugarcane industry. En *Biological Degradation of Wastes*. Ed. A. M. Martin. Cap. 17. Pp. 363-388. Elsevier Science Pub. Ltd. ISBN 1-85166-635-4. Londres, Inglaterra.

Durán-Domínguez, M.C., Pedroza-Islas, R., Rosas-Vázquez, C., Luna-Pabello, V.M., Sánchez-Zamora, A., Capilla-Rivera, A., Paredes-Gómez, L., Valderrama-Herrera, S.B., Vázquez-Cedeño, I. 1991. Producción de alimentos para peces: Utilización de subproductos del tratamiento de aguas residuales. In: *Premio Nacional Serfín El Medio Ambiente*, J.J. De Olloqui (Ed.), Futura Eds., Estado de México, México, pp. 79-106.

Durán-Olvera, J.M., Magaña-Pérez, G., Ayala-Tirado, R.C., García-Gómez, R.S., Amábilis-Sosa, L.E., Durán-de-Bazúa, M.d.C., Solís-Fuentes, J.A. 2016. Uso de quitina y quitosana procedentes de residuos de camarón en la purificación de jugos de caña (*Saccharum officinarum*). *Química Central (Revista de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador)*. 5(1): 27-40.

García-Gómez, R.S., Mendoza-Pérez, S., Bernal-González, M., Solís-Fuentes, J.A., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2018. Reaprovechamiento de subproductos de crustáceos para mejorar la economía de los pescadores y proteger el ambiente / Crustacean byproducts: Reuse to improve fisheries cooperatives economy and to protect the environment. *Tantalus, Revista de Economía de los Recursos Naturales*. 2(3):44-57. ISSN 2594-1771. <http://datamares.ucsd.edu/wp-content/uploads/2019/10/Tantalus-No.-3.pdf#page=45>

Gaspar-Mendoza, L. 2021. Adsorción y desorción de polifenoles para su uso medicinal a partir de vinazas de bioetanol de caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) usando carbón activado del propio bagazo de la caña. Tesis profesional de Ingeniería Química. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. En proceso.

Gaspar-Mendoza, L., Bernal González, M., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2021. Polifenoles: Importancia y obtención a partir de vinazas tratadas anaerobiamente mediante adsorción con carbón activado de bagazo de caña (Estudio de caso: Estancia Académica CEE18). En Cuarto Encuentro Estudiantil de Ingeniería Química UNAM 2020. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultades de Estudios Superiores Cuautitlán y Zaragoza y de Química. Coordinaciones de la Carrera de Ingeniería Química. Enero 15, 2021. Ciudad de México, México. Evento virtual.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZLQFuZ1P0WY&feature=youtu.be> (Carteles <http://bit.ly/3qgF8VM>)  
(Cartel: <https://drive.google.com/file/d/13P2wlJmcguSCgAg-dJaugJwc4YpISLYl/view>).