



LA INDUSTRIA HENEQUENERA CUBANA EN LA ECONOMÍA CIRCULAR: OPORTUNIDADES PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

THE CUBAN HENEQUEN INDUSTRY IN THE CIRCULAR ECONOMY: OPPORTUNITIES FOR WASTE VALORIZATION

^{ID}BEATRIZ ZUMALACÁRREGUI DE CÁRDENAS*, ^{ID}CÁNDIDA MAGALI FERRER SERRANO

Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echevarría. La Habana, Cuba

*Autor para correspondencia: beatriz.mzc@gmail.com

Palabras clave:	Resumen
Cuba economía circular henequén inulina residuos de henequén valorización	En los últimos años, el modelo de la economía circular ha recibido mucha atención ya que estas políticas y sus acciones correspondientes, constituyen factores importantes, necesarias para acelerar y ampliar las prácticas circulares en la economía, tales como la introducción de cambios en el diseño de los productos, en las cadenas de suministro y en los procesos de producción industrial, así como la manera en que se utilizan y desechan los productos al final de su vida útil. La economía circular implica abandonar el modelo actual de economía lineal, que se basa en “tomar, hacer y desechar” y en el que los recursos se extraen, se convierten en productos, se utilizan o consumen y posteriormente se desechan. El concepto de economía circular incluye principios de los enfoques del ciclo de vida y “de la cuna a la cuna” -que consideran que los residuos son “alimentos” para nuevos productos y procesos- y se sustenta en la transición hacia fuentes de energía renovables. En Cuba, el proceso asociado al empleo y desarrollo del henequén tiene baja productividad, pero a su vez tampoco reporta grandes fuentes de ingreso al país debido a la poca utilización del cultivo, ya que solo se aprovechan las fibras de las hojas del agave, que representan apenas el 2 % de la planta. El resto lo constituyen biomasa y fibras cortas que se desperdician, en la mayoría de los casos se queman y representan un costo, tanto ambiental como financiero. Con el fin de proponer alternativas para el tratamiento de los residuos del proceso henequenero, se realizó un análisis de los residuos líquidos y sólidos generados, identificando sus propiedades y usos potenciales. Los resultados muestran que el jugo residual puede ser utilizado como detergente y las piñas para la producción de inulina y bioetanol, así como alimento animal reduciendo la contaminación y generando valor añadido. Se concluye que la implementación de estas alternativas es viable y fundamental para la transición de la industria henequenera hacia un modelo de economía circular en Cuba.
Key words:	Abstract
Circular economy Cuba henequen henequen waste inulin valorization	In recent years, the circular economy model has received a lot of attention as these policies constitute important factors that are necessary to accelerate and expand circular practices in the economy, such as the introduction of changes in product design and supply chains and industrial production processes, as well as the way in which products are used and disposed of at the end of their useful life. The circular economy involves abandoning the current linear economy model, which is based on “take, make and throw away” and where resources are extracted, converted into products, used, or consumed and subsequently disposed of. The concept of circular economy includes principles of life cycle and “cradle to cradle” approaches - which consider that waste is “food” for new products and processes - and is based on the transition towards renewable energy sources. In Cuba, the process associated with the employment and development of henequen has low productivity, but at the same time, it does not report large sources of income to the country due to the low use of the crop, since only the fibers of the agave leaves are used, which barely represent the 2% of the plant. The rest is made up of biomass and short fibers that are wasted, in most cases burned and represent both an environmental and financial cost. In order to propose alternatives for the treatment of waste from the henequen process, an analysis of the liquid and solid waste generated was carried out, identifying its properties and potential uses. The results show that the residual juice can be used as a detergent and the pineapples for the production of inulin and bioethanol, as well as animal feed, reducing pollution and generating benefit. It is concluded that the implementation of these alternatives is viable and fundamental for the transition of the henequen industry towards a circular economy model in Cuba.

Recibido: 03 de febrero de 2026

Aceptado: 19 de marzo de 2026

Conflictos de interés: Las autoras declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición: Beatriz Zumalacárrégui de Cárdenas. Curación de datos, Investigación: Cándida Magali Ferrer Serrano.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

Dos de los principales problemas que afectan el medio ambiente y limitan las posibilidades de un desarrollo sostenible, se relacionan con la creciente demanda de recursos naturales destinados a mantener el estilo de vida actual de la población mundial y con la capacidad del planeta para asimilar los desechos que esta demanda genera. Hay que considerar, además, que la población sigue aumentando y podría llegar a 9 600 millones de personas en 2050 (Bustos y col., 2024).

Promover la economía circular ayuda a alcanzar el desarrollo sostenible, en línea con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como plantea la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2018), al propiciar avances en todas sus dimensiones, social, económica y ambiental. Sin embargo, para ello se requiere cambiar el actual modelo de producción y diseño de los productos, hacer sostenibles los patrones de consumo e impulsar mejoras en la prevención, la reutilización, el reciclado, la recuperación de energía y la disposición final de los residuos.

Este camino también facilitaría avanzar en toda la Agenda 2030 y en particular, en determinados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas, entre ellas: las metas 11.6 y 12.5: que plantean reducir la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización para reducir el impacto ambiental negativo.

La industria henequenera cubana, con una historia de casi un siglo, se ha dedicado fundamentalmente a la obtención de fibra blanca con características competitivas en el mercado internacional, sin embargo, el aprovechamiento de los residuales que genera el proceso productivo no ha seguido una estrategia para su utilización en actividades industriales o sociales, lo cual demuestra que el sector no se escapa a la problemática ambiental que tienen muchas industrias en la actualidad.

En Cuba, el proceso asociado a este agave, debido a la tecnología instalada desde hace muchos años, tiene baja productividad, pero a su vez tampoco reporta grandes fuentes de ingreso al país debido a la poca utilización del cultivo, ya que solo se aprovechan las fibras de las hojas del agave, que representan apenas el 2 % de la planta. El resto lo constituyen biomasa y fibras cortas que se desperdician, en la mayoría de los casos se queman y representan un costo tanto ambiental como financiero.

Durante el proceso henequenero, como promedio se obtienen: nueve toneladas de pulpa húmeda por tonelada de fibra procesada y dos litros de jugo por mazo de hoja (cada mazo conformado por 25 hojas). En una producción anual de 1 700 toneladas de fibra, se obtienen 15 300 toneladas de pulpa y 5 440 000 litros de jugo. Las fibras representan 3- 4 % del proceso, y los residuos generados ascienden a 97-96 %. Los desechos líquidos generados son altamente contaminantes debido a su alta carga orgánica y acidez, lo que

representa un problema ambiental en las regiones donde se encuentra enclavada la industria. Además de los olores fétidos por la descomposición anaeróbica.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo proponer alternativas para el tratamiento de los residuos del proceso henequenero, buscando incrementar el valor económico y ecológico del cultivo mediante un bajo impacto ambiental.

Materiales y Métodos

Para alcanzar el objetivo de la investigación se emplearon diversos métodos: el analítico-sintético, aplicado de manera transversal para comprender el objeto de estudio en su complejidad, descomponerlo en partes, establecer sus interrelaciones y su posterior integración en una visión coherente; el trabajo con las fuentes, que permitió recopilar, contrastar y validar información documental y el experimental. Trabajos anteriores realizados con pencas de henequén de la empresa Rene Arcay situada en el Mariel, provincia de Artemisa permitieron determinar residuos agroindustriales compuestos por un bagazo de henequén como residuo sólido y el jugo de henequén como residuo líquido.

En esta ocasión se analizaron los residuales líquidos, de dicha empresa, según la norma cubana NC 27: 2012, para evaluar el grado de afectación que pudiera existir al medio ambiente debido al vertimiento constante y sin tratamiento por décadas de los residuos. Para ello se tomaron en cuenta parámetros en tres puntos diferentes: al inicio del proceso productivo del desfibrado (1), en el medio donde se apreciaba el vertimiento de las aguas (2) y al final donde se encontraba el agua estancada en un depósito fijo de gran área superficial (3). Los parámetros evaluados pH, Conductividad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), sólidos sedimentables fueron determinados por métodos analíticos clásicos e instrumentales.

Fueron analizados además las piñas y el varejón, de plantas de 25 años de edad que son los residuos agrícolas de este cultivo que quedan en el campo cuando se cortan las hojas de la planta de henequén con vistas a la obtención de inulina y etanol. Para la determinación de inulina y etanol, presentes en el jugo cocido se empleó la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC),

Resultados y Discusión

1. Jugo de henequén

En el análisis realizado a los residuales líquidos, se tomaron por triplicado muestras en tres puntos: al inicio del proceso productivo del desfibrado (1), en el medio donde se apreciaba el vertimiento de las aguas (2) y al final donde se encontraba el agua estancada en un depósito fijo de gran área superficial (3). Resultados que se muestran en la [Tabla 1](#).

Tabla 1. Residuales líquidos del desfibrado**Table 1.** Liquid waste from shredding

Ensayo realizado (NC 27:2012)	UM	1	2	3	Límite máximo permisible
pH	U	4,11	6,29	6,27	Entre 6 y 9
Conductividad	μS/ cm	2480	1250	1850	<4000
DQO	mg/L	11200	468	1838	<700
Sólidos Sedimentables	mL/L	300	40	1	<10
DBO ₅ , 20°C	mg/L	4230	160	665	<300

Los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y sólidos sedimentables son superiores a los valores aceptados por la NC de vertimiento, resultados que evidencian que estos jugos ocasionan contaminación a las aguas subterráneas y superficiales, por lo que deben ser tratados o reutilizados.

En el año 1991, se estudiaron las propiedades detergentes del jugo de henequén, en el Centro de Estudios de Energía Renovable (CUJAE), demostrándose que el producto posee propiedades recomendables para el lavado de vajillas. (Ferrer y col, 2010)

Recientemente se obtuvieron dos productos detergentes Amon y Deterlimp en la Empresa Suchel Proquimia SA donde se sustituyó agua por jugo de henequén a diferentes concentraciones, evidenciándose que las variantes formuladas presentaron la misma eficacia detergente superficial que los productos originales. (Toledano, 2023)

2. Piñas y varejón

La descripción del proceso parte de la recolección de las piñas de 25 años de sembradas. Estas se someten a un troceado. Luego pasan a lavarse donde son separadas las partículas extrañas provenientes de la tierra y las porciones de piña. Una vez lavadas se procede a la extracción empleando una relación sólido - agua 1:6 a 70°C durante 90 minutos.

El extracto obtenido del lavado se lleva hacia una centrífuga decantadora donde se aparta la materia sólida de la líquida. El jugo extraído de la centrífuga se somete a un proceso de evaporación para eliminar el 55 % de agua. Posteriormente ese concentrado se lleva a un secador para obtener un polvo blanco que es inulina con vistas a ser empleada como edulcorante. Se alcanza un rendimiento entre 27,9 % y 29,1 % m/m. Se determina mediante métodos analíticos el poder edulcorante de la misma, siendo similar al de la sacarosa. (Ferrer y col, 2023).

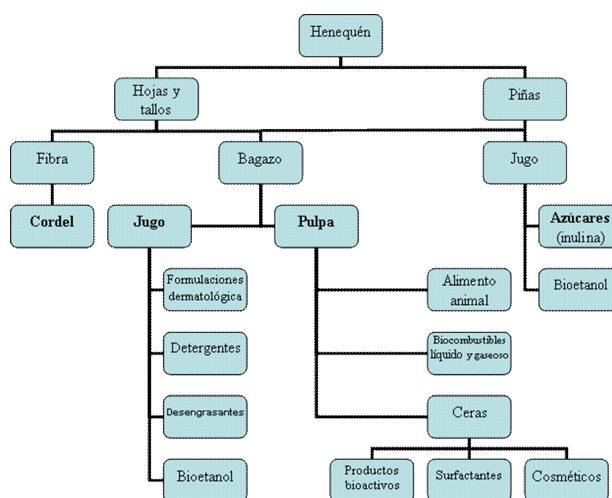
A partir de piñas de henequén, de 25 años de sembradas, se realiza la obtención de etanol. Se seleccionan piñas de esta edad porque acumulan mayor reserva de carbohidratos no estructurales que pueden ser fermentados y utilizados para la obtener bebidas alcohólicas. El etanol producido

por la fermentación de los azúcares contenidos, se obtuvo con la variante de jugo ajustado a 12 °Brix con miel final de caña clarificada empleando la levadura *S. Cerevisiae* (L/25-7-12). Las condiciones de cocción fueron temperatura entre 100 -110 °C y tiempo de 120 minutos alcanzando una producción de etanol de 7,22±1,05 % v/v. (Zumalacárregui et al., 2024)

En trabajos anteriores realizados por investigadores de la Facultad de Ingeniería Química y del Centro de Estudios de Energías Renovables de la Universidad Tecnológica de La Habana, se obtuvieron ceras a partir de la pulpa de henequén y de la cutícula que fueron objeto de una patente cubana (Rodríguez y Ferrer (1998). Estas ceras fueron empleadas en el recubrimiento de cítricos, sustituyendo la cera de carnauba de importación.

De la cera de pulpa obtenida además se extrajeron alcoholes grasos y ácidos grasos superiores empleados en la síntesis de agentes tensioactivos. (Zumalacárregui, B., 2011).

Con estos resultados experimentales y los analizados de la revisión de las diferentes fuentes se propone un esquema de trabajo para la recuperación y/o transformación de los residuales henequeneros. **Figura 1.**

**Figura 1.** Esquema de aprovechamiento integral**Figure 1.** Comprehensive use scheme

Conclusiones

1. Los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y sólidos sedimentables son superiores a los valores aceptados por la NC de vertimiento lo que indica una alta contaminación en esta región del Mariel.
2. Se demuestra la posibilidad de extracción de inulina mediante cocción con agua como solvente a temperatura de 70 °C y tiempo de 90 minutos, en el jugo extraído de las piñas de 25 años procedentes del Mariel.
3. Se obtuvo etanol mediante la fermentación con la variante de jugo de 25 años procedente del Mariel ajustado a 12 °Brix con miel final de caña clarificada empleando la levadura *S. Cerevisiae* (L/25-7-12).
4. Se identificaron diversas alternativas para la valorización de residuos de henequén, destacando el potencial del jugo residual como detergente y de las piñas para la producción de inulina y bioetanol. Estos hallazgos demuestran la viabilidad de transformar los subproductos de la industria henequenera en recursos de valor añadido, contribuyendo significativamente a la transición hacia un modelo de economía circular en Cuba.

Bibliografía

- Bustos, M.G., Lucio H, Trujillo, D., Hernández, V. (2024). El cultivo de henequén (*Agave fourcroydes*), como alternativa de producción en el Sur de Tamaulipas-México. *Ciencia Latina*, 8(3), 10463-10473. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12206
- Cáceres, M., Lappe, P., Larqué, A., Magdub, A., Barahona, L. (2009). Producción de etanol a partir de jugo de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) y melaza utilizando una mezcla de levaduras. *VII Simposio Internacional de producción de alcoholes y levaduras*. México.
- Canché, G., Guin, L., Duarte, S. and Barahona L., (2022). Characterization of bio-oil and biochar obtained by pyrolysis at high temperatures from the lignocellulosic biomass of the henequen plant. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24,751-762. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01361-5>
- Ferrer, C. M., Zumalacárregui B., Mazorra M. (2023). Extracción de inulina a partir de piñas de desecho de henequeneras cubanas. *Revista Cubana de Química*, 35(20), 322-337.
- Ferrer C.M., Mazorra M, Zumalacárregui B. (2010) *Henequén: Un producto útil y aprovechable*. Monografía

- Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables, CUJAE, Cuba. ISBN 978-959-261-328-7
- López-Covarrubias, M., Aguilar-Juárez, O. (2023). Tratamiento de vinazas tequileras a partir de biochar derivado de bagazo de agave *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad (TERYS)*, 2(1): 327-333
- Luzardo, B., Ruiz, E, Pérez, J.C. (2022). Transformación de biomasa lignocelulósica en biocombustible de segunda generación: estado del arte del pretratamiento. *Bases de la ciencia.*, 7(Especial), 3-22. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4243>
- Llerena, D., Zumalacárregui, L., Zumalacárregui, B. (2023): Obtención de inulina a partir de piñas de henequén. *Revista RENIA*. 4(3) Septiembre-Diciembre Publicado: 28-11-2024
- NC-27-2012: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización, Cuba. 2012 /Rev.3
- ONU (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P). Santiago de Chile
- Rendón L., Colunga M., Barahona M., Pimienta E., Magdub A.,Larqué A. (2009) Sugars and alcoholic byproducts from henequen (*Agave fourcroydes*) as influenced by plant age and climate. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 32, 39-44.
- Rodríguez A. M., Ferrer C. Procedimiento para la obtención de cera a partir de desechos de la industria henequenera, Patente cubana, 22801.1998.
- Toledano N. (2023) *Sustitución de agua por jugo de Henequén en los productos detergentes Amon y Deterlimp*. [Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de la Habana] Archivo digital.
- Wang, Y., Cui. X. (2024) Modeling and quantification of agricultural waste recycling for agricultural industrial structure optimization in a novelty multi-village industrial complex. *Environmental Impact Assessment Review* 106:107484. <https://doi.org/10.1016/>
- Zumalacárregui, B., (2011). *Cera de henequén. Aplicaciones como emulgente*. Monografía Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, Cuba. ISBN 978-959-261-374-4
- Zumalacárregui, B, Zumalacárregui, L, Ferrer, C, (2023) *Inulina producto de la diversificación de la industria henequenera* Monografía. Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, Cuba. ISBN 978-959-261-622-6
- Zumalacárregui, B., Zumalacárregui, L., Ferrer, C., (2024) *Edulcorantes naturales*. Monografía Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, Cuba. ISBN 978-959-261-633-2