

Artículo Original

PRODUCCIÓN DE AGUARDIENTE A PARTIR DE MELADURA EN LA DESTILERÍA “HÉCTOR MOLINA RIAÑO”

PRODUCTION OF SPIRITS FROM SYRUP AT “HÉCTOR MOLINA RIAÑO” DISTILLERY

Grettel Castillo Cabrera ¹ <https://orcid.org/0009-0007-2215-0826>

Osney Pérez Ones ^{2*} <https://orcid.org/0000-0002-0366-0317>

Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas ² <https://orcid.org/0000-0001-6921-737X>

Gustavo Saura Laria ¹ <https://orcid.org/0009-0005-4508-0010>

Arletis Cruz Llerena ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8113-1592>

¹ Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Dirección de Biotecnología, La Habana, Cuba.

² Facultad de Ingeniería Química, Grupo de Análisis de Procesos, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba.

Recibido: Diciembre 4, 2024; Revisado: Diciembre 17, 2024; Aceptado: Enero 9, 2025

RESUMEN

Introducción:

Dada la baja disponibilidad de mieles se está impulsando el empleo de jugos de caña y meladura, como materias primas alternativas a la miel. En la Empresa Agroindustrial Azucarera “Héctor Molina Riaño” se instaló una columna de destilación para producir aguardiente a partir de meladura proveniente de cañas no aptas para la obtención de azúcar.

Objetivo:

Evaluar la viabilidad del uso de meladura como materia prima alternativa en la producción de aguardiente.

Materiales y Métodos:

Se realizaron balances de masa y energía en el proceso de producción de azúcar y aguardiente, utilizando dos sustratos: mieles y meladuras. Se determinaron costos relacionados con la producción de aguardiente a partir de ambos materiales y los efectos negativos al medio ambiente.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Osney Pérez, Email: osney@quimica.cujae.edu.cu



Resultados y Discusión:

Se determinó que para 100 hL/d de capacidad de producción, se obtuvo un flujo de 368,05 kg/h de aguardiente y un ahorro del consumo de vapor en la obtención de meladura de 76 475 031 t/año en el proceso de producción de azúcar. Se obtuvo que, empleando meladura, el proceso resultó factible con una ganancia de 502 549 438 CUP/año. Se determinó un ahorro en el consumo de agua de dilución y de combustible de 20 160 m³/año y 143 385 t/año respectivamente y se reportó una reducción en la producción de CO₂ de más del 6 %.

Conclusiones:

Es factible usar meladura en sustitución de la miel para producir aguardiente, logrando aprovechar la caña atrasada, consumir menos combustible, y reducir las emisiones de gases a la atmósfera.

Palabras clave: aguardiente; balances de masa y energía; destilería; meladura; miel final.

ABSTRACT

Introduction:

Given the low availability of molasses, the use of sugarcane juice and syrup as alternative raw materials to molasses is being considered. At the agroindustrial sugar company “Héctor Molina Riaño”, a column has been installed to produce spirits from syrup from sugarcane that is not suitable for obtaining sugar.

Objective:

To evaluate the feasibility of using syrup as an alternative raw material in the production of spirit.

Materials and methods:

Mass and energy balances were carried out in the sugar and spirit production processes using two substrates: syrup and molasses. Costs associated with the production of spirit from both materials and the negative environmental impacts were determined.

Results and discussion:

It was established that for a production capacity of 100 hL/d, 368.05 kg/h of spirit was obtained and a steam consumption saving of 76 475 031 t/year in obtaining molasses of 76 475 031 t/year in the sugar production process. It was obtained that, using molasses, the process was feasible with a profit of 502 549 438 CUP/year. A saving in dilution water and fuel consumption of 20 160 m³/year and 143 385 t/year respectively, and a reduction in CO₂ production of more than 6% was reported.

Conclusions:

It is feasible to use syrup instead of molasses to produce spirit, making use of the backward cane, consuming less fuel, and reducing gas emissions to the atmosphere.

Keywords: spirit; mass and energy balances; distillery; syrup; molasses.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria azucarera requiere del estudio de posibles alternativas que puedan ofrecer la industrialización de los coproductos de esta agroindustria cañera con la finalidad de diversificar la utilización de la caña, crear nuevos mercados de exportación y maximizar los beneficios (Cordovés et al., 2013).

La producción de etanol y aguardiente en Cuba ha sido totalmente dependiente de las fábricas de azúcar para obtener su materia prima fundamental: las mieles finales de caña. Con el presente escenario de la producción azucarera y de etanol en Cuba, la necesidad de acudir a otros sustratos es imprescindible para cumplimentar la demanda creciente del combustible y anticipar la ya real escasez de mieles finales como materia prima (Bello et al., 2005). Debido a la baja disponibilidad de mieles se está impulsando el empleo de jugos de caña y meladura, como materias primas alternativas. Uno de los centrales en llevar a la práctica esta alternativa es la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) “Héctor Molina Riaño”, de la provincia Mayabeque (Rodríguez et al., 2023). En la destilería perteneciente a esta empresa, se decidió instalar una columna de destilación para comenzar la producción de aguardiente a partir de meladura.

Si bien esta alternativa se llevó a cabo en la práctica y arrojó resultados satisfactorios desde el punto de vista económico de rentabilidad del proceso, no existe una descripción del proceso, ni la demostración científico-técnica de que el proceso empleando meladura sea eficiente en comparación con el método tradicional de obtención de aguardiente a partir de miel final. De ahí que con este trabajo se busque evaluar la viabilidad del uso de meladura como materia prima alternativa en la producción de aguardiente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Procedimiento para la producción de aguardiente con meladura

El proceso de producción de aguardiente con meladura es similar al de producción con miel final. El procedimiento seguido en la EAA se presenta a continuación.

2.1.1 Selección de la caña y obtención de la meladura

El empleo de la meladura en las producciones alcohólicas permite un mejor aprovechamiento de la caña que no se destina a la producción de azúcar, dada su baja calidad (Lamas et al., 2023). Esta es una opción que se usa como estrategia al inicio y final de la zafra, cuando la madurez de la caña y su contenido de azúcares son bajos (Sabadí, 2023).

2.1.2. Inversión de la meladura

Para centrales tributarios a destilerías se realiza el proceso de inversión ácida con vistas a evitar la cristalización de la meladura en los tanques de almacenaje. Se recomienda el empleo de 0,4-0,5 kg de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado/tonelada meladura (60 °Brix) a una temperatura de 90 °C. El proceso de inversión demanda 12 horas para su completamiento. Valores de pureza inferiores a 26 % garantizan la no cristalización de la meladura (Castillo, 2024). En el caso de la EAA estudiada solo se realiza la inversión de la meladura para su almacenamiento prolongado.

2.1.3. Recepción y análisis de la meladura

Se recibe la meladura proveniente del central con una temperatura entre 25 y 40 ° C y se realizan los análisis de calidad en el laboratorio. La meladura debe presentar las siguientes características (Calzada, 2013): Grados brix: 65-70 °Brix; Pol: 62-65 %; Azúcares reductores totales: 60-65 %; Lodos: 5-8 %.

2.1.4. Preparación del mosto

Previamente se realiza un proceso de clarificación y enfriamiento de la meladura para que alcance las condiciones requeridas para su empleo en la fermentación alcohólica. Luego se mezcla la meladura con agua en un disolutor hasta lograr 10-12 °Brix. Se añaden las sales nutrientes previamente preparadas que aporten nitrógeno y fósforo para el crecimiento y mantenimiento de la levadura, como urea y fosfato de amonio (Estévez, 2014).

2.1.5. Ajuste del pH

Aprovechando la alta resistencia de la levadura a la acidez, se le añade H₂SO₄ para ajustar el pH (4,8 - 5,4) del medio a fermentar y evitar las infecciones (Estévez, 2014).

2.1.6. Limpieza química y desinfección

Para la limpieza química se utilizan dos soluciones: una solución alcalina de sosa y otra de ácido fosfórico (Estévez, 2014).

2.1.7. Prefermentación y fermentación

Primeramente, se realiza la propagación de la levadura que se inicia desde el laboratorio, hasta alcanzar la etapa de germinación y cultivación para la reproducción de las células, y se lleva a cabo la prefermentación con el objetivo de lograr la adaptación de las células al nuevo medio (Estévez, 2014). En esta etapa, en caso de existir disponibilidad, lo ideal es utilizar miel final como medio de crecimiento, debido al alto contenido de nutrientes que presenta; de lo contrario se usa la meladura.

La fermentación del mosto se lleva a cabo a una temperatura de 32-34 °C. Debe ser más lenta, con duración de 20-30 horas; en caso de una fermentación secundaria (agotamiento de la levadura y paso a destilación), no debe ser mayor de 4-6 h (Cruz et al., 2020).

2.1.8. Destilación

La destilación se lleva a cabo de forma continua con sistema de condensación fraccionada (dos condensadores parciales y uno total), que debe dar como resultado un aguardiente de entre 74 y 76 °GL. El vino se alimenta con un contenido alcohólico de 5-8 °GL a una temperatura ≥ 30 °C (la misma temperatura del plato al que se alimenta). La zona de concentración debe ser de cobre, ya que las reacciones de esterificación ocurren a ≥ 60 °GL (Estévez, 2014). La temperatura de la paila debe ser de 102-104 °C para evitar el quemado del aguardiente, por lo que serían estas las condiciones del vapor de calentamiento requerido (Cruz et al., 2019).

2.2. Balances de masa y energía en el proceso de obtención de azúcar y aguardiente

Los cálculos fueron realizados para la capacidad de molienda del central de 4 800 t caña/d y 100 hL/d de aguardiente de capacidad de producción de la destilería. Para la realización de los balances de masa se utilizó la secuencia de cálculos presentada por Pérez et al. (2023), tanto para el central como para la destilería. Esta secuencia comprende 17 ecuaciones para la producción en el central en los equipos de molienda, calentamiento, pre-evaporación, evaporación, tachos, turbogeneradores y generación de vapor y 37 para la producción en la destilería en las etapas de disolución de miel, prefermentación, fermentación y destilación de aguardiente. En la figura 1 se resume el procedimiento.

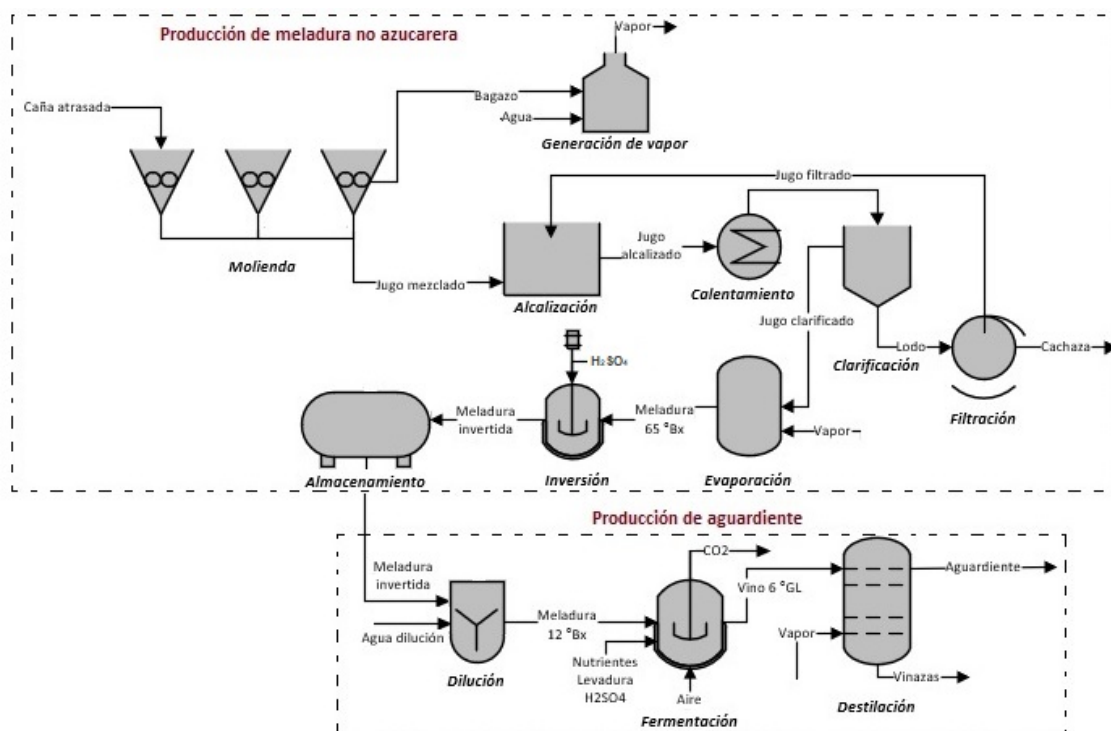


Figura 1. Esquema tecnológico de producción de aguardiente con meladura. Fuente: elaboración propia

2.3. Evaluación económica del proceso de obtención de aguardiente

Para realizar la evaluación económica, se determinó para cada proceso, el que usa meladura y el que usa miel final, el costo de producción total (Turton et al., 2018), el ingreso por la venta de aguardiente y la ganancia económica con el objetivo de comparar la factibilidad económica de la utilización de miel final y meladura como materias primas. En la tabla 1 se muestran los costos de las materias primas y materiales de producción.

Tabla 1. Costos de materias primas y materiales de producción

<i>Materias primas</i>	<i>Costo (CUP/t)</i>	<i>Fuente</i>
Miel final	2 949,00	(Beltrán, 2023)
Meladura	10 070,00	
Urea	26 400,00	(Figueroa, 2023)

Fosfato de amonio	45 905,65	
Sulfato de amonio	29 477,08	
H ₂ SO ₄	4 303,00	
Hidróxido de sodio	10 647,40	
Antiespumante	63 784,56	

En la tabla 2 se muestran los servicios auxiliares del proceso con sus índices de consumo y precios (Figueroa, 2023).

Tabla 2. Índices de consumo y precios de los servicios auxiliares

<i>Servicios auxiliares</i>	<i>Índice de consumo</i>	<i>Precio</i>
Agua de enfriamiento	6,06 m ³ /hL	2,64 CUP/m ³
Electricidad	11 kWh/hL	3,84 CUP/kWh
Combustible	24,85 L/hL	12,4352 CUP/L

Para la realización de los cálculos, se consideró la producción de aguardiente continua para 300 días/año, una vida útil de la planta de 15 años y un índice de generación de vapor 15 kg de vapor/kg de combustible (Cruz et al., 2021). En cuanto al precio del aguardiente, se tuvo en cuenta el de oferta y demanda al que comercializa la fábrica (22 500 CUP/hL) luego de cumplir el plan de producción al precio establecido por AZCUBA (1 074 CUP/hL).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de los balances de materiales y energía en la producción de azúcar

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las etapas que intervienen en el proceso de producción de azúcar.

Tabla 3. Resultados de los balances en el proceso de producción de azúcar

<i>Etapas</i>	<i>Parámetro calculado</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad de medida</i>
Molienda	Agua de imbibición	1 440	t/d
	Jugo mezclado	4 686,72	
	Bagazo	1 553,28	
Calentamiento	Capacidad calorífica del jugo alcalizado	3,85	kJ/kg °C
	Consumo de vapor en calentador primario	297,01	
	Consumo de vapor en calentador secundario	207,40	
	Consumo de vapor en calentador rectificador	197,03	
Pre-evaporación	Jugo concentrado	2 469,23	t/d
	Vapor producido	2 390,05	
	Consumo de vapor	2 512,40	t/d

Evaporación	Meladura	1 066,71	
	Vapor producido	1 402,52	
	Consumo de vapor	250,04	t/d
Tachos	Consumo de vapor en tacho A	510,72	t/d
	Consumo de vapor en tacho B	265,44	
	Consumo de vapor total en tachos	776,15	t/d
	Consumo de vapor en un turbogenerador	935,76	t/d
	Consumo de vapor total en los turbogeneradores	2 807,52	
Generación de vapor	Consumo de vapor por válvula reductora	1,83	t/d
	Vapor generado en la caldera	3 348,15	
	Valor calórico superior del bagazo	9 627,8	kJ/kg
	Eficiencia del generador de vapor	62,83	%

En el análisis de los resultados de este proceso, el objetivo principal fue determinar cuánto vapor se consume en cada una de las etapas para comparar el consumo energético y el ahorro de combustible para el trabajo en los generadores de vapor. Desde la etapa de molienda hasta la de evaporación, donde se obtiene la meladura, se consumen 3 463,88 t/d de vapor, mientras que, en la obtención de miel final, al implicar más etapas, se consumen 10 633,12 t/d, por lo que, al usar la meladura como materia prima para destilerías, se ahorra el 67 % del consumo de vapor (7 169,24 t/d) y menos gasto de combustible para la generación de energía térmica (477,95 t/d). Este menor consumo de combustible tiene un efecto positivo en la reducción de gases contaminantes a la atmósfera.

Estos resultados son similares a los reportados por (Pérez et al., 2023), teniendo en cuenta la capacidad de molida considerada en cada estudio. En la producción de meladura, para una molida de 2 000 t/d superior a la estudiada en este trabajo, el consumo de vapor en la etapa de evaporación se incrementa en 100 t/d, lo que representa un índice de consumo de vapor de 18,7 t vapor/t caña, resultado que coincide a lo obtenido en este trabajo.

3.2. Resultados de los balances de masa y energía en el proceso de producción de aguardiente

Los resultados para los balances de masa y energía en el proceso de producción de aguardiente se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de los balances de masa en la destilería “Héctor Molina”

<i>Etapa</i>	<i>Parámetro calculado</i>	<i>Valor (Miel final)</i>	<i>Valor (Meladura)</i>	<i>Unidad de medida</i>
Disolutor	Miel/ meladura de entrada	2 066,67	1 791,67	kg/h
	Miel/ meladura de dilución	13 512,82	10 451,39	
	Agua de dilución	11,45	8,65	m ³ /h
Prefermentador	Miel/ meladura de dilución en el prefermentador	10 134,62	7 838,54	kg/h
	Miel/ meladura de entrada al prefermentador	1 550	1 343,75	kg/h
	Agua de dilución	8,58	6,49	m ³ /h
	Azúcares reductores fermentables (ARF) necesarios para producir levadura	52,03	40,25	kg ARF/h
	% ARF a la entrada	7,953	10,33	%
	Azúcares a la entrada	806	810,15	kg/h
	% ARF a la salida	5,965	7,75	%
	Flujo de mosto a la salida	1 298,75	1 298,75	kg/h
	Azúcares a la salida	77,467	100,67	kg/h
	Azúcares convertidos	728,53	709,47	kg/h
	ARF utilizados en la producción de etanol	676,49	669,23	kg/h
Fermentador	Etanol producido	346,37	342,64	kg/h
	CO ₂ producido	330,13	326,58	kg/h
	Miel/ meladura de entrada al fermentador	516,67	447,92	kg/h
	Miel/ meladura de dilución en el fermentador	3 378,21	2 612,84	kg/h
	Agua de dilución	8,58	6,49	m ³ /h
	% ARF de entrada de miel/ meladura diluida	7,953	10,335	%
	Azúcares de entrada de miel/ meladura diluida	268,67	270,04	kg/h
	ARF de entrada al mosto	5,96	7,75	%
	Azúcares de entrada al mosto	77,47	100,67	kg/h
	Azúcares totales a la entrada	346,13	370,72	kg/h
	ARF a la salida del fermentador	1,835	2,584	%
	Flujo de vino a la salida	5 044,05	5 044,05	kg/h
	Azúcares a la salida	92,57	164,22	kg/h
	Azúcares convertidos	253,56	206,50	

	ARF utilizados en la producción de etanol	249,57	202,52	
	Etanol producido en los fermentadores	127,78	103,69	kg/h
	Etanol total producido	474,15	446,33	
	CO ₂ producido	121,79	98,83	kg/h
	CO ₂ total producido	451,92	425,41	
Columna de destilación	Alcoholes al 100 % alimentados	277,42	277,42	kg/h
	Aguardiente producido	368,05	368,05	kg/h
	Vinazas	5 876	5 876	
	Reflujo de entrada a la zona de concentración	552,07	552,07	kg/h
	Vapores de tope que abandonan la columna	920,12	920,12	kg/h

Los resultados indicaron que para lograr la alimentación de 5 044,05 kg/h de vino a la columna se empleó una menor cantidad de meladura (1 792 kg/h) en comparación con la miel (2 067 kg/h). El empleo de la meladura en las producciones de etanol y aguardiente significa un ahorro casi total de las mieles finales, en contraste con otros sustratos alternativos que incluyen miel en su preparación, como el jugo diluido, las mezclas de jugo diluido y jugo de los filtros con miel final, que reportan el 22,3 %, 23,08 % y 50 % de ahorro de miel respectivamente (Díaz, 2021).

El uso de la meladura incrementa la calidad de los azúcares reductores totales con respecto a la miel, pero la miel reporta la mayor cantidad de azúcares reductores fermentables y nutrientes para la producción de etanol, debido a su mayor concentración de sólidos solubles (Calzada, 2013). Sin embargo, la diferencia no es alta y permite considerar que la meladura es un sustrato de una calidad adecuada para la fermentación. El flujo volumétrico del agua de dilución empleado en el proceso fue menor para la meladura, debido a la mayor composición de agua presente en esta respecto a la miel, de 34 % frente a 15 % (Calzada, 2013) con lo cual se incurre en un ahorro de aproximadamente 20 160 m³/año, lo que reporta un beneficio al balance de agua con menos gasto de recursos hídricos.

Según Beltrán (2023), la cantidad de dióxido de carbono generado en la fermentación varía proporcionalmente en función de la conversión de azúcares del sustrato. En concordancia con esto, los resultados muestran que el proceso con miel presenta la mayor conversión de azúcares con una cantidad de 253,56 kg/h, generando un mayor flujo de CO₂ de 121,79 kg/h en comparación con los 98,83 kg/h producidos con meladura y por tanto es el que mayor influencia negativa tiene en el medio ambiente, al ser el CO₂ uno de los principales gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global y el cambio climático.

En las figuras 2 y 3 se comparan los aspectos discutidos.

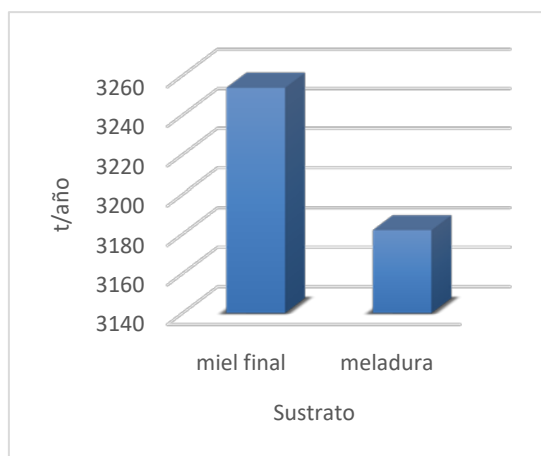


Figura 2. Producción de CO₂ en los procesos empleando miel y meladura

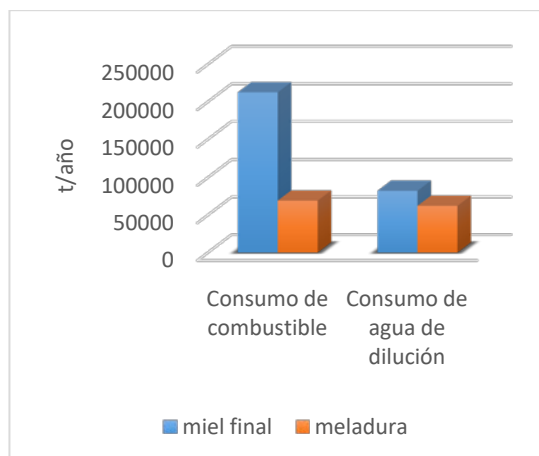


Figura 3. Consumos de agua de dilución y combustible empleando miel y meladura

3.3. Evaluación económica del proceso de obtención de aguardiente

Para la realización de los cálculos se tuvo en cuenta el costo total de producción para cada materia prima de forma independiente. Se determinaron los ingresos por venta de aguardiente y se obtuvieron las ganancias económicas. La mayor ganancia económica se obtuvo con el empleo de la miel final con una diferencia de 107 566 293 CUP/año con respecto a la meladura. Esta mayor ganancia está dada principalmente por el alto precio en el mercado que presenta la meladura. Los costos directos fueron los que presentaron mayor influencia sobre los costos de producción, ya que constituyeron aproximadamente el 83 % del total de gastos incluyendo la depreciación en ambos esquemas de producción. En la tabla 5 se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 5. Resultados económicos del proceso productivo

<i>Indicadores</i>	<i>Costos (CUP/año)</i>	
	<i>Miel final</i>	<i>Meladura</i>
Capital fijo de inversión	1 712 000	
Materias primas y materiales de producción	46 437 722,7	133 627 714,4
Servicios auxiliares	11 167 204,15	
Salarios	903 840	
Costo total de mano de obra	73 800 903,22	181 044 593,1
Total de costos directos	61 139 189,14	151 546 491,6
Total de costos indirectos	756 334,72	
Gastos generales	11 983 532,19	29 142 522,57
Depreciación	171 200	
Total de gastos incluyendo depreciación	74 050 256	181 616 549
Ingresos por venta de aguardiente	684 165 987	
Ganancia económica incluyendo la depreciación	610 115 731	502 549 438

Si bien los resultados de los costos obtenidos al emplear la meladura como sustrato superan a los reflejados con miel final en un 40,7 %, el proceso es factible

económicamente. Es válido destacar que al usar la meladura se contribuye al máximo aprovechamiento de una caña que no es posible convertir en azúcar y de la que por ende no se obtendrá miel. Si se analiza lo anterior para la capacidad de procesamiento de caña del central y el precio actual de la caña de azúcar en el país (2 087 CUP/t de caña), se evitarían pérdidas de hasta 10 017 600 CUP/d empleando la meladura en estas producciones.

Además, si se analizan los costos de combustible fuel oil partiendo del consumo de este en el proceso de producción de azúcar, que se muestran en la tabla 6, se tiene un ahorro de 1 802 850 020 CUP/año para el proceso de obtención de meladura.

Tabla 6. Ahorro de combustible en el proceso de producción de azúcar

<i>Sustrato</i>	<i>Consumo de combustible (L/año)</i>	<i>Ahorro de combustible (L/año)</i>	<i>Costo de combustible (CUP/año)</i>	<i>Ahorro de combustible (CUP/año)</i>
Miel final	215 027 705	-	2 673 912 520	-
Meladura	70 048 129	144 979 576	871 062 496	1 802 850 020

4. CONCLUSIONES

1. Los resultados de los balances arrojaron que para obtener 368,05 kg/h de aguardiente, se empleó una menor cantidad de meladura en comparación con el consumo de miel final (1 792 y 2 067 kg/h respectivamente).
2. El análisis económico realizado indicó que a pesar de que el proceso usando meladura resultó factible con una ganancia de 502 549 438,1 CUP/año, los ingresos del proceso empleando miel resultaron superiores, debido al alto precio de la meladura en el mercado, lo que eleva los costos de producción.
3. Se evidenció la influencia positiva del uso de la meladura en el medio ambiente, pues al emplear este sustrato se produce una reducción en la generación de CO₂ en la etapa de fermentación de 22,96 kg/h, además de un ahorro en el consumo de agua de dilución y de combustible de 20 160 m³/año y 143 384,8 t/año respectivamente.

REFERENCIAS

- Bello, D., García, R., Otero, M., & Saura, G. (2005). Fermentación alcohólica con jugo de caña mezclado en Heriberto Dusquesne. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 34(3), 29–34.
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120661006.pdf>
- Beltrán, L. M. (2023). *Simulación en Aspen Hysys de la etapa de fermentación alcohólica usando diferentes sustratos azucarados* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE].
<http://tesis.cujae.edu.cu:8080/handle/123456789/10811>
- Calzada, V. (2013). *Búsqueda de nuevos sustratos de la industria azucarera para fermentación alcohólica* [Trabajo de fin de máster, Universidad de Valladolid].
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/4844/TFM-L101.pdf?sequence=1>
- Castillo, G. (2024). *Producción de aguardiente a partir de meladura en la destilería*

- Héctor Molina Riaño [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE]. <http://tesis.cujae.edu.cu:8080/handle/123456789/10726>
- Cordovés, M., Sáenz, T., & Cabello, A. (2013). Los derivados de la caña de azúcar en Cuba. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 47(3), 31–37. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223129231002.pdf>
- Cruz, A., Pérez, O., Zumalacárregui, L., & Pérez, J. L. (2019). Simulación en Aspen Hysys v10.0 de los procesos de destilación de aguardiente y concentración de vinazas. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 53(3), 46–47. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2020/11/articulo-6-cambiado.pdf>
- Cruz, A., Pérez, O., Zumalacárregui, L., & Pérez, J. L. (2020). Desarrollo y validación de un modelo en Aspen Hysys v10.0 para el proceso de fermentación alcohólica. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 54(1), 27–28. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2020/07/articulo-6.pdf>
- Cruz, A., Pérez, O., Zumalacárregui, L., & Pérez, J. L. (2021). Validación de un modelo de simulación para la etapa de generación de vapor. *Centro Azúcar*, 48(2), 68–77. https://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/655
- Díaz, J. (2021). *Valoración de alternativas para la obtención de etanol a partir de mezclas de jugos secundarios y melazas en la destilería Jesús Rabí* [Tesis de maestría, Universidad de Matanzas]. <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/608>
- Estévez, R. (2014). *Manual tecnológico industria alcohólica cubana: Tema 7 – Fermentación* (pp. 272–312). Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- Figuroa, M. (2023). *Evaluación de esquemas de integración material y energética de las plantas de derivados de la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) “Antonio Sánchez”* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE]. <http://tesis.cujae.edu.cu:8080/handle/123456789/10810>
- Lamas, Y., de Armas, A. C., & Albernas, Y. (2023). Análisis preliminar de la fermentación alcohólica utilizando mezclas de jugo de los filtros, miel final y meladura. *Centro Azúcar*, 50(3), e1035. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/767
- Pérez, A., Zumalacárregui, L., & Pérez, O. (2023). Evaluación de tecnologías para la obtención de productos químicos de alto valor agregado y biocombustibles. *Universidad y Sociedad*, 15(4), 138–153. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/download/3961/3879>
- Rodríguez, Y., Mendoza, S., & Ribas, M. (2023). Hidrólisis enzimática de la meladura. *Centro Azúcar*, 50(1), e1008. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/740
- Sabadí, R. (2023). Diversificación de la industria azucarera y bioeconomía circular: Las rutas de la energía. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 57(1), 13–22. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2023/03/articulo-2-1.pdf>
- Turton, R., Shaeiwitz, J. A., Bhattacharyya, D., & Whiting, W. B. (2018). *Analysis*,

synthesis and design of chemical processes (4th ed., pp. 236–271). Prentice Hall International.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Grettel Castillo Cabrera. Metodología, investigación, redacción-primer redacción.
- Dr.C. Osney Pérez Ones. Conceptualización, supervisión, investigación, redacción - revisión y edición.
- Dr.C. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas. Conceptualización, supervisión, investigación, redacción - revisión y edición.
- Ing. Gustavo Saura Laria. Metodología.
- M.Sc. Arletis Cruz Llerena. Gestión de proyectos, supervisión, investigación.