

Artículo Original

**ESCENARIOS DE TRABAJO PARA EL DISEÑO DE UNA
DESTILERÍA DE OBTENCIÓN DE AGUARDIENTE ORGÁNICO**

**WORK SCENARIOS FOR THE DESIGN OF A DISTILLERY
FOR ORGANIC SPIRITS PRODUCTION**

Eliani Sosa Gómez^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-2257-7348>
Irenia Gallardo Aguilar¹ <https://orcid.org/0000-0002-6360-6582>
Jefferson Pérez Mojica¹ <https://orcid.org/0009-0005-4448-6051>
Ana Celia de Armas Martínez² <https://orcid.org/0000-0002-0147-0704>

¹ Departamento de Ingeniería Química Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Empresa de Bebidas y Refrescos (EMBER) Villa Clara, Santa Clara, Cuba.

Recibido: Febrero 13, 2025; Revisado: Febrero 18, 2025; Aceptado: Marzo 4, 2025

RESUMEN

Introducción:

Actualmente los productos orgánicos cuentan con una gran demanda en el mercado y poseen un precio mayor, lo que los convierte en una excelente oportunidad de negocio.

Objetivo:

Comparar dos escenarios de trabajo para el diseño de una pequeña destilería de obtención de aguardiente orgánico.

Materiales y Métodos:

La materia prima fundamental es la miel orgánica, obtenida a partir de la caña de azúcar cultivada solo con abonos naturales, empleando jugo de los filtros en el periodo de zafra, y miel orgánica y agua después de la zafra, teniendo en cuenta la disponibilidad de dichas materias primas aplicando balances de masa y energía.

Resultados y Discusión:

El empleo de jugo de los filtros aporta el 40 % de los ART, que necesitan para la batición en la fermentación proporcionando un ahorro en mieles que permite la extensión de trabajo fuera de zafra a 26 días en el primer escenario y 45 días en el



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: Eliani Sosa, Email: esgomez@uclv.cu



segundo escenario. Esto se traduce también en ahorro de agua cuando se trabaja en periodo de zafra. El proyecto demostró ser rentable para un precio de venta del aguardiente orgánico entre 190 - 225 \$/hL.

Conclusiones:

La incorporación del jugo de los filtros disminuyó significativamente la demanda de miel y de agua, ampliando los días de trabajo fuera de zafra. La producción de aguardiente orgánico en Cuba se presenta como una alternativa viable y rentable siempre que se disponga de la materia prima necesaria para los días programados de trabajo.

Palabras clave: aguardiente orgánico, destilería; etanol; miel.

ABSTRACT

Introduction:

Currently, organic products have a great demand in the market and have a higher price, which makes them an excellent business opportunity.

Objective:

To compare two work scenarios for the design of a small distillery to obtain organic spirits.

Materials and Methods:

The fundamental raw material is organic molasses, obtained from sugar cane grown only with natural fertilizers, using juice from filters during the harvest period, and organic honey and water after the harvest, taking into account the availability of said raw materials by applying mass and energy balances.

Results and Discussion:

The use of filter juice provides 40% of the ART, which is needed for the beating in fermentation providing a saving in molasses that allows the extension of work outside the harvest period to 26 days in the first scenario and 45 days in the second scenario. This also translates into water savings when working during the harvest period. The project proved to be profitable for a sale price of organic spirit between 190 - 225 \$/hL.

Conclusions:

The addition of juice from the filters significantly reduced the demand for molasses and water, extending the work days outside the harvest. The production of organic spirit in Cuba is presented as a viable and profitable alternative as long as the necessary raw material is available for the scheduled work days.

Keywords: organic spirit; distillery; ethanol; molasses.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las personas han adoptado una actitud más responsable y exigente en relación a los atributos de calidad y seguridad de los productos que consumen. En este sentido se presenta el desarrollo y la innovación de los productos con la denominación de “orgánico” como se aborda por Ming (2024).

Los productos orgánicos cuentan con una gran demanda en el mercado y poseen un

precio mayor, lo que los convierte en una excelente oportunidad de negocio, que genera fuentes de empleo y mejora la vida de las comunidades rurales. Cuba no está ajena a este proceso, desde el inicio de los años noventa se redujo la utilización de insumos químicos como consecuencia de la contracción económica ocurrida en el país, Correa et al. (2005), Hernández (2007). Esto propició la introducción de técnicas agroecológicas en los cultivos. La producción y comercialización de productos orgánicos en el país apenas comienza, estando en una etapa de creación de condiciones y levantamiento de las potencialidades (Pareras et al., 2023).

El alcohol orgánico se produce utilizando ingredientes orgánicos certificados, lo que significa que se cultivan sin el uso de pesticidas sintéticos, herbicidas u otros productos químicos dañinos. Además, en su producción se evitan los aditivos artificiales y se utilizan métodos de fermentación natural como lo apunta Lopes (2016) y Sosa et al. (2024).

Según García (2024) y López (2005), el sector del ron es uno de los sectores clave para el estado cubano y una de las fuentes de ingresos más importante para el país, ya que la mayoría del negocio está orientado a la exportación.

Jifeng et al. (2019) refieren que el proceso de producción de etanol está formado por tres etapas principales, la etapa de cultivo o propagación de la levadura, la fermentación con dos subetapas, prefermentación y fermentación, siendo la fermentación la etapa principal del proceso pues, en ella es donde se produce el etanol deseado. Por último, la destilación y rectificación, para separar el etanol del agua y del resto de las impurezas que lo acompañan y obtener el producto final, con la menor cantidad de impurezas. De acuerdo a la calidad del etanol a obtener, por ejemplo, en la producción de aguardiente el nivel de impurezas como ésteres, alcoholes superiores aldehídos, etc., son superiores a los de etanol fino y solo se utiliza la columna destiladora (Kłosowski & Mikulski, 2021). Otros autores como Mesa (2010), Albernas (2014), y de Armas et al. (2021), incluyen una cuarta etapa, la de preparación de la materia prima en dependencia de la fuente de sustrato; como es el caso de almidones a partir de maíz para alcohol de primera generación (1G) y de materias lignocelulósicas para etanol de segunda generación (2G), que necesitan la acción de catalizadores como son las enzimas exógenas para la hidrólisis. Si se produce etanol como combustible se incluye una quinta etapa de deshidratación, (Castillo, 2005), (Saura, 2010), (de Armas et al., 2013).

La estrategia de obtención del etanol aprovecha la producción orgánica de la empresa para la elaboración del mismo como producto derivado, empleando la miel y el jugo de los filtros, y además añadiendo como acidificante un ácido orgánico en sustitución de los químicos comúnmente empleados, que sirva además como nutriente (Pérez, 2022), (Sosa et al., 2024).

Teniendo en cuenta todo esto la presente investigación tiene como objetivo comparar dos escenarios de trabajo para el diseño de una pequeña destilería de obtención de aguardiente orgánico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo, se tomaron los mejores resultados obtenidos por Montero (2019) y reportados por Sosa et al. (2024). En el presente trabajo se empleó la miel orgánica B diluida e incorporando para la dilución el jugo de los filtros en tiempo de

zafra y levadura *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada, que históricamente ha sido utilizada en la producción de etanol con resultados satisfactorios (Guamani et al., 2024).

2.1. Descripción del proceso de obtención de aguardiente

El proceso se basa en cuatro etapas fundamentales: preparación de la materia prima, pre-fermentación o fermentación aerobia, fermentación anaerobia y destilación.

2.1.1. Preparación de la materia prima

La miel final llega a las destilerías con una alta concentración de azúcares, siendo un medio hipertónico (>80 °Brix) incapaz de ser fermentada por la levadura. Una parte de la miel es bombeada a un tanque disolutor, donde se disminuye su concentración hasta 13 °Brix, con jugo de los filtros (JF) que constituirá el sustrato para la pre-fermentación. El resto es enviado a otro tanque disolutor para formar con el JF una mezcla con 120 g/L de ART (Azúcares Reductores Totales) y 18 °Brix, que será el medio donde se desarrollará la fermentación anaerobia con un 30 % de inoculación (Pérez, 2022). En esta etapa también es añadido el concentrado cítrico (Quiroz et al., 2022), para ajustar el pH entre 3,8 y 4 (Lamas et al., 2023).

2.1.2. Pre-fermentación

Se agregan las levaduras seleccionadas en el sustrato para iniciar la fermentación. Las levaduras comúnmente utilizadas son de la especie *Saccharomyces Cerevisiae*, que es capaz de fermentar los azúcares presentes en el sustrato y producir alcohol como subproducto.

2.1.3. Fermentación anaerobia

La mezcla de miel y jugo de los filtros es suministrada a los fermentadores o corbatos, donde es inoculada con pre-fermento en relación del 30 % del volumen de trabajo del fermentador, de acuerdo a resultados reportados por Sosa et al. (2024). Se obtiene el mosto fermentado o batición con una concentración de alcohol de aproximadamente 7 % vol, con un ciclo de trabajo de 30 h.

2.1.4. Destilación

La batición se precalienta y es alimentada a una columna destiladora. La vinaza o cola, se obtiene por el pie de la columna con un 0,04 % en peso de etanol, a una temperatura de 100 °C. Del tope de la columna se obtienen los vapores de alcohol, los cuales son condensados con la propia batición, una parte son reflujados a la torre y la otra sale como destilado con una concentración de 70 °GL, (Pérez, 2022), (Donis, 2023). En la figura 1 se muestra el diagrama de operación.

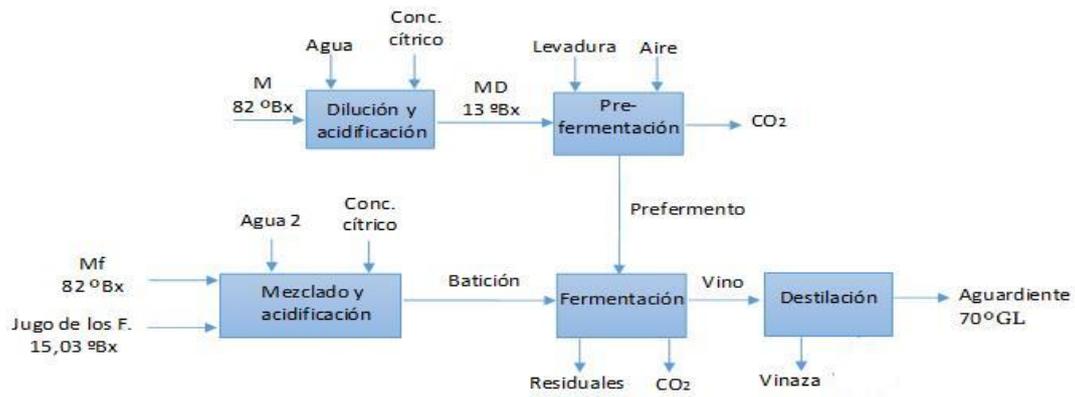


Figura 1. Diagrama de operación

Leyenda:

M: Miel B que entra al disolutor para prefermento (kg/d).

MD: Miel diluida a 13 °Brix que sale del disolutor (kg/d).

Mf: Miel B que entra al mezclador para la batición (kg/d).

JF: jugo de los filtros que entra al mezclador para la batición (kg/d).

2.2 Escenarios de trabajo para el diseño de una destilería para producir aguardiente orgánico

Para el diseño, de acuerdo a la cantidad de miel disponible y para facilitar los cálculos, se toma la propuesta realizada por Mederos (2019) que trabajó con miel diluida con agua, y capacidad de 125 hL/d de producto tomando la cuarta parte de una destilería cubana con capacidad de 500 hL/d, para 48 días de trabajo. Con la misma cantidad de equipos la cual cuenta con 4 prefermentadores, 8 fermentadores para hacer el tiempo de desarrollo del proceso similar, por tanto, se toman cuatro pre-fermentadores, ocho fermentadores y un fermentador de reserva, sin la etapa de propagación y la columna de destilación con sus equipos auxiliares (Crespo, 2014), (Rodríguez, 2016), (Arroyo, 2020).

Los escenarios se consideran para una zafra de 30 días y para una de 50 días. En ambos se propone una destilería capaz de producir aguardiente orgánico empleando jugo de los filtros, en el periodo de zafra y los días restantes con miel orgánica y agua, teniendo en cuenta la disponibilidad de dichas materias primas.

Para determinar los consumos de miel y jugo de los filtros en la etapa fermentativa se tuvo en cuenta el estudio realizado por Correa (1997). Los cálculos se aplicaron de acuerdo a los resultados obtenidos por Albornas et al. (2012).

En la tabla 1 se muestran los datos y las ecuaciones para los balances de cantidad de materias primas, utilidades y otros recursos que demanda el proceso, con el fin de fijar un régimen de trabajo para la planta. El dimensionamiento de la tecnología con jugo de los filtros, parte de la propuesta de (Pérez, 2022).

Tabla 1. Ecuaciones utilizadas en los balances de materiales

Equipo	Datos	Ecuaciones
Disolutor-acidificador para prefermento	VMD = 60 000 L/d $\rho_{MD} = 1,02944$ kg/L $Bx MD = 0,13$ $Bx M = 0,82$ $Bx Cc = 0,65$ $\rho_{Cc} = 1,3156$ kg/L $\rho_{agua} = 0,997$ kg/L	$M + Ag1 + Cc = MD$ (1) $M \cdot Bx M + Cc \cdot Bx Cc = MD \cdot Bx MD$ (2) $Cc = 2,4\% VMD$ (3) $Agua = MD - (M + Cc)$ (4)
Disolutor-acidificador para batición	Batición = 140 000L/d $\rho_{Miel} = 1,4291$ kg/L $\rho_{JF} = 1,0598$ kg/L $\rho_{Cc} = 1,3156$ kg/L $\rho_{agua} = 0,997$ kg/L	$V_{Bat} = V_{fem} - V_{pf}$ (5) $Cc = 2,4\% \cdot V_{Bat}$ (6) $MART_{Bat} = V1_{ferm} \cdot Xs$ (7) $Mf = (MART \cdot \% Aporte) / ART_{miel}$ (8) $JF = (MART \cdot \% Aporte) / ART_{JF}$ (9) $VMf + VJF + V_{Agua2} + VCc = V_{Bat}$ (10) $Agua2 = V_{Agua2} \cdot \rho_{agua}$ (11)
Pre-fermentador	Vol. de PF = 60 000 L $Cv = 0,003$ kg/L $\% A_{Pf} = 4,5\%$ $Rend_{Pf} = 41,3\%$ $ARF_{miel} = 60,27$ kg ARF/kg_{miel}	$Lv = VMD \cdot Cv$ (12) $Alc. PF = MD \cdot ((\% Apf) / 100)$ (13) $Mlv = ARF_{lv} / ARF_m$ (14) $SNA = (Bxm - ART_m) \cdot FD_{pf}$ (15) $ARF_{prod Alc. PF} = Alc. PF / (\frac{Rend_{pf}}{100})$ (16) $CO_2 = ARF_{papf} \cdot 0,488$ (17)
Fermentador	Batición = 140 000 L/d $Cv = 0,003$ kg/L $Rend_F = 51,7\%$ $\% Avino = 5,6\%$ peso	$Residuo = (V_{ferm}) \cdot Cv$ (18) $Alc. total. ferm = M_{ferm} \cdot \frac{\% Apf}{100}$ (19) $Alc. ferm = Alc. tot. ferm - Alc. PF$ (20) $ARF_{Alc. ferm} = Alc_{ferm} / (\frac{Rend_f}{100})$ (21) $CO_2 = ARF_{Alc. ferm} \cdot 0,488$ (22) $Vino = V_{ferm} - (Residuo + CO_2)$ (23)
Columna destiladora	$Fv = 1046,47$ $Xa_{Fv} = 5,6\%$ peso $Brix_{Fv} = 12$ $XD = 64,33\%$ peso $XVz = 0,04\%$ peso $Brix_{Vz} = 8,5$	$Fv = D + Vz$ (24) $D = \frac{Fv \cdot X_{afv} - Vz \cdot X_{vz}}{Xd}$ (25) $Vz = Fv \cdot (\frac{Bx_{fv}}{Bx_{vz}})$ (26) $Hfe = (W \cdot Cp_w(tw - tws) + F \cdot Hft) / F$ (27) $HL = CL(tl - to) + \Delta Hs$ (28) $HG = Y(CLA(tg - to) + \lambda A) + (1 - Y)(CLB(tg - to) + \lambda B)$ (29) $q = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L}$ (30)

2.3 Dimensionamiento de equipos

Fueron dimensionados los equipos fundamentales para llevar a cabo el proceso, desde la etapa de preparación de la materia prima hasta el almacenaje del producto final. En la tabla 2 aparecen las principales ecuaciones para el dimensionamiento.

Tabla 2. Ecuaciones para el dimensionamiento

Equipo	Ecuaciones	Unidades	Términos
Tanque disolutor Tanque mezclador	$V_{real} = 0,1 \cdot V_{trab}$ (31)	m ³	Volumen del equipo
	$d = \sqrt[3]{V/1,57}$ (32)	m	Diámetro
	$h = 2 \cdot d$ (33)	m	Altura
Prefermentador	$V_{real} = 0,1 \cdot V_{trab}$ (34)	m ³	Volumen del equipo
Fermentador	$d = \left(\frac{V}{1,2647}\right)^{1/3}$ (35)	m	Diámetro
	$ht = h_{cono} + h_{cil}$ (36)	m	Altura total hcil: altura del cilindro hcono: altura del cono
	$hcil = 1,5 \cdot d$ (37)		
	$hcono = d/4$ (38)		
	$At = Ac + Acil$ (39)	m ²	Área total Acil: área del cilindro Ac: Área del cono
$Acil = 2\Pi(d/2)^2 + 2\Pi(d/2)h_{cil}$ (40)			
$g = (hc^2 + (d/2)^2)^{1/2}$ (41)			
$Ac = \Pi(d/2)^2 + \Pi(d/2)g$ (42)	m ³	Volumen total Vc: volumen del cono Vcil: volumen del cilindro	
$Vc = (\Pi \cdot (d/2)^2 \cdot hc)/3$ (43)			
$Vcil = \Pi \cdot (d/2)^2 \cdot hcil$ (44)			
	$Vt = Vc + Vcil$ (45)		
Columna de destiladora	$d = \sqrt{\frac{V_p}{0,785 \cdot w}}$ (46)	m	d: Diámetro Z: altura de la columna Npr: número de platos reales
	$Z = (Npr - 1) \cdot t$ (47)		

2.4 Costos totales de inversión

Para la determinación de los costos totales de inversión se tuvieron en cuenta los equipos y sus dimensiones. El precio del equipamiento fue estimado utilizando la información de Peters et al. (1991) con un índice de 355,4 y el actualizado de 720 correspondiente a 2021 de acuerdo con (Fluid Mechanics, 2023).

El aguardiente orgánico es un producto nuevo y relevante que aún no se obtiene en el país a escala industrial, por lo que no es conocido su precio de venta. Se hizo un análisis de sensibilidad al producto principal y se determinaron los indicadores VAN, TIR y PRD, de esta forma se puede conocer el comportamiento de la inversión con un aumento de la valía del producto final. Para la estimación se parte del precio del aguardiente obtenido por los métodos convencionales de 57 (\$)/hL expuestos en Donis (2023) y se fue aumentando su valor hasta llegar a un punto donde el proceso se hace rentable.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar los días que puede operar la destilería a partir de las exigencias del proceso, fijando la capacidad de los equipos, se determinaron las cantidades de miel y jugo de los filtros con los que se dispone, según Pérez (2022). Todos los cálculos se realizaron empleado el *Microsoft Excel*. En la tabla 3 se presentan los resultados del balance que se realizó para obtener la cantidad de miel y jugo de los filtros que necesitan por día en cada escenario.

Tabla 3. Disponibilidad de las materias primas

<i>Materias primas (t)</i>	<i>Primer Escenario (zafra de 30 días)</i>	<i>Segundo Escenario (zafra de 50 días)</i>
Miel B	2 278	3 396
Jugo de los Filtros	9 936	16 560

A continuación, se muestra el glosario empleado en la determinación de las corrientes para el diseño de la destilería.

Glosario de abreviaturas

M: Miel B que entra al disolutor para prefermento (kg/d).

MD: Miel diluida a 13 °Brix que sale del disolutor (kg/d).

Cc: Concentrado de jugo de naranja (kg/d).

Ag₁: Agua de dilución empleada en el disolutor (kg/d).

Bx_M: Brix de la Miel B que entra al disolutor.

Bx_{MD}: Brix de la Miel diluida que sale del disolutor.

Mf: Miel B que entra al mezclador para la batición (kg/d).

JF: jugo de los filtros que entra al mezclador para la batición (kg/d).

Ag₂: Agua de dilución empleada en el mezclador (kg/d).

Pf: Pre-fermento (kg/d).

ρ_{Cc} : Densidad del Concentrado de jugo de naranja (kg/L).

ρ_M : Densidad de la Miel (kg/L).

ρ_{MD} : Densidad de la Miel que sale del disolutor (kg/L).

Lv: Levadura añadida al pre-fermentador (kg/d).

Cv: Concentración de levadura en el pre-fermentador (kg/d).

A_{Pf}: Alcohol en el pre-fermentador (kg/d).

A_F: Alcohol en el fermentador (kg/d).

A_T: Alcohol total(kg/d).

%A_{Pf}: Por ciento de alcohol en el pre-fermentador.

%A_F: Por ciento de alcohol en el vino.

R: Residuales que salen del fermentador (kg/d).

ARF_{PaF}: Azúcares Reductores Fermentables utilizados en la producción de alcohol en el fermentador (kg/d).

ARF_{PaPf}: Azúcares Reductores Fermentables utilizados en la producción de alcohol en el pre-fermentador (kg/d).

Rend_{Pf}: Rendimiento en el pre-fermentador (%).

Rend_F: Rendimiento en el fermentador (%).

Vagua: Volumen de agua (L/d).

Fv: Vino a destilar (L/d).

R: Residuales que salen del fermentador (kg/d).

Bx Fv: Brix del vino a destilar.

Xa Fv: Grado alcohólico del vino a destilar (% peso).

Vz: Vinazas (kg/d).

Bx Vz: Brix de las vinazas.

XVz: Grado alcohólico de las vinazas (% peso).

D: Destilado (kg/d).

XD: Grado alcohólico del destilado (% peso).

En la tabla 4 se muestran los resultados de todas las corrientes necesarias para el diseño.

Tabla 4. Resultados de los balances de materiales

<i>Disolutor-acidificador para batición</i>			<i>Disolutor- acidificador para prefermento</i>		
<i>Corrientes</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidad</i>	<i>Corrientes</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidad</i>
Mf	29 503,79	kg/d	MD	61 766,4	kg/d
JF	67 600,19	kg/d	M	8 290,5	kg/d
Ag2	22 764,93	kg/d	Cc	1 894,46	kg/d
Cc	4 420,41	kg/d	Ag1	51 581,4	kg/d
Vag2	52209	L/d	VAg1	51 736,6	L/d
Mf	29 503,79	kg/d	-	-	-
JF	67 600,19	kg/d	-	-	-
<i>Pre-fermentador</i>			<i>Fermentadores</i>		
Lv	180	kg/d	A _T vino	11 760	kg/d
Alc PF	2 779,48	kg/d	A _F	8 980,51	kg/d
% A _{Pf}	4,358	kg/d	ARF _{PaF}	17 370,42	kg/d
ARF _{PaF}	6 729,99	kg/d	CO ₂	8 476,76	kg/d
CO ₂ en PF	3 284,23	kg/d	R	600	kg/d
<i>Columna Destiladora</i>					
D	90,17	kg/h			
Vz	956,3	kg/h			

Según Correa (1997), el empleo de jugo de los filtros, el cual aporta el 40 % de los ART que necesita para la batición en la fermentación, proporciona un ahorro en mieles que permite que la extensión de trabajo fuera de zafra a 26 días en el primer escenario y 45 días en el segundo escenario. Esto se traduce también en ahorro de agua cuando se trabaja en periodo de zafra.

3.1 Dimensionamiento de los equipos principales

Se tomó la capacidad de producción de 216 hL/d de aguardiente (una sola destilación), trabajando con jugo de los filtros, miel y agua y tomando aproximadamente la cuarta parte de la capacidad del equipamiento de una destilería cubana de 500 hL/día de alcohol fino con la misma cantidad de equipos la cual contiene 4 prefermentadores y 8

fermentadores. El empleo de jugo de los filtros permitió extender la producción, en el primer escenario a 56 días y en el segundo a 95 días. En la tabla 5 se muestran los resultados de las dimensiones de los equipos.

Tabla 5. Dimensiones de equipos principales

<i>Equipos</i>	<i>Volumen m³</i>	<i>Diámetro (m)</i>	<i>Altura (m)</i>
Prefermentadores	8,25	2	3,5
Fermentadores	27,5	3,0	5,0
Columna	-	0,4	11,0

3.2 Evaluación económica

A partir de los estudios de mercado y técnicos, que permitieron identificar elementos tales como: costos de inversión y costos de operación se determinó la rentabilidad del proyecto. En la tabla 6 aparecen los costos del equipamiento actualizado hasta el 2021 con un índice de costo de 720.

Tabla 6. Costos del equipamiento actualizado hasta el 2021

<i>Equipo</i>	<i>Costo unitario (\$)</i>	<i>Valor actual (\$)</i>	<i>No. de equipos</i>	<i>Valor total (\$)</i>
Tanque de etanol	10 900,00	22 082,16	1	22 082,16
Pre-fermentadores	9 000,00	18 232,98	4	72 931,91
Condensador	3 200,00	7 314,29	1	7 314,29
Fermentadores	10 700,00	21 676,98	9	195 092,85
Columna de destilación	21 000	42 543,61	1	42 543,61
Tanque de mezclado	12 000,00	24 310,64	1	24 310,64
Tanque de dilución	10 700,00	21 676,98	1	21 676,98
			Total	390 523,80

En la tabla 7 aparecen las tres partidas de costos fundamentales para determinar los indicadores dinámicos de rentabilidad.

Tabla 7. Costos fundamentales del proceso

<i>Partidas de costos</i>	<i>Valor</i>	<i>UM</i>
Costos totales del equipamiento	390 523	\$
Costos totales de inversión (CD+CI)	2 226 223	\$
Costos totales de producción	1 480 986	\$/año

3.3 Indicadores dinámicos de factibilidad

En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de los indicadores dinámicos de factibilidad para las dos alternativas estudiadas.

Tabla 8. Estimación de precios e indicadores de factibilidad

<i>Posible precio (\$)/hL</i>	<i>Primer escenario</i>			<i>Segundo escenario</i>		
	<i>VAN (\$)</i>	<i>TIR (%)</i>	<i>PRD (años)</i>	<i>VAN (\$)</i>	<i>TIR (%)</i>	<i>PRD (años)</i>
57 (precio base)	-7 775 523,8	-	-	-6 966 806	-	-
100	- 4 576 899,4	-	-	-3 487 533	-	-
190	1 501 945,4	20	7	3 794 664	60	2
225	3 943 384	32	4	6 626 630	103	1,2

De acuerdo a los resultados para un valor de la producción igual al del aguardiente obtenido por los métodos convencionales, la planta no es rentable, esto se debe a que las materias primas tienen un costo elevado y el proceso productivo es más exigente en cuanto a los atributos de calidad y limpieza reportados en FAO (2018). Como se aprecia en el primer escenario se alcanza la rentabilidad a los 7 años para un precio del producto de 190 \$/hL, aunque la más estable hasta ahora es de 225 \$/hL, mientras que en el escenario 2, la rentabilidad se logra a los dos años para un precio de 190 \$/hL.

De los resultados obtenidos se puede concluir que a partir de los 190 \$/hL las dos plantas tienen un VAN > 0, por lo que el proyecto sujeto a estudio es factible, pues es capaz de generar suficiente ingreso indirecto (por concepto de ahorro) que permite pagar la inversión y los costos de operación. La Tasa Interna de Retorno más pequeña es de 20 % que es superior al criterio de aceptación para este indicador de rentabilidad establecido en $TIR \geq 16\%$, lo que propicia la aceptación del proyecto. El segundo escenario tiene un período de recuperación de la inversión de dos años y 60 % de la TIR.

4. CONCLUSIONES

1. La producción de aguardiente orgánico en Cuba se presenta como una alternativa viable y rentable siempre que se disponga de la materia prima necesaria para los días programados de trabajo.
2. La incorporación del jugo de los filtros disminuyó significativamente la demanda de miel, logrando llevar a cabo la producción de aguardiente a 216 hL/d para los dos escenarios (30 y 50 días de zafra) ampliando los días de trabajo fuera de zafra a 26 días en el primer escenario y a 45 días en el segundo escenario.
3. El proyecto demostró ser rentable para un precio de venta del aguardiente orgánico entre 190 - 225 \$/hL, recuperando la inversión en menos de cuatro años de trabajo de la planta.

REFERENCIAS

- Albernas, Y. (2014). *Procedimiento para la síntesis y el diseño óptimo de plantas discontinuas de obtención de bioetanol empleando bagazo de caña de azúcar* [Tesis doctoral, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/6612>
- Albernas, Y., González, M., Corsano, G., & González, E. (2012). Obtaining superfine ethanol in a Cuban distillery. *Ingeniería e Investigación Journal*, 32(3), 47–52. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/35940>
- Arroyo, F. (2020). El proceso del diseño industrial como herramienta de la gestión de la empresa. *Revista Ingenio*, 3(1), 71–83. <https://revistadigitaluceeduc.translate.google.com/index.php/INGENIO/article/view/2400>
- Castillo, E. (2005). *Análisis de la incertidumbre en los balances de masa y energía en la destilería Santa Fe* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/items/5e98f0c2-7e7b-4f86-939c-33e94922be61>
- Correa, Y. (1997). *Empleo del jugo de los filtros clarificado y las vinazas de destilería en fermentación alcohólica con la utilización de microorganismos* [Tesis de maestría, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas].
- Correa, Y., Rodríguez, I., & Gallardo, I. (2005). Primeros estudios sobre la obtención de alcohol orgánico o ecológico. *Centro Azúcar*, 32(1), 30–38.
- Crespo, Y. (2014). *Alternativas de incremento de la eficiencia en la fermentación alcohólica en la destilería “Heriberto Duquesne”* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/items/95731ea6-200d-4ad4-b7bb-8092fa3c4572>
- de Armas, A. C., Martínez, Y., López, N., & Gallardo, I. (2013). Estrategia de tecnología limpia para una fábrica de alcohol extrafino. *Centro Azúcar*, 40(4), 69–76. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/319
- de Armas, A. C., González, E., Kafarov, V., & Oquendo, H. (2021). Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. *Universidad y Sociedad*, 13(5), 575–573. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000500565
- Donis, Y. G. (2023). *Propuesta de una tecnología para la producción de aguardiente orgánico, a partir de corrientes de la Empresa Azucarera “Carlos Baliño”* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/14455>
- FAO. (2018). *Organic Agriculture: ¿Qué beneficios ambientales produce la agricultura orgánica?* <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq6/es/>
- Fluid Mechanics. (2023). *Chemical Engineering plant cost index*. The University of Manchester. <https://www.training.itservices.manchester.ac.uk/public/gced/CEPCI.html>
- García, A. S. (2024). *Centrales. Historia y patrimonio de Cuba*. Editorial Digital CSIC. <https://digital.csic.es/handle/10261/341859>
-

- Guamani, C., Anderson, D., & Casa, J. L. (2024). *Elaboración de una bebida alcohólica con suero de leche y pulpa de taxo (Passiflora var mollissima) utilizando ha-lactasa 5200 y levadura (Saccharomyces cerevisiae)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/77621f7c-10bb-409c-bba4-d2b68b2b79c2/content>
- Hernández, M. T. (2007). *Tendencias actuales en la producción de Bioetanol* [Conferencia]. Universidad Rafael Landívar. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING01.pdf
- Jifeng, P., Zheng, M., & Zhang, T. (2019). Synthesis of ethanol and its catalytic conversion. *Advances in Catalysis*, 64, 89–191. [https://doi.org/10.1016/S0360-0564\(19\)30001-X](https://doi.org/10.1016/S0360-0564(19)30001-X)
- Kłosowski, G., & Mikulski, D. (2021). Impact of lignocellulose pretreatment by-products on *S. cerevisiae* strain Ethanol Red metabolism during aerobic and anaerobic growth. *Molecules*, 26(4), 806. <https://doi.org/10.3390/molecules26040806>
- Lamas, Y., de Armas, A. C., Albernas, Y., & González, E. (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
- Lopes, M. L. (2016). Ethanol production in Brazil: A bridge between science and industry. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(1), 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.10.003>
- López, Y. R. (2005). *Análisis de integración de procesos al CAI Uruguay para la diversificación de la industria azucarera* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/items/1d3e7446-3a58-4f34-84dc-b164507e02cb>
- Mederos, R. (2019). *Feasibility study for setting up an organic alcohol distillery at UEB Carlos Baliño* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/ddd03d33-52d5-4e5b-9254-b00d5b4f9f1a/content>
- Mesa, L. (2010). *Estrategia investigativa para la tecnología de obtención de etanol y coproductos del bagazo de la caña de azúcar* [Tesis doctoral, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/3895d225-fda8-4fee-80b9-9735116cb866/content>
- Ming, T. S. (2024). Comparative study on combustion and emission of ternary-fuel combined supply SI engine with oxyhydrogen/ethanol/gasoline by different injection modes of fuel. *Case Studies in Thermal Engineering*, 61, 105015. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105015>
- Montero, K. O. (2019). *Estudio de una alternativa tecnológica para la obtención de etanol orgánico* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las
-

Villas].

Repositorio

UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/0d196220-d86f-4bf2-b010-7fdd98efac5e/content>

- Pareras, G., Cabedo, V., McCoustra, M., & Rimola, A. (2023). Single atom catalysis in space: Computational exploration of Fischer Tropsch reactions in astrophysical environments. *Astronomy & Astrophysics*, 680, A38–A57. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202347877>
- Pérez, J. M. (2022). *Diseño de una destilería de alcohol orgánico para el aprovechamiento de las mieles finales y otras corrientes intermedias procedentes de la UEB Carlos Baliño* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/entities/publication/25797d2b-bdca-4a5e-823a-1c575bbf5261>
- Peters, K. D., Charberry, J., Fair, J., & Schowalter, W. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers* (pp. 438–739). Advisory Board.
- Quiroz, H. O., Aldana, D., Salazar, C. A., & Saucedo, B. A. (2022). Parámetros óptimos de concentrado de zumo de naranja (*Citrus sinensis*) y su efecto en la vitamina C. *Pakamuros*, 10(2), 83–96. <https://doi.org/10.37787/twamvp18>
- Rodríguez, A. O. (2016). *Evaluación de una propuesta tecnológica para la obtención de etanol orgánico en la destilería “Santa Fe”, perteneciente a la UEB Derivados “Heriberto Duquesne”* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/items/19111ef9-e308-4f73-8501-bfc33e558488>
- Saura, G., García, R., Otero, M., Martínez, J., Bello, D., & Pérez, I. (2010). Experiencias en la producción de etanol a partir de jugos de la caña mezclados. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 43(1), 29–34. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120681004.pdf>
- Sosa, E. G., Gallardo, I., & Correa, Y. (2024). Estudio de la etapa de fermentación en la producción de etanol orgánico. *Bionatura Journal*, 9(3), 208–222. <https://revistabionatura.org/vol-9-no-3-2024-13>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Eliani Sosa Gómez. Análisis formal, conceptualización, metodología, redacción-primera redacción, redacción-revisión y edición.
- Dr.C. Irenia Gallardo Aguilar. Supervisión, redacción - revisión y edición.
- Ing. Jefferson Pérez Mojica. Conservación de datos, investigación.
- Dr.C. Ana Celia de Armas Martínez. Supervisión, redacción - revisión y edición.