

Mejoramiento del proceso artesanal para la producción sustentable del licor de cocuy pecayero

Mayra Carolina Leal-de Pérez^{1*}, Elizabeth Karlig Chirinos-León², Osney Pérez-Ones³, Guillermo Barreto-Argilagos⁴, Edgar Enrique Pérez-Camacho⁵, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas³ y América García-López⁶

1. Departamento de Energética, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Estado de Falcón, Venezuela.

*deperezmayra@gmail.com

2. Departamento de Química, Universidad Politécnica Territorial Alonso Gamero, Av. Libertador, Parque "Los Orumos", Coro, Falcón, Venezuela.

3. Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Calle 114, No. 11901, Marianao. La Habana, Cuba.

4. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba.

5. Departamento de Física y Matemática, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Estado de Falcón, Venezuela.

6. Facultad de Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

El cocuy pecayero se elabora empíricamente, lo que trae como consecuencia la deficiente calidad en la producción artesanal de la bebida, reflejada en el incumplimiento de la Norma COVENIN 3662. Al mismo tiempo, se evidencia una problemática ambiental, por el vertido de vinaza en los suelos y cuerpos de agua. En el desarrollo de esta investigación se desarrollaron dos fases metodológicas, una centrada en la etapa de destilación del proceso, con uso del modelado matemático y la simulación que permitió sugerir cambios operacionales a escala artesanal y, la otra, centrada en la evaluación de la recirculación del residuo a la etapa fermentativa del proceso, sin afectar la calidad de la bebida obtenida, con una disminución del 20 % del residual obtenido y de su grado contaminante. Los resultados obtenidos posibilitan la consecución de normas operacionales que garanticen la calidad del proceso de elaboración del cocuy pecayero, con la obtención de un producto que cumple con los parámetros de calidad establecidos; además del aprovechamiento de la vinaza, mediante su reducción, reúso y reciclaje, mejoras en la calidad de vida de los productores del sector y la disminución del impacto ambiental ocasionado por la implementación de tecnologías limpias que garanticen la sustentabilidad de la producción.

Palabras clave: cocuy pecayero, vinaza de cocuy, destilación, fermentación.

ABSTRACT

The pecayero cocuy is made empirically, resulting in poor quality in the artisanal production of the drink, reflected in the non-compliance with the COVENIN 3662 Standard. At the same time, an environmental problem is evident, due to the dumping of vinasse on the soil and bodies of water. In the development of this research, two methodological phases were developed, one focused on the distillation stage of the process, which, using mathematical modeling and simulation, allows suggesting operational changes at an artisanal scale, and the other focused on the evaluation of the recirculation of the residue to the fermentative stage of the process without affecting the quality of the beverage obtained, achieving a 20 % decrease in the residual obtained and its degree of contamination. The results obtained make it possible to achieve operational standards that guarantee the quality of the elaboration process of the cocuy pecayero, obtaining a product that complies with established quality parameters, in addition to the use of the vinasse through its reduction, reuse and recycling, improvements in the quality of life of the producers in the sector and the reduction of the environmental impact caused through the implementation of clean technologies that guarantee the sustainability of production.

Key words: pecayero cocuy's, cocuy vinasse, distillation, fermentation.

INTRODUCCIÓN

En Pecaya, estado de Falcón, la economía se basa en la producción del licor de cocuy. Existe deficiencia en la calidad de la bebida, por el incumplimiento de la Norma COVENIN 3662 (1) y, además, un problema ambiental, por el vertido de vinaza a los suelos y a la única fuente de agua cercana, que incumple el Decreto 883 sobre Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (2). De acuerdo con el número de productores registrados, se calcula que actualmente se producen unos 50 000 L/año del licor, por consiguiente, los niveles de vinaza son de 600 000 L/año. De mantenerse dicha situación es imposible el control del proceso que permita establecer un equilibrio entre la calidad del producto y el rendimiento de dicho proceso, ya que se violan las leyes y políticas ambientales sobre la minimización de los daños causados al ecosistema por las actividades productivas, que traen como consecuencia la insostenibilidad, en el tiempo, de esta importante actividad económica.

Diferentes investigadores han trabajado en el aumento de la calidad de la producción artesanal del cocuy pecayero, entre ellos: (3-8). Sin embargo, aún la producción artesanal del cocuy pecayero sigue siendo empírica y sin el control de calidad debido. En relación con la caracterización y aprovechamiento de la vinaza se encuentran los estudios realizados por (9-12). A pesar de que estas investigaciones proponen el aprovechamiento de este desecho, no se ha realizado la evaluación económica de estas alternativas, que garanticen la factibilidad de estas propuestas.

El desarrollo e implementación de este proyecto permite obtener un producto que cumpla con los parámetros de calidad establecidos en la Norma COVENIN 3662 (1); además, permite el máximo aprovechamiento del desecho generado con el reúso, la reutilización y reciclaje de este, para garantizar una mayor sostenibilidad de los recursos naturales bajo los principios de cooperación y solidaridad, también se vela por la sustentabilidad de la producción y las mejoras en la calidad de vida de los productores de la zona.

El objetivo general de este proyecto es mejorar el proceso artesanal para la producción sustentable del licor de cocuy de la población de Pecaya, Municipio de Sucre, en el Estado de Falcón, a fin de elevar la calidad de la bebida y, al mismo tiempo, minimizar y reciclar el desecho generado en la etapa de destilación del licor, para disminuir la problemática ambiental ocasionada por la inadecuada disposición de la vinaza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase I: Mejoras en la etapa de destilación artesanal, en la producción del licor de cocuy pecayero

Para el proceso se emplearon los simuladores SuperPro Designer v9.0 y Chemcad v6.01. Para iniciar la corrida se necesitaron los datos operativos de algunas unidades del proceso, tales como: condiciones termodinámicas de la alimentación, composición y concentraciones de la carga, datos de variables de operación y de diseño del alambique artesanal. Algunas de las variables requeridas por el simulador son: temperatura, presión, flujo total, flujo de cada componente, tipo de condensador, flujo del destilado y tiempo de operación.

Una vez simulado el proceso, en función del modelo termodinámico que mejor se ajusta a los datos del equilibrio líquido-vapor, se establecieron las propuestas que permiten mejorar la calidad del licor de cocuy, en función de los parámetros de la norma COVENIN 3662 (1).

Fase II: Implementación de la recirculación de la vinaza de *Agave cocui* a la etapa fermentativa del proceso artesanal de producción del licor de cocuy

En función de establecer cuáles son las condiciones más favorables para el crecimiento de la levadura *Sacharomyces cerevisiae* y garantizar la calidad de la proteína unicelular que será recirculada al proceso fermentativo, se determinó la concentración de vinaza que genera el mayor crecimiento, se evaluó el comportamiento de esta levadura y su capacidad para producir etanol, en diferentes proporciones de vinaza-jugo de cocui. Esto permitió establecer el grado de recirculación de la vinaza a la etapa fermentativa, sin afectar la calidad del alcohol obtenido y otros parámetros del proceso.

Se realizó el escalado de la propuesta al proceso artesanal, se estudiaron las características del mosto obtenido, destilado y desecho y se evaluó de qué forma estos cambios generan mejoras en el proceso productivo de cocuy y permiten la disminución y aprovechamiento del residual, por la creación de un modelo de producción y consumo ambientalmente sustentable, mediante la aplicación creativa de la ingeniería e inclusión de las diversas áreas de estudio para lograr un enfoque multidisciplinario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de mediciones de campo del proceso de destilación

Los datos reales del proceso de destilación artesanal de mostos de *Agave cocui* se presentan en la tabla 1. Adicionalmente, se verificaron las medidas de los equipos diseñados por (7).

Tabla 1. Mediciones de campo del proceso de destilación

Parámetros	Valor
Volumen de mosto en el calderín (L)	190
Volumen de mosto en el rectificador (L)	20
Volumen de agua en el condensador (L)	315
Volumen de cabeza (L)	1.5
Volumen de destilado (L)	19
Volumen de cola (L)	4.5
Volumen de vinaza (L)	165
Temperatura inicial del mosto (°C)	28
Temperatura del destilado (°C)	30
Tiempo de inicio de los vapores al rectificador (min)	30
Tiempo de inicio de la condensación (min)	71
Tiempo total del proceso (min)	246
Material de construcción del alambique	Acero inoxidable
Material del serpentín	Cobre
Diámetro del condensador (m)	0.58
Altura del condensador (m)	1.49

Simulación del proceso de destilación de mostos de *Agave cocui*

A continuación, se muestran las figuras 1 y 2 con los principales resultados obtenidos en la simulación con SuperPro Designer v9.0 y Chemcad v6.01 respectivamente, basados en los datos reportados por (7).

	Time Ref: Batch		S-101	S-102	S-103	S-104	S-105
	Temperature	°C	28.00	98.00	89.70	92.90	96.50
	Pressure	bar	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
	Liq/Sol Vol Flow	L	190.0158	178.0811	14.8189	17.3042	4.5342
	Total Contents	mole %	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
	Acetaldehyde		0.0017	0.0017	0.0161	0.0038	0.0001
	Butanol		0.0003	0.0003	0.0412	0.0070	0.0000
	Ethyl Acetate		0.0004	0.0004	0.0136	0.0047	0.0000
	Ethyl Alcohol		3.8383	3.8343	52.6130	30.4270	0.7308
	Furfural		0.0002	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
	Isoamyl Alcohol		0.0009	0.0008	0.1550	0.0447	0.0001
	Methanol		0.0006	0.0006	0.0407	0.0325	0.0000
	Water		96.1576	96.1616	47.1203	69.4804	99.2689

Figura 1. Resultados con SuperPro Designer.

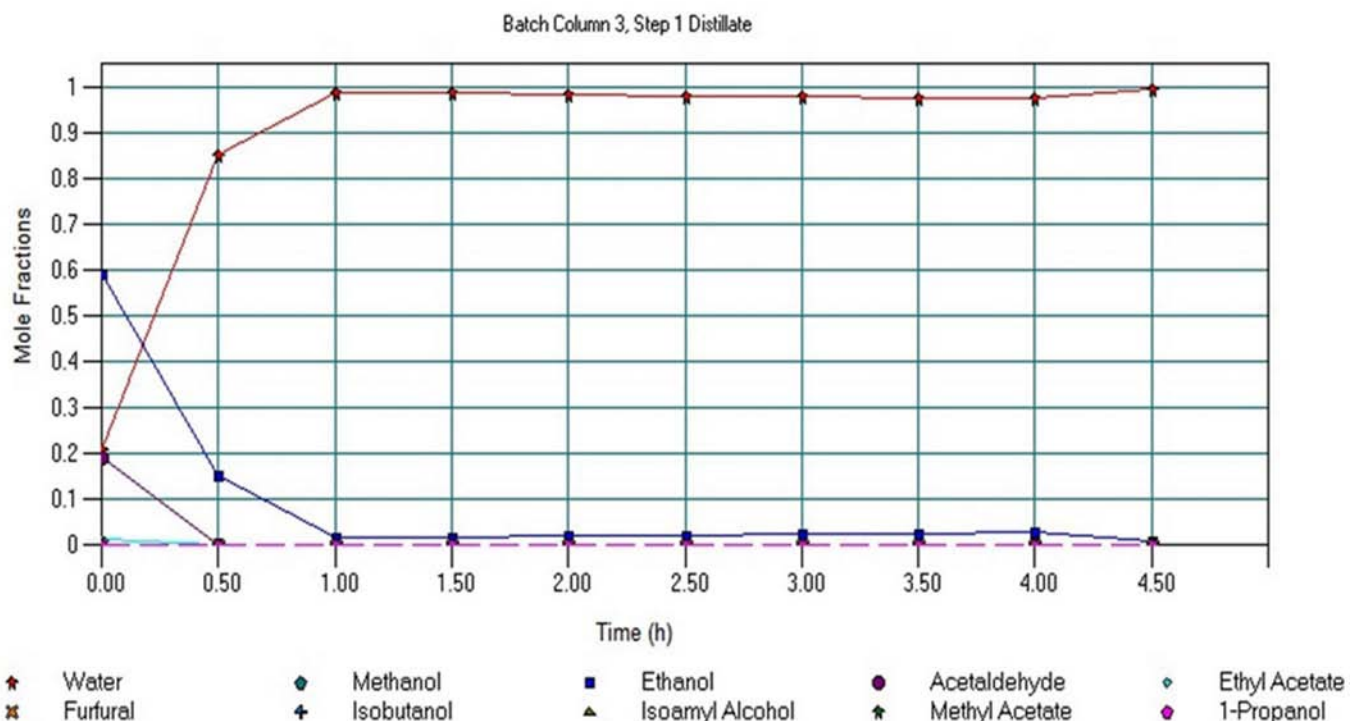


Figura 2. Perfil de composiciones en Chemcad.

La comparación entre los resultados obtenidos en Chemcad y los reportados por (7) se presenta en las tablas 2-7. A partir de esta comparación se concluye que el esquema de simulación desarrollado queda verificado al tener errores relativos menores al 10 % (13) para los componentes mayoritarios (etanol y agua) y para la mayoría de los componentes minoritarios en las corrientes principales. Para aquellos minoritarios, con errores relativos superiores al 10 %, se verificó que los errores absolutos fueran inferiores a 0.05.

Para las corrientes que representan las colas y vinazas no se presenta el porcentaje de error relativo, por ser todos superiores al 10 %.

Tabla 2. Comparación de resultados para la corriente de cabezas

Componentes de la corriente cabezas	Composiciones (% molar)		Error absoluto (% molar)	Error relativo (%)
	Simulación	(7)		
Acetaldehído	0.0161	0.0165	0.0004	2.42
Acetato de etilo	0.0136	0.0140	0.1264	2.86
Metanol	0.0407	0.0415	0.0008	1.93
Etanol	52.6130	52.7097	0.0967	0.18
Alcohol isobutílico	0.0412	0.0430	0.0018	4.18
Alcohol isoamílico	0.1550	0.1840	0.0290	15.8
Furfural	0.0001	0.0000	0.0001	-
Agua	47.1203	46.8665	0.2538	0.54

Tabla 3. Comparación de resultados para la corriente de destilado

Componentes de la corriente destilado	Composiciones (% molar)		Error absoluto (% molar)	Error relativo (%)
	Simulación	(7)		
Acetaldehído	0.0038	0.0032	0.0006	18.75
Acetato de etilo	0.0047	0.0048	0.0001	2.69
Metanol	0.0325	0.0326	0.0001	0.31
Etanol	30.4270	30.5650	0.1380	0.45
Alcohol isobutílico	0.0070	0.0070	0.0000	-
Alcohol isoamílico	0.0447	0.0428	0.0019	4.44
Furfural	0.0000	0.0000	0	-
Agua	69.4804	69.3446	0.1358	0.19

Tabla 4. Comparación de resultados para la corriente de colas

Componentes de la corriente colas	Composiciones (% molar)		Error absoluto (% molar)
	Simulación	(7)	
Acetaldehído	0.0001	0.0014	0.0013
Acetato de etilo	0.0000	0.0022	0.0022
Metanol	0.0000	0.0348	0.0348
Etanol	0.7308	15.5939	14.8631
Alcohol isobutílico	0.0000	0.0017	0.0017
Alcohol isoamílico	0.0001	0.00302	0.0029
Furfural	0.0000	0.0000	0
Agua	99.2689	84.3631	14.9058

Tabla 5. Comparación de resultados para la corriente de vinaza

Componentes de la corriente vinaza	Composiciones (% molar)		Error absoluto (% molar)
	Simulación	(7)	
Acetaldehído	0.0017	0.0013	0.0004
Acetato de etilo	0.0004	0.0001	0.0003
Metanol	0.0006	0.0007	0.0001
Etanol	3.8343	0.3004	3.5339
Alcohol isobutílico	0.0003	0.0000	0.0003
Alcohol isoamílico	0.0008	0.0001	0.0007
Furfural	0.0002	0.0047	0.0045
Agua	96.1616	99.6926	3.531

Tabla 6. Comparación de flujos para todas las corrientes

Corriente	Flujo (L)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Simulación	(7)		
Mosto	190.016	190	0.0158	0.01
Cabeza	14.819	1.5	13.3181	887.93
Destilado	17.304	19	1.696	8.92
Cola	4.534	4.5	0.034	0.75
Vinaza	178.081	165	13.081	7.93

Tabla 7. Resumen de los errores absolutos obtenidos en la simulación

Parámetros	Errores absolutos		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Composiciones en la corriente cabeza (%)	0.0001	0.063	0.25
Composiciones en la corriente destilado (%)	0	0.035	0.14
Composiciones en la corriente cola (%)	0	3.73	14.91
Composiciones en la corriente vinaza (%)	0.0001	0.88	3.53
Flujo en las corrientes (L)	0.0158	5.69	13.32

Los valores obtenidos, luego de aplicar la simulación, se alejan moderadamente de los reportados por (7). Como se aprecia en la tabla 7, el error absoluto medio en la determinación de las composiciones molares de la corriente colas es de 3.53 % molar y de 5.69 L para el flujo de cabeza, y los errores máximos son de 14.91 % molar en la corriente de cola y 13 L para las corrientes de cabeza y vinaza. Estos valores se consideran aceptables para los intereses del trabajo, es por ello que los modelos de simulación empleados para representar el proceso de destilación de cocuy pecayero se pudieran emplear, si se conocieran los errores en los que se incurre.

Determinación de la capacidad de *Saccharomyces cerevisiae* para producir etanol, en diferentes proporciones vinaza/jugo de *Agave cocui*

La capacidad de *Saccharomyces cerevisiae* para producir etanol, a partir de diferentes sustratos (jugo de *Agave cocui* y proporciones vinaza/jugo de *Agave cocui*), se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de etanol producido en las diferentes proporciones vinaza/jugo de *Agave cocui*

Sustrato de fermentación	Tiempo inicial de fermentación (t = 0 h)		Tiempo final de fermentación (t = 72 h)		
	% etanol	g etanol/L	% etanol	g etanol/L	Productividad g etanol/L.h
100 % jugo	0.631	6.313	6.739	67.386	0.936
80/20	0.440	4.397	5.043	50.427	0.700
60/40	0.577	5.766	4.390	43.898	0.610
40/60	0.589	5.893	4.599	45.988	0.639

Los resultados obtenidos evidencian que, al recircular la vinaza a la etapa de fermentación, ocurre una disminución del contenido de etanol producido. Para el mosto puro el resultado es similar al reportado por (14), que fue de 70.04 g etanol/L. Según lo reportado por (8), el porcentaje volumétrico de etanol que se obtiene en fermentaciones artesanales está entre 5.59 y 7.85 %. La fermentación realizada con 20 % de vinaza en la mezcla, es la que alcanza una concentración de etanol más cercana al proceso actual.

El análisis estadístico realizado reporta que existen diferencias significativas entre las medias del porcentaje de etanol para los distintos sustratos empleados, con una F-razón igual a 23.1256 y un Valor-P de 0.003, con un nivel de confianza del 95 %.

En la figura 3, se aprecia que entre los sustratos de 80/20, 60/40 y 40/60 % de vinaza en la mezcla, no existen diferencias significativas entre sí, dichas diferencias se presentan entre las proporciones vinaza/jugo de *Agave cocui* y el jugo puro.

A partir de los resultados obtenidos y con el fin de lograr un aprovechamiento de la vinaza, sin afectar la productividad de una de las etapas más importantes del proceso, como es la fermentación, se propone la reutilización del 20 % de la vinaza como agua de dilución.

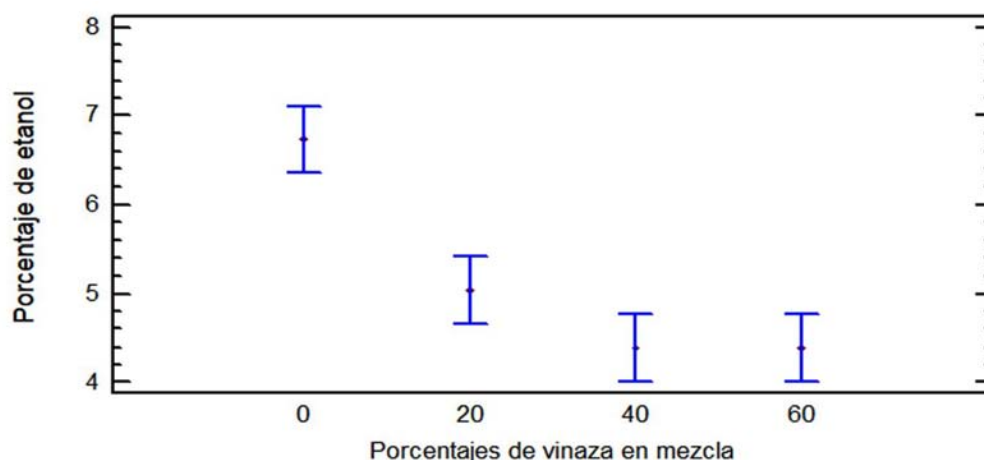


Figura 3. Medias y 95 % de Fischer LSD.

Estimación del costo de producción del cocuy pecayero

En las tablas 9 y 10 se muestran los datos empleados para la estimación de los costos de producción.

Tabla 9. Datos de precios para el análisis económico

Capacidad de producción	414 514 L/año
Tasa de cambio	11 311 Bs/USD
Precio del agua	0.95 Bs/m ³
Precio del azúcar	19 662 Bs/kg
Precio de la leña	100 Bs/palo
Precio del agave	1 000 Bs/planta

Tabla 10. Costos de adquisición del equipamiento

Etapas de proceso	Equipo	Capacidad	Cantidad
Destilación	Horno (50 x 50 x 80 cm)	200 m ³	1
	Calderín	200 L	1
	Rectificador	150 L	1
	Condensador	315 L	1
	Tanque de almacenamiento	30 L	1
Total de los costos de adquisición del equipamiento (Bs)			120 000 000.00
Total de los costos de adquisición del equipamiento (USD)			10 609.14

En las tablas 11 y 12 se presentan los resultados para los costos de producción estimados.

Tabla 11. Costos de producción

Costos variables			
Materias primas	157 025.08 plantas/año	15 702 507.72 Bs/año	1 570 250.77 USD/año
Materiales (azúcar)	204 528.32 kg/año	415 654.62 Bs/año	41 565.46 USD/año
Facilidades auxiliares	Total facilidades auxiliares	4 620 315.11 Bs/año	462 031.51 USD/año
Leña	461 838.46 palos/año	4 618 384.62 Bs/año	461 838.46 USD/año
Agua de lavado	677.36 m ³ /año	643.49 Bs/año	64.35 USD/año
Agua de enfriamiento	1 354.73 m ³ /año	1 286.99 Bs/año	128.70 USD/año
Total de costos variables		20 738 477.44 Bs/año	2 073 847.74 USD/año
Costos fijos		Factor de Peters	
Mantenimiento	0.1	12 000.00 Bs/año	1 200.00 USD/año
Mano de obra directa	-	55 200.00 Bs/año	5 520.00 USD/año
Costos de laboratorio	0.2	11 040.00 Bs/año	1 104.00 USD/año
Supervisión	0.2	11 040.00 Bs/año	1 104.00 USD/año
Dirección de planta	0.5	27 600.00 Bs/año	2 760.00 USD/año
Cargas de capital	0.15	18 000.00 Bs/año	1 800.00 USD/año
Seguros	0.01	1 200.00 Bs/año	120.00 USD/año
Impuestos locales	0.02	2 400.00 Bs/año	240.00 USD/año
Regalías	0.01	1 200.00 Bs/año	120.00 USD/año
Total de costos fijos		139 680.00 Bs/año	13 968.00 USD/año
Costos directos de producción		20 878 157.44 Bs/año	2 087 815.74 USD/año
Costos de ventas + investigación y desarrollo		6 263 447.23 Bs/año	626 344.72 USD/año
Costo de transporte		12 000.00 Bs/año	1 200.00 USD/año
Costos totales de producción		47 892 082.11 Bs/año	4 789 208.21 USD/año

Tabla 12. Resultados unitarios de un litro de cocuy pecayero

Costo unitario	115.54 Bs/L	11.55 USD/L
Precio unitario	150.00 Bs/L	15.00 USD/L
Ganancia unitaria	34.46 Bs/L	3.45 USD/L

Los resultados mostrados indican que el costo de producción de un litro de cocuy pecayero es de 115.54 Bs/L; sin embargo, el precio unitario de venta se estima en 150 Bs/L, se cumple así con la Ley de Precios Justos, publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 40314, del 23 de enero de 2014.

Propuesta de reutilización de la vinaza en la etapa de fermentación

La vinaza de *Agave cocui* es el residual de mayor importancia del proceso productivo para la obtención del licor de cocuy pecayero, no solo por ser el de mayor volumen de generación (11) sino por poseer una alta carga contaminante, además de otras propiedades físico-químicas, como: pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos totales que superan los límites establecidos en efluentes que son descargados al suelo y cuerpos de agua. Entre las alternativas estudiadas de aprovechamiento para este residual, se estableció que la más apropiada es la recirculación de una proporción del efluente a la etapa de prensado, para ser usada como agua de dilución en la preparación del sustrato a fermentar.

La propuesta de reutilización se basó en establecer los parámetros operacionales del sistema modificado, según la proporción 20/80 mezcla vinaza/jugo recomendada (15). Se realizó una evaluación técnica de la fermentación y otras etapas previas, a través de los criterios: rendimiento,

cantidad de agua de dilución, cantidad de azúcar requerida para iniciar el proceso y cantidad de hidróxido de sodio necesario para el ajuste de pH.

El análisis económico preliminar se fundamentó en la comparación de la ganancia obtenida con la implementación de la propuesta, en relación con la obtenida en las condiciones actuales de operación. Los egresos asociados se estimaron a partir de los costos por materia prima (13); esta categoría se compone principalmente de azúcar, agua e hidróxido de sodio y el ingreso consideró las ventas del producto final, con una eficiencia en la destilación, basadas en reportes de otros estudios.

La mayoría de los precios son vigentes, por ello los datos de costos se deben usar con precaución, ya que los precios aquí son dados para la orientación y las estimaciones preliminares, citas exactas de vendedores y productores sirven como fuente más precisa. Los precios del agua son los publicados en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela.

En la tabla 13, se presentan las condiciones de operación del proceso actual y las condiciones sugeridas en la propuesta de recirculación del 20 % de la vinaza.

Tabla 13. Parámetros operacionales actuales y parámetros operacionales de la propuesta

Parámetros operacionales	Actuales	Propuesta
pH	3.90	4.5
Azúcares totales % (p/v)	12.6	12.6
Temperatura (°C)	28	33
% etanol	7.04	5.04
Sólidos totales % (p/v)	13.3	≥ 13.3

Según lo reportado en la tabla 13, la implementación de la propuesta requiere de ciertos cambios en las variables operacionales, el empleo de un sustrato 80/20 jugo/vinaza, en lugar del jugo puro, conllevaría a una disminución de los azúcares totales en un 2.2 %, por lo que sería necesaria la adición de 25 g/L de azúcar comercial a la mezcla preparada. Como el contenido de sólidos totales no debería exceder el 13.3 %, valor actual de operación, se recomienda dejar la vinaza aproximadamente 24 horas en el tanque de recolección, para la sedimentación natural de parte de los sólidos y, posteriormente, pasarla por un filtro de tela con la finalidad de eliminar parte de los sólidos aportados con la introducción de este nuevo sustrato. Debido a que el proceso cuenta con denominación de origen, no se pueden introducir equipos que requieran el uso de dispositivos mecánicos de bombeo. Las modificaciones en el diagrama del proceso se muestran en la figura 4.

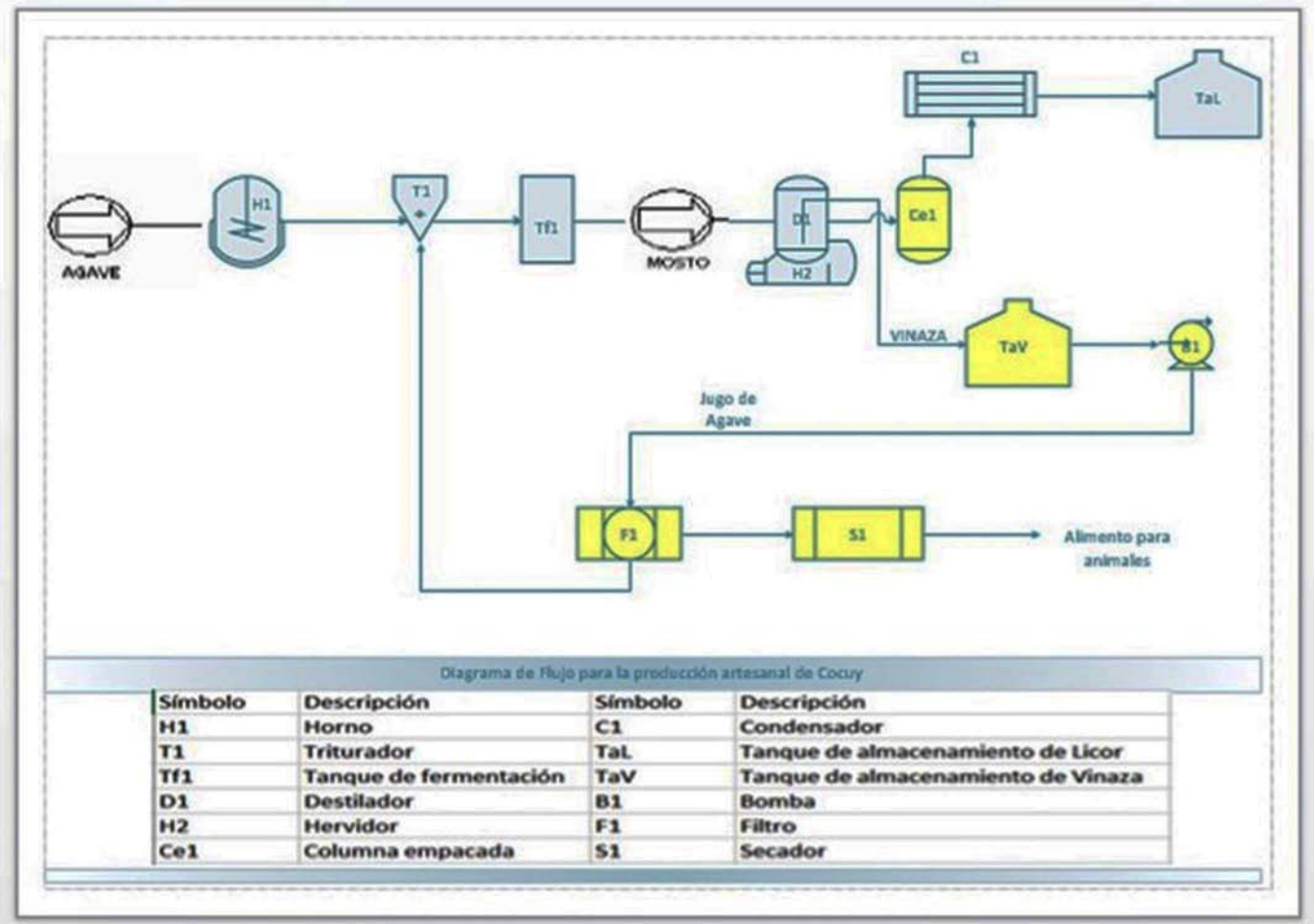


Figura 4. Diagrama del proceso de producción de cocuy modificado.

En las tablas 14 y 15, se muestran los datos empleados para la estimación de los costos, ingresos y ganancias asociados a la propuesta.

Se asume, a partir de datos reportados, una eficiencia de la destilación del 57 % (16), un tiempo de destilación de tres horas al día, para una producción de 240 días al año y una tasa de cambio de 11 311 Bs/USD.

Tabla 14. Datos de precios para el análisis económico

Precio	Valor	Unidad
Cocuy	150	Bs/L
Azúcar	19 662	Bs/kg
NaOH 0,1 N	4.9	Bs/L
Agua	0.95	Bs/m³

Tabla 15. Rendimientos del proceso actual y modificado

Rendimientos de producción	Caso actual	Propuesta
Tiempo de fermentación (h)	108	72
Rendimiento etanol (g/L)	70	50.43
Rendimiento etanol (L etanol/L mosto)	0.060	0.065
Etanol en fermentación (L/h)	0.175	0.189

Si se toma en consideración la denominación de origen que posee la bebida, no se calculan los costos de inversión para la adquisición de equipos de bombeo y/o filtros especiales, ya que el proceso debe ser desarrollado netamente de forma artesanal. En la tabla 15 se reportan los rendimientos del proceso actual y modificado.

En las tablas 16 y 17 se presentan los resultados de la estimación de los ingresos y egresos y la ganancia económica alcanzada, respectivamente.

Tabla 16. Cálculos de ingresos y egresos

Cálculos	Caso actual	Propuesta	Caso actual		Propuesta	
	L/h	L/h	Bs/año	USD/año	Bs/año	USD/año
Ingresos	L/h	L/h	Bs/año	USD/año	Bs/año	USD/año
Cocuy	0.099	0.107	10 732.89	1 073.29	11 598.42	1 159.84
Egresos	-	-	Bs/año	USD/año	Bs/año	USD/año
Azúcar (kg/h)	0.167	0.240	1 440.00	144.00	2 070.00	207.00
NaOH (L/h)	0	0.066	0	0	231.53	23.15
Agua de dilución (L/h)	2.639	2.056	1.805	0.181	1.406	0.141

Tabla 17. Ganancia económica alcanzada

Cálculos	Caso actual		Propuesta		Diferencia propuesta-caso actual	
	Bs/año	USD/año	Bs/año	USD/año	Bs/año	USD/año
Total de egresos	1 441.81	144.18	2 302.93	230.29	861.13	86.11
Ganancia económica	9 291.08	929.11	9 295.48	929.55	4.404	0.44
Variación ganancia	-	-	4.40	0.44	-	-
			0.05 %	0.05 %		

Los resultados mostrados indican que la implementación de la propuesta conllevaría un aumento anual de los ingresos por la producción de la bebida, aunque los egresos anuales por los requerimientos de materias primas, para el control eficiente del proceso, son mayores. No obstante, la implementación de la propuesta generaría una baja ganancia, de apenas 4 Bs al año.

La evaluación ambiental de la propuesta es un aspecto de gran importancia, que no ha sido estimado, sería fácil inferir que, dadas las bajas ganancias generadas, la propuesta no sea muy tentadora, desde el punto de vista económico. Desde el principio se planteó que, esta alternativa de aprovechamiento, a través de la recirculación, no sería la solución final de la problemática existente, en relación con los grandes volúmenes de desechos generados; sin embargo, sería una alternativa beneficiosa para mitigar los efectos negativos en el medioambiente. La recirculación del 20 % de la vinaza permitiría que 120 000 L de vinaza, de los 600 000 L que se producen anualmente, logren ser aprovechados en el mismo proceso, sin un decremento de su rendimiento actual.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron modelos de simulación con los simuladores SuperPro Designer v9.0 y Chemcad v6.01 que reproducen con un grado de precisión moderado el proceso de producción artesanal de cocuy pecayero.

Con la simulación realizada en Chemcad se tienen mayores limitaciones en la representación del proceso de destilación discontinua.

El costo de producción de un litro de cocuy pecayero en 115.54 Bs/L y el precio unitario de venta se estimó en 150 Bs/L, por lo que cumple con la Ley de Precios Justos publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 40314 del 23 de enero de 2014.

No existen diferencias significativas entre los sustratos de fermentación elaborados a partir de vinaza, sin embargo, el sustrato 80/20 % de vinaza generó un contenido de alcohol (50.43 g.L⁻¹) cercano al artesanal.

La recirculación del 20 % de vinaza permitió alcanzar una mayor productividad en relación con el caso actual.

La propuesta de recirculación del 20 % de vinaza, permitió ahorrar en gastos por consumo de agua de dilución y permitió una mayor productividad anual, con una baja ganancia.

Se ha considerado la disminución de los efectos negativos sobre el medioambiente, que contribuiría a valorar el verdadero efecto económico de la propuesta

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COVENIN 3662:2001. Cocuy pecayero. Venezuela.
2. Decreto N° 883 - Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.1995. Venezuela.
3. Ventura, J. Caracterización del proceso de producción artesanal del Cocuy Pecayero [Tesis de Ingeniería]. Punto Fijo: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda; 2001.
4. Yegres, F., Fernández, G., Padín, C., Rovero, L., Richard, N. *Saccharomyces cerevisiae* en la fabricación del licor de Cocuy. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. 2003; 23(1):51-54.
5. Iñiguez, J.; Ledezma, E. Algunas consideraciones teórico-prácticas sobre la destilación intermitente en alambique simple de mostos fermentados y ordinarios. Parte I: Algunas Definiciones y Conceptos fundamentales. Revista Electrónica Ingeniería Primero. 2010;(17):31-51.
6. Leal, I., Miquilena, R., Morán, H. Evaluación del proceso de destilación del cocuy de pecaya a partir de la composición de los volátiles mayoritarios. Multiciencias. 2007; 7(2):181-189.
7. Leal, I., Madrid, M., Rangel, M., Martínez, C., Morán, H. Implementation of a packet tower for diminution of furfural in the distillation process of cocuy pecayero. Revista Tecnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia. 2011; 34(1): 22-30.
8. Campos, Y., Chirinos, Z., Cómez, S., Sánchez, O. Tratamiento Biológico de Vinazas de *Agave cocui*. Proyecto del Plan Nacional de Formación en Ingeniería Química, Instituto Universitario de Tecnología "Alonso Gamero". Coro, Venezuela, 2011.
9. Leal, I., Chirinos, E., Leal, M., Morán, H., Barrera, W. Caracterización fisicoquímica de la vinaza del *Agave cocui* y su posible uso agroindustrial. Multiciencias. 2003;3(2):83-88.
10. Romero, M.; Silva, M. Evaluación de cultivos hidropónicos de pimentón utilizando soluciones nutritivas a base de vinaza de cocuy [Tesis de Ingeniería]. Punto Fijo: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda; 2007.
11. Campos, Y., Chirinos, E. Efectos de la incorporación de una mezcla vinaza de cocuy- vermicompost sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo. Caso Serie "El Jefe" municipio Miranda del estado Falcón [Tesis de Especialidad]. Coro: Instituto Universitario de Tecnología "Alonso Gamero"; 2010.
12. Chirinos, E., Pérez, O., Barreto, G., Navas, Y., Sánchez, T. Potencialidad de la vinaza de *Agave cocui* como medio para el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae*. Afinidad. 2021;78(594):210-218.
13. Batstone, DJ., Keller J. Industrial applications of the IWA anaerobic digestion model No. 1 (ADM1). Water Science and Technology. 2003;47(12):199–206.
14. Colina, J. Fermentación alcohólica del mosto de *Agave cocui trelease* en condiciones controladas [Tesis de Maestría]. Maracaibo: Universidad del Zulia; 2010.
15. Chirinos, E. Reutilización de la vinaza de *Agave cocui* como alternativa para la producción sustentable del cocuy pecayero [Tesis de Maestría]. Camagüey: Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz"; 2014.
16. Leal, M. Evaluación termodinámica del proceso de destilación artesanal de mostos de *Agave cocui*. [Tesis de Maestría]. Camagüey: Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz"; 2014.