

Artículo Original

***EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA ASOCIADA AL
MEJORAMIENTO TECNOLÓGICO DE LA PLANTA DE PANELA EN
LA EMPRESA CHIQUITICO FABREGAT***

***TECHNICAL-ECONOMIC EVALUATION ASSOCIATED WITH THE
TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF THE PANELA PLANT AT THE UEB
DERIVATIVES CHIQUITICO FABREGAT***

Ernesto Suárez Bolaños¹ <https://orcid.org/0009-0005-2718-3315>
Omar Pérez Navarro^{2*} <https://orcid.org/0000-0001-6963-1327>
Claudia M. Suárez Pargas² <https://orcid.org/0009-0005-4500-9636>

¹ UEB Derivados "Chiquitico Fabregat", Empresa Azucarera "Heriberto Duquesne", Villa Clara, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 28, 2025; Revisado: Febrero 12, 2025; Aceptado: Febrero 19, 2025

RESUMEN

Introducción:

La producción de panela, en la Empresa Chiquitico Fabregat, es una alternativa potencialmente sostenible y factible si se logran implementar condiciones tecnológicas más favorables que las existentes actualmente.

Objetivo:

Evaluar técnica y económicamente la producción de panela de la Empresa Chiquitico Fabregat considerando la tecnología instalada actualmente y una propuesta tecnológica mejorada.

Materiales y Métodos:

Se realizó la evaluación tecnológica y operacional de la tecnología instalada determinando los principales puntos débiles de la misma y proponiendo mejoras tecnológicas que permiten incrementar la eficiencia, la calidad y reducir los impactos energéticos del proceso. Se confeccionaron los esquemas tecnológicos y se desarrollaron los balances de masa y energía para ambas propuestas determinando las demandas materiales y energéticas. A partir de la evaluación tecnológica y operacional



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: Omar Pérez, Email: opnavarro@uclv.cu



y la información relativa a la adquisición del equipamiento, se realizó un análisis comparativo del comportamiento técnico-económico con indicadores dinámicos para ambos escenarios.

Resultados y Discusión:

Se perfeccionaron las etapas de recepción, molienda, evaporación y fabricación de panela. En la evaporación se sustituyeron las marmitas a presión atmosférica por tachos al vacío. La propuesta mejorada incrementó la eficiencia energética, la productividad, incluyó como nuevo producto la panela granulada y alcanzó indicadores económicos dinámicos más favorables que la tecnología actual.

Conclusiones:

Las modificaciones tecnológicas propuestas garantizan la sostenibilidad de la producción de panela, entregando un producto de calidad estable, incrementando el valor agregado y la aceptación en el mercado y alcanzando resultados económico-financieros más favorables.

Palabras clave: evaluación tecnológica; evaporación; indicadores económicos dinámicos, panela; tacho al vacío.

ABSTRACT

Introduction:

The production of panela, at the Chiquitico Fabregat company, is a potentially sustainable and feasible alternative if more favorable technological conditions than those currently existing can be implemented.

Objective:

To evaluate technically and economically the panela production of the Chiquitico Fabregat company considering the currently installed technology and an improved technological proposal.

Materials and Methods:

The technological and operational evaluation of the installed technology was carried out, determining its main weak points and proposing technological improvements that allow increasing efficiency, quality and reducing the energy impacts of the process. Technological schemes were prepared and the mass and energy balances were developed for both proposals, determining the material and energy demands. Based on the technological and operational evaluation and the information related to the acquisition of the equipment, a comparative analysis of the technical-economic behavior was carried out with dynamic indicators for both scenarios.

Results and Discussion:

The stages of reception, grinding, evaporation and manufacturing of panela were perfected. In evaporation, the kettles at atmospheric pressure were replaced by vacuum pans. The improved proposal increased energy efficiency and productivity, including granulated panela as a new product, and achieved more favorable dynamic economic indicators than current technology.

Conclusions:

The proposed technological modifications guarantee the sustainability of panela production, delivering a stable quality product, increasing added value and market

acceptance and achieving more favorable economic-financial results.

Keywords: technological evaluation; evaporation; dynamic economic indicators; panela; vacuum pan.

1. INTRODUCCIÓN

La panela es un edulcorante natural, de olor y sabor característico, compuesto fundamentalmente por, entre (80-90) % p/p de sacarosa y conteniendo también entre (6-8) % p/p de glucosa y fructosa además de cantidades menores de minerales (Quezada, 2014). Este producto se obtiene mediante la concentración y cristalización del jugo de la caña y su definición tecnológica es muy importante para identificarlo entre otros azúcares comerciales como un azúcar no centrifugado (NCS, por sus siglas en inglés) (FDA, 2012).

Los NCS reciben diferentes denominaciones a escala mundial. En América Latina son denominados como panela o raspadura. En el caso de Cuba, el nombre tradicional es raspadura de caña y puede obtenerse desde jugo, meladura o azúcar, siendo el jugo la materia prima menos exigente en equipamiento, requerimientos tecnológicos e interferencia con otras demandas, aunque con un período de recuperación más alargado (González y Hernández, 2007). Esa concepción tradicional cubana de elaborar raspadura en moldes ha evolucionado en los últimos años, dirigiéndose los esfuerzos tecnológicos a un producto más refinado y de mejor aceptación, que puede presentarse en forma granulada y que, al igual que en otros países de la región, se ha denominado panela (Mujica y col., 2008; García y Chancay, 2019).

Sobre el consumo de este producto se han reportado efectos beneficiosos a la salud como mejoramiento inmunológico, acción antioxidante, antitóxica, citoprotectora y reducción del riesgo de diabetes e hipertensión arterial (Jaffé, 2012). Sin embargo, para aprovechar adecuadamente estos efectos, es preciso utilizar condiciones térmicas, de humedad y tiempos de conservación adecuados pues el incremento de la actividad acuosa y la ganancia de humedad durante el almacenamiento produce variación del color y la textura, reblandecimiento y aglutinación (Bolaños y col., 2018).

Para el control de la temperatura de punteo y el comportamiento del color, Quezada (2014), propuso métodos basados en la intensificación de procesos que se adaptan bien a los requerimientos de esta tecnología y que incrementan la estabilidad del producto. Por otra parte, el piso climático y la presión de operación inciden en la temperatura de punteo, en los consumos energéticos y en la inestabilidad de la coloración y del cuerpo y textura (Quezada y col., 2015).

A pesar de lo anterior, las tecnologías de elaboración nacional de este producto no han logrado el despliegue necesario y no son, a pesar de las potencialidades existentes, un surtido adecuadamente explotado en función de la soberanía alimentaria y la generación de exportaciones. Uno de los intentos de elaborar panela de forma competitiva se presenta en la Empresa Chiquitico Fabregat ubicada en el municipio de Remedios, Villa Clara, Cuba, donde existe una planta de elaboración de este producto que utiliza, como materia prima, el jugo de caña de azúcar que ha sido cosechada en áreas aledañas a la instalación. Para dicha producción se utiliza como fuente energética la biomasa que se combustiona en la caldera de la planta de glucosa.

Las etapas tecnológicas que definen la efectividad en la producción de panela se concentran en la recepción y molienda, la purificación, la evaporación y la fabricación de panela (Quezada, 2014). Esta secuencia básica es aplicada en la instalación objeto de estudio. Sin embargo, sus producciones no alcanzan la consistencia deseada y presentan dificultades con el logro de los parámetros de calidad requeridos. Ello se debe a limitaciones en la alimentación manual de la caña, el flujo reducido e inestable de los conductores de alimentación de los molinos y las altas temperaturas y demandas energéticas durante la evaporación en marmitas a presión atmosférica. Adicionalmente, la tecnología instalada no tiene la capacidad de elaborar panela peletizada.

Atendiendo a ello, el objetivo del trabajo es evaluar técnica y económicamente la producción de panela de la Empresa Chiquitico Fabregat considerando la tecnología instalada actualmente y una propuesta tecnológica mejorada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis tecnológico y la evaluación técnico-económica de la producción de panela en la UEB Derivados Chiquitico Fabregat se presentó una propuesta de mejoras tecnológicas respecto al proceso instalado actualmente y se efectuó la evaluación de demandas materiales y energéticas para ambos escenarios. Para el proceso actual se confeccionó el esquema tecnológico detallado y se describió el proceso para establecer las principales limitaciones tecnológicas. Para el proceso mejorado se presentó un esquema tecnológico que incluye las etapas de la instalación existente que se mantienen y las modificaciones propuestas. En la determinación de los puntos débiles del proceso existente se realizó un diagnóstico tecnológico que incluyó análisis de capacidades y deficiencias de calidad. Con los fines anteriores, se utilizó una metodología para el análisis de procesos inversionistas en el sector agroindustrial no azucarero previamente reportada (Pérez y col., 2021). La estimación de las demandas materiales y energéticas se realizó aplicando los balances de materiales y energía a partir de los métodos clásicos, estableciendo como base de cálculo el procesamiento de $2 t_{caña}/h$ en el proceso actual y $3,52 t_{caña}/h$ en el proceso mejorado con un tiempo de molienda de 3 h/d.

En la etapa de molienda, el flujo másico de caña desfibrada molida (CM en kg/d), se determinó a partir de la molienda horaria (Mh en kg/h) y el tiempo de molienda (hM en h/d), utilizando la ecuación (1):

$$CM = Mh \cdot hM \quad (1)$$

El flujo másico de bagazo obtenido total (m_{bagazo} en kg/d) se determinó a partir de un balance parcial de bagazo a partir de la ecuación (2):

$$m_{bagazo} = \left(\frac{bagazo}{caña} \cdot 100 \right) \cdot CM \quad (2)$$

Donde: $\frac{bagazo}{caña} \cdot 100$ constituye el bagazo (% de caña) determinado por pesadas de muestras tomadas aleatoriamente, para ambos materiales. Dichas determinaciones se realizaron en la báscula general de la empresa, cuando el proceso operó durante más de cuatro horas sin paradas, por lo que el funcionamiento se pudo considerar en estado estacionario. Las determinaciones de bagazo (% caña) se desarrollaron durante 15 días

de producción. En dicha etapa, el flujo másico de jugo extraído (JE en kg/d) se determinó por el balance total aplicando la ecuación (3):

$$JE = CM - m_{bagazo} \quad (3)$$

Para la etapa de purificación, el flujo másico de jugo clarificado (Jcl en kg/d) se calculó por diferentes vías para el proceso actual y para el proceso mejorado. En el proceso actual, considerando la masa de cachaza ($m_{cachaza}$ en kg/d) determinada por pesadas en la báscula general de la empresa durante los mismos 15 días de producción estable de la instalación, se utilizó la ecuación (4) como expresión del balance total, para determinar el flujo másico de jugo clarificado:

$$Jcl = JE - m_{cachaza} \quad (4)$$

En el caso del proceso mejorado, en dicha etapa, el flujo volumétrico de jugo clarificado se calculó considerando el porcentaje de jugo en la cachaza ($PJ_{cachaza}$ en % p/p), calculado como la relación entre el jugo y la cachaza, determinada por similar procedimiento que para la masa de cachaza, pero utilizando una báscula digital de (0-300) kg, a través de la ecuación (5):

$$Jcl = JE * (100 - PJ_{cachaza}) \quad (5)$$

En la etapa de evaporación, el flujo másico de meladura (ME en kg/d) se determinó a través de un balance parcial de sólidos solubles (expresados como % p/p o porcentaje Brix) a través de la ecuación (6):

$$Bx_{Jcl} * Jcl = Bx_{ME} * ME \quad (6)$$

Adicionalmente, en esa etapa la evaporación (en kg/d), se determinó por un balance total, según la ecuación (7):

$$Jcl = ME + Evaporación \quad (7)$$

Considerando que para el proceso mejorado la concentración se efectúa en un tacho al vacío y que dependiendo del surtido a elaborar el contenido final de sólidos solubles es diferente, en las expresiones (6) y (7) el término ME puede corresponder a la meladura o a la panela.

Teniendo en cuenta que en el proceso actual se desarrolla un segundo paso de concentración de meladura en panela, en las marmitas de punteo se determinó el flujo másico de panela (PA en kg/d) a través del balance parcial de sólidos solubles presentado en la ecuación (8), como:

$$Bx_{ME} * ME = Bx_{PA} * PA \quad (8)$$

En dichas marmitas, la evaporación se determinó por el balance total expresado en la ecuación (9), como:

$$ME = PA + agua \quad (9)$$

El balance de energía permitió determinar el consumo de vapor primario (m_v en kg/d) en ambos escenarios, a partir de la diferencia entre las temperaturas de entrada y de saturación del material a concentrar (ΔT en °C) y de los calores latentes de vaporización del vapor primario (λ_v en KJ/kg) y del agua evaporada (λ_{AE} en KJ/kg), de acuerdo con la ecuación (10):

$$m_v \cdot \lambda_v = Jcl \cdot Cp \cdot \Delta T + AE * \lambda_{AE} \quad (10)$$

Como indicadores técnico-económicos dinámicos se consideró el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación al descuento

(PRD), determinados por métodos clásicos (Peters y col., 2003). Para el análisis técnico-económico se consideró el funcionamiento de la instalación durante 100 días al año, operando en un turno de 8 h/d, con costo de oportunidad del 10 % y un período de vida útil de la instalación de 15 años. En el primer año de operación se consideró un 50 % de aprovechamiento de la capacidad instalada, para el segundo año se consideró un 80 % de aprovechamiento y a partir del año tres, un 100 % de aprovechamiento de dicha capacidad. El costo de equipamiento de la instalación actual se determinó a partir de la adquisición de los equipos en empresas azucareras del país y dentro de la propia empresa, considerando su valor residual en el momento de su traslado a la instalación de panela, el costo de transportación y la adaptación en caso de ser necesario la misma. El costo de equipamiento de la propuesta mejorada sufrió similar tratamiento excepto para la peletizadora y el tamiz de tratamiento final a los que se les propuso su adquisición a través de ofertas de importación (Econexia, 2024), con costos expresados en CUP a la tasa de cambio vigente para el sector empresarial de 1 USD = 24 CUP. Los costos de materias primas, portadores energéticos y precios de venta se consideraron según las fichas de costo de la empresa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El esquema tecnológico del proceso instalado en la planta de panela de la UEB Chiquitico Fabregat se muestra en la figura 1.

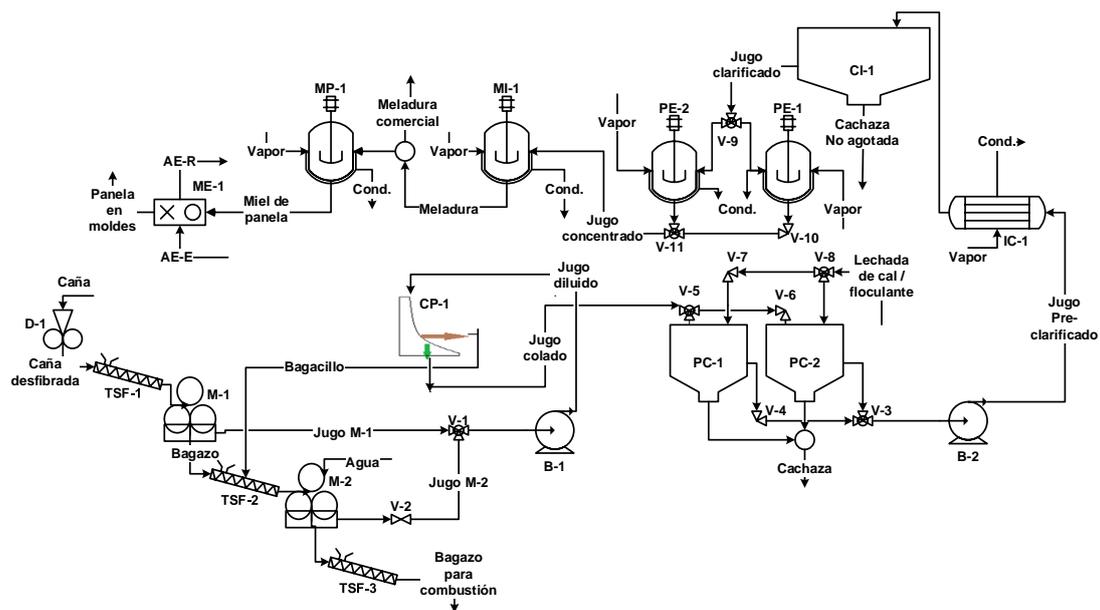


Figura 1. Esquema tecnológico del proceso instalado actualmente para la elaboración de panela en la UEB Derivados Chiquitico Fabregat

La caña proveniente de las aéreas de cosecha se alimenta manualmente a la desfibradora (D-1). Posteriormente, la caña desfibrada es introducida, a través del transportador de tornillo sinfín (TSF-1) en el primer molino (M-1). El bagazo que sale de M-1 es alimentado al segundo molino (M-2) a través del transportador de tornillo sinfín (TSF-2). En M-2 se añade agua para facilitar la extracción de los azúcares presentes en el bagazo. El bagazo agotado se destina a la combustión y es extraído a través del transportador de tornillo sinfín (TSF-3). Desde M-1 y M-2, utilizando las válvulas (V-1

y V-2), son succionados los jugos (como Jugo-M1 y Jugo-M2) por la bomba centrífuga (B-1). El jugo resultante del mezclado en la válvula de tres vías V-1 se denomina jugo diluido. El mismo es impulsado hasta el colador parabólico (CP-1). En CP-1 se separa el bagacillo, que es alimentado a M-2, a través del TSF-2 y el jugo colado que es alimentado a los pre clarificadores (PC-1 y PC-2) mediante las válvulas V-5 y V-6. Los pre clarificadores se ubican en paralelo y a los mismos se alimenta lechada de cal o floculante químico o vegetal a través de las válvulas V-7 y V-8. Desde el fondo de los pre clarificadores se extrae cachaza que es destinada al secado solar en patios de concreto y utilizada posteriormente como biofertilizante. El jugo pre clarificado es succionado por la bomba centrífuga (B-2), a través de las válvulas V-3 y V-4 e impulsado hasta el clarificador CL-1. El mismo se calienta por intercambio indirecto con vapor en el intercambiador de tubos y coraza (IC-1). Del clarificador se extrae cachaza no agotada que sufre similar tratamiento que la cachaza proveniente de los pre clarificadores. Por gravedad y auxiliado por la válvula de tres vías V-9, el jugo clarificado entra a las pailas evaporadoras (PE-1 y PE-2). En las pailas se produce intercambio indirecto con vapor a través de la chaqueta concentrándose a presión atmosférica el jugo hasta obtener un jugo concentrado de aproximadamente 35 °Bx que luego pasa a la marmita intermedia (MI-1) y posteriormente a la marmita de punteo (MP-1), continuando la concentración en similares condiciones hasta alcanzar aproximadamente 67 °Bx en la meladura de salida de MI-1. La miel de panela a la salida de MP-1 alcanza (90-95) °Bx. Esta última, es alimentada a la batea mezcladora (ME-1) donde, luego del enfriamiento indirecto con agua (como AE-E y AE-R) se obtiene panela en moldes. El vapor primario utilizado en el proceso es proveniente de la caldera de biomasa de la planta de glucosa y los condensados (cond.) de todo el proceso se recirculan al circuito de agua tratada.

Como resultado del diagnóstico tecnológico realizado se determinó que las dificultades de baja consistencia y coloración muy intensa en el producto final, así como los elevados consumos energéticos de este proceso, están vinculados con las altas temperaturas y tiempos de cocción utilizados para la evaporación en las marmitas debido a su operación a presión atmosférica.

Respecto al sistema de purificación utilizado, el diagnóstico demostró que los resultados de turbidez y rendimiento de jugo en cachaza alcanzados son comparables con los reportados cuando se utilizan plantas mucilaginosas, que al generar suspensiones viscosas, gelatinosas o gomosas, favorecen la clarificación de jugos (Quezada y col., 2016) o lechada de cal y poliácridamida aniónica (Mujica y col., 2008).

Adicionalmente, la alimentación de la caña a la desfibradora se realiza de forma manual y los conductores tipo sinfín provocan que la alimentación a los molinos presente un flujo inestable que afecta la capacidad de molienda y la extracción del jugo.

Atendiendo a lo anterior, se propuso el esquema tecnológico mejorado para este proceso que se muestra en la figura 2.

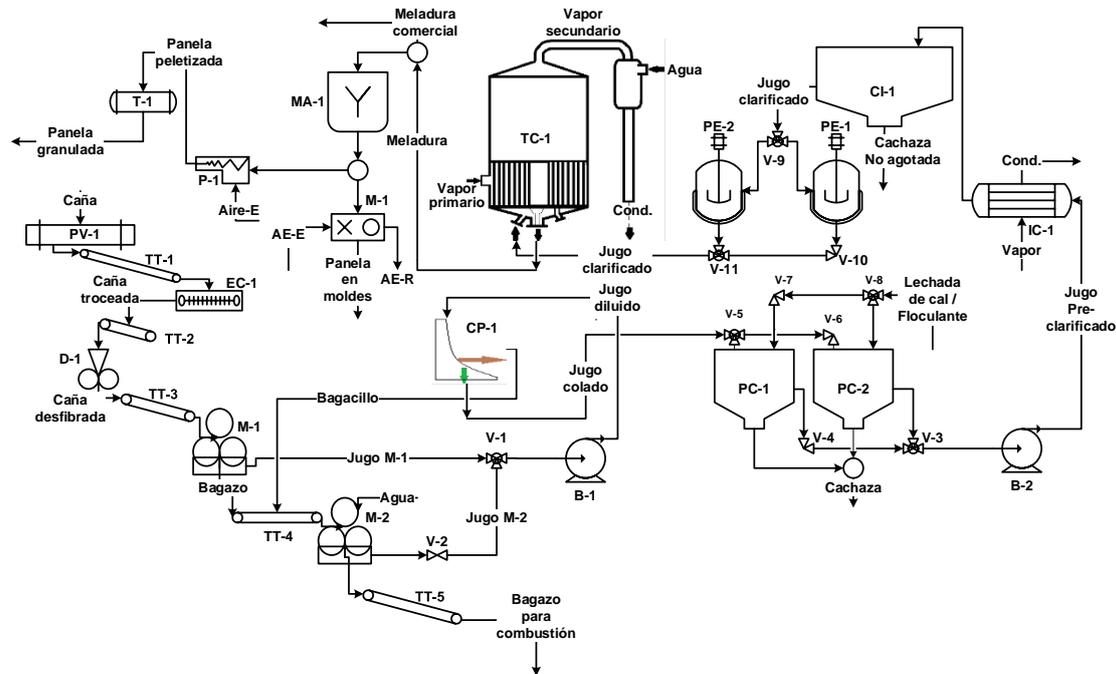


Figura 2. Esquema tecnológico del proceso mejorado para la elaboración de panela en la UEB Derivados Chiquitico Fabregat

En esta concepción tecnológica se efectúan dos mejoras importantes respecto al sistema actual: la mecanización de la alimentación a la desfibradora y la sustitución del sistema de marmitas por un tacho al vacío. Para ello, la caña proveniente de las áreas de cosecha se alimenta a una plataforma de basculación (PV-1), donde es pesada e introducida en el transportador de tablillas (TT-1), entrando posteriormente a la estación de cuchillas (EC-1) en la cual es troceada o triturada parcialmente facilitándose la operación de los molinos y sus alimentadores. A la salida de EC-1, la caña troceada es alimentada a la desfibradora (D-1) a través del transportador de tablillas (TT-2). Posteriormente, la caña desfibrada y el bagazo son alimentados a M-1 y a M-2 a través de los transportadores de tablillas TT-3 y TT-4. El resto de las etapas de extracción de jugo, filtración y purificación continúan de forma similar que en el proceso actual. En este proceso las pailas evaporadoras cambian su función pues solo facilitan el almacenamiento y acondicionamiento del jugo clarificado previo a la etapa de evaporación. A través de las válvulas V-10 y V-11, y succionado por el efecto del vacío, el jugo clarificado proveniente de PE-1 y PE-2 entra al tacho concentrador TC-1. La calandria de TC-1 es alimentada con vapor primario, provocándose la concentración del jugo hasta meladura con una concentración de sólidos disueltos que depende de su destino final.

Parte del agua contenida en el jugo se evapora en el cuerpo de TC-1 generando vapor secundario que fluye hasta un condensador alimentado con agua que regula las condiciones de presión en este equipo. Los condensados y los gases incondensables son extraídos por las vías tradicionales. Cuando el destino de la meladura es su comercialización directa (como melao), la concentración se lleva hasta el orden de los 67 °Bx. Si el destino de la meladura es la elaboración de panela, la concentración se lleva hasta el orden de los (90-95) °Bx. Para la elaboración de panela, la meladura se hace fluir a través del mezclador alimentador (MA-1) desde donde es posible elaborar panela en moldes o panela granulada. Para el proceso de moldeo, la meladura

proveniente de MA-1 pasa a la batea mezcladora (M-1) que, al igual que en el esquema actual, entrega panela en moldes. Para la granulación, la meladura proveniente de MA-1 pasa a la peletizadora (P-1), donde es tratada con agitación y aire de enfriamiento provocando la formación de pellets de panela que son tamizados en (T-1), obteniendo como producto final panela peletizada de gran aceptación comercial.

En la tabla 1 aparecen los resultados de la determinación o estimación de propiedades y parámetros necesarios para la ejecución de los balances de materiales y energía.

Tabla 1. Resultados de la determinación o estimación de propiedades y parámetros necesarios para la ejecución de los balances de materiales y energía en ambos escenarios

<i>Propiedad/ Parámetro</i>	<i>Proceso actual</i>	<i>Proceso mejorado</i>
Bagazo (% de caña)	37 %	35 %
Cachaza (% de jugo)	2,5 %	2,5 %
°Bx del jugo clarificado (refractometría)	16 °Bx	16 °Bx
°Bx del melado (aerometría)	67 °Bx	67 °Bx
°Bx de la panela (aerometría a 50 % de dilución)	92 °Bx	92 °Bx
Temperatura del jugo (medición directa)	30 °C	65 °C
Cp del jugo (Pavlov, 1981)	3,82 kJ/kg K	
Presión del vapor	1094 kPa (*)	35 kPa (**)
Temperatura de vapor (Keenan, 1988)	181,62 °C	120 °C
Calor latente de vaporización (Keenan, 1988)	2009 kJ/kg	2003 kJ/kg
Temperatura de la meladura (medición directa)	103,1 °C	65 °C
Temperatura de la panela (medición directa)	127 °C	65 °C

(*) Presión de trabajo de la caldera de biomasa

(**) Presión de vapor en la calandria del tachó

En la tabla 1 se puede apreciar el impacto sobre la efectividad de la extracción de jugo y de la evaporación en el sistema, con el proceso mejorado respecto al actual. En la tabla 2 se muestran los resultados de la aplicación del balance de masa y energía en ambas tecnologías. En ella se aprecia que la tecnología mejorada incrementa en un 75 % la capacidad productiva y en un 80,55 % la capacidad de producción de panela y melao.

Tabla 2. Balances de masa y energía del proceso de producción de panela mediante el empleo de las tecnologías actual y mejorada.

<i>Corriente</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Proceso Actual</i>	<i>Proceso mejorado</i>
CM	kg/d	6000	10 500
M _{bagazo}	kg/d	2220	3675
JE	kg/d	3780	6825
M _{cachaza}	kg/d	94,5	170,62
Jcl	kg/d	3685,5	6654,4
ME	kg/d	880,1	1589,1
Evaporación	kg/d	2805,4 (en MI-1)	5065,3 (en TC-1 hasta 67 °Bx)
Melao	L/d	330,87	597,40
PA	kg/d	320,47	289,3
			289,3

granulada

moldeada

PA	U (460 g)	697	629
Evaporación	kg/d	119,6 (en MP-1)	215,9 (en TC-1 de 67-92 °Bx)
m_v	kg/d	3932,3	5679,1
Índice energético	t_{vapor}/t_{Pa}	12,27	9,82

Adicionalmente, la propuesta mejorada entrega un 50 % de la producción de panela en estado granulado lo que mejora el valor agregado del producto y su aceptación en el mercado (García y Chancay, 2019). El efecto energético de la evaporación al vacío representa una reducción del índice energético del proceso en 2,45 t_{vapor}/t_{Pa} e incrementa la calidad de la misma al favorecer su estabilidad, color y valor sensorial.

Como resultado de la revisión de la información disponible se determinaron los costos del equipamiento instalado en la propuesta tecnológica actual y del equipamiento disponible para la propuesta mejorada, incluido el módulo de peletización y tamizado que se encuentra en fase de importación. El resumen de los costos de equipos por etapas se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Resumen de los costos de adquisición, transportación y adaptación de equipos desde diferentes fuentes por etapas para la producción de panela

<i>Etapa</i>	<i>Costo de equipamiento por etapa (CUP)</i>	
	<i>Proceso Actual</i>	<i>Proceso mejorado</i>
Purificación	148 708	148 708
Evaporación	372 458	209 229
Fabricación de panela	37 901	1 237 900
De ello: Módulo de peletización y tamizado	-	1 200 000
Costo total de equipamiento (CUP)	696 317	1 738 989

En la tabla 4 se resumen los resultados del análisis técnico-económico comparativo entre las tecnologías consideradas.

Tabla 4. Resumen de los resultados del análisis técnico-económico comparativo entre las tecnologías actual y mejorada.

<i>Indicadores económicos</i>		<i>Proceso actual</i>		<i>Proceso mejorado</i>	
<i>Partida de costo/venta</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo (CUP/a)</i>	<i>Consumo</i>	<i>Costo (CUP/a)</i>
		(kg/a)		(kg/a)	
Caña	2,08 CUP/kg	600 000	1 252 200	1 050	2 191 350
Melao	52,63 CUP/kg	44 005	2 316 034	59 740	3 144 156
Panela moldes	304 CUP/kg	32 047	9 753 755	28 932	8 805 474
Panela granos	350 CUP/kg	-	-	28 932	10 126 222
		(kw-h/a)		(kw-h/a)	
Electricidad	3 CUP/kw-h	185 015	555 044	205 015	615 044
		(m ³ /a)		(m ³ /a)	

Leña	105 CUP/m ³	2252	236 486	2800	294 000
Inversión total requerida		3852724 CUP		9621834 CUP	
Costo total de producción		9 788 477 CUP/a		11 334 255 CUP/a	
Ventas totales		12 069 790 CUP/a		22 075 853 CUP/a	
Ganancia		1 858 452 CUP/a		9 181 120 CUP/a	
VAN		9 526 155 CUP		57 000 435 CUP	
TIR		36 %		70 %	
PRD		3,7 años		2 años	

Los resultados del análisis técnico-económico demuestran que el proceso mejorado demanda una inversión total 2,5 veces mayor que el proceso actual. Ello se debe fundamentalmente al incremento del costo de equipamiento e instalación del módulo de peletización y tamizado que aparece en la tabla 3. Sin embargo, como puede apreciarse en la tabla 4, la panela granulada es el surtido de mejor valor agregado en la instalación. Dicho incremento en el valor agregado, así como el incremento productivo y en la eficiencia energética que generan las mejoras tecnológicas en las etapas de molienda y evaporación provoca que los indicadores económicos dinámicos del proceso mejorado sean muy superiores a los del proceso actual. Este resultado de los indicadores dinámicos es ligeramente inferior al reportado por (García y Chankay, 2019), específicamente para la TIR y el VAN en un proyecto de panela granulada con un período de vida útil de cinco años, en las condiciones de Ecuador. Lo anterior refuerza el criterio de que el surtido panela granulada es el de mayor impacto en los resultados económico financieros de instalaciones paneleras. En cualquier caso, los resultados alcanzados en la variante mejorada son muy satisfactorios. Ello se expresa en un VAN 6 veces superior, una TIR 2 veces mayor y un PRD 1,85 veces menor en el proceso mejorado respecto al actual.

4. CONCLUSIONES

1. La evaluación y diagnóstico tecnológico basada en los balances de masa y energía para la tecnología instalada en la UEB Derivados Chiquitico Fabregat y la propuesta de implementación de mejoras tecnológicas, permitió establecer criterios comparativos decisivos sobre los procesos productivos e inversionistas.
2. El análisis tecnológico realizado facilitó la identificación de los puntos débiles fundamentales del proceso actual, dados en la baja eficiencia de las etapas de recepción y molienda y de evaporación en marmitas a presión atmosférica.
3. La propuesta tecnológica mejorada se basó en el incremento de capacidad y efectividad que genera una etapa de recepción y molienda más mecanizada, en el impacto de la evaporación al vacío sobre la estabilidad de la calidad de la panela y en la diversificación de surtidos hacia panela granulada de mayor valor agregado y mejor aceptación en el mercado.
4. El proceso mejorado que se propone requiere incrementos inversionistas que permiten flexibilizar el proceso, incrementar la eficiencia material y energética y diversificar la producción, de manera que se logran indicadores económicos dinámicos más robustos que en el proceso actual, se estabilizan los parámetros de calidad.

REFERENCIAS

- Bolaños, L.C., Briñez, I.A., y Ramírez, J.S., Evaluación termodinámica de variables críticas en la estabilidad de la panela de caña de azúcar., *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, Vol. 14, No. 2, 2018, pp. 100-110. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3167/3424#toc>
- Econexia., Ecosistema digital de conexiones & negocios. Vitrinas virtuales. Pulverizador de panela., 2024. https://econexia.com/es/vitrina-detalle-producto/agroindustria/pulverizador-de-panela/&product_tracking_id=3919&shop_tracking_id=8&seller_tracking_id=6062
- FDA., *Panela Monitor.*, Advances in the building of a international product identity for noncentrifugal sugar., 2012. https://downloads.regulations.gov/FDA-2009-D-0430-0072/attachment_2.pdf
- García, J.M., y Chancay, K.V., Determinación de la calidad de la panela granulada elaborada en el recinto San Carlos-Jipijapa., *UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria*, Vol. 3, No. 2, 2019, pp. 9-18. <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/143/103>
- González, V., y Hernández, L.C., Estudio técnico económico para la producción de raspadura en centrales azucareros., *Centro Azúcar*, Vol. 34, No. 3, 2007, pp. 1-9. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/565/572
- Jaffé, W.R., Health Effects of Non-Centrifugal Sugar (NCS): A Review., *Sugar Tech*, Vol. 14, No. 2, 2012, pp-87-94. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-012-0145-1>
- Keenan, J., Keyes, F., Hill, P., & Moore, J., *Steam Tables.*, Thermodynamic properties of water including vapor, liquid and solid phases (SI Units)., Edición Revolucionaria, La Habana, 1988, pp. 8-14.
- Mujica, M.V., Guerra, M., y Soto, N., Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada., *Interciencia*, Vol. 33, No. 8, 2008, pp. 598-603. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000800010
- Pavlov, K.F., Romankov, P.G., y Noskov, A.A., *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química.*, Editorial Mir, Moscú, 1981, pp. 582-586.
- Peters, M., Timmerhaus, K., & West, R.E., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, Mc Graw Hill, 2003, pp. 283-307.
- Pérez, O., González, E., y Ley, N., Procedimiento estratégico de desarrollo de procesos agroindustriales complementado con asimilación tecnológica., *Centro azúcar*, Vol. 48, No. 1, 2021, pp. 47-58. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000100047
- Quezada, W.F., *Procedimiento para la intensificación y reconversión de instalaciones paneleras.*, Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencia Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2014, Cuba. <https://dspace.uclv.edu.cu/entities/publication/206996b4-e2c9-4d84-83ea-7b17e82f2577>
-

Quezada, W., Gallardo, I., y Quezada, D., Temperatura y concentración del jugo de caña según pisos climáticos en el Ecuador., Revista ICIDCA, Vol. 49, No. 1, 2015, pp. 17-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223136961003>

Quezada, W., Quezada D., y Gallardo, I., Plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo de la caña de azúcar., Centro Azúcar Vol. 43, No. 2, 2016, pp. 1-11. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/134/127

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Ernesto Suárez Bolaños. Redacción - primera redacción, investigación, metodología.
 - Dr.C. Omar Pérez Navarro. Gestión de proyectos, supervisión, redacción - revisión y edición, conceptualización.
 - Ing. Claudia M. Suárez Pargas. Análisis formal, conservación de datos, investigación.
-