

**Artículo Original**

***CONTRIBUCIÓN AL ENCADENAMIENTO ENERGÉTICO Y CALIDAD DEL AZÚCAR EXTRAYENDO JUGO DE LOS FILTROS EN UNA FÁBRICA CON REFINERÍA***

***CONTRIBUTION TO ENERGY ENHANCEMENT AND SUGAR QUALITY BY EXTRACTING JUICE FROM FILTERS IN A FACTORY WITH REFINERIES***

Anialy Prieto Orta<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0000-3161-4839>  
Yaillet Albernas Carvajal<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4363-4401>  
Ramón Santos Díaz<sup>3</sup> <https://orcid.org/0009-0000-0756-5256>  
Juan Pedro Hernández Touset<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0032-8685>  
Erenio González Suárez<sup>2\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

<sup>1</sup> Empresa Agroindustrial Azucarera "Quintín Banderas", Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>3</sup> Empresa Agroindustrial Azucarera "Heriberto Duquesne", Remedios, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Julio 30, 2023; Revisado: Agosto 7, 2023; Aceptado: Agosto 21, 2023

**RESUMEN**

**Introducción:**

En el trabajo, partiendo del necesario encadenamiento tecnológico que existe en una fábrica de azúcar crudo con una refinería de azúcar aledaña, se propone una estrategia para fortalecer su encadenamiento material y energético, en su desarrollo, extrayendo el jugo de los filtros.

**Objetivo:**

Evaluar el impacto de extracción del jugo de los filtros en la influencia en la calidad del azúcar crudo, determinando el por ciento óptimo de extracción para lograr el encadenamiento energético del combinado fábrica de azúcar crudo, refinería y crema de torula.

**Materiales y Métodos:**

El efecto de la extracción del jugo de los filtros en la calidad de este tipo de azúcar y con ello en la del azúcar refino, se evalúa mediante la modelación estadística del



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: Erenio González, Email: [erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu)



proceso a través de la agregación de los modelos de los elementos componentes, considerando variaciones de los modelos en la etapa de purificación para diferentes porcentajes de extracción.

**Resultados y Discusión:**

Los modelos globales del proceso obtenidos mediante la agregación de modelos de las etapas parciales son efectivos para pronosticar los parámetros de calidad del azúcar. La extracción del jugo de los filtros incrementa significativamente la cantidad de bagazo sobrante en la producción de azúcar crudo.

**Conclusiones:**

La extracción del jugo de los filtros beneficia los parámetros de calidad del azúcar producido e incrementa significativamente la cantidad de bagazo sobrante en la producción de azúcar crudo siendo una alternativa para contribuir a otras demandas productivas.

**Palabras clave:** calidad del azúcar; energía; extracción; jugo de los filtros; purificación.

**ABSTRACT**

**Introduction:**

In this work, based on the necessary technological linkage that exists in a raw sugar factory with a nearby sugar refinery, a strategy is proposed to strengthen its material and energy linkage in its development, extracting the juice from the filters.

**Objective:**

To evaluate the impact of extracting the juice from the filters on the influence on the quality of raw sugar, determining the optimal percentage of extraction to achieve the energy linkage of the combined raw sugar factory, refinery and torula cream.

**Materials and methods:**

The effect of the extraction of the juice from the filters on the quality of this type of sugar, and with it on that of refined sugar, is evaluated through the statistical modeling of the process through the aggregation of the models of the component elements, considering variations of the models in the purification stage for different percentages of extraction.

**Results and discussion:**

The global models of the process obtained through the aggregation of models of the partial stages are effective for predicting the sugar quality parameters.

The extraction of the juice from the filters significantly increases the amount of leftover bagasse in the production of raw sugar

**Conclusions:**

The extraction of the juice from the filters benefits the quality parameters of the produced sugar and significantly increases the amount of excess bagasse in the production of raw sugar, being an alternative to contribute to other productive demands.

**Keywords:** sugar quality; energy; extraction; filter juice; purification.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria azucarera, debido a la crisis del mercado internacional del azúcar, la crisis energética y los avances de la biotecnología, se encuentra en umbral de transformación total hacia su diversificación. El empleo integral de la caña de azúcar como materia prima para varios productos ha dado lugar a lo que se ha conocido como su diversificación y más recientemente a su desarrollo como biorrefinería (de Armas y col., 2018), para ello se requiere un respaldo energético, por lo que, el encadenamiento energético de las nuevas producciones a la instalación productora de azúcar crudo es esencial, lo que se refuerza en los casos de estudio desarrollados, en los cuales, estas instalaciones, como el caso objeto de análisis, tienen aledaña una refinería de azúcar (González y González, 2023) y en lo que se tiene que incluir necesariamente el encadenamiento energético.

Es necesario para el país, lograr la sustentabilidad energética de los procesos industriales existentes en una instalación, lo que puede lograrse si la caña es la fuente no solo de materia prima, sino también de los portadores energéticos.

Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue evaluar el impacto de extracción del jugo de los filtros en la influencia en la calidad del azúcar crudo, determinando el porcentaje óptimo de extracción para lograr el encadenamiento energético del combinado fábrica de azúcar crudo, refinería y crema de torula.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El efecto de la extracción del jugo de los filtros en la calidad de este tipo de azúcar y con ello en la del azúcar refino, se evalúa mediante la modelación estadística del proceso a través de la agregación de los modelos de los elementos componentes, considerando variaciones de los mismos en la etapa de purificación para diferentes porcentajes de extracción.

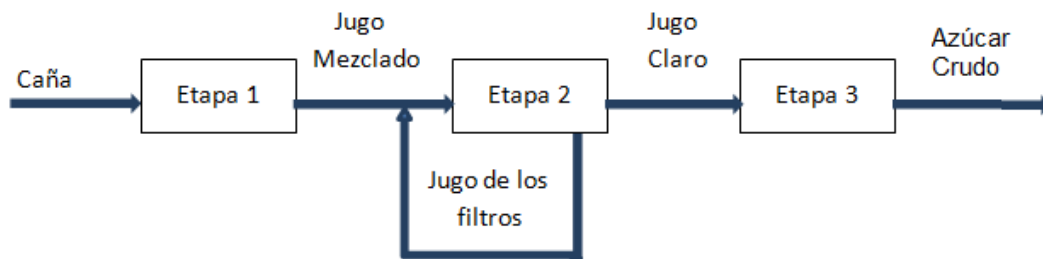
Para obtener los modelos que correlacionan las variables dependientes con las independientes se emplearon los estudios estadísticos de las etapas del proceso mediante el método de regresión múltiple y apoyo del programa *Statgraphics versión 18*. Los datos con extracción fueron calculados mediante balances de materiales en la etapa de purificación y los modelos globales fueron obtenidos agregando los modelos de cada etapa siguiendo la metodología propuesta por González, (1982).

Como Reyes y col., (2000) refirió, el modelo matemático de una fábrica de azúcar se puede expresar mediante los modelos agregados de sus etapas componentes según lo propuesto por (Kafarov, 1976) de la manera que sigue:

$$\begin{array}{|c|} \hline A1 \\ \hline \text{Matriz del efecto} \\ \text{de las corrientes} \\ \text{internas en los} \\ \text{reciclos} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline Y3 \\ Y5 \\ Y6 \\ \cdot \\ Y9 \\ Y10 \\ \cdot \\ Y14 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline A2 \\ \hline \text{Matriz del} \\ \text{efecto de las} \\ \text{variables de} \\ \text{entrada en los} \\ \text{reciclos} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline X1 \\ X2 \\ \cdot \\ X8 \\ X9 \\ \cdot \\ \hline \end{array} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} U1 \\ \text{Matriz del efecto} \\ \text{de las corrientes} \\ \text{internas en los} \\ \text{reciclos} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y3 \\ Y5 \\ Y6 \\ \cdot \\ Y9 \\ Y10 \\ \cdot \\ Y14 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} U2 \\ \text{Matriz del} \\ \text{efecto de las} \\ \text{variables de} \\ \text{entrada en los} \\ \text{reciclos} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \\ \cdot \\ X8 \\ X9 \\ \cdot \\ X14 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

En el caso específico de este estudio dirigido a la calidad de la azúcar el modelo del sistema se obtuvo de la caracterización de cada una de las etapas, según el diagrama tecnológico del proceso industrial de la Figura 1 como sigue:



**Figura 1.** Esquema tecnológico de la producción de azúcar crudo

Mediante el método de agregación de los modelos matemáticos de las etapas del proceso, obtenidos estos por análisis de regresión múltiple, se puede, como refirieron Cardoso y col., (1992), obtener un modelo global del proceso tecnológico que simplificado para los casos que no se considera el reciclo, puede utilizarse con varios propósitos en la industria de la caña de azúcar al estilo que recomendó (González, 1982) y que puede ser empleado incluso para acciones de diagnóstico de la calidad de la caña de azúcar (González y Cardoso, 1994).

Mediante el análisis de regresión múltiple se obtienen modelos de las etapas componentes con ayuda de los datos del control operacional.

El modelo para cada etapa y parámetro que se plantea en regresión múltiple es el 3:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i \quad (3)$$

donde  $x_1, x_2, \dots, x_k$  son las variables independientes o explicativas.

La variable respuesta depende de las variables explicativas y de una componente de error que se distribuye según una normal:  $u_i = N(0; \sigma^2)$

El ajuste del modelo se realiza por el método de máxima verosimilitud o el método de mínimos cuadrados (Akhazarova y col., 1982).

El valor que el modelo estimado predice para la observación i-ésima es:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{1i} + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki} \quad (4)$$

y el error cometido en esa predicción es:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{1i} + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki}) \quad (5)$$

donde  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$  son los valores estimados del modelo.

El criterio de mínimos cuadrados asigna a  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$  el valor que minimiza la suma de errores al cuadrado de todas las observaciones.

### Notación

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad \hat{Y} = \begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \vdots \\ \hat{y}_n \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix} \quad \hat{\beta} = \begin{pmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_n \end{pmatrix} \quad e = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

X es la denominada matriz de diseño, de dimensión n x (k+1)

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{kn} \end{pmatrix} = (\vec{1}, \vec{X}_1, \vec{X}_2, \dots, \vec{X}_k), \text{ siendo } \vec{X}_j = \begin{pmatrix} x_{j1} \\ x_{j2} \\ \vdots \\ x_{jn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Forma matricial del modelo:

La expresión matricial del modelo de regresión múltiple es la siguiente:

$$Y = X\beta + U \quad (8)$$

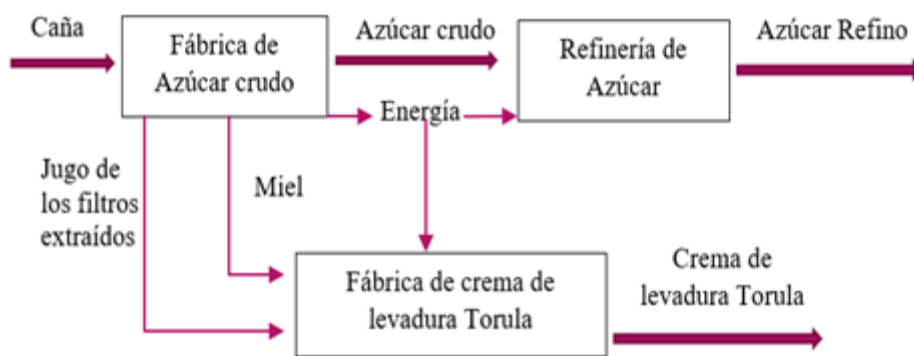
El modelo estimado también puede expresarse en forma matricial:

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} \quad (9)$$

$$Y - \hat{Y} = e \quad (10)$$

Los datos y métodos han sido utilizados y validados en estudios anteriores en las empresas Heriberto Duquesne (Cortés y col., 2021), Caracas (González y col., 2022) Panchito Gómez Toro (Ruano y col., 2022) e Ifrain Alfonso (Águila y col., 2022) y (León y col., 2022)

Para evaluar el ahorro energético en el proceso industrial en las etapas posteriores a la purificación se realizaron los balances de materiales y energía en cada caso considerando la variación del flujo de jugo claro como fue propuesto por de la Cruz y col., (2001) para lo cual se estudió el esquema tecnológico del combinado azucarero, incluyendo una instalación para la producción de levadura torula, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Esquema tecnológico del combinado fábrica de azúcar, refinería y planta de crema de torula

Para determinar los consumos de energía y con ello de bagazo y por consecuencia de bagazo disponible para el aseguramiento de la producción de azúcar refino en la instalación aledaño, se realizaron los balances pertinentes según la metodología propuesta por Espinosa, (2020).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los diferentes por cientos de extracción del jugo filtrado se hizo uso de los balances de materiales y el estudio estadístico, mediante el análisis de regresión múltiple

(Akhazarova y col., 1982) con apoyo del programa *Statgraphics*, lo que permitió a través del procesamiento de los datos de Brix y Pol en cada etapa del proceso de crudo los modelos estadísticos de cada etapa, como se muestran a continuación en la Tabla 1.

Siendo:

Pol en caña: Pol en la caña procesada.

Bx: Brix en la caña procesada.

Bx JM: Brix en la corriente de jugo mezclado.

Pol JM: Pol en la corriente de jugo mezclado.

Pol JC: Pol en la corriente de Jugo claro.

Bx JC: Brix en la corriente de jugo claro.

Pol Mel: Pol en la meladura.

Bx Mel: Brix en la meladura.

Pol MCB: Pol en masa cocida B.

Bx MCB: Brix en masa cocida B.

Pol MCA: Pol en masa cocida A.

Bx MCA: Brix en masa cocida A.

**Tabla 1.** Modelos obtenidos según la etapa

<i>Etapas del proceso</i>	<i>Modelos de Estadísticos</i>
Preparación de la caña y Molienda	$Bx JM = 13,72 - 0,1278 * Bx Caña + 0,18 * Pol Caña$ (11)
	$Pol JM = 12,26 - 0,188 * Bx Caña + 0,22 * Pol Caña$ (12)
Evaporación del Jugo	$Bx Mel = -1,36732 + 1,08422 * Bx JC + 3,91501 * Pol JC$ (13)
	$Pol Mel = 11,3626 + 0,842092 * Bx JC + 2,4402 * Pol JC$ (14)
Cristalización y Cocción	$Bx MCB = 84,9965 + 0,021 * Bx Mel + 0,09533 * Pol Mel$ (15)
	$Pol MCB = 62,404 + 0,060 * Bx Mel + 0,0399 * Pol Mel$ (16)
	$Pol MCA = 88,82 - 1,23 * Bx Mel + 1,22 * Pol Mel$ (17)
	$Bx MCA = 103,40 - 0,76 * Bx Mel + 0,64 * Pol Mel$ (18)
Centrifugación	$Pol Azúcar = 103,06 - 0,13 * BxMCA + 0,10 * PolMCA$ (19)
	$Bx Miel B = 35,93 + 0,64 * BxMCB - 0,15 * PolMCB$ (20)
	$Pol Miel B = -110,57 + 2,18 * BxMCB - 0,53 * PolMCB$ (21)
	$Dextrana = 325,75 + 0,054 * BxMCA + 7,40 * PolMCA$ (22)
	$Humedad = -1,50 + 0,0075 * BxCMA + 0,013 * PolMCA$ (23)
	$ColorICUMSA = -372,96 + 112,76 * BxCMA - 67,5 * PolMCA$ (24)
	$Almidón = -65,30 + 3,58 * BxCMA + 0,23 * PolMC$ (25)

En la etapa de Purificación, mediante los balances totales y parciales en el estudio del efecto de las variaciones de extracción en los valores de los parámetros de respuesta en el jugo claro se obtuvieron los modelos de acuerdo al porcentaje (20, 60 y 100) de extracción como se puede evidenciar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Modelos en la etapa de Purificación según la extracción

<i>Etapa</i>	<i>% de extracción del jugo filtrado</i>	<i>Modelos estadísticos según la extracción</i>
Purificación	20	$Bx JC = 20,7381 + 8,69681 * Bx JM - 10,4899 * Pol JM \quad (26)$ $A = Pol JC = -14,6237 - 9,55785 * Bx JM + 13,2438 * Pol \quad (27)$
	60	$Bx JC = 21,4864 + 8,15366 * Bx JM - 9,91884 * Pol JM \quad (28)$ $A = Pol JC = -14,6415 - 9,59982 * Bx JM + 13,2959 * Pol \quad (29)$
	100	$Bx JC = 19,6409 + 6,53866 * Bx JM - 7,90298 * Pol JM \quad (30)$ $Pol JC = -15,3401 - 9,82078 * Bx JM + 13,6078 * Pol JM \quad (31)$

Mediante el método de agregación matricial se pueden obtener los modelos del proceso global que son los siguientes:

➤ **Sin extracción:**

$$\begin{bmatrix} Dextrana \\ Pol en Azúcar \\ Humedad \\ Color ICUMSA \\ Almidón \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 224,72 & 8,25 & -7,72 \\ 99,08 & -0,0045 & 0,0042 \\ 0,14 & 0,021 & -0,019 \\ 1149,76 & 23,26 & -21,85 \\ 265,35 & 3,35 & -3,14 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Brix de caña \\ Pol de caña \end{bmatrix} \quad (32)$$

De acuerdo con los modelos obtenidos para la etapa de purificación para diferentes niveles de extracción se obtienen los modelos agregados del sistema como se muestra a continuación:

➤ **Con 20% de extracción**

$$\begin{bmatrix} Dextrana \\ Pol en Azúcar \\ Humedad \\ Color ICUMSA \\ Almidón \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 198,04 & -14,7 & +15,67 \\ 99,11 & 0,0023 & -0,0021 \\ 0,05 & -0,038 & -0,040 \\ 1103,33 & -33,55 & 35,36 \\ 255,4 & -5,73 & -6,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Brix de caña \\ Pol de caña \end{bmatrix} \quad (33)$$

➤ **Con 60% de extracción**

$$\begin{bmatrix} Dextrana \\ Pol en azúcar \\ Humedad \\ Color ICUMSA \\ Almidón \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 195,04 & -14,9 & 15,76 \\ 99,11 & 0,0024 & -0,0023 \\ 0,05 & -0,038 & 0,040 \\ 1095,06 & -34,25 & 35,82 \\ 254,24 & -5,82 & 6,14 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Brix de caña \\ Pol de caña \end{bmatrix} \quad (34)$$

➤ **Con 100% de extracción**

$$\begin{bmatrix} \text{Dextrana} \\ \text{Pol en Azúcar} \\ \text{Humedad} \\ \text{Color ICUMSA} \\ \text{Almidón} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 182,88 & -15,64 & 16,65 \\ 99,14 & 0,0035 & -0,0035 \\ 0,01 & -0,040 & 0,042 \\ 1035,72 & -37,25 & 39,28 \\ 248,47 & 6,15 & 6,54 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \text{Brix de caña} \\ \text{Pol de caña} \end{bmatrix} \quad (35)$$

**3.1. Posible impacto en la obtención de azúcar refino**

En la producción de azúcar refino la materia prima lo constituye el azúcar crudo, cuya calidad influye directamente en la eficiencia de dicho proceso, pues a medida que aumenta el nivel de extracción se obtiene una menor cantidad de azúcar, pero a la vez con una mejor calidad en cuanto al Brix y Pol de la misma.

El balance material y energético de la instalación para diferentes niveles de extracción del jugo de los filtros mostró los resultados que aparecen en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Bagazo sobrante según el por ciento de extracción del jugo de los filtros

<i>% de extracción</i>	<i>Bagazo sobrante (t/d)</i>	<i>Bagazo sobrante (t/a)</i>
Sin extracción	172,73	19000,3
20%	965,23	106175,3
40%	1930,46	212350,6
60%	2895,69	318525,9
80%	3860,92	424701,2
100%	4826,15	530876,5

Es significativo que al extraer el jugo de los filtros queda disponible mayor cantidad de bagazo para el encadenamiento energético entre las producciones de azúcar crudo y crema de levadura Torula

Considerando el consumo energético de la planta de Torula según las capacidades alcanzables para cada extracción de Jugo de los filtros se obtiene un sobrante de bagazo que posibilita sustentar las producciones en la Refinería de azúcar lo que se resume en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Cantidades de bagazo sobrantes y consumidos según la extracción de jugo de los filtros

<i>% de extracción de jugo de los filtros</i>	<i>Bagazo sobrante disponible de la fábrica de azúcar(t/año)</i>	<i>Bagazo consumido planta Torula (t/año)</i>	<i>Bagazo sobrante disponible para otras instalaciones(t/año)</i>
Sin extracción	19000,3	0	19000,3
20%	106175,3	50655	55520,3
40%	212350,6	102323,1	110027,5
60%	318525,9	153991,2	164534,7
80%	424701,2	205659,3	219041,9
100%	530876,5	257327,4	273549,1



Del análisis de la tabla 4 se concluye que al incrementar la extracción del jugo de los filtros, además de lo ya concluido acerca del incremento de la calidad del azúcar crudo y con ello la calidad de la azúcar refinada, habrá un crecimiento de la disponibilidad de bagazo para satisfacer mediante energías renovables las demandas de la refinera de azúcar crudo.

Por lo anterior se induce que las necesidades energéticas no son una limitante para incrementar las extracciones de los filtros y con ello las producciones de crema de levadura torula, pero resta evaluar si las necesidades de sustratos para su producción en tiempo de no zafra limitan las capacidades instaladas en las que se invierte para garantizar una producción anual.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. Es factible obtener modelos específicos agregados del proceso tecnológico en función de la calidad de la caña para los diferentes porcentajes de extracción del jugo de los filtros partiendo de la agregación de los modelos de los elementos que componen el sistema tecnológico.
2. Los modelos tecnológicos del proceso global para las diferentes extracciones de jugo de los filtros solo variarán en la etapa de purificación.
3. La extracción del jugo de los filtros beneficia los parámetros de calidad del azúcar producido.
4. La extracción del jugo de los filtros incrementa significativamente la cantidad de bagazo sobrante para la producción de azúcar crudo y es una alternativa atractiva para contribuir a cubrir las demandas de la producción de azúcar refinado.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Al grupo AZCUBA por permitir a los autores contribuir al conocimiento.

#### **REFERENCIAS**

- Águila, L.E., González, E., y Albornos, Y., Determinación de las capacidades óptimas de producción de xilitol extrayendo jugo de los filtros en un central azucarero., Centro Azúcar, Vol. 49, No. 2, 2022, pp. 85-99. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612022000200085](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612022000200085)
- Akhazarova, S., Kafarov, V., Repyev, A.P., & Matskovsky, V.M., Experiment optimization in chemistry and chemical engineering., Publisher MIR, Moscú, 1982, pp.123-150.
- Cortés, M., de Armas, A.C., Alomá, I., y Morales, M., Impacto de la extracción del jugo de los filtros en la sostenibilidad de un complejo azucarero industrial., Centro Azúcar, Vol. 48, No. 1, 2021, pp. 59-70. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612021000100059](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000100059)
- de Armas, A.C., Morales, M., Albornos, Y., y González, E., Alternativas para convertir una fábrica azucarera cubana en una industria biorefinera., Centro Azúcar, Vol. 45, No. 3, 2018, pp. 65-77. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000300007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000300007)
- de la Cruz, R., González, E., Darias, R., y Tsuchiya, L.A., Efecto de la extracción del
-

- jugo de los filtros sobre el costo de producción de azúcar crudo en un central con una destilaría anexa., *Centro Azúcar*, Vol. 28, No.1, 2001, pp. 16-21.
- Cardoso, G., Chávez, M., Fuentes, A., y González, E., Automatización del proceso de Agregación de los modelos de las etapas de un proceso tecnológico., *Tecnología Química*, Vol. XIII, No. 3, 1992, pp. 47- 53.
- Espinosa, R., Gestión energética eficiente y análisis de los sistemas auxiliares en las plantas químicas., Editorial Félix Varela, 2020, pp. 25-30.
- González, E., Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la producción de cartoncillo par corrugar., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas., Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 1982.
- González, E., y Cardoso G., Posibilidades de la modelación matemática en la estimación del efecto de las diferentes variedades de caña en el proceso tecnológico., *Centro Azúcar*, Vol. 21, No. 2, 1994, pp. 76-84.
- González, E., Concepción, D.N., Pérez, O., de Armas, A.C., y Ramos, F.E., Investigación y postgrado en agroindustrias en el vínculo universidad empresa para apoyar al desarrollo local., *Universidad y Sociedad*, Vol. 14, No. 6, 2022, pp. 608-616. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3411>
- González, D.E., y González, E., Encadenamiento productivo de la Empresa Agroindustrial Azucarera Heriberto Duquesne en su desarrollo como biorrefinería utilizando la economía circular., Ponencia en Taller CITMA de Economía Circular, Julio 2023.
- Kafarov, V.V., *Cybernetic methods in chemistry & Chemical engineering.*, Mir Publishers, 1976, pp. 167-180.
- León, E.A., Ruano, M.M., Albernas, Y., y González, E., Evaluación de la extracción de jugo de los filtros para producir levadura torula en una fábrica de azúcar., *Centro Azúcar*, Vol. 49, No. 4, 2022, pp. 12-23. [http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/722](http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/722)
- Reyes, M.R., González, E., y Sánchez, A.L., Modelación matemática de la calidad de los productos en el proceso azucarero., *Centro Azúcar*, Vol. 27, No. 3, 2000, pp. 51-58.
- Ruano, M.M., González, E., León, E.A., de la Cruz, L., y Albernas, Y., Efecto del pago de la caña en la calidad del azúcar y en la eficiencia inversionista de torula., *Centro Azúcar*, Vol. 49, No. 3, 2022, pp. 11-23. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612022000300011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612022000300011)

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Ing. Anialy Prieto Orta. Investigación, conservación de datos.
  - Dr.C. Yaillet Albernas Carvajal. Redacción - revisión y edición.
  - Ing. Ramón Santos Díaz. Gestión de proyectos, conceptualización.
  - Dr.C. Juan Pedro Hernández Touse. Análisis formal.
  - Dr.Sc. Erenio González Suárez. Metodología, redacción - primera redacción.
-