

Artículo Original

***EFEECTO DEL PAGO DE LA CAÑA EN LA CALIDAD DEL AZÚCAR
Y EN LA EFICIENCIA INVERSIONISTA DE TORULA***

***EFFECT OF CANE PAYMENT ON SUGAR QUALITY AND TORULA'S
INVESTMENT EFFICIENCY***

Meliza M. Ruano Bormey ^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-1848-5512>

Erenio González Suárez ² <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

Erick Ariel León Chirino ³ <https://orcid.org/0000-0001-7891-9971>

Leidys de la Cruz Martínez ¹ <https://orcid.org/0000-0001-9232-3138>

Yaillet Albernas Carvajal ² <https://orcid.org/0000-0003-4363-4401>

¹ Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) Francisco Gómez Toro. Consejo Popular Panchito Gómez Toro, Quemado de Güines, Villa Clara, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF) "Traviesa". Carretera Central km 295 Banda Esperanza, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 17, 2022; Revisado: Enero 30, 2022; Aceptado: Febrero 10, 2022

RESUMEN

Introducción:

Para mejorar la calidad del azúcar crudo en la industria azucarera y elevar la eficiencia inversionista relacionada con la producción alternativa de levadura de torula, se realiza un análisis del efecto y costo del pago de la caña por su calidad. Esta está determinada, por los resultados obtenidos en el laboratorio, a partir del cálculo del rendimiento por caña (RPC).

Objetivo:

Determinar el efecto del pago de la caña en la calidad del azúcar crudo y en la eficiencia inversionista de una planta de levadura torula en dos centrales azucareros cubanos A y B.

Materiales y Métodos:

Se utiliza el método de modelación del proceso global mediante la agregación matricial de los modelos de las etapas de los procesos tecnológicos de producción de azúcar crudo y miel final, en dos instalaciones industriales diferentes, empleando el *Software*



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: Meliza M. Ruano, Email: mrubormey@nauta.cu



Statgraphics Centurion. Se incluye la evaluación de alternativas de por cientos de extracción del jugo de los filtros en las inversiones.

Resultados y Discusión:

Al analizar dos tipos de caña se observa que al aumentar su calidad aumentan los niveles de producción de azúcar crudo y se incrementa el brix de la miel final. Esto eleva las ganancias en la planta de levadura en ambos centrales azucareros.

Conclusiones:

Se demostró la importancia del pago de la caña por su calidad al aumentar las ganancias de la planta de levadura y del central azucarero de 1604101,69 USD/año, que supera el incremento en pago de la caña que es de 447210,44 USD/año.

Palabras clave: calidad; caña; extracción; levadura torula; modelos.

ABSTRACT

Introduction:

In order to improve the quality of raw sugar in the sugar industry and to increase the investment efficiency related to the alternative production of torula yeast, an analysis of the effect and cost of cane payment for its quality is carried out. This is determined, by the results obtained in the laboratory, from the calculation of the yield per cane (RPC).

Objective:

To determine the effect of cane payment on raw sugar quality and on the investment efficiency of a torula yeast plant in two Cuban sugar mills A and B.

Materials and Methods:

The global process modeling method is used by means of matrix aggregation of the models of the technological processes' stages of raw sugar and final molasses production, in two different industrial facilities, using Statgraphics Centurion Software. The evaluation of alternatives of per cent extraction of the juice from the filters in the investments is included.

Results and Discussion:

When analyzing two types of sugarcane, it is observed that increasing its quality improves both the levels of raw sugar production and the brix of the final honey. This raises profits in the yeast plant in both sugar mills.

Conclusions:

The importance of cane payment for its quality was demonstrated by increasing the profits of the yeast plant and the sugar mill by 1604101.69 USD/year, which exceeds the increase in cane payment, which is 447210.44 USD/year.

Keywords: quality; sugarcane; extraction; torula yeast; models.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los problemas más importantes del desarrollo económico de las regiones con disponibilidad de caña de azúcar es la reanimación de esta industria, para ello se debe tener en consideración que la caña de azúcar es una planta con un espectro prácticamente infinito de aprovechamiento para la fabricación de variados productos;

entre los cuales el azúcar ocupa, hasta la fecha, un lugar primordial. Desde hace ya varios años, el azúcar viene enfrentando una situación de incertidumbre como producto de comercialización internacional; ha sido interés de los países productores de caña de azúcar, el desarrollo de una estrategia para incrementar su competitividad que ha incluido como una acción fundamental: la diversificación de la industria mediante el uso integral de la caña de azúcar como materia prima para un elevado número de derivados y subproductos (Cortés y col., 2021), (Ruano, 2021).

La caña de azúcar es una importante fuente alternativa de energía y debido a las grandes posibilidades de la producción de derivados de la industria azucarera, junto con la recuperación de la industria de crudos y refinados (Cortés y col., 2021), es inminente la necesidad de acelerar, aun en las limitadas condiciones actuales, el desarrollo diversificado de esta industria.

Las fábricas de azúcar cubanas de la provincia de Villa Clara se han caracterizado por su excelente calidad en el producto final. Para mejorar la calidad de este producto se implementa una nueva forma de pago a los productores por la materia prima caña. Así se paga según la calidad de la misma por los resultados obtenidos en el laboratorio de caña, lo cual viene dado a partir del cálculo del RPC. Esto traería disímiles resultados positivos para la calidad del azúcar crudo operar con una caña de alta calidad al igual que para la propuesta de inversión de la planta de levadura torula (León, 2021).

La planta de producción de levadura forrajera operaría a partir de mieles finales de caña y jugo de los filtros (20%). Se caracteriza por ser un proceso continuo en el cual las mieles aportan la fuente de energía y se lleva a cabo mediante seis unidades básicas: recepción y preparación de materias primas, preparación de sales nutrientes, fermentación y desemulsión, separación y lavado de la crema de levadura, termólisis y concentración, y secado y envase (Ruano, 2021).

Mediante el empleo del software *Statgraphics Centurion XV* se pueden obtener modelos finales de regresión múltiple de las etapas del proceso a partir de datos tomados directamente de los laboratorios de dichos centrales. Con un modelo global agregado del proceso tecnológico, es posible evaluar el impacto de la calidad la caña en la calidad del azúcar final, así como en las ganancias en una inversión de una planta de torula.

El presente artículo tiene como objetivo determinar el efecto del pago de la caña en la calidad del azúcar crudo y en la eficiencia inversionista de una planta de levadura torula en dos centrales azucareros cubanos A y B.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El precio de la caña se calcula a partir del rendimiento por caña (RPC) que se determina a partir de la ecuación 1, (Resolución 170, 2020):

$$RPC = \frac{2}{3} * pol\ caña * \left(1 - \frac{fibra\ caña+6,5}{100}\right) - \frac{1}{2} * bx\ caña * \left(1 - \frac{fibra\ caña+3}{100}\right) \quad (1)$$

En la sonda se mide el RPC, primero se mide el RPC de la caña cuando viene fresca del campo, después esta se traslada al centro de limpieza para eliminar la materia extraña, luego entra a fábrica y con el jugo del primer molino se realiza otro RPC y se compara con el RPC que se realizó anteriormente en la sonda.

Se realiza un análisis para determinar la calidad del azúcar crudo al utilizar caña de alta calidad, utilizando datos de Bx y Pol de las diferentes variables del proceso, según los datos disponibles de control del proceso en el Central Azucarero objeto de estudio A, tomados en la zafra del 2021 (Ruano, 2021).

2.1. Análisis de las variables de los modelos de regresión

En la tabla 1 se muestran las etapas operacionales del proceso de obtención de azúcar crudo en función de la miel final, lo cual sirve de base para el posterior análisis de las variables involucradas (Águila y col., 2022).

Tabla 1. Etapas operacionales del proceso de obtención de azúcar crudo en función de la miel final

<i>Etapas</i>	<i>Variables independientes</i>	<i>Variables dependientes</i>
Preparación de la caña	Bx caña	Bx jugo mezclado
	Pol caña	Pol jugo mezclado
Molienda	Bx jugo mezclado	Bx jugo claro
	Pol jugo mezclado	Pol jugo claro
Purificación del jugo	Bx jugo claro	Bx meladura
	Pol jugo claro	Pol meladura
Evaporación del jugo	Bx meladura	Bx masa C
	Pol meladura	Pol masa C
Cristalización y cocción	Bx masa C	Bx Miel Final
	Pol masa C	Pol Miel Final

En la tabla 2 se muestran las variables dependientes e independientes empleadas en los modelos de regresión, a analizar en cada etapa del proceso.

Tabla 2. Etapas del proceso de obtención de azúcar crudo con sus principales variables operacionales en el Central Azucarero A

<i>Etapas</i>	<i>Variables independientes</i>	<i>Variables dependientes</i>
Preparación de la caña	Bx caña	Bx jugo mezclado
	Pol caña	Pol jugo mezclado
Molienda	Bx jugo mezclado	Bx jugo claro
	Pol jugo mezclado	Pol jugo claro
Purificación del jugo	Bx jugo claro	Bx meladura
	Pol jugo claro	Pol meladura
Evaporación del jugo	Bx meladura	Bx masa A
	Pol meladura	Pol masa A
Cristalización y cocción	Bx masa A Pol masa A	Dextrana Pol Humedad Color ICUMSA Partículas Ferromagnéticas

2.1.1. Tratamiento estadístico

Para obtener los modelos que correlacionan las variables dependientes con las independientes se utilizó el programa *Statgraphics Centurion XV*, (2007), el modelo global se obtuvo agregando los modelos de cada etapa.

2.2. Modelo global por el método matricial en función de la caña empleada en la industria A

El modelo de azúcar crudo en función de la caña de azúcar, utilizando el método de agregación matricial de las etapas del proceso, es el 2 (Kafarov, 1982). Esto fue validado para la industria cubana por (González, 1982) y empleado por (Ruano, 2021). En la tabla 3 se muestra un análisis de los parámetros del azúcar crudo con diferentes calidades de la caña. En la tabla 4 se puede observar el precio de la tonelada de caña con los valores de la misma de alta calidad comparados estos a su vez con los de una caña de calidad normal.

$$\begin{bmatrix} \text{Dextrana} \\ \text{Pol} \\ \text{Humedad} \\ \text{Color ICUMSA} \\ \text{Partículas} \\ \text{ferromagnéticas} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 144,0907 & 2,7756 & 2,6555 \\ 99,4023 & -0,003657 & -0,00523 \\ 0,1338 & 0,00163 & -0,00025 \\ 1708,2271 & -8,789 & 0,4919 \\ 2,0158 & 0,025609 & 0,0376 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \text{Brix de caña} \\ \text{Pol de caña} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Tabla 3. Análisis de los parámetros del azúcar crudo con diferentes calidades de caña

<i>Parámetro</i>	<i>Norma*</i>	<i>Con caña calidad normal</i>	<i>Con caña alta calidad</i>
Dextrana	máx. 200	263,76	262,38
Pol	mín. 99	99,21	99,21
Humedad	máx. 0,20	0,169	0,168
Color ICUMSA	Máx. 1500	1501,64	1506,86
Partículas Ferromagnéticas	Ppm máx. 6	3,37	3,36

* (NC 85, 2013)

Tabla 4. Precio de la caña con diferentes calidades en el Central Azucarero A

<i>Parámetros</i>	<i>Norma</i>	<i>Caña calidad normal</i>	<i>Caña calidad alta</i>
Bx Caña	18-25	18,80	24,00
Pol Caña	17-20	16,75	19,46
Fibra Caña	13-16	13,20	16,00
RPC	mín 12,30	12,30	12,90
Precio (\$/t)	~494,44	496,15	520,52

2.3. Modelo global por el método de agregación matricial

El modelo de miel final en función de la caña de azúcar se muestra en la expresión 3:

$$\begin{bmatrix} Bx MF \\ Pol MF \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 106,1059 & -0,4403 & -0,2418 \\ 42,9201 & -0,1824 & -0,0959 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Bx Caña \\ Pol Caña \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.4. Modelo global por el método matricial en función de la caña empleada en la industria B

El modelo de azúcar crudo en función de la caña de azúcar es el 4:

$$\begin{bmatrix} Color horne \\ Factor de seguridad \\ Humedad \\ Pol \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 12,3580 & -0,0022 & 0,0033 \\ 0,2142 & -0,00015 & -0,00014 \\ 0,1883 & 0,000005 & 0,000074 \\ 99,1406 & 0,0019 & 0,0082 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Brix de caña \\ Pol de caña \end{bmatrix} \quad (4)$$

En la tabla 5 se puede apreciar un análisis de los parámetros del azúcar crudo con diferentes calidades de caña en el Central Azucarero B. Por otra parte en la tabla 6 se muestra el precio de la caña con diferentes calidades en el propio Central Azucarero B.

Tabla 5. Análisis de los parámetros del azúcar crudo con diferentes calidades de caña en el Central Azucarero B

<i>Parámetros</i>	<i>Norma</i>	<i>Molida normal</i>	<i>Con caña alta calidad</i>
Color horne (unidades de color)	máx. 13	12,41	12,24
Factor de seguridad	máx. 0,25	0,229	0,208
Humedad	máx. 0,20	0,199	0,190
Pol	mín. 99	99,17	99,35
Azúcar producido (t/d)	-	219,31	240,56

Tabla 6. Precio de la caña con diferentes calidades en el Central Azucarero B

<i>Parámetros</i>	<i>Norma</i>	<i>Caña calidad normal</i>	<i>Caña calidad alta</i>
°Bx Caña	18-25	22,1	24,27
Pol Caña	17-20	18,3	19,65
Fibra Caña (%)	13-16	14,6	16,85
RPC	mín 12,30	12,55	12,87
Precio (USD/t)	~494,44	506,43	519,08

Debe ser siempre mayor el RPC que se realizó en la sonda porque la caña tiene mayor frescura, pues al pasar al centro de limpieza para eliminar las materias extrañas esa caña perdió frescura y calidad ya que depende del tiempo en que se demoró allí para eliminar las materias extrañas. Después que es trasladada otra vez a la fábrica, depende del turno que le corresponda al camión o al vagón del ferrocarril, descargar la caña en el basculador. Todo ello unido al sol al que puede haber estado expuesta, lo cual también la va deteriorando. Son estos factores que influyen en que el RPC del jugo del primer molino sea menor que el de la sonda y todo ello influye en los parámetros del proceso, ya que al perder calidad la caña en ocasiones los valores de las variables operacionales no son los esperados.

2.5. Modelo global por el método matricial para la miel final.

El modelo de miel final en función de la caña de azúcar es el 5:

$$\begin{bmatrix} Bx MF \\ Pol MF \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 90,1371 & - 0,006 & 0,003434 \\ 36,6516 & - 0,0021 & - 0,0068 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ Bx Caña \\ Pol Caña \end{bmatrix} \quad (5)$$

Para el cálculo de las ganancias finales de levadura torula se utilizó la ecuación 6:

$$Gan. finales = \{gan.venta levadura + bag.sobrante\} - \{perd.azúcar + perd.MF+MF falta\} \quad (6)$$

2.6. Características de las materias primas y producto en la obtención de levadura torula

La miel final o melaza representa aproximadamente del 3 al 4 % de la caña molida y se acerca al 25 - 35 % de la sacarosa producida. Es un producto muy variable, que puede cambiar su cantidad y composición continuamente dentro de la fábrica de azúcar. Debido a su naturaleza puede afectar el proceso de propagación de la levadura en aspectos tan fundamentales como su rendimiento y calidad. Además, incide en los parámetros operacionales de los fermentadores, ya que contiene gran número de impurezas en forma coloidal, en suspensión y disueltas como ácidos orgánicos volátiles. Contiene también, una flora microbiana elevada (Díaz de los Ríos, 2019).

Sales nutrientes

En esta tecnología es necesario adicionar al medio de fermentación nitrógeno y fósforo, pues el contenido de ellos en la materia prima no es suficiente para el desarrollo del microorganismo. Se requiere el nitrógeno fundamentalmente como elemento básico en la formación de los aminoácidos, constituyentes de las proteínas; y el fósforo, como elemento esencial en los compuestos de alta energía para el metabolismo (Díaz de los Ríos, 2019).

El jugo de los filtros se puede definir como la corriente intermedia que se obtiene en las operaciones de separación de la torta de cachaza extraída del jugo clarificado en el proceso de fabricación del azúcar crudo. El jugo de los filtros (JF) debido a su baja retención tiene aproximadamente un 5% de sólidos insolubles, lo que obliga a recircularlos en cantidades de 10 a 20% con el jugo mezclado en el proceso de fabricación del azúcar, variando esta recirculación de acuerdo a la cantidad de materia extrañas que contenga la caña; este se considera conflictivo en el proceso de fabricación de azúcar crudo, ya que contiene polisacáridos como el almidón y la dextrana, que afectan el propio proceso de clarificación y de operaciones posteriores, a causa del aumento de viscosidad del jugo clarificado, meladura, masa cocida, etc.; y la calidad del azúcar crudo (Mansur y Cuellar, 1990).

La levadura torula es un forraje valioso por su alto contenido proteico y porque su razón proteína a carbohidratos es mayor que en los forrajes vegetales. Su alto contenido de lisina la hace ideal como suplemento de proteínas vegetales pobres en este aminoácido esencial. Además, es buena suministradora de vitaminas, sobre todo del complejo B (Díaz de los Ríos, 2019).

La planta propuesta de levadura torula, tendrá un área donde se encuentren los tanques de almacenaje de miel final y jugo de los filtros después de la extracción para dicho proceso. Se emplearán ambas materias primas, miel final y jugo de los filtros (20%). La

capacidad de dicha planta está en correspondencia con la demanda existente del producto siendo la misma de 40 t/d.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todo lo anteriormente expuesto muestra que al aumentar la calidad de la caña aumentan los niveles de producción de azúcar, por lo que el central azucarero obtendrá ganancias al vender más cantidad de la misma. Se tomó como base que la zafra dura 153 días aproximadamente en el Central Azucarero A y 150 días en el Central Azucarero B y que la tonelada de azúcar tiene un precio de 236,67 USD en el mercado mundial.

En la tabla 7 se muestran las ganancias en el proceso de obtención de azúcar crudo sin y con extracción de jugo de los filtros en el Central Azucarero A. Al aumentar la calidad de la caña aumentan los niveles de producción de azúcar por lo que el central azucarero también obtendrá ganancias al vender más cantidad de la misma, tomando como base que la zafra dura 153 días aproximadamente y que la tonelada de azúcar tiene un precio de 236,67 USD.

Tabla 7. Ganancias en el proceso de obtención de azúcar crudo sin y con extracción de jugo de los filtros en el Central Azucarero A

<i>Calidad de la caña</i>	<i>% de extracción</i>	<i>Azúcar crudo (t/año)</i>	<i>Azúcar crudo (USD/año)</i>
Normal	sin extracción	37214,19	8807358,3
	20	36140,13	8553164,1
	40	35064,54	8298607,8
	60	33990,48	8044413,6
Alta	sin extracción	43067,97	10192752,9
	20	41824,08	9898365,6
	40	40580,19	9603978,3
	60	39336,30	9309591,0

En la tabla anterior se evidencia que con una caña de alta calidad aumentan los niveles de producción de azúcar crudo, lo que traería mayores ingresos monetarios al Central Azucarero A. A medida que se incrementa el por ciento de extracción de jugo de los filtros, hay una disminución del azúcar crudo a obtener.

En la tabla 8 se pueden apreciar las ganancias en el proceso de obtención de azúcar crudo en el Central Azucarero B en función de los por cientos de extracción de jugos de los filtros.

Tabla 8. Ganancias en el proceso de obtención de azúcar crudo en el Central Azucarero B

<i>Calidad de caña</i>	<i>% de extracción</i>	<i>Azúcar ensacada (t/año)</i>	<i>Costo(\$/t)</i>	<i>Azúcar a granel (t/año)</i>	<i>Costo(\$/t)</i>	<i>Ganancias totales(\$)</i>
Normal	sin extracción	25537,55	6134173,42	7358,95	1741617,47	7875790,89
	20%	24779,50	5952086,56	7140,50	1689919,28	7642005,84
	40%	24034,25	5773076,44	6925,75	1639094,64	7412171,08
	60%	23275,03	5590709,88	6706,97	1587317,04	7178026,92

Alta	sin extracción	28012,01	6728542,97	8071,99	1910371,16	8638914,12
	20%	27185,25	6529953,61	7833,75	1853987,57	8383941,18
	40%	26357,33	6331084,56	7595,17	1797524,57	8128609,13
	60%	25530,57	6132495,20	7356,93	1741140,99	7873636,19

En la tabla 9 se muestra el Bx de la miel final utilizado en los balances de materiales de la planta de levadura y el Bx obtenido a partir de los modelos de regresión con una caña de alta calidad (NC 85, 2013), para ambos centrales azucareros.

Tabla 9. Brix miel final y brix obtenidos por modelos los Centrales Azucareros A y B

<i>Central Azucarero</i>	<i>Parámetros</i>	<i>Norma (°Bx)</i>	<i>°Bx utilizado</i>	<i>°Bx obtenido</i>
A	Bx miel final	89-90	89	90,85
B	Bx miel final	88-90	89	90,06

3.1. Efecto del pago de la caña en la inversión de la planta de levadura torula

La planta de levadura torula obtendrá cuantiosas ganancias si se emplea una caña de alta calidad en el proceso de azúcar crudo para la obtención de la miel final que necesita como principal materia prima, como se puede apreciar en la tabla 10. Esto demuestra el pago de la caña según la calidad de la misma.

Al aumentar la calidad de la caña aumenta el Brix de la miel final y por ende van a aumentar las ganancias generadas por la planta de levadura torula pues se va a necesitar menos miel para la misma lo cual se evidencia en la siguiente tabla donde se muestra lo que se gana utilizando esa caña de alta calidad, comparado con el Brix utilizado.

Tabla 10. Ganancias finales de la planta de levadura torula

<i>°Bx</i>	<i>% de extracción</i>	<i>Miel requerida para la planta de levadura (t/año)</i>	<i>Ganancias finales de la planta de levadura (USD/año)</i>
89,00	20	27797,20	2686108,699
	40	40607,50	3941330,710
	60	60911,25	5742146,001
90,85	20	27232,02	2720019,499
	40	39780,09	3990975,310
	60	59670,43	5816595,201

Las ganancias finales son significativas en relación al precio pagado por la caña según su calidad, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Relación entre el incremento de las ganancias finales y el pago de la caña con calidades diferentes de la misma

<i>% de extracción</i>	<i>Incremento en ganancias finales (USD/año)</i>	<i>Incremento en pago de la caña (USD/año)</i>
sin extracción	1385394,6	447210,4412
20	1604101,69	447210,4412
40	1605704,042	447210,4412
60	1752073,996	447210,4412

Las ganancias finales, que incluye las de la planta de levadura torula junto con las de azúcar crudo, son significativas con respecto al pago de la caña en los diferentes porcentajes de extracción del jugo de los filtros. Es por ello que es factible pagar la caña según su calidad al traer grandes ingresos al complejo industrial.

Todo lo anteriormente expuesto evidencia que al aumentar la calidad de la caña se incrementan tanto los niveles de producción de azúcar, como los de miel final, así como la calidad, por lo que el central azucarero y la planta de levadura se verán beneficiados en el Central Azucarero B.

En la tabla 12 se muestra que con una caña de alta calidad aumenta la producción de miel final y que al incrementar el porcentaje de extracción de jugo de los filtros irá disminuyendo su consumo.

Tabla 12. Comparación de la producción de miel

<i>% de extracción</i>	<i>Miel producida (t/año)</i>	
	<i>Caña normal</i>	<i>Caña de alta calidad</i>
0	19200	21150
20%	18600	20550
40%	18150	20100
60%	17550	19500

En la tabla 13 se evidencia que las ganancias finales son siempre significativas en relación al precio pagado por la caña según su calidad, que como puede observarse es siempre constante, por ser una acción anterior e independiente de la extracción del jugo de los filtros.

Tabla 13. Relación entre el incremento de las ganancias finales y el pago de la caña con calidades diferentes de la misma

<i>% de extracción</i>	<i>Incremento en pago (\$/año)</i>	<i>Incremento en ganancias (\$/año)</i>
Sin extracción	436218,55	763123,23
20%	436218,55	884566,07
40%	436218,55	861568,79
60%	436218,55	845310,02

El incremento en pago de la caña con el aumento en ganancias finales que aumentan hasta un máximo aproximadamente, para el caso estudiado, entre un 20 y 40 por ciento de extracción de los jugos de los filtros a partir de ese punto de máxima ganancia se produce una disminución de su valor a medida que aumenta el porcentaje de extracción de jugo de los filtros.

3.2. Determinación del porcentaje de jugo de los filtros a extraer

Al extraer 20, 40 y 60% de jugo de los filtros para la producción de levadura torula ocurren pérdidas de azúcar crudo, como se muestra a continuación.

En la tabla 14 Se puede apreciar que a medida que aumenta los porcentajes de extracción de jugo de los filtros disminuye la cantidad de azúcar producida y por ende aumentan las pérdidas de la misma, pero en muy pequeñas cantidades.

Tabla 14. Pérdidas de azúcar crudo por la extracción del jugo de los filtros

<i>Extracción JF</i>	<i>Azúcar (t/d)</i>	<i>Pérdidas (t/d)</i>	<i>Pérdidas (t/año)</i>	<i>Pérdidas (USD/año)</i>
Sin extracción	243,23	-	-	-
20%	236,21	7,02	1074,06	254194,20
40%	229,18	14,05	2149,65	508750,50
60%	222,16	21,07	3223,71	762944,70

Considerando que la tonelada de azúcar crudo se cotiza en el mercado mundial aproximadamente 236,67 USD, la extracción de dichos por cientos traería pérdidas monetarias.

Según el análisis realizado se puede apreciar que con el 20% de extracción no existen tantas pérdidas comparado con el 60%, pero con este último se va a requerir de más capacidad de producción y por ende de más miel final, ver tabla 15.

Como sucede con el azúcar, también van a existir pérdidas de miel final, una de las materias primas fundamentales para la producción de levadura torula, al extraer los por cientos antes mencionados de jugo de los filtros.

Tabla 15. Miel final según la extracción del jugo de los filtros

<i>Extracción de JF</i>	<i>Miel Final Producida (t/d)</i>	<i>Miel Final Requerida (t/d)</i>	<i>Pérdidas (t/d)</i>	<i>Pérdidas (t/año)</i>
Sin Extracción	132,12	-	-	-
20%	128,68	67,88	3,44	526,32
40%	125,23	94,70	6,89	1054,17
60%	114,89	142,05	17,23	2636,19

Considerando que los días de zafra son aproximadamente 153 se necesita almacenar miel final para cuando el central esté parado, pues la planta de torula pueda funcionar los 365 días del año, el mejor por ciento de extracción de jugo de los filtros después del análisis realizado es el 20% debido a la razón anterior, además que el 60% requiere de mucha miel final, más de la que sería capaz de producir el central en un día (Ruano, 2021).

4. CONCLUSIONES

1. Con la aplicación del análisis estadístico de datos del proceso, es factible obtener modelos de las diferentes etapas del proceso, con apoyo de un software estadístico que permitió, mediante agregación matricial, obtener un modelo global del sistema.
2. Al utilizar una caña de alta calidad se generan 1604101,69 USD/año con un 20% de extracción de jugo de los filtros como ganancias finales que incluye la planta de levadura y el central azucarero A.
3. Se demostró la factibilidad del pago de la caña a los productores por su calidad. Esto se evidenció con el incremento en las ganancias de la planta de levadura y del central azucarero de 1604101,69 USD/año, que supera el incremento en pago de la caña que es de 447210,44 USD/año.

REFERENCIAS

- Águila, L.E., González, E., y Albornas, 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://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/704
- Cortés, M.F., 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://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/642
- Díaz de los Ríos, M., Resultados de los Institutos Cubanos de Investigación, Desarrollo e Innovación en las tecnologías sobre azúcar y derivados., Capítulo 14, ICIDCA, 2019, pp. 330-338.
- González, E., Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la obtención de cartón para ondular., Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 1982.
- León, E.A., Evaluación del porcentaje de extracción de los jugos de los filtros destinado a producir levadura torula para mejorar el balance energético de un central., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2021.
- Mansur, M., y Cuellar, A., Caracterización de jugo crudo y clarificado para la fermentación alcohólica., II Seminario Internacional sobre azúcar y derivados de la caña., Tomo I, Diversificación, 1990.
- NC 85., Norma Cubana Azúcar Crudo de caña. Especificaciones., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2013, pp. 1-10.
- Kafarov, V., Cybernetic Methods in Chemistry and Chemical Engineering., Editorial MIR, Moscow, 1982, pp. 360-401.
- Resolución 170., Sistema de Precios por Calidad de la Caña (SPCC), 28 de octubre de 2020.
- Ruano, M.M., Impacto económico de extraer jugo de los filtros para producir levadura torula con vistas a incrementar el bagazo disponible., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2021.
- Statgraphics Centurion XV., Manual versión 15.2.06, 2007.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Meliza M. Ruano Bormey. Realizó la toma de datos, los cálculos y análisis, así como colaboró con la escritura del artículo.
- Dr.Sc. Erenio González Suárez. Dirigió la investigación, participó en el análisis de los resultados.
- Ing. Erick Ariel León Chirino. Realizó la toma de datos, los cálculos y análisis.

- Ing. Leidys de la Cruz Martínez. Dirigió la investigación, participó en el análisis de los resultados.
- Dra.C. Yaillet Albernas Carvajal. Participó en el análisis de los resultados, así como en la escritura y corrección del artículo.