

Optimización del proceso de extracción de aceite en cera de caña de azúcar, con el empleo de etanol

Eduardo Hernández-Ramos* y Manuel Díaz-de los Ríos
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y Carreta Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
[*eduardo.hernandez@icidca.azcuba.cu](mailto:eduardo.hernandez@icidca.azcuba.cu)

RESUMEN

En el presente estudio se determinan las condiciones óptimas para la extracción del aceite contenido en la cera de caña, mediante el empleo de etanol al 95 % v/v. Las variables estudiadas fueron la relación másica etanol-cera, la temperatura y el tiempo de mezclado o dispersión de la cera cruda en etanol. Para ello se realizó un diseño experimental de cribado 2^3 y, posteriormente, un diseño de experimentos de superficie de respuesta. Las variables dependientes evaluadas fueron el porcentaje de extracción de aceite y un indicador de costo de esa etapa del proceso. Las condiciones óptimas, determinadas con la ayuda de la función deseabilidad, fueron: temperatura de 32 °C, relación másica etanol-cera de 6.4:1 y tiempo de dispersión de 8 horas. Los resultados obtenidos fueron validados satisfactoriamente en la instalación industrial.

Palabras clave: cera de caña de azúcar, aceite de caña de azúcar, extracción con solventes.

ABSTRACT

In the present study, the optimal conditions for the extraction of oil contained in the sugar cane wax by the use of ethanol at 95 % v/v was determine. The variables studied were ethanol-wax mass ratio, temperature and the mixing or dispersion time of the raw wax in ethanol. For this, an experimental design of screening 2^3 and subsequently a design of response surface experiments were carried out. The dependent variables evaluated were the oil extraction percentage and a cost indicator of that stage of the process. The optimal conditions, determined with the help of the desirability function, were temperature of 32 °C, mass ratio of ethanol-wax of 6.4: 1 and dispersion time of 8 hours. The results obtained were successfully validated in the industrial facility.

Key words: sugarcane wax, sugarcane oil, solvent extraction.

INTRODUCCIÓN

En la década del '70 del pasado siglo, en Cuba se comenzó a trabajar en el desarrollo de una tecnología para la refinación de cera de caña de azúcar. Estas investigaciones se favorecieron por la aparición de un mercado atractivo en el sector farmacéutico.

La tecnología cubana desarrollada consta de tres etapas principales, en las que se utiliza etanol al 95 % v/v como solvente, para separar la cera de caña de azúcar en tres fracciones fundamentales: aceite de caña de azúcar, fracción rica en alcoholes superiores (FRAS) y residuo o resinas, como también se le llama. La primera etapa radica en la extracción del aceite; consiste en añadir la cera de caña de azúcar fundida en un tanque agitado con etanol, a baja temperatura y, cumplido el tiempo de extracción, se separa el etanol con el aceite extraído de la cera desgrasada, con el em-

pleo de una centrifuga decantadora. Esta cera desgrasada pasa a una segunda etapa, en la que se extrae la cera refinada con etanol caliente, en una centrífuga extractora-decantadora, recirculando la fase pesada (resina); y, en la tercera y última etapa, se separa la cera del etanol, con la ayuda de una centrífuga de tambor deslizante (1).

El proceso de refinación de cera de caña de azúcar no está exento de inconvenientes, tales como: baja eficiencia de extracción y elevado consumo de solvente. En la literatura existen varios estudios reportados sobre los procesos de extracción de aceite de caña de azúcar, mayormente con el objetivo de reducir el consumo de solvente, el tiempo de extracción y la contaminación del medioambiente (2). Las principales direcciones hacia las que se orientaron las investigaciones están relacionadas con las precondiciones del sólido, el uso de nuevos solventes, mejorar la relación solvente-soluto, selectividad de los solventes y el rendimiento del proceso (3).

El uso de etanol al 95 %v/v, como solvente para la extracción de aceites vegetales, ha sido investigado por distintos autores, Da Silva *et al.* (4) estudiaron la solubilidad de aceites de canola, maíz, jatrofa y maracauba en etanol, a temperaturas desde 25 hasta 60.15 °C, y determinaron las curvas de solubilidad para estos, mientras que Shariati, *et al.* (5) determinaron las curvas de solubilidad del aceite de girasol en etanol.

Fleitas y Lago (6) exponen las ventajas del empleo de etanol para la extracción de aceite de café y girasol, al obtener concentraciones a 70 °C, del 11.4 y 18.6 % de aceites, respectivamente, durante su extracción, a partir de semillas. Un estudio similar fue desarrollado por Rodrigues *et al.* (7) para el aceite de soya y concluyó que el empleo de etanol para este proceso, es factible; mientras que Da Costa y Oliveira (8) lo evaluaron en la extracción de aceite de arroz. Ambos estudios utilizaron diseños de experimento para sus respectivos propósitos. Autores del ICIDCA (9) consideraron la temperatura y el grado alcohólico como variables independientes fundamentales, lo que se corresponde con lo señalado por trabajos previos, sobre el empleo de etanol como solvente de aceites vegetales.

Trabajos realizados en el Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) señalan la etapa de extracción de aceite como crítica, por su peso en la calidad del producto final y en el consumo de etanol (9). Este trabajo también estudió la influencia de la agitación, la calidad del solvente y el tiempo de mezclado sobre los rendimientos del proceso. Concluyó que la agitación no incide sobre el rendimiento, mientras que el tiempo sí. Destaca que el etanol absoluto es un solvente adecuado para la extracción de aceite, así como la no influencia de premezclado en el rendimiento de extracción.

García *et al.* (10) estudiaron la solubilidad de las tres fracciones de la cera de caña de azúcar en etanol y mezclas de este con gasolina, así como dos métodos para el fraccionamiento de cera de caña de azúcar. Resaltaron la escasa solubilidad del aceite en etanol a bajas temperaturas y el exceso de solvente que se necesita para lograr un 80 % de extracción en estas condiciones. Recomendaron estudiar la etapa de extracción de aceite con mayor profundidad.

Domínguez *et al.* (11) estudiaron la influencia del tiempo de contacto, temperatura de contacto, concentración del solvente y relación soluto-solvente con herramientas estadísticas; llegaron a obtener un modelo en el que se expresa que la concentración del solvente y el tiempo de dispersión en el intervalo estudiado son las variables de mayor influencia, sobre la cantidad de aceite extraído.

En otros estudios, Hernández *et al.* (1) corroboran que el etanol absoluto es un solvente adecuado para la extracción de aceite; sin embargo, las condiciones técnico-económicas actuales no permiten su empleo en la industria, por lo que el objetivo del presente trabajo es establecer parámetros de operación para la etapa de extracción de aceite con etanol al 95 %v/v, en el proceso de refinado de cera de caña de azúcar, a partir de la optimización de las variables temperatura, tiempo y relación cera-etanol, para así elevar la eficiencia, mejorar la selectividad y reducir el consumo de solvente, así como reducir los costos del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para el estudio se utilizó un agitador de velocidad ajustable con impelente de turbina, un criostato para el control de la temperatura de los experimentos, una bomba de vacío acoplada a un embudo buchner, así como una plancha eléctrica para la fusión de la cera, balanza analítica, estufa, rotoevaporador, y cristalería diversa. Como solvente se utilizó etanol al 95 %v/v de grado técnico y, para los análisis, acetona HPLC e isopropanol HPLC. Se empleó cera cruda procedente de la planta ubicada en el central Majibacoa, provincia de Las Tunas.

Determinación de aceite, cera y resina en cera cruda y refinada

Para la determinación del contenido de aceite en cera se pesan 20 g de muestra, en un beaker previamente tarado, se funden y se vierten lentamente en 300 ml de acetona, a 20 °C, bajo agitación durante 30 minutos. El beaker vacío es pesado al concluir el vertimiento, para determinar las pérdidas de cera. Concluido el tiempo de dispersión, se filtra la suspensión en vacío, mediante el empleo de un filtro buchner con papel de filtración rápida. El filtrado con el aceite es trasvasado a un balón, previamente tarado, para la recuperación de la acetona, en un rotoevaporador. El contenido de aceite es determinado gravimétricamente.

Para la determinación de los contenidos de cera y resina, se vierte una muestra de cera desgrasada en isopropanol, en una relación isopropanol: cera v/m de 15:1 y se somete a reflujo durante 15 minutos. Posteriormente, se decanta la cera solubilizada en el isopropanol; esta operación se repite cuatro veces. El sólido retenido (resina) es secado en estufa, a 105 °C, mientras el filtrado es despojado del solvente en un rotoevaporador. Los contenidos de resina y cera se determinan de forma gravimétrica.

Optimización de la etapa de extracción de aceite de caña de azúcar

Para la optimización de la etapa se realizó un diseño de experimento factorial exploratorio, para estudiar la influencia de las variables temperatura, tiempo y relación etanol-cera, sobre el porcentaje de extracción de aceite, indicador de costo y pérdidas de cera. Se utilizó un diseño de cribado 2^3 , con tres puntos centrales y una réplica de este. El rango estudiado para cada variable independiente se ilustra en la tabla 1. En todas las experiencias se emplearon 450 ml de etanol al 95 %v/v (355.5 g) y la cantidad de cera determinada por la relación etanol-cera, para cada experimento del diseño.

Tabla 1. Plan experimental de diseño de exploración

Variable	Nivel máximo	Nivel medio	Nivel mínimo
X1: Etanol:cera (w/w)	12	9	6
X2: Temp (°C)	28	15	12
X3: Tiempo de mezcla (h)	8	4.5	1

La cera de caña de azúcar se fundió y se añadió lentamente a un beaker de 600 ml con etanol bajo agitación y a la temperatura de estudio, hasta cumplir el tiempo definido para el experimento. Para la mantención de la temperatura se introdujo el beaker en un criostato. Al cumplirse el tiempo de dispersión, se filtra por un embudo buchner y papel de filtración rápida; posteriormente, la fase ligera se añade a un rotoevaporador, donde se extrae el solvente. La muestra se seca en estufa a 105 °C hasta lograr un peso constante; se le realizan determinaciones de aceite, cera y resina, se-

gún los procedimientos previamente descritos, para conocer el porcentaje de cada componente. El porcentaje de extracción se calcula a partir de la ecuación:

$$\% Ext = \frac{\text{aceite extraído}}{\text{aceite en cera de caña de azúcar}} * 100$$

Para el cálculo del indicador de costo se tuvo en cuenta el costo del etanol consumido y la electricidad consumida por gramo de aceite extraído, pues las variables estudiadas inciden fundamentalmente, en estos aspectos. Este indicador permite estimar el comportamiento de los costos de la etapa de extracción de aceite y la influencia de las variables independientes sobre ellos.

En la segunda parte del estudio se empleó un experimento factorial 2², con tres puntos centrales y puntos estrellas, con el objetivo de encontrar un óptimo. Se ejecutaron réplicas de cada punto, para un total de 20 corridas experimentales. Para un tiempo de extracción máximo de 8 horas, se estudió la influencia de la temperatura y la relación etanol-cera sobre el porcentaje de extracción de aceite, indicador de costo y pérdidas de cera, según el plan experimental que se reporta en la tabla 2

Tabla 2. Plan experimental de diseño de optimización

X1: Temp. (°C)	X2: Etanol:cera (w/w)	X1: Temp. (°C)	X2: Etanol:cera (w/w)
-1.41	0	26.34	5
1	-1	36	4
0	1.41	32	6.41
0	-1.41	32	3.59
-1	-1	28	4
1	1	36	6
0	0	32	5
-1	1	28	6
1.41	0	37.66	5
0	0	32	5
0	0	32	5
0	0	32	5

Al concluir el estudio, se realizaron varias pruebas en la planta para corroborar el comportamiento a escala industrial. Para ello, se emplearon las condiciones óptimas reportadas por el estudio en el laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de experimento factorial de cribado

El porcentaje de extracción de aceite, el indicador de costo y el porcentaje de pérdidas de cera se muestran en la tabla 3. Se observa que el mayor porcentaje de extracción de aceite corresponde a la corrida experimental ocho, del bloque uno, en la que se evalúan los niveles máximos de temperatura, tiempo y relación etanol-cera. Otros valores elevados de extracción se corresponden con las corridas seis y dos, del bloque dos, en los que se logra un porcentaje de 80.40 y 79.17, respectivamente. Las pérdidas de cera son menores o muy próximas al 2 %, por lo que se desprecian y se define que, en el intervalo estudiado, el solvente es selectivo, respecto al aceite de caña de azúcar.

Tabla 3. Resultados obtenidos en el diseño de experimentos factorial de cribado

Bloque	No.	% Recup. de aceite	Índice de costo (CUP/g A)	% Pérdidas de cera	g de aceite/ 100 g etanol
1	1	37.98	19.50	0.24	1.63
1	2	64.61	10.29	1.38	3.08
1	3	57.26	13.06	0.00	2.53
1	4	70.61	9.46	2.51	3.37
1	5	58.27	25.11	0.00	1.27
1	6	71.53	18.59	0.00	1.71
1	7	73.86	20.27	0.00	1.62
1	8	87.38	16.77	1.84	1.90
1	9	38.41	27.97	0.00	1.14
1	10	61.23	17.64	0.00	1.82
1	11	47.99	23.59	0.00	1.36
2	1	40.67	17.22	0.00	1.85
2	2	79.17	8.40	0.46	3.77
2	3	54.43	13.56	0.00	2.37
2	4	77.68	8.60	0.70	3.70
2	5	48.55	28.26	0.00	1.13
2	6	80.40	16.54	0.47	1.92
2	7	65.89	22.30	0.00	1.47
2	8	81.48	16.38	0.48	1.94
2	9	56.21	17.92	0.09	1.79
2	10	60.12	16.76	0.02	1.91
2	11	56.38	17.87	0.06	1.79

Entre los resultados, se observan valores de extracción de aceite de 37.98 %, correspondiente a la corrida experimental uno, del bloque uno, similar a los reportados (10), en los que se alcanza un valor de extracción de 33.5 %, con el empleo de tiempos de 15 minutos, grado alcohólico de 98 %v/v y una temperatura de 18 °C.

En el mismo trabajo se reportan valores de 58.07 % de extracción de aceite, con el uso de etanol al 98 % v/v, una temperatura de 18 °C y un tiempo de agitación de 8 horas. Estos valores son similares a los obtenidos en las corridas experimentales 9, 10 y 11, del bloque 2, en condiciones análogas. Domínguez *et al.* (11) reportan un porcentaje de extracción de aceite de 30.81 %, a 20 °C de temperatura, relación etanol-cera de 10 y un tiempo de extracción de dos horas, similar a los obtenidos en el experimento ejecutado bajo estas condiciones, en el presente trabajo.

Otros trabajos (12 y 13), reportan valores de 4 y 5.85 gramos de aceite por cien gramos de alcohol, respectivamente. Los valores obtenidos son apreciablemente menores, excepto los casos en los que se utiliza la máxima temperatura y el máximo tiempo, lo que indica que el etanol no llega a saturarse.

En el diagrama de Pareto de la figura 1, se muestran los efectos significativos para la variable respuesta porcentaje de extracción.

En el diagrama se puede apreciar que las variables temperatura, relación etanol-cera y tiempo son variables significativas e influyen positivamente en el porcentaje de extracción de aceite; de forma que, para obtener un mayor nivel de extracción, se deberían aumentar estas. Estos resultados

son consecuentes con los publicados por otros autores (4, 8 y 9), que exponen la influencia de estas variables sobre las concentraciones de aceite en etanol.

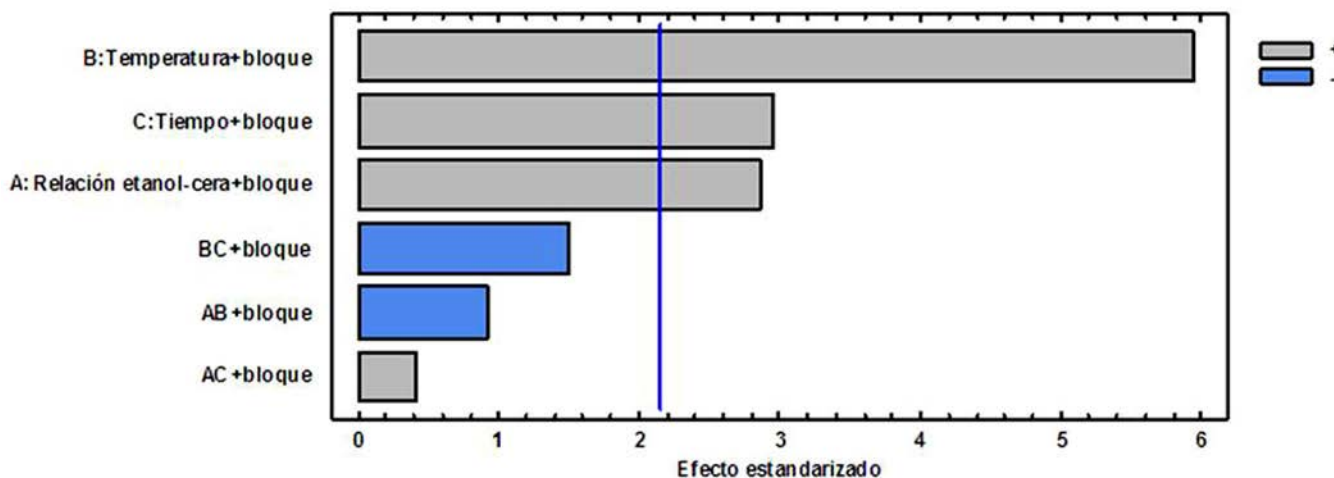


Figura 1. Diagrama de Pareto, para el porcentaje de extracción de aceite.

El modelo reportado explica el 81 % los datos, con independencia de los residuos, ya que el coeficiente Durbin-Watson es cercano a dos, con un valor de significancia (p) mayor que 0.05. Se observa que el porcentaje de extracción de aceite es máximo, para el máximo valor de las variables independientes, dentro del intervalo estudiado.

$$\text{Porcentaje de extracción de aceite} = 63.3987 + 5.30937 \cdot \text{Relación etanol-cera} + 10.9969 \cdot \text{Temp.} + 5.46312 \cdot \text{Tiempo}$$

Para la variable respuesta indicador de costo se llevó a cabo el mismo procedimiento, que se muestra en el gráfico de Pareto, de la figura 2.

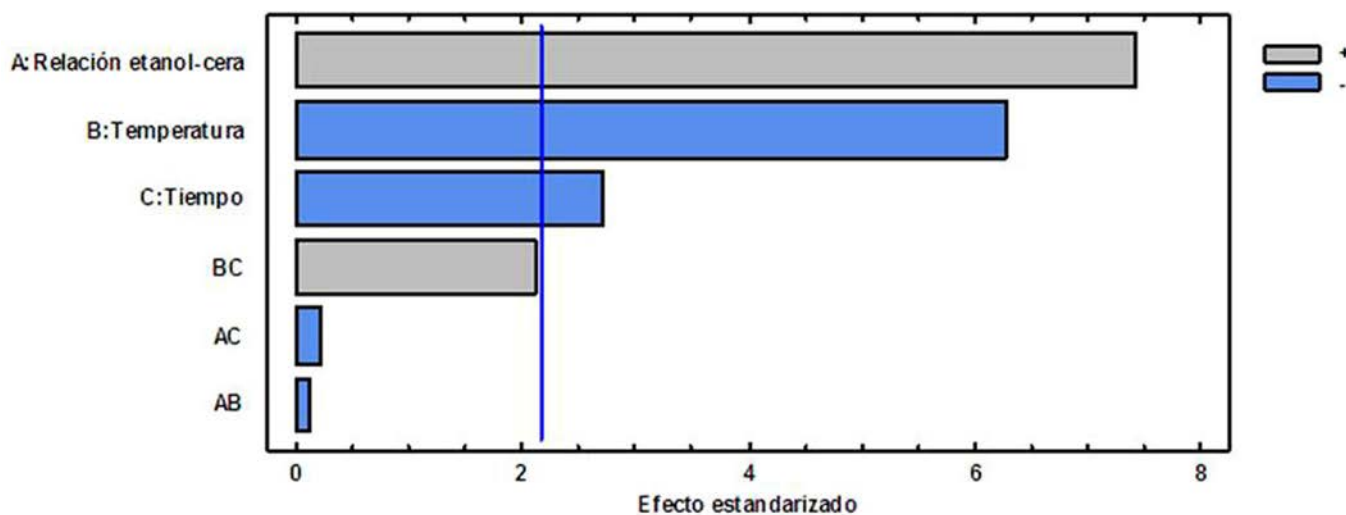


Figura 2. Diagrama de Pareto para la variable indicador de costo.

En este caso se observa que las variables relación etanol-cera, temperatura y tiempo tienen un efecto significativo. La relación etanol-cera tiene una influencia positiva, indica que cualquier aumento en esta incrementaría los costos, no así para las variables temperatura y tiempo, pues para disminuir los costos se deberían incrementar estas. Los resultados son lógicos, ya que al aumentar la relación etanol-cera se utilizaría una mayor cantidad de solvente, lo cual encarece dicha etapa. De igual forma, al aumentar la temperatura por encima de 18 grados, se incurre en un menor gasto por disminución de la carga, en el sistema de refrigeración.

El modelo obtenido en el programa explica el 85.4 % de los datos, presenta una buena bondad de ajuste, así como coeficientes y residuos independientes, este último reflejado en el coeficiente Durbin-Watson, que está próximo a dos, con un valor de p mayor que 0.05.

$$\text{Costo} = 17.069 + 4.00813 \cdot \text{Relación etanol-cera} - 3.39062 \cdot \text{Temperatura} - 1.46937 \cdot \text{Tiempo}$$

Para conocer las condiciones en las que se obtendría el máximo de extracción de aceite, con el indicador de costo más bajo, se utilizó la opción optimizar múltiples modelos de Statgraphic Centurión, que usa la función deseabilidad, para la optimización de respuestas múltiples. En la figura 3 se observa la superficie respuesta, para este análisis.

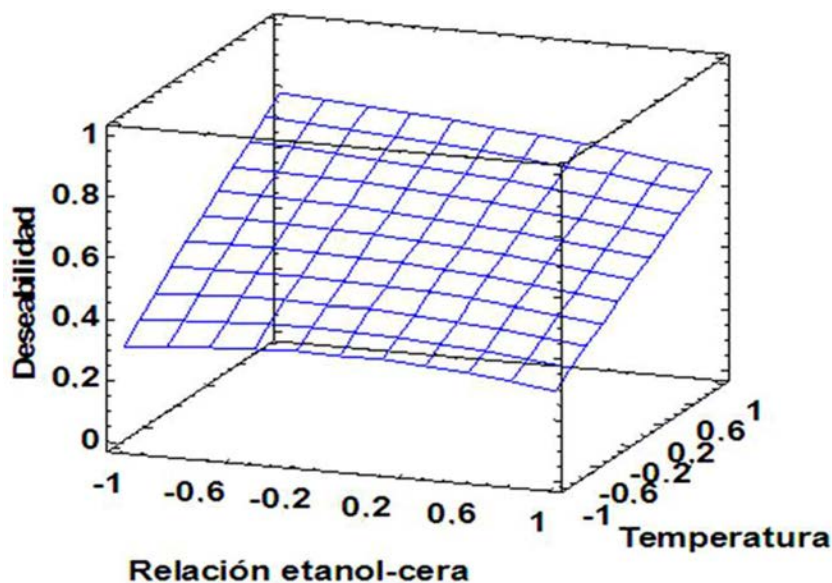


Figura 3. Superficie respuesta para optimización de múltiples modelos.

Tabla 4. Valores óptimos propuestos

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Relación etanol-cera cruda	-1.0	1.0	-1.0
Temperatura	-1.0	1.0	1.0
Tiempo	-1.0	1.0	1.0

tracción de aceite de cera de caña de azúcar y reporta, para el intervalo estudiado, que las mejores condiciones son: temperatura de 28 °C, un tiempo de 8 horas y una relación másica de etanol-cera de 6.

Dados los resultados obtenidos se plantea estudiar, con un diseño de superficie respuesta, la influencia de la temperatura y la relación etanol-cera sobre el porcentaje de extracción de aceite y sobre el indicador de costo, para un tiempo de extracción constante de 8 horas.

Diseño de experimento factorial de superficie respuesta

Los resultados del diseño de optimización se muestran en la tabla 5. Como se observa, se obtuvieron valores de extracción de aceite de hasta 91 % (corrida 6, bloque 1) y el menor valor reportado fue de 46 % en la corrida dos, del bloque dos. En estos experimentos se obtienen cantidades de aceites por 100 g de etanol similares y, en algunos casos, superiores a los reportados por la literatura.

En la figura 4, se muestra el diagrama de Pareto para las variables independientes, se observa que la única que resultó significativa fue la relación etanol-cera. En este caso, la temperatura no resultó significativa en el rango estudiado.

En la figura se observa que la variable relación másica etanol-cera de caña de azúcar no tiene una pendiente muy pronunciada, que no es así para la temperatura, por lo que si se desea aumentar la extracción de aceite y disminuir el costo, se debería utilizar el valor que indica el nivel inferior de esta variable y el mayor para temperatura.

El programa Statgraphics sugiere condiciones óptimas de trabajo, de acuerdo con el análisis de la función deseabilidad, para aumentar la extracción de aceite y disminuir los costos. En la tabla 4, se muestran estos resultados.

Estos valores descodificados coinciden con los máximos estudiados, para la temperatura y el tiempo, así como con la mínima relación etanol-cera cruda.

Este diseño permitió verificar la influencia de la temperatura, el tiempo de extracción de aceite y la relación etanol-cera, sobre el porcentaje de extracción de aceite de cera de caña de azúcar y reporta, para el intervalo estudiado, que las mejores condiciones son: temperatura de 28 °C, un tiempo de 8 horas y una relación másica de etanol-cera de 6.

Tabla 5. Resultados del diseño de optimización

Bloque	No.	% Recup. de aceite	Índice de costo (CUP/g A)	% Pérdidas de cera	g de aceite/ 100 g etanol
1	1	80.93	1.12	6.740	4.75
1	2	80.96	4.38	5.334	6.04
1	3	82.72	0.21	8.281	3.84
1	4	73.82	0.74	5.066	6.29
1	5	64.72	0.35	6.711	4.74
1	6	91.49	1.40	4.798	6.71
1	7	78.53	2.84	9.458	4.77
1	8	70.61	2.50	7.210	3.36
1	9	74.24	1.23	6.693	4.47
1	10	78.87	0.73	6.671	4.75
2	1	56.98	0.00	7.585	4.22
2	2	46.14	0.00	7.540	4.27
2	3	60.04	0.00	9.231	3.45
2	4	48.33	0.00	6.467	4.92
2	5	46.89	0.00	7.345	4.33
2	6	63.34	0.00	8.31	3.86
2	7	54.50	0.00	7.856	4.05
2	8	57.47	0.00	8.678	3.66
2	9	61.50	0.00	7.239	4.46
2	10	51.53	0.00	8.436	3.77

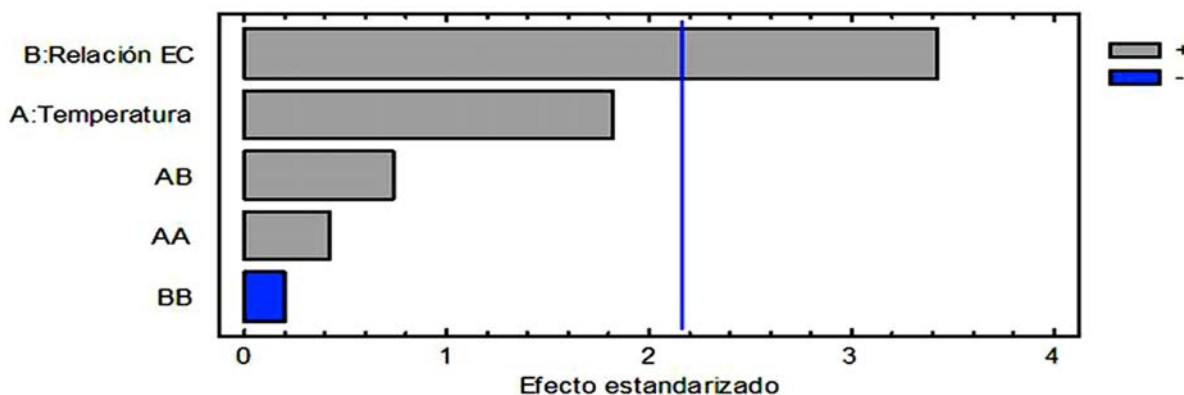


Figura 4. Diagrama de Pareto estandarizado, para porcentaje de extracción de aceite.

Para la extracción de aceite, el programa reporta un modelo que ajusta el 89.27 % de los datos y cumple con la independencia de sus coeficientes y la de sus residuos, ya que el coeficiente Durbin-Watson está cercano a dos, con un valor de p mayor de 0.05.

$$\text{Porcentaje de extracción} = 66.1805 + 4.58419 \cdot \text{Relación etanol-cera}$$

El modelo representa una recta con pendiente positiva e indica que al aumentar el valor de la relación etanol-cera, dentro del intervalo estudiado, se obtiene un incremento en la extracción de aceite, independientemente de la temperatura.

El efecto de las variables independientes sobre los costos se muestra en la figura 5, en la que se observa que la relación etanol-cera es la única variable con influencia significativa. Esta posee un coeficiente positivo por lo que, con su incremento, aumentan los costos proporcionalmente.

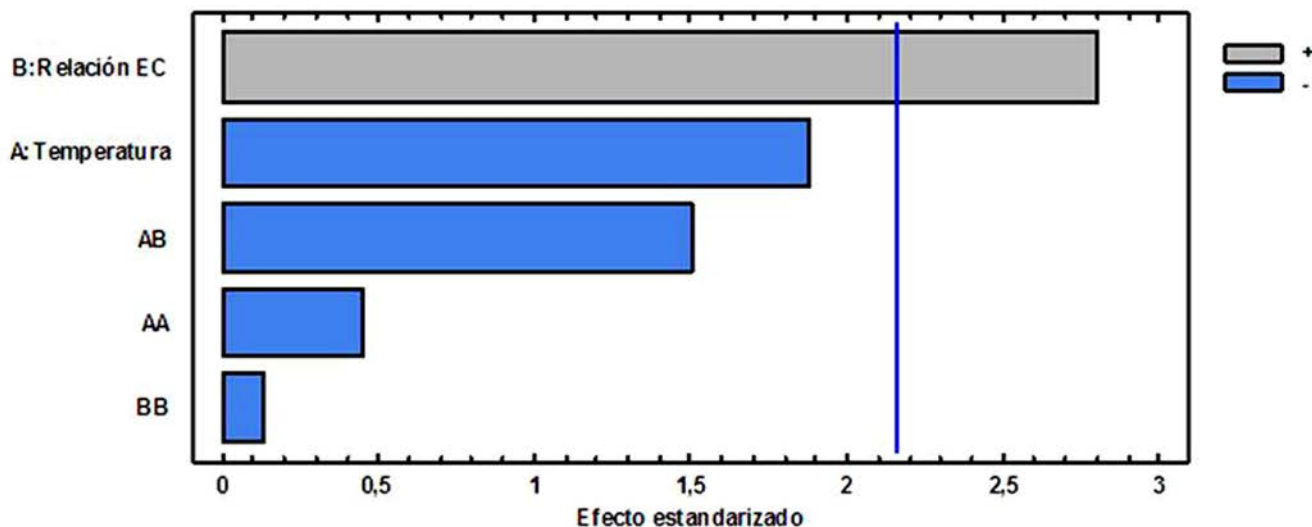


Figura 5. Diagrama de Pareto estandarizado, para indicador de costo.

El modelo, para este caso, ajusta el 52 % de los datos, con un coeficiente Durbin-Watson cercano a dos, con un valor de p mayor que 0.05, por lo que los residuos no presentan autocorrelación. Este modelo también responde a la ecuación de una recta de pendiente positiva, pues se evidencia que, al aumentar la relación etanol-cera, aumentarán los costos.

$$\text{Indicador de Costo} = 7.2788 + 0.797667 * \text{Relación EC}$$

Al utilizar la opción de optimizar múltiples respuestas de statgraphics, se obtiene la superficie respuesta representada por la figura 6. El resultado de la evaluación de la función deseabilidad reporta, como condiciones óptimas, una temperatura de 32 °C y una relación etanol cera de 6.4. A partir de estos resultados, se consideró realizar una prueba en la instalación industrial, a una temperatura entre 28-30 °C y una relación etanol-cera de 6:1, no muy diferente de 6.4:1, para favorecer la reducción de los costos.

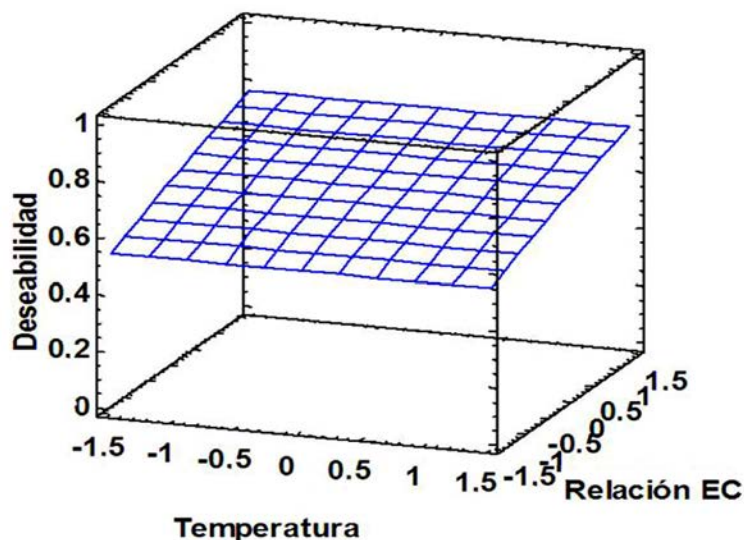


Figura 6. Superficie de respuesta para optimización de múltiples respuestas.

Evaluación de los resultados experimentales en la planta industrial

En las figuras 7 y 8, se comparan las composiciones promedio de fases ligeras y pesadas, obtenidas en la centrífuga separadora de aceite, según los registros del laboratorio durante el período 2017-2018 y los obtenidos en las experiencias en planta, al implementar los resultados del diseño.

Lo anterior evidencia la mejoría alcanzada en la extracción de aceite y la reducción de pérdidas de cera en el claro, con cierta mejoría en la fracción pesada, al reducirse en 1.7 puntos porcentuales la concentración de aceite.

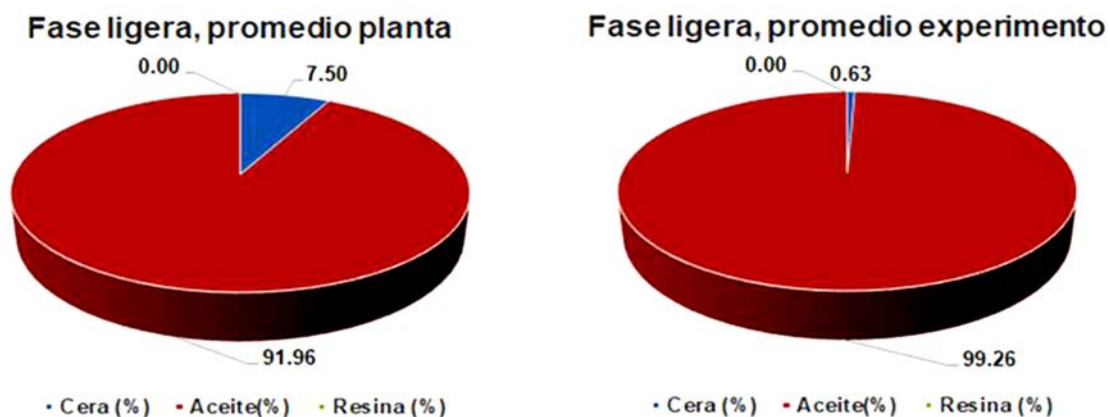


Figura 7. Comparación fase ligera, entre promedio histórico planta y los resultados del experimento.

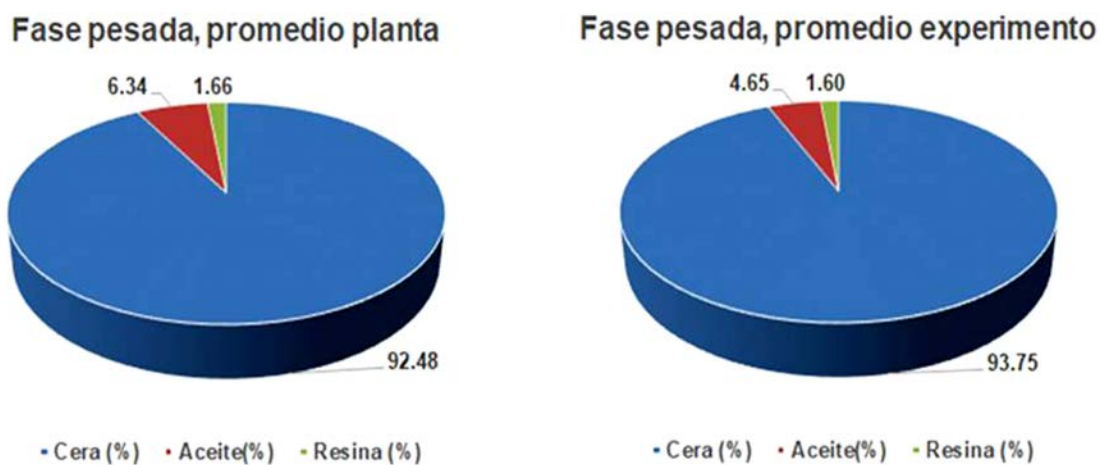


Figura 8. Comparación fase pesada, entre promedio histórico planta y los resultados del experimento.

El hecho de que las pérdidas de cera, en la fase ligera, se reduzcan con el incremento de la temperatura está directamente asociado a la velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas, según la ley de Stokes; pues, aunque la densidad del alcohol al 95 %y/v varía poco entre 20 y 30 °C (0.80424 y 0.7955 g/ml, respectivamente), la viscosidad del medio desciende desde 1.8 hasta 1.4 centipoise, aspecto que incide en el aumento de la velocidad de sedimentación en, aproximadamente 1.28 veces, al ser la velocidad de sedimentación inversamente proporcional a la viscosidad del medio.

Las modificaciones propuestas en esta etapa permiten reducir los índices de consumo de etanol, desde 150 hl/t hasta 77 hl/t de cera cruda, con el consecuente incremento de la capacidad de la planta, al procesar por cada lote, 650 kg de cera cruda.

CONCLUSIONES

El estudio de la etapa de extracción de aceite de cera de caña, como parte del proceso de refinación de este compuesto, permitió conocer cómo influyen diversos parámetros operacionales tales, como: la temperatura de dispersión, la relación solvente-cera cruda y el tiempo, sobre el rendimiento, la selectividad en la extracción de aceite y los costos de dicha etapa.

Como resultado del estudio, se establecieron nuevos parámetros de operación en la planta para la etapa de extracción de aceite, los que permitieron elevar el porcentaje de extracción, la calidad del producto final y la capacidad operacional de la planta, así como una consecuente reducción de los índices de consumo de etanol y de los costos de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernández, E.; Díaz, M.; Pérez, K. Determination of Hansen Solubility Parameters for sugarcane oil. Use of ethanol in sugarcane raw wax refining”, *Grasas y Aceites*, 72, 2, e408, 2021.
2. Wang, L.; Weller, C. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Food Science and Technology*, 17, 300-312, 2006.
3. Escobedo, F., Study of solid-liquid extractions in a batch equipment, *Chemical engineering Communications*, 167, 73-86, 1998.
4. Da Silva, C.A.S.; Sanaiotti, G.; Lanza, M.; Follegatti-Romero, L.A.; Meirelles, A.J.A. and Batista, E.A.C. “Mutual Solubility for Systems Composed of Vegetable Oil + Ethanol + Water at Different Temperatures”, *J. Chem. Eng. Data*, 55, 440–447, 2010.
5. Shariati, A.; Azaribeni, A. Hajighahramanzadeh, P. and Loghmani, Z. Liquid Liquid Equilibria of Systems Containing sunflower Oil, Ethanol and Water, *APCBEE Procedia*, 5, 486 – 490, 2013.
6. Fleitas, S.P. and Lago, R.C.A. Equilibrium Data for the Extraction of Coffee and Sunflower Oils with Ethanol, *Braz. J. Food Technol., Campinas*, 10, 3, 220-224, jul./set. 2007.
7. Rodrigues, Ch.E.C.; Longo, N.M.; Silva, C.C.; Aracava, K.K. and Garavazo, B.R. Ethanolic Extraction of Soybean Oil: Oil Solubility Equilibria and Kinetic Studies, *Pesquisa do Estado de São Paulo*, 2009/17855-3 and 2008/56258-8.
8. Da Costa Rodrigues, Ch.E and Oliveira, R., Response surface methodology applied to the analysis of rice bran oil extraction process with ethanol, *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 813–820, 2010.
9. ICIDCA. Estudio de la influencia de las variables tecnológicas fundamentales en el proceso de separación de aceite de cera cruda, Informe I1-004-03-92, abril, 1992.
10. García, A.; Lastra, J.; González, F. Separación selectiva de los componentes de la cera cruda de cachaza por fraccionamiento con mezclas de solventes, *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 17, 1, 1983.
11. Domínguez, M.; Cañete A.; Villanueva R. Estudio preliminar de algunos parámetros del proceso de extracción de aceite a partir de cera cruda, *Memorias Diversificación*, 1996.
12. Royal, T. B. *Derivados Cerosos y Grasos de la caña de azúcar*, 1940.
13. Rao, R.K ; Krishna, M. G.; Zaheer, S. H. and Arnold, L. K. *Alcoholic Extraction of vegetable oils. Part 1. Solubilities of Cottonseed, Peanut, Sesame, and Soybean oils in Aqueous Ethanol*, 1955.