

Estudio de extracción de cera, a partir de cutícula de caña de azúcar con solventes orgánicos, a escala de laboratorio

Marcela Fernández-Casiis^{1*}, Eduardo Hernández-Ramos¹, Katherine Pérez-Carrión¹, Manuel Díaz-de los Ríos¹ y José María Mesa-López²

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Vía Banca, No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

2. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).

Km 1½, Carretera a la CUJAE, Boyeros. La Habana, Cuba.

* marcela.fernandez@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la extracción de cera de caña de azúcar, a partir del estudio de siete variedades de caña (C87-51, C90-469, C86-57, C86-12, C105-73, C86-156 y C120-78), con el empleo de cinco solventes orgánicos (o-xileno, tolueno, etanol, ciclohexano y hexano), con el objetivo de determinar cuál de las variedades de caña presenta mayor contenido de cera y conocer el solvente idóneo, de los seleccionados para el estudio, a partir de la teoría de solubilidad de Hansen para la extracción de la cera de caña. En el desarrollo de la investigación se empleó la técnica Soxhlet. Se utilizó el programa Stagraphis Centurion en el procesamiento estadístico de los datos. Este análisis arrojó que las siete variedades de caña estudiadas estadísticamente no presentan diferencias significativas entre ellas; sin embargo, al ser analizadas independientemente, la variedad C120-78 resultó ser la de mayor contenido de cera cuando se extrajo con o-xileno, tolueno y etanol. El etanol fue el solvente que obtuvo mayores rendimientos de extracción de cera de la cutícula de la caña en las siete variedades en estudio.

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

ABSTRACT

In this work, the extraction of sugarcane wax was evaluated from the study of seven cane varieties (C87-51, C90-469, C86-57, C86-12, C105-73, C86-156 and C120-78), with the use of five organic solvents (o-xylene, toluene, ethanol, cyclohexane and hexane), with the aim of determining which of the cane varieties has the highest wax content and knowing the ideal solvent of those selected for the study from Hansen's solubility theory for the extraction of cane wax. The Soxhlet technique was used for the development of the research. The Stagraphis Centurion program was used to perform the statistical processing of the data. This analysis showed that the seven varieties of cane statistically studied do not present significant differences between them, not being so when analyzed independently, where the variety C120-78 turned out to be the one with the highest wax content when extracted with o-xylene, toluene and ethanol. Ethanol was the solvent that obtained the highest yields of wax extraction from the cane cuticle in the seven varieties under study.

Key words: sugar cane, organic solvents extraction, sugar cane wax.

INTRODUCCIÓN

La cera ocupa un lugar muy importante dentro de los derivados de la caña por su valor comercial y por los subproductos que de ella se obtienen, que pueden sustituir importaciones y aplicarse nacionalmente en varias industrias (1).

La obtención de productos nutracéuticos, a partir de la cera refinada de la caña de azúcar, se introdujo comercialmente en Cuba, en la década del 90. Luego este proceso ha sido estudiado y difundido por varios países, como India, China y otros países asiáticos. El procedimiento de obtención de estos productos es costoso y complejo, ya que involucra varias etapas de extracción y purificación.

La producción de cera de caña de azúcar, en Cuba, se remonta a la década del 50, cuando la Cuban-American Sugar Co. Swenson (2) desarrolló e introdujo una tecnología para la producción de cera de caña de azúcar, mediante la extracción con heptano; luego esta cera cruda se exportó a los Estados Unidos para su refinación.

La obtención de cera de caña de azúcar, a partir de su extracción con solventes orgánicos, ha sido una de las técnicas más evaluadas por los investigadores que estudian este proceso; sin embargo, existe una gran variabilidad en los resultados reportados en la literatura, debido a la influencia de diversos factores en el desarrollo del proceso.

Diversos son los factores que influyen en el porcentaje de extracción de cera de caña de azúcar con solventes orgánicos, entre los que se encuentran: la variedad de la caña de azúcar, el tipo de solvente empleado, parámetros tecnológicos (temperatura, presión, relación soluto-solvente), entre otros, que influyen directamente en el rendimiento del proceso de extracción de cera. Es por ello que diversos autores investigan las condiciones óptimas del este proceso, para aumentar los rendimientos de extracción, reducir el tiempo y el consumo de solventes.

Autores como Chakhathanbordee *et al.* (3) evaluaron y compararon la tecnología Soxhlet (S) tradicional de extracción por solvente, con métodos novedosos: extracción acelerada por solvente (ESA) y extracción supercrítica (ES) de cera de cachaza. Los mayores rendimientos de extracción de cera se registraron para la tecnología ESA, seguida del proceso Soxhlet.

Otros autores, como García *et al.* (4) con el fin de mejorar los rendimientos extractivos y reducir la interferencia de impurezas y otros componentes no deseados, presentes en el lodo del filtro, evaluaron la alternativa de utilizar directamente la cutícula de caña de azúcar como fuente de cera de caña de azúcar, seguido de un proceso de extracción por solventes.

A partir de lo expuesto anteriormente se infiere que el tipo de solvente empleado constituye uno de los principales factores que incide en la variabilidad del porcentaje de extracción de la cera de caña de azúcar.

Autores como Chakhathanbordee *et al.* (3) reportan un rendimiento de extracción de cera de caña de cachaza de 9.08 % b.s., con el uso de n-hexano; sin embargo, Azzan (5) estudió la extracción con tolueno y etanol, con rendimientos de 14.55 y 13.90 %, respectivamente.

Por otra parte, Bhosale *et al.* (6) reportan rendimientos de hasta 5.6 y 7.4 %, con el empleo de tolueno y benceno respectivamente, a partir de cachaza de varios ingenios azucareros.

García *et al.* (4) estudiaron el efecto del tolueno, tricloroetileno y éter de petróleo para la extracción de cera de cutícula de caña de azúcar y alcanzaron rendimientos de 4.31; 5.18 y 4.05 %, respectivamente.

Con el propósito de sustituir solventes orgánicos ambientalmente agresivos, como el hexano tradicional, San Anastacio-Rebollar *et al.* (7) estudiaron el uso de etanol de 96 a 70 °C, para la extracción de cera de caña de azúcar del lodo del filtro y obtuvieron rendimientos de hasta 7.55 %.

También Attard *et al.* (8) estudiaron la extracción supercrítica y la extracción a partir de la técnica Soxhlet, con el empleo del solvente hexano para la extracción de cera de caña, en hojas, tallos, corteza y bagazo.

Por otra parte, Asikin *et al.* (9), evaluaron la mezcla de hexano y metanol para la extracción de cera de la cáscara de los tallos de siete cultivos diferentes de caña con la técnica Soxhlet.

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Determinar qué variedad de caña de las recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) presenta mayor contenido de cera.

- Determinar el solvente idóneo de los seleccionados en el estudio, para la extracción de la cera de caña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima empleada

Se seleccionaron siete variedades de caña, facilitadas por el Instituto Nacional de la Caña de Azúcar (INICA). Los sacos presentaban un peso de alrededor de 5 kg y contenían tallos de 1 metro de longitud, aproximadamente. Estos tallos fueron procesados para separar la cáscara, a partir de pelado manual. Luego estas cáscaras se secaron en la estufa a 60 °C, durante 72 horas y fueron molidas. Las variedades en estudio fueron cultivadas y recolectadas bajo las mismas condiciones: tipo de suelo, tratamientos agronómicos y factores medioambientales.

Variedades:

- C87-51
- C90-469
- C86-57
- C86-12
- C105-73
- C86-156
- C120-78

Determinación de solventes para la extracción de cera

La selección de los solventes empleados se basó en trabajos anteriores relacionados con el estudio del comportamiento de la afinidad de las fracciones de cera de caña de azúcar y diferentes solventes (10), resultados reportados en la literatura y la experiencia práctica adquirida por los autores. A partir de estos criterios, se evaluaron cinco solventes: o-xileno, tolueno, etanol, ciclohexano y hexano.

Técnica Soxhlet

Para el estudio se empleó la técnica Soxhlet (figura 1), que consiste en una unidad de laboratorio conformada por 3 piezas de vidrio: un balón donde se introduce el solvente que se calienta, mediante una manta eléctrica, conectada al dispositivo de extracción. Contiene un dedal de celulosa que tiene una muestra de la variedad de caña que se desea estudiar. Al alcanzar el solvente su temperatura de ebullición, los vapores ascienden por un conducto y pasan al estado líquido en el condensador ubicado en el tope del extractor y gotean sobre la matriz sólida, donde ocurre el proceso de extracción lentamente. Una vez que se llena el extractor, por medio de un sifón, el solvente es drenado hacia el balón, con toda la cantidad de cera que logró solubilizar. Este ciclo se repite y se va acumulando el extracto por un tiempo prudencial (6 horas). La ventaja de esta técnica es que nunca se saturará el solvente (4, 8, 9).



Figura 1. Técnica Soxhlet.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las variedades de caña

Las variedades de caña para realizar el experimento se caracterizaron y a estas se les determinó la materia seca. En la tabla 1 se presentan los valores de los que se parten para comenzar el estudio.

Tabla 1. Caracterización de la materia prima

Variedad	Peso inicial (kg)	Peso cáscara húmeda (kg)	Peso cáscara seca (kg)
C87-51	3.39	0.65	0.27
C90-469	5.20	0.74	0.30
C86-57	4.29	0.75	0.33
C86-12	4.20	0.70	0.32
C105-73	4.26	0.75	0.31
C86-156	4.55	1.36	0.52
C120-78	2.74	0.82	0.31

Los resultados mostrados fueron obtenidos a partir del procedimiento expuesto en el acápite de Materiales y Métodos.

Contenido de cera en variedades de caña de azúcar estudiadas

Los porcentajes de extracción calculados para cada variedad de caña de azúcar se muestran en la tabla 2, entre las estudiadas, las variedades C120-78, C86-156 y la C87-51 reportaron mayores contenidos de cera.

Tabla 2. Porcentajes de extracción de cera de caña a partir de solventes

Solventes	Variedades	C87-51	C90-469	C120-78	C105-73	C86-156	C86-56	C86-12
O-xileno	% extracción base corteza	5.94±0.99	2.36±0.86	3.10±0.61	1.93±0.08	0.72±0.45	0.73±0.04	1.83±0.74
	% extracción base caña	0.48±0.08	0.14±0.05	0.36±0.07	0.14±0.01	0.08±0.05	0.06±0.00	0.14±0.06
Tolueno	% extracción base corteza	1.92±0.76	2.01±0.32	1.61±0.30	1.91±0.05	0.70±0.18	2.23±0.11	1.15±0.00
	% extracción base caña	0.15±0.06	0.12±0.02	0.19±0.04	0.14±0.00	0.08±0.02	0.17±0.01	0.09±0.00
Etanol	% extracción base corteza	12.26±0.59	20.93±0.38	26.50±3.60	11.96±2.37	17.68±6.42	9.91±0.63	9.02±0.43
	% extracción base caña	0.98±0.05	1.21±0.02	3.05±0.41	0.89±0.18	2.05±0.75	0.76±0.05	0.70±0.03
Ciclohexano	% extracción base corteza	0.72±1.01	1.09±1.54	0.39±0.55	0.87±0.10	1.14±0.15	2.02±0.19	1.09±0.04
	% extracción base caña	0.06±0.08	0.06±0.09	0.04±0.06	0.07±0.01	0.13±0.02	0.15±0.01	0.08±0.00
Hexano	% extracción base corteza	1.30±0.10	1.86±0.10	0.99±0.35	1.95±0.90	0.25±0.34	1.64±0.13	0.91±0.22
	% extracción base caña	0.10±0.01	0.11±0.01	0.11±0.04	0.15±0.07	0.03±0.04	0.13±0.01	0.07±0.02

Diferentes reportes de la literatura obtienen valores cercanos a los de este estudio. Attard *et al.* (8) logran un porcentaje de extracción de 0.8 %, cuando se extrae cera a partir de la corteza de la caña con un equipo soxhlet y tolueno como solvente. Como valor promedio entre las siete variedades estudiadas, durante la extracción con tolueno, se obtuvo un porcentaje de extracción de 1.65 ± 0.58 %. La variedad C86-156 alcanzó un porcentaje de extracción de 0.83 % muy similar a los reportados por los autores. La variedad que presentó el valor mayor fue C120-78.

Asikin *et al.* (9) realizaron un estudio con el objetivo de conocer los principales compuestos que prevalecían en las distintas variedades de caña y cuantificarlos. Como parte de sus resultados expusieron porcentajes de extracción para dichas variedades entre 0.09 y 0.12 % en base tallo, con un equipo soxhlet y, como solvente, una mezcla de hexano-metanol. Teniendo en cuenta que los autores emplearon una mezcla de solventes orgánicos y, en este estudio se evaluó la extracción de cera con hexano, los valores obtenidos en ambos estudios son semejantes. El porcentaje promedio de extracción obtenido es 0.10 ± 0.04 % para las siete variedades estudiadas, el mayor porcentaje lo presentó la variedad C105-73.

Por otra parte, García *et al.* (4) en sus estudios de recuperación de cera, a partir de la cutícula de la caña, con empleo de la técnica soxhlet y tolueno como solvente, en dos de las 12 corridas experimentales realizadas, reportan un valor de extracción de 2.77 %, mientras que en este trabajo para la variedad de caña C87-51, con el mismo solvente, se obtuvo un valor de 2.46 %.

En estudios realizados sobre el contenido de cera de caña en distintas variedades, se reporta variabilidad en los porcentajes de extracción para cada una (1.9), también en otras investigaciones (4) se muestra que existe variabilidad de dichos porcentajes cuando se utilizan distintos solventes en el proceso de extracción.

En la figura 2 se puede observar el comportamiento en los resultados obtenidos para esta experiencia, los porcentajes de extracción se presentan en base tallo de caña. La variedad más destacada en este aspecto es la C120-78.

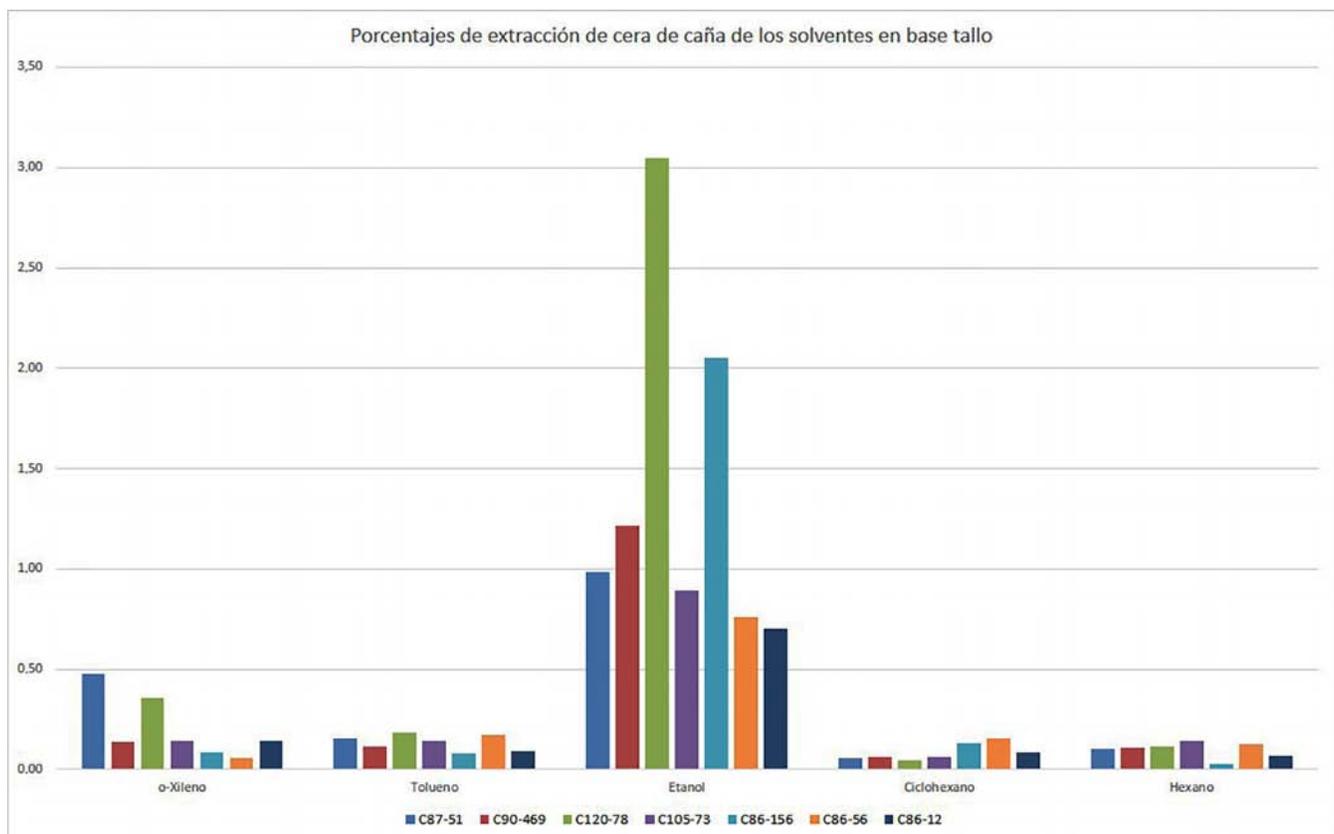


Figura 2. Resultados del estudio de extracción de cera de caña con solventes orgánicos en base tallo.

Si se compara el porcentaje de extracción que marca la barra de azul, que representa a la variedad C87-51, para los cinco solventes se observan diferencias entre ellos, a la vez, si se compara el comportamiento de la extracción presentada por un mismo solvente, con las siete variedades bajo estudio, también se aprecian diferencias entre los valores obtenidos.

En la figura 2 también destacan los porcentajes de extracción obtenidos mediante el uso de etanol como solvente. Varios reportes en la literatura han estudiado este solvente como solución alternativa para la sustitución de solventes no amigables con el medioambiente (5, 7).

En el ICIDCA se han llevado a cabo diferentes estudios en los que se utiliza el etanol como solvente; pero, principalmente, en la etapa de refinado de cera de caña de azúcar, en que sí ha demostrado ser un solvente eficaz. Hernández y Díaz (10) llevaron a cabo un estudio en el que se propusieron lograr un criterio cuantitativo que permitiera decidir cuál solvente podría ser efectivo en el proceso de refinado de cera de caña de azúcar, a partir del uso de la teoría de Hansen; como conclusión expusieron que el etanol absoluto resulta ser un solvente adecuado para la extracción de los ácidos grasos de bajo punto de fusión (fracción aceite).

En otro trabajo de Hernández y Díaz (10), se realizó un estudio de solvente enfocado al proceso de extracción de la fracción cera y el etanol no constituyó uno de los solventes de mayor afinidad con este material. Este estudio se llevó a cabo a temperatura ambiente y en este trabajo se estudió la extracción con etanol en su punto de ebullición, lo que permite mayor capacidad para solubilizar la cera de caña de azúcar.

Procesamiento estadístico de los resultados

Análisis del mejor solvente para la extracción de cera en las variedades de caña

Se realizó un análisis estadístico con el uso del programa Statgraphics Centurion, para conocer cuál de los solventes fue capaz de extraer mayor cantidad de cera en las siete variedades de caña.

Con el análisis de la tabla ANOVA, que compara las medias de las variables en estudio, se puede determinar si existen diferencias significativas entre grupos e intragrupos. En la tabla 3 se muestra el análisis estadístico ANOVA.

Tabla 3. Tabla ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	17.5825	4	4.39561	28.08	0.0000
Intragrupos	10.1753	65	0.156544		
Total (Corr)	27.7578	69			

A partir de los resultados mostrados en la tabla, se determina que no existen diferencias significativas intragrupos pero sí entre ellos, ya que su P-valor es inferior a 0.05. Entonces, se procede a realizar la Prueba de múltiples rangos para conocer cuáles de los grupos en estudio presentan diferencias significativas entre ellos. En la tabla 4 se muestran los resultados arrojados por esta prueba.

Tabla 4. Prueba de múltiples rangos

	Muestra	Media	Grupos homogéneos
Ciclohexano	14	0.0864286	X
Hexano	14	0.0992857	X
Tolueno	14	0.135714	X
o-Xileno	14	0.199286	X
Etanol	14	1.37929	X

Las X alineadas a la izquierda indican que no existen diferencias significativas entre los primeros cuatro grupos; sin embargo, la X a la derecha indica las diferencias que existen entre el quinto grupo y los restantes. Por lo que se concluye que el etanol fue el solvente que logró extraer mayor cantidad de cera en las variedades de caña.

Análisis de la variedad de caña que presenta mayor contenido de cera

Para determinar cuál de las siete variedades de caña en estudio presenta mayor contenido de cera, a partir de un análisis estadístico, fue necesario estudiar cada uno de los solventes y saber de cuál de las variedades se logró extraer mayor cantidad de cera; porque al realizar el análisis global estadísticamente las siete variedades de caña no presentaron diferencias significativas entre ellas, lo que se demuestra en los resultados obtenidos en la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos, presentadas en las tablas 5 y 6, respectivamente.

Tabla 5. Resultados de la tabla ANOVA variedades de caña

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	1.01143	6	0.168572	0.38	0.8861
Intragrupos	12.4502	28	0.444651		
Total (Corr)	13.4617	34			

Tabla 6. Prueba de múltiples rangos variedades de caña

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-12	5	0.216	X
C86-56	5	0.254	X
C105-73	5	0.278	X
C90-469	5	0.328	X
C87-51	5	0.354	X
C86-156	5	0.474	X
C120-78	5	0.75	X

A continuación se presentan los resultados alcanzados para los solventes o-xileno, tolueno, etanol, ciclohexano y hexano. En cada análisis se realizó la prueba ANOVA, para determinar si existen diferencias significativas entre los grupos y dentro de ellos; además, se realizó la Prueba de múltiples rangos para conocer cuáles son los grupos que presentan diferencias significativas entre ellos.

En las tablas 7 y 8 se presentan los resultados de la tabla ANOVA y de la Prueba de múltiples rangos respectivamente, para el solvente o-xileno.

Tabla 7. Resultados de la tabla ANOVA o-xileno

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.292643	6	0.0487738	17.74	0.0007
Intragrupos	0.01925	7	0.00275		
Total (Corr)	0.311893	13			

Tabla 8. Resultados de la Prueba de múltiples rangos o-xileno

Variedad	Muestras	Media	Grupos homogéneos
C86-56	2	0.055	X
C86-156	2	0.085	X
C90-469	2	0.135	X
C86-12	2	0.14	X
C105-73	2	0.145	X
C120-78	2	0.36	X
C87-51	2	0.475	X

A partir de los resultados obtenidos en las tablas anteriores, como el P-valor es menor que 0.05, existen diferencias significativas entre los grupos y en la Prueba de múltiples rangos se determina que las variedades de caña C120-78 y C87-51, presentan diferencias significativas con las restantes. Por lo que se concluye que en estas dos variedades se extrajo mayor cantidad de cera con el empleo del o-xileno como solvente.

En las tablas 9 y 10 se presentan los resultados obtenidos, a partir del análisis estadístico, con la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos respectivamente, para el tolueno.

Tabla 9. Resultados de la tabla ANOVA tolueno

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.0190429	6	0.00317381	3.53	0.0619
Intragrupos	0.0063	7	0.0009		
Total (Corr)	0.0253429	13			

Tabla 10. Resultados de la Prueba de múltiples rangos tolueno

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-156	2	0.085	X
C86-12	2	0.09	X
C90-469	2	0.115	XX
C105-73	2	0.145	XX
C87-51	2	0.155	XX
C86-56	2	0.175	X
C120-78	2	0.185	X

Para este análisis, el valor del P-valor es mayor de 0.05, por lo que se determina que no existen diferencias significativas entre los grupos en estudio; sin embargo, como el valor es tan próximo a 0.05, se determinó realizar la Prueba de múltiples rangos para determinar el comportamiento de estos grupos y cuáles eran los que diferían. Al realizar el análisis de esta prueba se evidenció que las variedades C90-469, C105-73, C87-51, eran grupos homogéneos, no presentaban diferencias entre ellas; sin embargo, presentaron diferencias significativas con las restantes variedades. En las variedades C86-56 y C120-78, el tolueno fue capaz de extraer mayor cantidad de cera.

Para el procesamiento estadístico de los resultados obtenidos del proceso de extracción con etanol, como solvente, se realizó la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos, las cuales se presentan en las tablas 11 y 12, respectivamente.

Tabla 11. Resultados de la tabla ANOVA etanol

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	9.00614	6	1.50102	13.70	0.0015
Intragrupos	0.76675	7	0.109536		
Total (Corr)	9.77289	13			

Tabla 12. Resultados de la Prueba de múltiples rangos etanol

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-12	2	0.7	X
C86-56	2	0.76	X
C105-73	2	0.895	X
C87-51	2	0.985	X
C90-469	2	1.215	X
C86-156	2	2.05	X
C120-78	2	3.05	X

A partir de los resultados anteriores, como el P-valor es menor de 0.05, existen diferencias significativas entre los grupos y en la Prueba de múltiples rangos se determina que la variedad de caña C120-78 presenta diferencias significativas con las restantes, por lo que se puede concluir que el etanol extrajo mayor cantidad de cera en esta variedad.

En las tablas 13 y 14 se presentan los resultados obtenidos, a partir del análisis estadístico con la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos respectivamente, para el ciclohexano.

Tabla 13. Resultados de la tabla ANOVA ciclohexano

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.0119429	6	0.00199048	18.58	0.0006
Intragrupos	0.00075	7	0.000107143		
Total (Corr)	0.0126929	13			

Tabla 14. Resultados de la Prueba de múltiples rangos ciclohexano

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C105-73	2	0.065	X
C86-12	2	0.085	XX
C120-78	2	0.09	X
C87-51	2	0.12	X
C86-156	2	0.13	X
C90-469	2	0.13	X
C86-56	2	0.155	X

Los resultados para este solvente arrojan que sí existen diferencias significativas entre los grupos, pues el P-valor es menor de 0.05 y se procede a realizar la Prueba de múltiples rangos, en la que se evidencia que en la variedad C86-56 el ciclohexano fue capaz de extraer la mayor cantidad de cera.

En las tablas 15 y 16 se presentan los resultados de la tabla ANOVA y de la Prueba múltiples rangos respectivamente, para el hexano.

Tabla 15. Resultados de la tabla ANOVA hexano

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.0106714	6	0.00177857	2.20	0.1624
Intragrupos	0.00565	7	0.000807143		
Total (Corr)	0.0163214	13			

Tabla 16. Resultados de la Prueba de múltiples rangos hexano

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-156	2	0.06	X
C86-12	2	0.07	X
C90-469	2	0.105	XX
C87-51	2	0.105	XX
C120-78	2	0.115	XX
C86-56	2	0.125	XX
C105-73	2	0.145	X

Para este análisis el valor del P-valor es mayor de 0.05 por lo que se puede determinar que no existen diferencias significativas entre los grupos en estudio; sin embargo, se determinó realizar la Prueba de múltiples rangos para determinar el comportamiento de estos grupos y cuáles eran los que diferían. Al realizar el análisis de esta prueba se evidencia que las variedades C90-469, C87-51, C120-78, C86-56 son grupos homogéneos, no presentan diferencias significativas entre ellas; sin embargo, presentan diferencias significativas con las restantes variedades. En la variedad C105-73, el hexano fue capaz de extraer mayor cantidad de cera.

El análisis estadístico permite despejar las posibles incertidumbres de los resultados y resaltar la variedad C120-78 como la más promisoría, mientras que los solventes o-xileno, tolueno y etanol resultan los de mayor poder extractivo en dicha variedad, a partir de la corteza de la caña. Muchos trabajos de la literatura coinciden con la viabilidad del tolueno, mientras el etanol es reportado para tecnología ESA; sin embargo, la mayor dificultad con el empleo de etanol, durante la extracción, a partir de cachaza, radica en su miscibilidad con agua y las dificultades que ello le transfiere a la posterior extracción de la cera en el solvente.

CONCLUSIONES

- La técnica Soxhlet, empleada por varios autores, desarrollada en este trabajo para la extracción de cera de caña de azúcar con solventes, fue eficaz.
- El etanol fue el solvente que obtuvo mayores rendimientos de extracción de cera de la cutícula de la caña, en las siete variedades en estudio.
- Las siete variedades de caña estudiadas estadísticamente no presentaron diferencias significativas entre ellas; sin embargo, cuando se analizaron independientemente, la variedad C120-78 resultó ser la de mayor contenido de cera al extraerla con o-xileno, tolueno y etanol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Peña, C., Peña, M., Sosa, I. Caracterización y obtención de variedades de caña de azúcar con alto contenido de cera (1996).

2. Swenson, O. J. (1947) Method for extracting wax from cachaza. US Patent 2508002, May 29, 1947.
3. Chakhathanbordee, R., Khotavivattana, S. and Sriroth, K. Development of sugarcane wax extraction methods from sugarcane filter cake for value creation. Research and Development. Journal Science and Technology, 11, 95-106 (2016).
4. García, A., García, M.A., Ribas, M. and Brown, A. Recuperación de cera de cutícula de caña de azúcar mediante separación mecánica y extracción con solventes. Grasas Aceites, 54 (2), 169-174 (2003).
5. Azzam, A.M. Separation and Analysis of Wax from Egyptian Sugar Cane Filter Press Cake. Eur. J. Lipid Sci. Tech, 86 (6), 247-250 (1984).
6. Bhosale, P. R., Chonde, S. G. and Raut, P. D. Studies on extraction of sugarcane wax from press mud of sugar factories from kolhapur district, Maharashtra, J. Environ. Res. Dev. 6 (3A) 715-720 (2012).
7. San Anastacio-Rebollar, I.M., García, D.R., Hernández-González, R.C., Guerra-Rodríguez, L. E. and Villanueva-Ramos, G. Extracción de cera a partir de cachaza con etanol 96 °GL a escala de laboratorio, Tecnol. Quim., XXXVII (1) 159-175 (2017).
8. Attard, Thomas M., McElroy, C. Rob., Rezende, Camila A., Polikarpov, Igor Clark, James H., Hunt, Andrew J. Sugarcane waste as a valuable source of lipophilic molecules. Industrial Crops and Products, 76 (1), 95-103 (2015).
9. Asikin, Y., Takahashi, M., Hirose, N., De-Xing Hou, Takara, K., Wada, K. Wax, policosanol, and long-chain aldehydes of different sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars. Eur. J. Lipid Sci. Technol, 2012.
10. Hernández, E., Díaz, M. Determination of Hansen solubility parameters of refined sugarcane wax. Documentos químicos, 75 (10), 5313-5322, (2021).