

Sustitución del ZUKER QZ-8044 por el jabón de aceite cera de caña en tachos al vacío

Replacement of the ZUKER QZ-8044 with cane wax oil soap in vacuum tubs

José Marcos Gil Ortiz¹ (josemarcosgilortiz@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-2386-316X>)

Keila Blanco Creag² (luiscreaghkeila@gmail.com) (<https://orcid.org/0009-0006-5473-1724>)

Yamilé Batista Yero³ (ybatista@ult.edu.cu) (<https://orcid.org/0000-0002-1991-8941>)

Maricela Pérez Méndez⁴ (maricelapm0592@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-6946-2340>)

Norge Peña Gutiérrez⁵ (norgepg90@gmail.com) (<https://orcid.org/0009-0000-8465-9715>)

Resumen

Este artículo tiene como objetivo mostrar el proceso experimental para determinar los intervalos de concentraciones donde es posible la sustitución del ZUKER QZ-8044 que se emplea en el proceso de cristalización de la sacarosa, por el jabón producido a partir del aceite de cera cruda de cachaza. Se empleó el método experimental, así como el procesamiento estadístico para analizar e interpretar los datos. Se determinaron las tensiones superficiales de las disoluciones del ZUKER QZ-8044 y del jabón de aceite de cera cruda de caña, para determinar los rangos de concentraciones donde las disoluciones del jabón presentan igual o menor tensión superficial del ZUKER QZ-8044. A través del análisis estadístico se determinó que las muestras provienen de poblaciones normales y no hay diferencia significativa entre las medias. Se concluye que se puede sustituir el ZUKER QZ-8044 que se emplea en el proceso de cristalización, por el jabón producido a partir del aceite de cera cruda de cachaza, en los rangos de concentraciones donde las tensiones superficiales de las disoluciones del jabón, son iguales o menores que las del ZUKER QZ-8044.

Palabras clave: surfactantes, tensión superficial, viscosidad, cristalización de la sacarosa.

¹ Doctor en Ciencias Técnicas. Ingeniero Químico. Profesor Titular. Universidad de Las Tunas. Las Tunas, Cuba.

² Ingeniero Industrial. Profesor Instructor. Universidad de Las Tunas. Las Tunas, Cuba.

³ Doctor en Ciencias Pedagógicas. Licenciada en Química. Profesor Titular. Universidad de Las Tunas. Las Tunas, Cuba.

⁴ Máster en Ciencias Agrícolas. Licenciada en Química. Profesor Asistente. Universidad de Las Tunas. Las Tunas, Cuba.

⁵ Máster en Ciencias Agrícolas. Ingeniero Agrónomo. Profesor Instructor. Universidad de Las Tunas. Las Tunas, Cuba.

Abstract

This article aims to show the experimental process for determining the concentration ranges where it is possible to replace ZUKER QZ-8044, used in the sucrose crystallization process, with soap made from crude cane wax oil. The experimental method was used, along with statistical processing to analyze and interpret the data. The surface tensions of the solutions of ZUKER QZ-8044 and the soap from crude cane wax oil were measured to determine the concentration ranges where the soap solutions have equal or lower surface tension than ZUKER QZ-8044. Through statistical analysis, it was determined that the samples come from normal populations and there is no significant difference between the means. It is concluded that ZUKER QZ-8044 used in the crystallization process can be replaced with the soap made from crude cachaza wax oil, in the concentration ranges where the surface tensions of the soap solutions are equal to or lower than those of ZUKER QZ-8044.

Key words: surfactants, surface tension, viscosity, sucrose crystallization.

Introducción

La sacarosa que se comercializa a nivel mundial es producida a partir de dos fuentes de materia prima fundamentales: la caña de azúcar y la remolacha azucarera. El mayor volumen de producción corresponde al azúcar de caña. Una de las vías para disminuir los costos del proceso de producción de azúcar crudo, consiste en disminuir las pérdidas de sacarosa en las mieles. La alta viscosidad de las masas cocidas y de la miel madre en el proceso de cristalización es uno de los factores que dificultan la disminución del contenido de sacarosa de las mieles (Clark y García, 2008; Rein, 2012).

La problemática actual del proceso de cristalización en la industria azucarera se relaciona con las altas viscosidades en la meladura, masas cocidas y mieles, que son productos de cañas de mala calidad. Estas cañas pueden presentar enfermedades, estar quemadas o haber sido sometidas a un tiempo de corte y molienda muy superior al normado, lo que afecta la calidad de los jugos y dificulta el proceso de cristalización (Clark y García, 2008; Rein, 2012).

En el proceso de clarificación, el jabón obtenido a partir del aceite de cera cruda de caña, a concentraciones menores que la concentración micelar crítica (CMC) (Gil, 2000), desestabiliza la capa protectora de los coloides, principalmente polisacáridos, por lo que coagulan y precipitan (Shaw, 1977). Se obtienen jugos clarificados más limpios, lo que da lugar a masas cocidas menos viscosas y azúcar con mayor claridad (Gil, 2000).

El agotamiento de las mieles en el proceso de producción de azúcar ha sido muy estudiado y es un tema muy debatido debido a su complejidad, pues todo el proceso agro industrial influye en su eficiencia. La introducción de la cosecha mecanizada para la caña de azúcar ha cambiado las características y el comportamiento de los jugos durante diferentes etapas de su procesamiento, debido al aumento del contenido de

impurezas, lo que se manifiesta en el área de cristalizadores (Clark y García, 2008; Rein, 2012) de la forma siguiente:

- Deformación de los cristales de azúcar.
- Incremento de la viscosidad de los materiales en proceso.
- Disminución de la agotabilidad de las mieles.

Estos hechos afectan la calidad del azúcar y el incremento de las pérdidas en miel final. Para abordar esta problemática, se ha recurrido al empleo de agentes tensoactivos como el ZUKER QZ-8044, fabricado en Argentina, para bajar las viscosidades en los productos azucarados. Los tensoactivos son compuestos químicos que tienen la capacidad de reducir la tensión superficial de un líquido, lo que puede ayudar a disminuir las viscosidades y mejorar la fluidez de las soluciones durante el proceso de cristalización (Rajaei *et al.*, 2023).

En 2018, investigaciones en Brasil demostraron que el surfactante Tween 80 disminuye la viscosidad de mieles finales en un 15-20%, mejorando la eficiencia de centrifugación (Tween 80, 2025). El surfactante polidimetilsiloxano (PDMS) actúa como antiespumante y modificador de viscosidad. Reduce la viscosidad al evitar la formación de microburbujas que atrapan líquido. En 2020, estudios en India mostraron que dosis bajas (5-10 ppm) de PDMS mejoran la filtrabilidad de mieles (PDMS, 2025).

Las burbujas de aire ocluidas en las mieles pueden ser una de las causas de las altas viscosidades, además de los polisacáridos y otros constituyentes nocivos al proceso. El tensoactivo contribuye a eliminar estas burbujas. El jabón de aceite de cera cruda de caña al disminuir la tensión superficial en las interfases líquido-gas-sólido, provoca que el líquido moje más a las superficies sólidas, con lo que disminuye el área interfacial gas-líquido de contacto de la burbuja de gas y estas se desprenden de las partículas sólidas por efecto de las fuerzas de flotación (Gil, 2000).

Esta investigación tuvo como objetivo determinar los intervalos de concentraciones donde es posible la sustitución del tensoactivo ZUKER QZ-8044 que se emplea en el proceso de cristalización, por el jabón producido a partir del aceite de cera cruda de cachaza.

Materiales y métodos

Procedimiento para determinar los intervalos de concentraciones

El procedimiento para determinar los intervalos de concentraciones donde es posible la sustitución del ZUKER QZ-8044 (% materia seca= 50 y la $\rho=1000$ g/L) por el jabón aniónico de aceite de cera cruda de cachaza (Gil, 2000; Díaz & Hernández, 2020; Ledoux & Alvarez, 2024), en el proceso de cristalización es el siguiente:

1. Determinar la masa de agua en 28 m^3 de meladura, masas cocidas A y B.

2. Calcular las ppm de ZUKER QZ-8044 en el agua de la meladura o miel, cuando se añaden 0,5 a 1,0 L por cada 28 m³ de meladura, masa cocida A y B. Se emplearon las menores concentraciones de surfactante en ppm, para compensar los posibles errores en la medición de los volúmenes en el central azucarero.
3. Determinar la tensión superficial de las disoluciones de: jabón de aceite de cera cruda de caña y del ZUKER QZ-8044 en el rango de 10 a 200 ppm.
4. Determinar los rangos de concentraciones donde coinciden las tensiones superficiales de las disoluciones del jabón con las del ZUKER QZ-8044.
5. En los rangos de concentraciones donde presentan iguales tensiones superficiales las disoluciones de ambos surfactantes, se considera que tendrán el mismo efecto tecnológico en la meladura y las mieles.

Resultados

Gil (2000) al analizar jugos de caña de azúcar con un viscosímetro capilar Cannon Fenske, encontró que para aquellos valores de la concentración del surfactante donde era menor la tensión superficial, también lo era la viscosidad. En esta investigación se asumió ese comportamiento entre la tensión superficial y la viscosidad de meladura y mieles.

Datos aportados en comunicación personal por el Jefe de Fabricación central Majibacoa de la provincia Las Tunas, Cuba (2024): 1 cristalizador: 40 a 44 m³ MCB (masa cocida B) + 3,6 m³ miel B como lubricación (72 a 74 °Bx). Significa de 2,52 a 2,29 m³ de miel B cada 28 m³ de MCB en el cristalizador.

Datos aportados por el Jefe Laboratorio central Antonio Guiteras de la provincia Las Tunas, Cuba (2024): en 28 m³ de MCA (masa cocida A) hay 14,42 m³ miel. En 28 m³ de MCB hay 16,80 m³ miel.

Masa de agua en 28 m³ de meladura, masa cocida A y B

Se realizó el cálculo de la masa de meladura, mieles y masas cocidas en 28 m³, así como la cantidad de agua en función del °Bx, para calcular las ppm del surfactante al añadir 0,5 L de ZUKER QZ-8044 (50 % de masa seca).

En los centrales azucareros de Las Tunas se trabajó en 2024 con dos masas cocidas: MCA y MCB, por lo que no se considerarán los procesos con las MCC (masa cocida C). Para las dosis de 250 g masa seca (0,5 L_{ZUKER QZ-804}/28 m³ de MC) y 500 g masa seca del ZUKER QZ-8044 (1 L/28 m³ MC), las concentraciones del ZUKER QZ-8044 en el agua de las mieles varían en los rangos de 51 a 61 ppm y 103 a 123 ppm para la MCA y entre 59 a 92 y 118 a 183 ppm para la MCB. El Manual de operaciones para la producción de Azúcar Crudo CAP-12_Uso de productos químicos en el proceso (AzCuba, 2018), especifica: Las dosis más efectivas para masas de agotamiento (MCC) está en el rango de 100 - 300 ppm, mientras que para masas comerciales (MCA y MCB) está entre 50 - 100 ppm. Siempre debe comenzarse aplicando la dosificación

más baja, aumentándola sí es necesario. El jabón de aceite de cera cruda a las concentraciones de 10 a 20 ppm, hace el mismo efecto que el ZUKER QZ-8044.

A partir de las concentraciones del ZUKER QZ-8044 en el agua presente en la meladura y mieles, se prepararon las disoluciones para medir las tensiones superficiales de las disoluciones de ambos surfactantes a diferentes concentraciones, en el intervalos de 0 a 200 ppm, de acuerdo con las indicaciones del “Manual de operaciones para la producción de Azúcar Crudo CAP-12_ Uso de productos químicos en el proceso” (AzCuba, 2018), ya que solo se procesan masa cocidas comerciales (MC) y no las masas cocidas de agotamiento (MCC).

Tabla 1

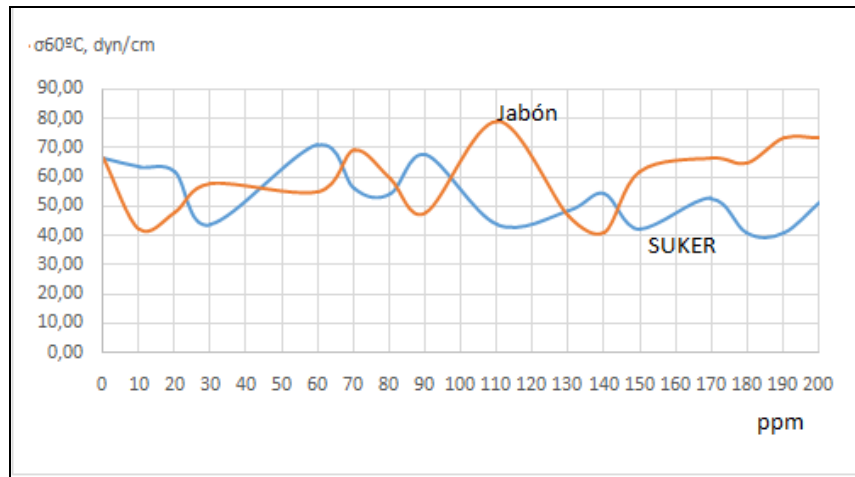
ppm en el agua presente en los productos azucarados analizados

(1) Material	(2) °Bx	(3) Densidad, kg/m ³	(4) V, m ³	(5) (M _{mieles}), t	(6) M _{aguaMiel} , t	(7) ppm Masas cocidas A y B; 0,5 L/28 m ³	(8) ppm Masas cocidas A y B; 1 L/28 m ³	(9) ppm Masas cocidas A y B; 2 L/28 m ³	(10) ppm Masa cocida C; L/28 m ³	(11) ppm Centrifugas de MC; 1,5 L/28 m ³
Meladura	55	1259	28	35,2	15,9	15,7				
Meladura	60	1289	28	36,1	14,4	17,3				
Meladura	65	1319	28	36,9	12,9	19,3				
Miel A	76	1384	14,42	20,0	4,9	51	103	205	308	154
Miel A	78	1401	14,42	20,2	4,4	56	112	225	337	169
Miel A	80	1414	14,42	20,4	4,1	61	123	245	368	184
Miel B	82	1427	16,8	24,0	4,2	59	118	236	354	177
Miel B	86	1455	16,8	24,4	3,4	73	146	292	438	219
Miel B	89	1476	16,8	24,8	2,7	92	183	367	550	275

Nota: Tensión Superficial (σ).

Figura 1

Curvas tensiométricas de las disoluciones de los surfactantes



Fuente: Datos obtenidos en el proceso de investigación.

Para las mediciones se empleó un aparato basado en la medición de la presión máxima de burbuja, tipo Rebinder con un solo capilar. Para verificar el equipo se compararon los valores de tensión superficial del agua a 28, 40, 60 y 80 °C, reportados en la literatura (Shaw, 1977) y los valores dados por el equipo. El análisis estadístico indica que los datos proceden de poblaciones normales. La prueba t muestra que no hay diferencia significativa al 95 % entre los datos reportados en la literatura y los obtenidos en el equipo, por lo que se concluye que el tensiómetro reproduce con un margen de error aceptable. Los resultados de las mediciones fueron sometidos a análisis estadístico mediante el software Statgraphics Centurion XV.

Resumen estadístico para las dos muestras de datos

1. No hay desviaciones significativas de la normalidad.
2. No existieron diferencias significativas entre las medias de las tensiones superficiales de ambos surfactantes.

Las mediciones arrojaron los siguientes resultados: El °Bx de la meladura varió de 55 a 65 y las ppm del ZUKER QZ-8044 varían de 16 a 19 (tabla 1). En ese intervalo las disoluciones del jabón presentan menores tensiones superficiales que las del ZUKER QZ-8044, por lo que puede sustituirlo (figura 1).

Las tensiones superficiales de las disoluciones acuosas de ambos surfactantes muestran punto de extremos, lo que coincide con los reportes de ese fenómeno en la literatura (McBain, 1929; Shaw, 1977; Valea y González, 1990; Gil, 2000).

Sobre la base de los datos primarios y las curvas de la figura 1 como auxiliares para interpolar, se obtuvo la tabla 2.

Tabla 2

Concentraciones a las que el jabón tiene un efecto equivalente al ZUKER QZ-8044

Material	°Bx	ppm ZUKER 0,5 L/28 m ³	Azul, σ60°C, dyn/cm	Jabón, σ60°C, ppm equiv.	Jabón, σ60°C, dyn/cm	ppm ZUKER; 1 L/28 m ³	σ60°C, dyn/cm	Jabón, σ60°C, ppm equiv.	Jabón, σ60°C, dyn/cm
Melad.	55	16	62	10 a 20	42 a 48				
Melad.	60	17	62	10 a 20	42 a 48				
Melad.	65	19	62	10 a 20	42 a 48				
Miel A	76	51	66	10 a 20	42 a 48	103	39	50	41
Miel A	78	56	60	10 a 20	42 a 48	112	40	50	41
Miel A	80	61	71	10 a 20	42 a 48	123	38	50	41
Miel B	82	59	71	10 a 20	42 a 48	118	33	50	41
Miel B	86	73	55	10 a 20	42 a 48	146	48	50	41
Miel B	89	92	67	10 a 20	42 a 48	183	41	50	41

Fuente: Datos obtenidos en el proceso de investigación.

De acuerdo con el °Bx de la meladura se emplean concentraciones de 16, 17 y 19 ppm de ZUKER QZ-8044 en el agua de la meladura (0,5 L ZUKER/28 m³ de meladura), para tensiones superficiales de 62 dyn/cm. Ese mismo efecto se logra con las disoluciones del jabón de aceite de cera cruda de cachaza, a las concentraciones de 10 a 20 ppm. En el caso de la miel A, el °Bx varió de 76 a 80 y las ppm de ZUKER QZ-8044 variaron de 51 a 61.

Para estas concentraciones las tensiones superficiales de las disoluciones del QZ-8044 son mayores que las del jabón en igual rango de concentraciones. Sin embargo, en el intervalo de concentraciones de 10 a 20 ppm en solución acuosa del jabón, tienen el mismo efecto sobre la tensión superficial que el ZUKER QZ-8044 en disoluciones acuosas de 76 a 80 ppm. En ese intervalo de concentraciones, las disoluciones del jabón pueden sustituir a las del ZUKER QZ-8044. Para la miel B, el °Bx varió de 82 a 89 y las ppm de ZUKER QZ-8044 tomaron valores de 59, 73 y 92. Para esas concentraciones del ZUKER QZ-8044 en el agua de las mieles, las tensiones superficiales de las disoluciones son mayores que las del jabón en el intervalo de 10 a 20 ppm.

Las disoluciones del jabón en el rango de concentraciones de 10 a 20 ppm, pueden sustituir 59, 73 y 92ppm del ZUKER QZ-8044. El efecto de las concentraciones del ZUKER QZ-8044 de 103 a 183 ppm que se obtienen cuando se emplea 1 L/28 m³de MC, provoca tensiones superficiales σ de 33 a 41dyn/cm. Esto también se logra aproximadamente con 50 ppm del jabón (σ : 41dyn/cm) (tabla 2). Hay que tener en cuenta que la calidad de la caña influye sobre la viscosidad de las mieles y las MC.

Efecto económico

El ZUKER QZ-8044 es un producto que se importa de Argentina, con un precio de 4 486 usd/t. El jabón de aceite de cera cruda de cachaza tiene un precio de 79 940 cup/t. Al cambio del Banco Nacional de Cuba: 120 cup/usd, la sustitución del ZUKER QZ-8044 por el jabón ahorra $4\ 486 \times 120 - 79\ 940 = 458\ 380$ cup por cada t del producto.

Sin embargo, el efecto también tiene un peso estratégico, ya que, al sustituirlo por el jabón de aceite de cera cruda de cachaza, de producción nacional, se elimina la dependencia del comercio con la empresa argentina GRUPO ZUKER.

Discusión

Los tensoactivos

Los tensoactivos son moléculas orgánicas que modifican las fuerzas de superficie o atracción existentes entre las moléculas de una sustancia líquida, en la superficie de contacto, con un sólido. Es decir, disminuyen la tensión superficial. Son componentes que ayudan a disolver o emulsionar sustancias insolubles en agua; aceites, grasas, suciedad. Su función principal es desprender la suciedad facilitando la limpieza (Valea y González, 1990; Glasstone, 1972).

Las moléculas de los tensoactivos tienen dos partes. Una parte polar con cierta carga eléctrica que es soluble en agua (hidrófila) y que provoca la dispersión o la solubilización. Una parte apolar sin carga eléctrica que no se disuelve en agua (hidrófoba). Puede llegar a ser soluble gracias a los grupos hidrófilos (Valea y González, 1990, Glasstone, 1972; Shaw, 1977).

Son compuestos orgánicos obtenidos mediante síntesis química y caracterizados por un comportamiento específico en disolución, que los hace responsables de su uso en una amplia gama de productos: champús, geles, suavizantes, antibacterianos, etc. La causa de este comportamiento reside en la composición molecular (Glasstone, 1972; Shaw, 1977). Cuando se disuelven en agua o en otro disolvente se orientan en la interfase entre el líquido y una segunda fase, que puede ser sólida, líquida o gaseosa, modificando así la tensión superficial, que es la tendencia espontánea de todo sistema a hacer mínima el área superficial. A medida que aumenta la concentración de tensoactivo, las moléculas tienden a colocarse en forma de mono capa superficial con la cabeza polar hacia el agua y la cadena hidrofóbica orientada hacia la otra fase (Shaw, 1977).

Acerca del comportamiento de la tensión superficial σ de las disoluciones acuosas de surfactantes, McBain (McBain, 1929) muestra las curvas tensiométricas o curvas de tensión superficial vs concentración para las disoluciones acuosas de jabones sódicos y otros surfactantes. Estas curvas presentan puntos de mínimos y máximos relativos a concentraciones menores que la micelar crítica (CMC). Según Glasstone (1972), estos puntos de mínimos son típicos de medidas hechas en disoluciones de electrólitos coloidales (surfactantes) y que está en aparente contradicción con la ecuación de Gibbs, ya que indica una desorción en el intervalo de concentraciones para el cual $d\sigma/dc$ es positivo. Por otro lado, Shaw (1977) atribuye esta anomalía a trazas de impurezas que se absorben en la interfase a concentraciones menores de la micelar crítica. Valea y González (1990) plantean que tales mínimos existen, pero son de difícil interpretación y parecen presentarlos los surfactantes más hidrofílicos (iónicos y los de elevada etoxilación).

Existen otros hechos que corroboran indirectamente la existencia de los puntos de extremos relativos en las curvas tensiométricas de las disoluciones acuosas de surfactantes a concentraciones menores que la concentración micelar crítica (CMC). Al analizar los datos experimentales publicados por diferentes investigadores en procesos de transferencia de calor y agotamiento de mieles, se deduce la existencia de máximos y mínimos relativos para la tensión superficial, el ángulo interfacial de contacto y la viscosidad en líquidos, donde se han adicionado surfactantes a diferentes concentraciones, menores que la CMC (Gil, 2000).

El efecto de los surfactantes sobre la viscosidad es un fenómeno aun insuficientemente estudiado desde el punto de vista de su fundamentación teórica, aunque cada vez es mayor el número de autores y firmas que aseguran que algunos surfactantes modifican la viscosidad (Tween 80, 2025; PDMS, 2025; Rajae et al., 2023; Retzman, 2018).

Influencia de los surfactantes sobre la tensión superficial y la viscosidad en el proceso de cristalización

Se atribuye a los surfactantes comercializados para ser empleados en el área de cristalización, la propiedad de incrementar la velocidad de evaporación, así como disminuir la tensión superficial e interfacial y la viscosidad (ZUKER QZ-8044, 2024; Tween 80, 2025; PDMS, 2025; Retzman, 2018). Se plantea que para una materia prima (caña) de calidad normal para la cual la viscosidad del licor madre no es alta, el efecto de los surfactantes sobre la viscosidad es despreciable, pero es muy acentuado en los casos de procesar cañas de mala calidad las que producen masas cocidas finales con viscosidades elevadas (Rein, 2012).

Gil (2000) señala que en investigaciones de laboratorio realizadas por diferentes investigadores con cuatro surfactantes: FLO-1, FLO-2, FLO-3 y Hodag CB-6 a 50, 100 y 150 ppm base el peso de mieles y 40, 50, 60 y 70 °C, respectivamente, estos encontraron una dosis óptima que depende del tipo de surfactante y de la temperatura, pero que generalmente al aumentar la concentración del surfactante se incrementó el

por ciento de reducción de la viscosidad a temperatura constante. Reportaron que el mayor por ciento de reducción de la viscosidad con los cuatro surfactantes estudiados se obtuvo a 60 °C. A 70 °C el efecto de los ATA es menor que a menores temperaturas. No reportaron la existencia de puntos de extremos, sin embargo, al graficar los datos, estos aparecen (Gil, 2000).

La divergencia en los resultados de los diferentes investigadores acerca del efecto del surfactante sobre la viscosidad del licor madre, no es sorprendente si se tiene en cuenta la alta variabilidad en la calidad de la materia prima que procesan los centrales azucareros y las diferencias en las condiciones bajo las cuales se desarrollan los experimentos, así como de los productos empleados y las concentraciones estudiadas (Gil, 2000).

El tensoactivo ZUKER QZ-8044

En los centrales de la provincia de Las Tunas se aplica el tensoactivo ZUKER QZ-8044 para reducir la viscosidad en el proceso de cristalización. Este producto es importado de Argentina. El fabricante señala que el ZUKER QZ-8044 es un gran auxiliar para el proceso de obtención de sacarosa a partir de los jugos de caña, cuyo principal obstáculo se encuentra en la viscosidad de los materiales en las etapas donde se realiza la cristalización (ZUKER QZ–8044, 2024).

Su acción lubricante permite un mejor agotamiento de las masas en frío y un mejor purgado en las centrifugas. Para templas de “C”, la dosis varía de 1,5 a 3,0 L de ZUKER QZ-8044 por cada 28 m³ (1000 ft³) de masa. Para templas “A” o “B”, en caso de requerirse, la dosis es de 0,5 a 1,0 L de ZUKER QZ-8044 por cada 28 m³ (1000 ft³) de masa. En agotadores en frío (cristalizadores), aplicar 3 litros de ZUKER QZ-8044 por cada 28 m³ (1000 ft³) de masa. Para centrifugas aplicar 1,5 litros de ZUKER QZ-8044 por cada 28 m³ (1000 ft³) de masa (ZUKER QZ–8044, 2024).

Características del ZUKER QZ-8044 (2024)

Densidad a 25 °C: 1.00 – 1.03

% de sólidos totales: 50, mínimo

pH solución al 1%: 6.0 – 8.0

En el proceso de cristalización, una parte de la suspensión corresponde al agua con azúcares y no azúcares disueltos y otra parte a los cristales formados y en crecimiento, por lo que la adición de surfactantes a la suspensión provoca alteraciones en la tensión superficial y la viscosidad de la suspensión (Retzman, 2018). La existencia de las zonas de máximos y mínimos, a concentraciones menores que la concentración micelar crítica (CMC), no varía linealmente con la concentración y dependen del tipo de surfactante, tal como es reportado en la literatura consultada. Ese comportamiento es el que permite encontrar las zonas donde diferentes surfactantes tienen aproximadamente el mismo efecto sobre la tensión superficial y la viscosidad (Gil, 2000).

Conclusiones

Se concluye que la bibliografía consultada contribuyó al basamento teórico de la investigación. El 67 % de las publicaciones relacionadas directamente con el problema investigado, son de fecha anterior al año 2019. Sin embargo, los conocimientos expuestos en esas publicaciones tienen plena vigencia. En las diferentes publicaciones consultadas aparecen pruebas del efecto de los surfactantes sobre la tensión superficial y la viscosidad. Cuando están presentes en disoluciones acuosas a concentraciones menores que la CMC, presentan zonas de máximos y mínimos (puntos de extremos) aún no totalmente explicados, que dependen de la concentración y naturaleza del surfactante. Los puntos de extremos antes mencionados, aparecieron -como era de esperar- en las curvas tensiométricas del jabón de aceite de cera cruda y del ZUKER QZ-8044.

El procedimiento seguido permitió determinar las masas de meladura y mieles A y B, así como la masa de agua contenida en estos productos. A partir de esos resultados fue posible calcular las ppm (partes por millón) del ZUKER QZ-8044 en el agua de la meladura o miel, cuando se añaden 0,5 a 1,0 L por cada 28 m³ de meladura, masa cocida A y B, considerando 50 % de materia seca y una densidad de 1000 g/L.

El tensiómetro reprodujo los valores de presión de burbuja y permitió evaluar las tensiones superficiales de las disoluciones acuosas del ZUKER QZ-8044 y del jabón de aceite de cera cruda de cachaza. El análisis estadístico indica que las muestras provinieron de poblaciones normales y no hay diferencia significativa entre las medias.

A partir de los datos primarios fue posible el trazado de las curvas tensiométricas. Sobre la base de los datos primarios e interpolando en las curvas, fue posible determinar los rangos de concentraciones en las que las disoluciones del jabón tienen iguales o menores tensiones superficiales que las obtenidas con el ZUKER QZ-8044 al ser aplicado a la meladura y las MC A y B en las dosis de 0,5 a 1 L por cada 28 m³.

Estos resultados son los que permiten teóricamente y experimentalmente sustituir las disoluciones del ZUKER QZ-8044 por las del jabón de aceite de cera cruda de caña en los rangos de concentraciones de 10 a 20 ppm, donde las tensiones superficiales de las disoluciones del jabón son iguales o menores que las del ZUKER QZ-8044. Las correcciones deberán realizarse con las mieles reales. La sustitución del ZUKER QZ-8044 por el jabón tiene un efecto económico positivo y estratégico.

Referencias bibliográficas

AzCuba. (2018). *Manual de operaciones para la producción de Azúcar Crudo CAP-12_Uso de productos químicos en el proceso.*
<https://www.azcuba.cu/category/azcuba/>

Clark, J. y García, J. (2008). *El proceso de fabricación de azúcar crudo en los tachos.* Ciencia y Tecnología.

- Díaz, M. y Hernández, E. (2020). Composición de la cera de caña de azúcar y el empleo de solventes para su extracción y fraccionamiento: Enfoque orientado a su aplicación. *Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 54(3), 18–24. https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2021/02/Vol.-54-No.-3_2020.pdf
- Gil, J. M. (2000). *Intensificación del proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar con el uso de surfactantes aniónicos en el agua de imbibición* [Tesis doctoral. Universidad de Oriente].
- Glasstone, S. (1972). *Tratado de química física* (2ª ed. J. Sancho Gómez, Trad.). Aguilar de Ediciones.
- Ledoux-Ovies, T. y Álvarez-Quesada, I. (2024). Tensoactivos aniónicos a partir de la cera de caña. *Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 58(3). <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2024/12/articulo-9.pdf>
- McBain, J. W. (1929). Properties of soaps and their aqueous solutions. In *International Critical Tables of Numerical Data Physics, Chemistry and Technology*. Vol. V, pp. 446–460. National Research Council, McGraw-Hill Book Company.
- Rajaei, M., Hakimzadeh, V., Arianfar, A. y Shahidi, M. (2023). The effect of nonionic surface-active components on cold crystallization in sugar industry. *Iranian Journal of Food Sciences and Industries*, 20(138). https://fsct.modares.ac.ir/files/fsct/user_files_749497/eng/v_hakimzadeh-A-10-18758-14-bc359aa.pdf
- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar* (ISBN 978-3-87040-142-9). www.ingenieriadelacanaazucar.com
- Retzman, N., Herrera, J. A. y Peláez, M. (2018). *Aplicación de los tensoactivos y antiespumantes en la industria azucarera*. <https://www.atamexico.com.mx>
- Shaw, D. (1977). *Química de Superficie y Coloides*. ALHAMBRA, S.A.
- Tween 80. (2025). *Ficha técnica*. <https://www.sefh.es/fichadjuntos/TWEEN80.pdf>
- Valea, A. & González, M. L. (1990). *Comportamiento de los tensioactivos en disolución*. Servicio Editorial. Universidad del País Vasco.
- Zuker. (2024). ZUKER – QZ – 8044 – tensoactivo-tachos. <http://grupozuker.com/wp-content/uploads/2019/06/7.-ZUKER-QZ-8044-tensoactivo-tachos.pdf>

Declaración de conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses entre ellos ni con otros autores/as sobre el artículo.

Declaración de autoría:

José Marcos Gil Ortiz: diseño de la investigación, curación de datos, análisis estadístico, validación de conjuntos de datos, redacción inicial y final del artículo.

Keila Blanco Creag: obtención de datos de campo, análisis estadístico, revisión de la redacción.

Yamilé Batista Yero: obtención de datos de campo, análisis estadístico, revisión de la redacción.

Maricela Pérez Méndez: obtención de datos de campo, análisis estadístico, revisión de la redacción.

Norge Peña Gutiérrez: obtención de datos de campo, análisis estadístico, revisión de la redacción.

Universidad de Las Tunas en <https://ror.org/05fj29j73>