

## Evaluación del uso de acondicionadores magnéticos en evaporadores de la industria azucarera en Chiapas, México

Víctor Manuel Molina-Morejón<sup>a\*</sup>, José J. Tristán-Moncada<sup>b</sup> y José de Jesús Espinoza-Arellano<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Coahuila. Instituto Multidisciplinario de Investigación y Gestión para el Desarrollo Empresarial (IMIGIDE), Torreón, Coah., México. [victormolina@uadec.edu.mx](mailto:victormolina@uadec.edu.mx). <sup>b</sup>MOVAGRO SA de CV. Cd. Obregón, Sonora.

### Biotecnología y Ciencias Agropecuarias

#### Abstract

The objective of this work was to make a technical evaluation of the use of magnetic conditioners in the evaporation system at the Huixtla Sugar Mill, Chiapas, Mexico. The value of the degrees Brix (<sup>o</sup>Bx) of the molasses was the contrast factor between two harvests, one using magnetic conditioners and the other without them. The effect of the treatment of magnetic conditioners was verified, observing statistical differences between the value of the Brix degrees of the two harvests. Using magnetic conditioners reduced the thickness of the calcium carbonate particle scale, which increased the heat transfer coefficient by 30%. With an average grinding of 8,500 t/day, the savings in steam consumption was 3.89 t/hour, and the bagasse savings was 1.75 t/hour, which in 160 days generated a surplus of 6,720 tons of bagasse of which 850 additional tons of sugar were obtained.

**Keywords:** magnetic conditioners, Brix degrees (<sup>o</sup>Bx), evaporators, incrustations, mexican sugar industry.

#### Resumen

El objetivo de este trabajo fue hacer una evaluación técnica del uso de acondicionadores magnéticos en el sistema de evaporación en el Ingenio de Huixtla, Chiapas, México. El valor de los grados Brix (<sup>o</sup>Bx) de la melaza fue el factor de contraste entre dos zafra, una con el uso de acondicionadores magnéticos y otra sin ellos. Se comprobó el efecto del tratamiento de acondicionadores magnéticos, observándose diferencias estadísticas entre el valor de los grados Brix de las dos zafra. Con el uso de los acondicionadores magnéticos se redujo el espesor de las incrustaciones de partículas de carbonato de calcio, lo que aumentó el coeficiente de transferencia de calor en un 30%. Con una molienda promedio de 8,500 t/día, el ahorro en el consumo de vapor fue de 3.89 t/hora, el ahorro de bagazo fue de 1.75 t/hora lo que en 160 días generó un excedente de 6,720 toneladas de bagazo de las cuales se obtuvieron 850 toneladas de azúcar adicionales.

**Palabras clave:** grados Brix, acondicionadores magnéticos, evaporadores, incrustaciones, industria mexicana del azúcar.

#### Problemática

En el proceso de evaporación de un ingenio azucarero, se hierve el jugo extraído de la molienda de la caña para extraer el agua y obtener la melaza a partir de la cual se produce el azúcar. El proceso de evaporación produce incrustaciones que son partículas de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) que se adhieren al interior de las tuberías y reducen el diámetro interior. Al mantener el mismo caudal y la misma presión se produce mayor fricción, y por ende mayor consumo de energía y una tasa de transferencia de calor mucho menor. El aumento del espesor de las incrustaciones, de 1 o 2 mm, aumenta el consumo de vapor en un 1%. Por lo anterior, se incrementan los costos de producción debido a un mayor consumo de energía, a interrupciones no programadas para asegurar la limpieza de los evaporadores y al uso de desincrustantes químicos.

#### Usuarios

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), industria azucarera, organizaciones de productores de azúcar, centros de investigación, estudiantes de ingeniería.

## DIAGRAMA TRATAMIENTO MAGNÉTICO (TM)

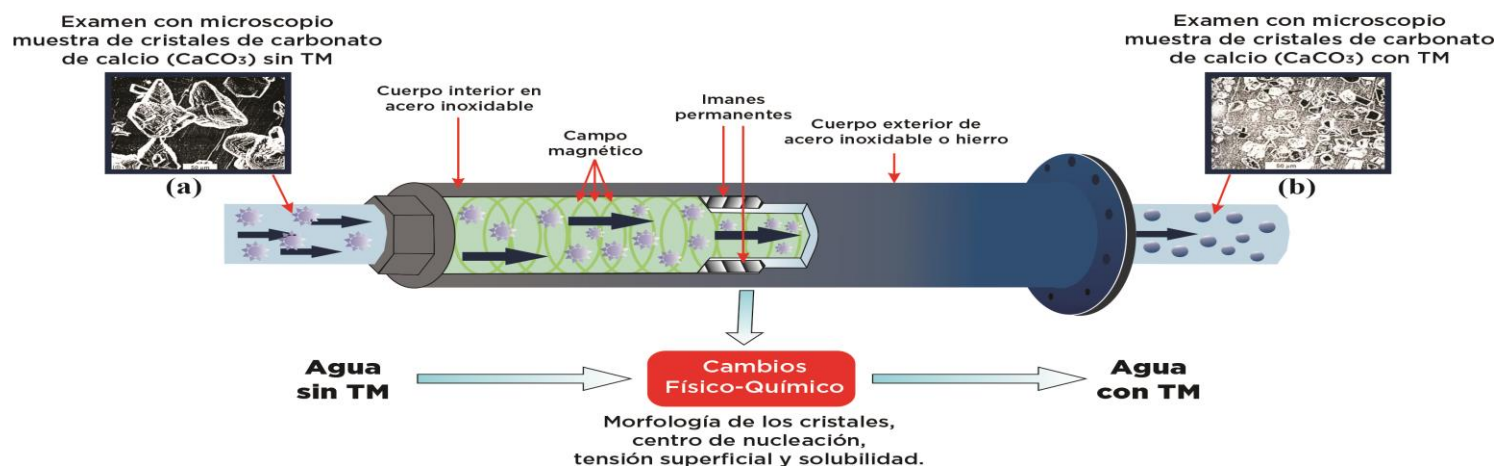


Figura 1. Diagrama básico del funcionamiento del proceso magnético del tratamiento de aguas. (a) Muestra de cristales en fase calcita incrustante sin tratamiento magnético TM y (b) cristales en fase aragonita no incrustante con TM. Fuente: Tristán y Núñez (2001)

#### Introducción

Entre las teorías sobre el efecto del campo magnético en las soluciones acuosas existen varias hipótesis. Lipuš et al. (1998) tratan de explicar los efectos basándose en la incidencia sobre la estructura molecular del agua y otra se basa en los efectos sobre las partículas ferromagnéticas coloidales disueltas. La hipótesis más extendida es la interacción del campo magnético con los iones de las sales presentes en la solución acuosa. Como los iones de las sales tienen carga eléctrica, la interacción con las líneas de fuerzas del campo magnético altera la posición de equilibrio de los compuestos iónicos y provoca un cambio morfológico (forma y tamaño) de los compuestos cristalinos de carbonatos de calcio fundamentalmente, por lo cual cambian de ser cristales grandes y puntiagudos a ser pequeños con formas que tienden a ser redondeada (Bush et al, 1998; Tristán, 2001; Moran, 2004) (Fig. 1). Este cambio morfológico de las sales en el agua incrementa la solubilidad a la temperatura del proceso y solo permite la formación de cristales pequeños y redondeados. En la industria azucarera, el evaporador hierve la solución acuosa obtenida de la caña de azúcar molida, y se generan incrustaciones por varios factores: la composición del jugo, la concentración de sacarosa, la temperatura y la velocidad del fluido a través de los tubos (Carrillo y Espinosa, 1979; Hernández-Clavijo, 1982). La fabricación de azúcar se beneficia del tratamiento magnético porque reduce las incrustaciones en la superficie interna de la calandria evaporativa (Bogumil et al. 1982; Barros, 1999). El medio ambiente se beneficia del uso reducido de NaOH y HCl en la limpieza y los costos de las empresas (Lundager, 1995; Bisheng et al. 1995; Cole et al. 1996). En 2017, en el ingenio azucarero de Huixtla, Chiapas, se presentó un problema de incrustaciones generalizadas en las tuberías de los vasos evaporadores; los tubos son fabricados de acero o cobre, con diámetros de 32 x 35 mm y largo máximo de 3 m. Las incrustaciones afectan los niveles de los grados Brix de la melaza por lo que cuando estos pasan de un valor determinado se hace necesario limpiar la instalación pues ya está incrustada. La limpieza de las tuberías se realizaba con diferentes equipos de bombeo de alta presión de agua, que retrasaban el proceso debido a que se tenían que dar alrededor de cinco pases a 1260 Kg (cm<sup>2</sup>)-1. En algunas ocasiones, debido a la dureza de la incrustación, se llegó a utilizar sosa cáustica NaOH a 80 – 90 °C con concentración de 50 °Bx lo que generó frecuentes interrupciones al no tener la estación de evaporación capacidad suficiente por llenos en el área de jugo clarificado (Tristán y Molina, 2022).

#### Objetivos

El objetivo de este trabajo fue llevar a cabo una evaluación del uso de acondicionadores magnéticos en evaporadores de la industria azucarera en el ingenio de Huixtla, Chiapas, México. La hipótesis planteada en este trabajo fue que la instalación de los acondicionadores magnéticos es viable porque aumenta los <sup>o</sup>Bx de la melaza y reduce los tiempos perdidos en el proceso de producción.

#### Materiales y Métodos

Se registraron los valores de <sup>o</sup>Bx a la entrada y salida de los vasos evaporadores de una misma estación de evaporación y se compararon los valores de ambas cosechas. Los grados Brix de la melaza es el parámetro que muestra el estado de incrustación de los evaporadores. Por lo tanto, se esperan diferencias significativas entre el valor de <sup>o</sup>Bx en la cosecha 2017 (Caso 1: sin acondicionadores magnéticos) y el valor de <sup>o</sup>Bx en la cosecha 2018 (Caso 2: con acondicionadores magnéticos).

**Acondicionadores magnéticos para reducir las incrustaciones de sales.** Las características técnicas y operativas más importantes de los acondicionadores fueron: a) no consumo de energía eléctrica pues su funcionamiento parte de la energía magnética que le proveen los imanes permanentes que tiene en su interior, b) conformados con imanes de Neodimio-hierro-boro del tipo N-42 con recubrimiento metálico y orientación magnética en dirección transversal marca MOVAGRO hecho en México (Fig. 2). Se instaló un acondicionador de 10 pulgadas en la tubería de entrada de los vasos evaporadores 5 y 6 y otro de 12 pulgadas en la línea al intercambiador de calor de placas para proteger el vaso 1. El análisis estadístico se realizó con la prueba de t de student de medias independientes con un nivel de significancia del 5 %, con el uso del programa estadístico SPSS

#### Resultados y Discusión

En la zafra 2018 se obtuvieron los siguientes resultados.

1) El consumo de vapor se redujo a 0.383 kg/t de caña frente a los 0.442 kg/t de caña del año anterior. 2) Las interrupciones del proceso se redujeron en 24:49 horas al comparar la zafra sin acondicionadores con la zafra donde se usaron los acondicionadores. 3) Se ahorró el consumo de elementos químicos para desincrustar en un 30%. Los resultados (con n= 40 para cada muestra, 78 gl, t=23.18, medias de 64.23 <sup>o</sup>Bx para la zafra 2018 y de 60.34 <sup>o</sup>Bx para la zafra 2017) mostraron diferencias altamente significativas (p<0.01) entre ambos años. Se probó la hipótesis de investigación pues hubo un incremento significativo de los <sup>o</sup>Bx de la melaza (Tabla 1). Estos resultados coinciden con lo observado por otros autores sobre

el uso de los campos magnéticos en las propiedades físicas y de evaporación de líquidos como los electrolitos (Holysz et al., 2007), el agua (Wang et al., 2018), y soluciones acuosas en la industria azucarera (Tristán et al., 2010).

#### Conclusiones

Aumentó el coeficiente de transferencia de calor en un 30%, y ahorró 1.1% de caña en el consumo de vapor. Los <sup>o</sup>Bx se incrementaron de 60.34 (zafra 2017) a 64.23 (zafra 2018). En la zafra 2018 se redujo en 24:49 horas el tiempo perdido de clarificación y evaporación al aprovechar mejor el área de evaporación e incrementar el coeficiente de transferencia de los vasos 1, 5 y 6. El ahorro de vapor de 3.89 t/hora y de bagazo de 1.75 t/hora logró 6,720 toneladas adicionales de bagazo.

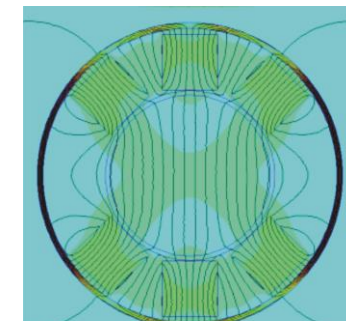


Figura 2. Simulación de la acción del campo magnético en la solución acuosa. Durante las 20 semanas de la zafra 2017 y las 20 de la 2018 se realizaron 40 mediciones de <sup>o</sup>Bx de melaza en cada zafra.

#### Impacto Socioeconómico

La adquisición de los acondicionadores magnéticos implicó una inversión inicial de \$760,000 pesos, pero el valor de la producción adicional obtenida con esta tecnología fue de \$6'035,000 por lo que la inversión se recuperó desde el primer año (Tabla 1).



Contacto PCTI:  
[hnolescosoria@gmail.com](mailto:hnolescosoria@gmail.com)

Tabla 1. Análisis financiero comparativo entre los casos 1 y 2. Tiempo perdido, costos y valor de la producción de azúcar con y sin el uso de acondicionadores magnéticos					
Caso 1	Caso 2	Diferencias de tiempo perdido	Cantidad adicional de la azúcar producida en las 24:49 horas recuperadas con el uso de acondicionadores magnéticos	Valor en el ingenio de las 850 ton de azúcar adicional (pesos)	Costo de adquisición e instalación de los tres acondicionadores magnéticos (pesos)
Tiempo perdido en procesos de elaboración sin el uso de acondicionadores magnéticos. Zafra 2017	Tiempo perdido en procesos de elaboración con el uso de acondicionadores magnéticos. Zafra 2018				
25:52 horas	1:03 horas	24:49 horas	850 ton	\$6'035,000	\$760,000

La comparación de los casos 1 y 2 muestra que hubo una reducción del tiempo perdido de 24:49 horas, lo que permitió al ingenio producir más azúcar con un valor, a precio mayorista, de \$6.03 millones de pesos. El costo de los acondicionadores magnéticos fue de \$760,000 pesos, por lo que la inversión se recuperó ampliamente en el primer año de zafra.