



Vol. 54, No. 2 - mayo-agosto - 2020

Día mundial del medio ambiente

Contribuciones al mejoramiento del estimado de los rendimientos de la caña de azúcar Contributions to the improvement of the estimate of the sugarcane performances

Martha González-Marrero, Alberto N. González-Marrero, Héctor Jorge-Suárez, Antonio Vera-Méndez, Guillermo Gálvez-Rodríguez, Maira Ferrer-Reyes, Sergio Guillén-Sosa

Sistema informático Cuadro de Mando Integral Plus (CMI PLUS). Una herramienta de análisis y proyección de la zafra

CMI PLUS computer system. A tool for analysis and projection of the harvest

Lérida Hernández-Nodarse, Alejandro Ruiz-Batista, Yoan Carmona-Izquierdo

Evolutionary relationships among prokaryotic fructosyltransferases

Relaciones evolutivas entre fructosiltransferasas procariotas

Yamira Quintero-de la Oliva, Alexis Musacchio-Lasa, Ana Gabriela Martínez-Peña, Carmen Menéndez-Rodríguez, Lázaro Hernández-García, Raúl Cruz-Millán

Desarrollo de perfiles sensoriales para la caracterización de aguardientes añejos **Development of sensory profiles for the characterization of aged spirits**

Idania Blanco-Carvajal, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Arlyn Reyes-Linares, Nancy Herrera-Marrero, Silvia Mato-Pérez

Comportamiento de los gases nitrosos y del sulfuro de hidrógeno en la obtención del IFA Furvina

Behavior of nitrogen gases and hydrogen sulfide in the obtaining of IFA Furvina

María Isabel Díaz-Molina, Claudia Lago-Durán, Zenaida Rodríguez-Negrín, Irenia Gallardo-Aguilar, Amalia Calvo-Alonso

Influencia de la lignina de biomasa cañera en la microbiota de suelos afectados por el cambio climático

Influence of the lignin from sugar bagasse on soil microbiote affected by climate change

Adolfo Brown-Gómez, Héctor Toribio-Cuaya, Sheila Brown-Roldan, Lorena Pedraza-Segura, Amaury Álvarez-Delgado, Juan A. Leal-Alfonso, Milaydis Reina-Hernández

Determinación experimental del coeficiente total de transferencia de calor en la transesterificación de aceite usado de fritura

Experimental determination of the heat transfer coefficient in the transesterification of used frying oil

Marlín García-Díaz, Yunaisys Cruz-García, José Gandón-Hernández, Guido Riera-González

Potencial fermentativo de mieles finales para la producción de etanol en las destilerías

Fermentative potential of molasses for ethanol production in distillery

My-Lai Ibáñez-Fuentes, Gustavo Saura-Laria, Roxana García-Gutiérrez, Emilia Carrera-Bocourt, Nancy Herrera-Marrero, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Arlyn Reyes-Linares

Principales modelos empíricos para describir las curvas de ruptura en la operación de adsorción. Caso de estudio para la purificación de biogás con empleo de membranas

Main empirical models to describe the break through curves in adsorption operation. Study case for biogas purification using membranes

Félix Enrique Alfonso-Martínez, Lianys Ortega-Viera, Elina Fernández-Santana, Iris Rúa-Rodríguez

Influencia del campo magnético estático en el proceso de preparación del sirope de piña

Influence of the static magnetic field on the pineapple syrup preparation process

Guillermo Ribeaux-Kindelán, Fidel Gilart-González, Yelennis Hernández-Vázquez

Reducción de la carga contaminante de empresas azucareras durante el quinquenio 2013-2018

Reduction of the contaminating load of sugar companies during the years 2013-2018

Orly López-Delgado; Georgina Michelena-Álvarez; Yohana De la Hoz-Izquierdo; Yaima Izquierdo-González; Evelyn Faife-Pérez; Dania Alonso-Estrada y Danelis Roget-Guevara

Día Mundial del Medio Ambiente

El Día Mundial del Medio Ambiente se celebra el 5 de junio, desde el año 1973. La fecha coincide con el inicio de la Conferencia de Estocolmo en 1972, cuyo tema principal fue precisamente el Medio Ambiente, el **Día Mundial del Medio Ambiente** se celebra con el objetivo de sensibilizar a la población mundial en relación a temas ambientales, intensificando además la acción política.

En 2020, el tema es la **Biodiversidad**, un gran motivo de preocupación mundial en materia medioambiental. Eventos catastróficos recientes como los incendios forestales a gran escala de Brasil, California y Australia, la invasión de langostas en el Cuerno de África y la pandemia de **COVID-19** demuestran que la Naturaleza nos está enviando un mensaje.

Estamos al borde de una extinción masiva y si seguimos por ese camino, la pérdida de biodiversidad tendrá graves consecuencias para la humanidad. Podrían colapsar los sistemas alimentarios y de salud.

¿Cómo se está celebrando el Día Mundial del Medio Ambiente?

Este año millones de personas celebran el evento de forma digital, conectados a las redes sociales. Participa tú también, únete al movimiento **#PorLaNaturaleza**, **#DíaMundialMedioAmbiente**.

Concurso ICIDCA “Cuida la casa de todos, cuida la vida”

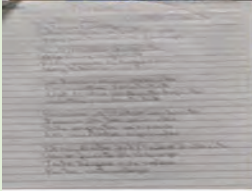
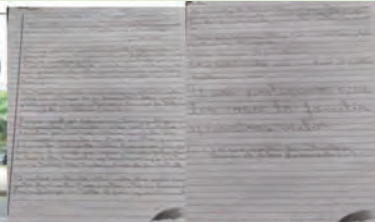
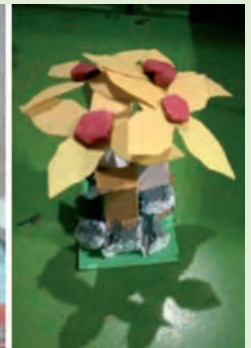
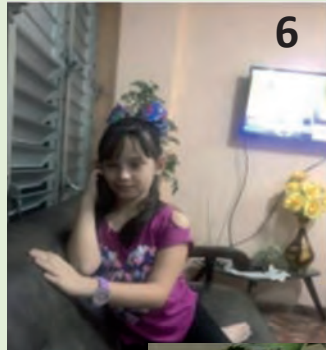
Se convocó al concurso “Cuida la casa de todos, cuida la vida”, con el objetivo de sensibilizar a los pequeños de casa en relación a temas ambientales y motivarlos en la acción urgente hacia el medio ambiente y el desarrollo sustentable.

Cada niño tuvo la oportunidad de enviar hasta 3 trabajos inéditos en los géneros de dibujo, plástica, fotografía, poesía y redacción, con tema relacionado con la Biodiversidad y el cuidado al medio ambiente.

Los trabajos se enviaron por correo electrónico a la dirección ambiental@icidca.azcuba.cu. El plazo de recepción de las obras venció el 13 de julio de 2020 y los ganadores se anunciaron el 19 de julio de 2020, en el Día de los Niños. Los trabajos premiados serán expuestos en la galería del ICIDCA, recibieron diplomas distintivo y en esta publicación, con mucho placer y orgullo, se anuncian los resultados.

!Felicidades a nuestros GUARDIANES DEL PLANETA!





Trabajos premiados

| | Categoría | Nombre del trabajo | Nombre y edad del autor |
|----|--------------------|--|---|
| 1 | Dibujo | Mis manos plantan flores | Isabella Méndez Estévez de Casanueva, 4 años |
| | Fotografía | Sostenida de un hilo | |
| 2 | Dibujo | Mi casa con flores | Carolina Valiente Cubas, 5 años |
| 3 | Dibujo | Holasol | Sebastián Coto Etcheverry, 6 años |
| | Fotografía | Metamorfosis | |
| | | Semillero | |
| 4 | Dibujo | Efecto doble arcoiris | Javier Flores de la Hoz, 7 años |
| | Fotografía | El cuidado del medio ambiente | |
| 5 | Dibujo | Paisaje cubano | Michael Flores de la Hoz, 9 años |
| 6 | Dibujo | Pintando de verde el planeta | Patricia Faife Fernández, 8 años |
| 7 | Fotografía | Perfume de colores | Alejandro Lamela del Valle, 8 años |
| 8 | Fotografía | Equilibrio | Adrián Lamela del Valle, 12 años |
| 9 | Fotografía | Horizontal con mangles | Bastían Torres Forcade, 8 años |
| 10 | Fotografía | Escarlata | Aaron Torres Forcade, 10 años |
| 11 | Dibujo | Plantando árboles | Ana Menéndez Palacios, 10 años |
| | Fotografía | | |
| 12 | Plástica | Cuidando los árboles: pulmones de la tierra | Naybel Pérez Viñals, 12 años |
| | | El arte de reciclar | |
| 13 | Dibujo | Cuidando la vida | Leyanis Guerrero Vidal, 12 años |
| | Poesía y Redacción | | |



Contribuciones al mejoramiento del estimado de los rendimientos de la caña de azúcar

Martha González-Marrero*, Alberto N. González-Marrero, Héctor Jorge-Suárez, Antonio Vera-Méndez, Guillermo Gálvez-Rodríguez, Maira Ferrer-Reyes, Sergio Guillén-Sosa
Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).
Carretera CUJAE km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba.
*marta.gonzalez@inica.azcuba.cu

RESUMEN

El trabajo presenta un grupo de ecuaciones de regresión múltiple, destinadas a realizar pronósticos de los rendimientos agrícolas y azucareros de la caña de azúcar en Cuba, con sus respectivos coeficientes de regresión y determinación, que permitieron seleccionar, para ambos rendimientos, los modelos de mejor ajuste. Se comparan los reales de las zafas azucareras con los de las estimaciones realizadas en ingenios que estuvieron activos desde 1978 hasta 2013. Se demuestra que existe una ecuación que permite pronosticar el Rendimiento Azucarero Base 96 %, teniendo en cuenta la Pol en caña y las pérdidas totales reales del proceso de fabricación de azúcar y tres ecuaciones que permiten pronosticar el rendimiento agrícola, si se parte de la composición de cepas de la agricultura cañera que participan en la cosecha. Se recomienda el uso de modelos estadístico-matemáticos como herramienta de trabajo del sistema de AZCUBA, destinados a modelar y estimar los rendimientos agroazucareros.

Palabras clave: modelos, pronósticos, rendimientos agrícolas, rendimientos azucareros.

ABSTRACT

At work shows up a group of equations multiple regressions, destined to accomplish forecasts of the agricultural and sugar performances of the sugar cane in Cuba, with your respective regression coefficients and determination, which allowed selecting for both performances the models of better adjustment. The real ones belonging to the sugar cane harvests compare with the ones of the estimates accomplished in ingenuities that were active since 1978 to 2013. It is proven that there is an equation that allows forecasting the sugar host performance 96 %, in line with the Pol in cane and the real total losses of the manufacturing process of sugar and three equations that allow forecasting the agricultural performance, in line with the composition of stocks of the cane agriculture that they participate in the harvest. The statistical use of models is recommended mathematical like tools of work of the system of AZCUBA, destined to model and to value agro-sugar performances.

Key words: models, forecasts, performances, agricultural, sugar.

INTRODUCCIÓN

La modelación del rendimiento agrícola de la caña de azúcar es una tarea compleja, por la influencia de parámetros deterministas y estocásticos. Los primeros asociados a la edad, la variedad y la temporada y, los segundos, incluyen las condiciones climáticas, el tipo de suelo, las prácticas de cultivo y otros (1).

La caña de azúcar se estima en las unidades productoras y sobre esta base se calculan las toneladas de que dispone la zafa para moler en una contienda que debe durar entre 120 y 150 días,

en correspondencia con la aparición de las lluvias, de forma temprana o tardía, en cada región productora (2).

Las instituciones de investigación y las organizaciones asociadas, así como la producción agrícola, se han favorecido con el desarrollo de las modernas tecnologías que posibilitan trabajar con grandes bases de datos, que ofrecen muchas posibilidades para modelar y estimar los rendimientos y mejorar las fases de organización y operación de los cultivos y fábricas (3).

La moderna y eficiente estimación de los rendimientos agrícolas puede incluir modelos empíricos, basados en información de campo, como enlace del comportamiento de las cosechas con el medioambiente y su manejo; modelos mecanicistas, sustentados por el comportamiento de las plantas, que integran bases de datos de cultivos, agua, suelo y clima (3); y otras tecnologías de punta de gran precisión y aplicación en la agricultura (4).

En Cuba se han realizado múltiples intentos para modelar los rendimientos del cultivo de la caña de azúcar, con aciertos y deficiencias pero, hasta el presente, no se dispone de una técnica efectiva para ello y se sigue estimando y pronosticando por métodos convencionales y, hasta empíricos (2, 5, 6, 7, 8).

Existen antecedentes en el uso de regresiones lineales múltiples para la estimación de rendimientos agrícolas e industriales en el país: fueron estimados los rendimientos agrícolas de los ingenios Abraham Lincoln y Héctor Molina, mediante la combinación de cuatro factores: variedades, duración de la zafra, porcentaje de mecanización de la cosecha y lluvia caída en el período de julio a septiembre (9); se propusieron dos modelos para estimar el rendimiento en azúcar por área, con las variables número de hojas activas, brix medio, pol en caña y azúcares reductores (5), y se obtuvieron varias ecuaciones para estimar los rendimientos cañeros y azucareros (10), que han sido desarrolladas y aplicadas en la agricultura cañera cubana (2, 7, 8).

Estos modelos, conocidos también por econométricos de producción, han sido utilizados en el pronóstico de los rendimientos del cultivo en algunos países cañeros como: Australia (11), Ecuador (12) y Sudáfrica (13). Hasta el presente no hay evidencias sobre el uso oficial, como sistema de trabajo en AZCUBA, de estos modelos para estimar los rendimientos de la caña de azúcar.

El trabajo tiene como objetivo mejorar la estimación de los rendimientos de la caña de azúcar, con la utilización de modelos estadístico-matemáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopilaron los resultados entregados al proyecto de investigaciones científicas Bases metodológicas para la modelación y pronóstico de los rendimientos agrícolas e industriales de la caña de azúcar en Cuba, desarrollado por el INICA (14) y presentados en el informe técnico *Estudio de la potencialidad productiva de las localidades cañeras de Cuba. Modelos para pronósticos del rendimiento azucarero* (15), expuesto a la Dirección del Grupo Azucarero AZCUBA, por parte del INICA, en noviembre de 2013.

Pronóstico del rendimiento azucarero

Se evaluaron cuatro modelos de regresión múltiple, informados por la literatura cañera especializada (7, 8, 10), para estimar el rendimiento industrial del proceso de producción de azúcar, a partir de la Pol en caña que entra al ingenio, las pérdidas totales del proceso de fabricación y la lluvia caída durante el período de zafra.

Estas ecuaciones matemáticas fueron obtenidas mediante análisis de regresión múltiple con variables de producción agroindustrial y análisis de correlación múltiple para escoger la ecuación de mejor ajuste (10).

Para pronosticar el rendimiento azucarero y cumplir con el objetivo que propone este trabajo se escogieron, por criterio de los expertos y por sus parámetros estadístico-matemáticos, los modelos 2 y 4, como ejemplos para procesar la información disponible (tabla 1).

En la Sala de Análisis Nacional del Grupo Azucarero AZCUBA, se obtuvo la información del comportamiento de la variable Rendimiento Industrial Base 96 %, de 13 zafras, correspondiente al periodo 2001-2013, que fue comparado con el rendimiento calculado por el modelo de estimación seleccionado.

La efectividad de las estimaciones fue comparada con el coeficiente de determinación R^2 , y se realizó una representación gráfica de los rendimientos reales de cada uno de los años del período analizado, contra los estimados obtenidos por los modelos usados en el estudio. Fue utilizado el programa Statistic. (Versión 6.0).

Pronóstico del rendimiento agrícola

Se evaluaron cuatro modelos de regresión múltiple, informados por la literatura cañera especializada (2, 8, 10), para estimar el rendimiento agrícola total, a partir de los rendimientos de la composición de cepas que se cosechan en el proceso comercial de la caña de azúcar en Cuba.

Se trabajó en un escenario real de producción, que abarcó 54 UEB cañeras que participaron en la zafra 2013; se aplicaron los cuatro modelos de regresión y se obtuvieron sus parámetros estadístico-matemáticos, para proceder a la elección de un buen estimador.

Se realizó una base de datos agrícolas en Excel y se incluyeron los rendimientos históricos por cepas y el rendimiento total del período correspondiente entre 1978 y 2012 (34 cosechas) y, a partir de ella, se trabajaron los modelos de referencia y se realizaron las estimaciones y comparaciones que fueron necesarias, para cumplir el objetivo propuesto.

Los valores de rendimientos estimados calculados con el tabulador Excel, se compararon con el real, obtenido por año e ingenio, de forma independiente y total, mediante un análisis de regresión múltiple. También se realizó un ANOVA de clasificación simple entre los rendimientos estimados y reales, de la zafra 2013, en 13 empresas azucareras del país, para el 1 % y el 5 % de significación (16). Fue utilizado el programa Statistic (Versión 6.0).

La efectividad de las estimaciones fue comparada con el coeficiente de determinación R^2 y se realizó una representación gráfica de los rendimientos reales obtenidos en cada una de las 54 UEB cañeras en el período señalado, contra los estimados obtenidos por los modelos usados en el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pronóstico del rendimiento azucarero

En la tabla 1 se presentan las ecuaciones de regresión que fueron usadas como modelos de predicción (10), para estimar el comportamiento del rendimiento azucarero como variable dependiente.

Tabla 1. Ecuaciones de regresión múltiple usadas para pronósticos del Rendimiento Base 96 %

| No. | Ecuación de Regresión | Coeficiente r | Coeficiente R^2 |
|-----|---|---------------|-------------------|
| 1 | $y=0.6972+0.9434(\text{PCI})$ | 0.9528 ** | 0.9097 |
| 2 | $y=2.2528+0.8628(\text{PCI})-0.1252(\text{PPT})$ | 0.9989 ** | 0.9979 |
| 3 | $y=2.1302+0.8626(\text{PCI})-0.1246(\text{PPT})+0.0001(\text{PTZ})$ | 0.9991 ** | 0.9981 |
| 4 | $y=3.0582+0.8630(\text{PCI})-0.2232(\text{PPT})+0.0026(\text{PPT})^2$ | 0.9992 ** | 0.9983 |

PCI = Porcentaje de Pol en caña que entra al ingenio, PPT = Porcentaje de pérdidas totales de la industria,

PTZ= Precipitaciones totales del período de zafra, ** - Significación al 0.01

Se observa que en los rendimientos estimados con la utilización de las cuatro ecuaciones, se alcanzó un buen ajuste con las tres últimas, demostrado por los coeficientes de determinación calculados para cada caso (ecuación 2, $R^2 = 0.9979$, ecuación 3, $R^2 = 0.9981$ y ecuación 4, $R^2 = 0.9983$). Ellas explican más del 99 % de las variaciones del Rendimiento Base 96 %, en las condiciones donde fueron obtenidos.

De los rendimientos estimados por las cuatro ecuaciones, se demostró por Análisis de Correlación Múltiple, que el mejor ajuste a la situación real se logró con la ecuación 4 ($R^2 = 0.9983$), aunque las ecuaciones dos y tres, también presentaron un buen ajuste y facilidades para trabajar con ellas en la práctica productiva, por la sencillez de su construcción y sus altos parámetros estadísticos matemáticos. Sobre esta base y, por criterios de los expertos, se realizaron estimaciones a partir de los modelos 2 y 4.

Al aplicar el modelo 2 al período de años analizados, se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 1 y en la figura 2, con excepción del año 2002, que en todo el período analizado, se obtuvo un buen ajuste del real con el estimado por lo que el modelo propuesto cumple con las expectativas y exigencias para las cuales se propone. Las desviaciones que se observan se enmarcan en la zafra correspondiente al año 2002, quizás, sea un problema atribuible a la naturaleza de la base de datos y no al modelo de cálculo y predicción. Esto indica, si se tienen en cuenta los niveles de ajuste del modelo validado, así como sus parámetros estadísticos, que este puede emplearse como un buen estimador del rendimiento azucarero.

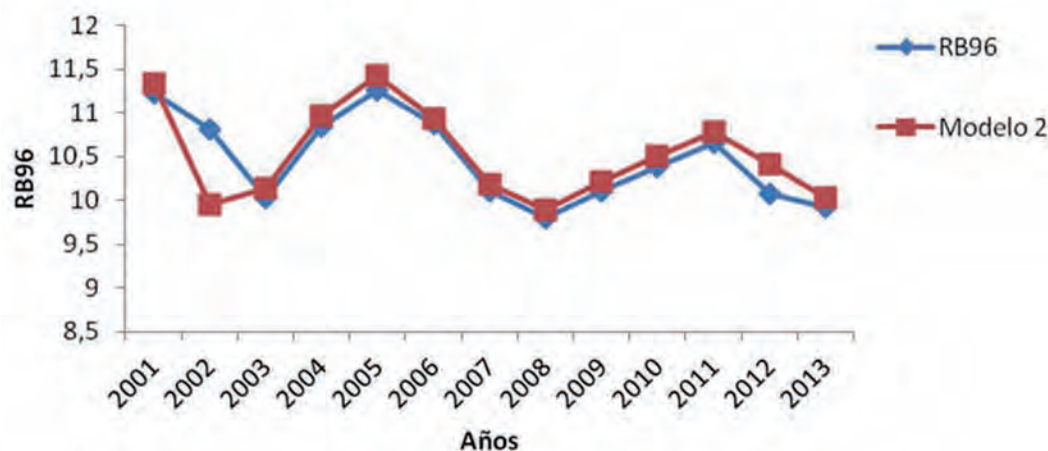


Figura 1. Estimación del Rendimiento Base 96 %, según el modelo 2.
 $Y = 2.2528 + 0.8628 (PCI) - 0.1252 (PPT)$.

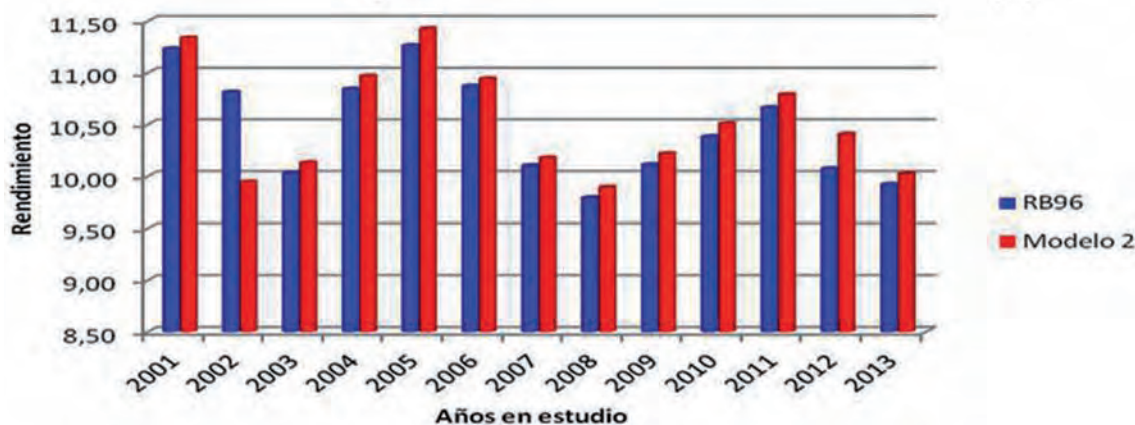


Figura 2. Representación del rendimiento industrial en el período 2001 - 2013.

Los resultados de la aplicación del modelo 4 se muestran en la figura 3, puede observarse el buen ajuste que se obtuvo al comparar el pronóstico ofrecido por el modelo y el Rendimiento Base 96 %, obtenidos por los 56 ingenios que molieron en Cuba en el período 2001 - 2013, el más alto de todos en este estudio.

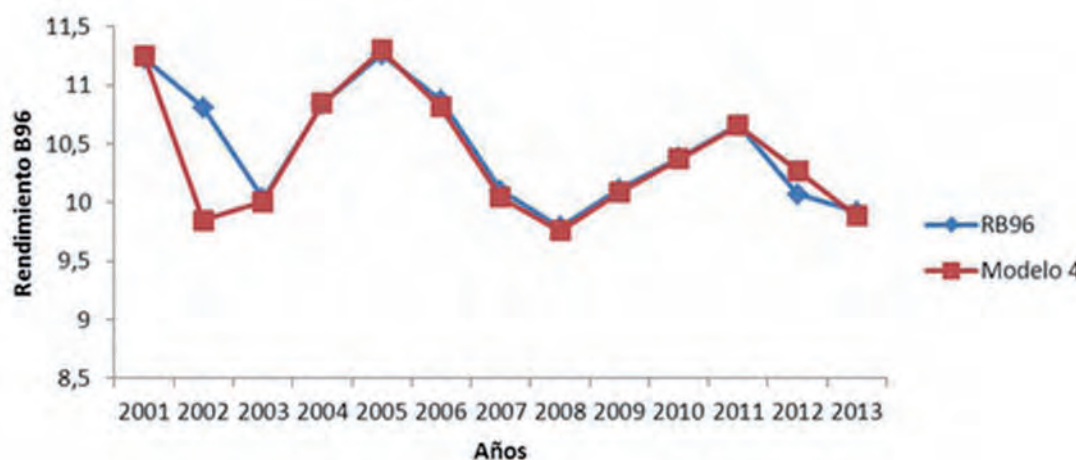


Figura 3. Estimación del Rendimiento Base 96 %, según el modelo 4.

$$Y = 3.0582 + 0.8630(PCI) - 0.2232(PPT) + 0.0026(PPT)^2$$

Cuando se comparan los dos modelos estadísticos diferentes: uno con efecto lineal de las pérdidas (modelo 2) y otro con efecto cuadrático (modelo 4), los resultados obtenidos resultan significativamente diferentes, a favor del último de estos; pues el cuadrático presenta parámetros estadísticos superiores (Véase: $r_2 = 0.9989^{**}$ vs $r_4 = 0.9992^{**}$ y $R^2_2 = 0.9979$ vs $R^2_4 = 0.9983$). De ahí, que el ajuste matemático obtenido con el modelo 4, en los pronósticos del rendimiento azucarero, fue también superior al logrado con los otros que son lineales.

Los niveles de ajuste de los modelos validados y sus parámetros estadísticos, permiten considerar que cualquiera de los cuatro presentados, puede emplearse como un buen estimador del rendimiento azucarero de un ingenio, antes de comenzar la zafra, aunque con fines metodológicos y de implementación de sistemas de trabajo, resulte necesario escoger uno de ellos. En este caso el sugerido, sería el modelo 4, y/o en su defecto, el modelo 2.

En Cuba, hasta el presente, no se dispone de modelos estadístico-matemáticos destinados a la estimación de los rendimientos azucareros del cultivo de la caña de azúcar. Se han realizado múltiples intentos en este sentido, con aciertos y deficiencias pero, hasta hoy, no se ha utilizado la modelación con ese fin y se sigue estimando y pronosticando por otros métodos convencionales y, hasta empíricos (2).

Pronóstico del rendimiento cañero

Una alternativa interesante para realizar pronósticos de los rendimientos agrícolas en Cuba, que combine elementos deterministas y estocásticos pudiera ser la utilización de ecuaciones de regresión múltiple del tipo: $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$, a partir de los rendimientos de las cepas del cultivo comercial de la caña de azúcar, como las que se presentan en la tabla 2 (2, 10); en ellas, el valor del coeficiente β que antecede al rendimiento de cada cepa, le asigna a esta un peso en el rendimiento total. Por otro lado, si la variable rendimiento por cepa, es expresada a partir de la fertilización, el consumo de agua u otros, es posible construir un modelo con diferentes niveles de aproximación al rendimiento agrícola, que involucre factores del tipo deterministas (edad, variedad, cepas, etc.) y estocásticos (fertilización, malezas, agua, etc.), (17).

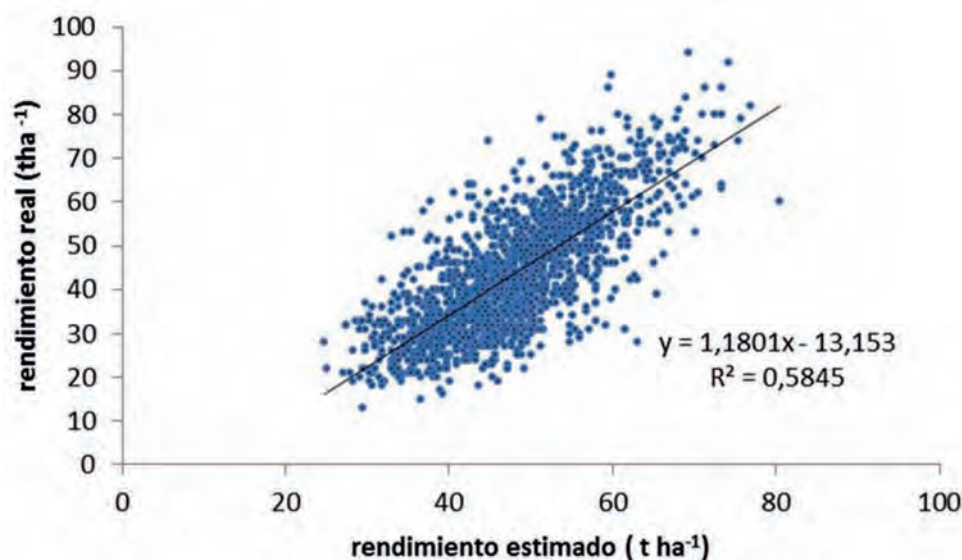
Tabla 2. Ecuaciones de regresión múltiple para pronósticos del rendimiento cañero

| No. | Modelos de Regresión Lineal Múltiple | r | R ² |
|-----|--|----------|----------------|
| 1 | Rendimiento total = 19.9618 + 0.3956* rendimiento de las primaveras quedadas | 0.7656** | 0.5862 |
| 2 | Rendimiento total = -8.34 + 0.2357* rendimiento de las primaveras quedadas + 0.9629 *rendimiento de los retoños | 0.9527** | 0.9076 |
| 3 | Rendimiento total = -8.2939 +0.2332* rendimientos de las primaveras quedadas + 0.9572 *rendimiento de los retoños + 0.0053* rendimiento de los fríos | 0.9527** | 0.9080 |
| 4 | Rendimiento total = -0.4341 +0.2248* rendimientos de las primaveras quedadas + 0.8756* rendimientos de los retoños -0.0046* rendimientos de los fríos + 0.1063* rendimientos de las primaveras del año | 0.9566** | 0.9155 |

r- Coeficiente de regresión. R²- Coeficiente de determinación

El análisis de los coeficientes de regresión múltiple de los modelos presentados, demuestra que cualquiera que se utilice; ya sea, el modelo 2, el 3 o el modelo 4; permitirá obtener pronósticos del rendimiento agrícola con altos ajustes, seguridad y confiabilidad, porque ellos explican más del 95 % del rendimiento agrícola total, partiendo de la composición de cepas que participan en el proceso de producción de caña en cada ingenio azucarero.

La modelación de los rendimientos de las 54 UEB que participaron en el estudio y su comparación con los rendimientos reales de las 34 cosechas analizadas (período de 1978 a 2012); se presentan en las figuras 4, 5, 6 y en la figura 7; puede observarse que las estimaciones basadas en los modelos 2, 3 y el modelo 4; resultaron más efectivas porque, precisamente, fueron las que presentaron los mayores coeficientes de determinación (R²), con los mayores ajustes entre los datos estimados y los datos reales: 0.8969, 0.8882 y 0.8754, respectivamente.

**Figura 4.** Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 1.

El modelo 2 resultó el de mayor coeficiente de determinación (figura 5), indica que si se parte del rendimiento de las primaveras quedadas y de los retoños, se puede explicar hasta el 89.69 % de las variaciones del rendimiento agrícola total de una organización productiva cañera (figura 8).

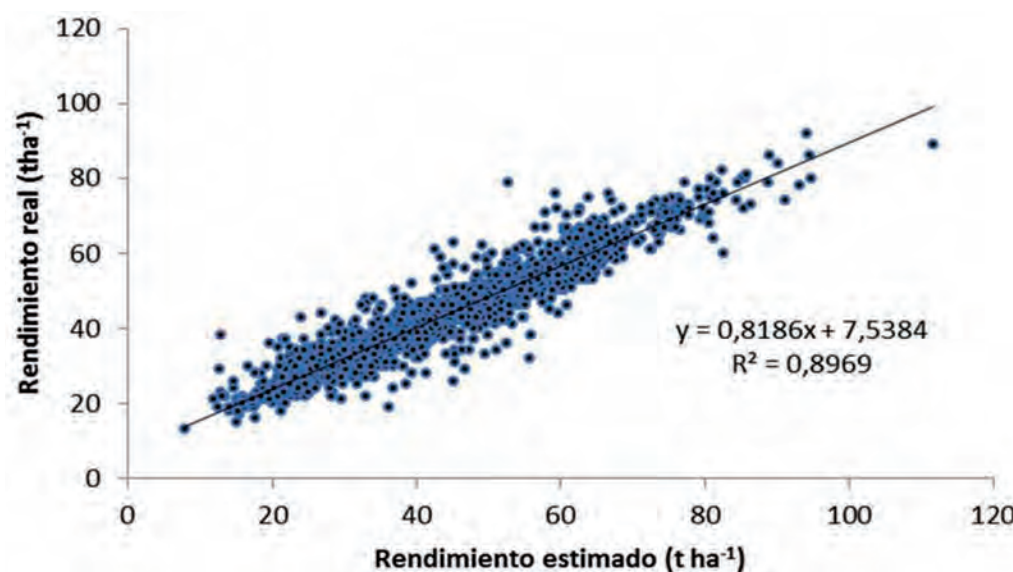


Figura 5. Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 2.

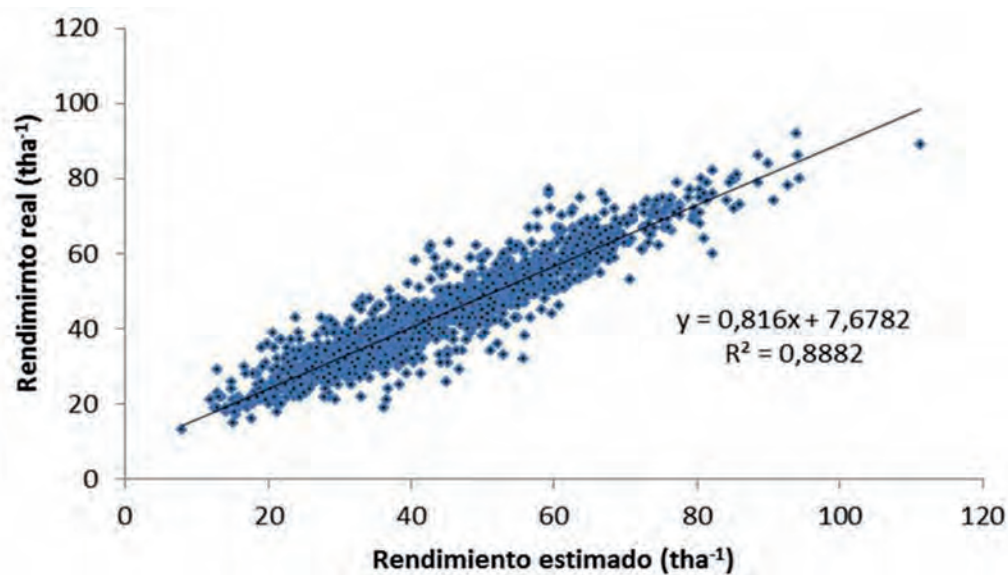


Figura 6. Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 3.

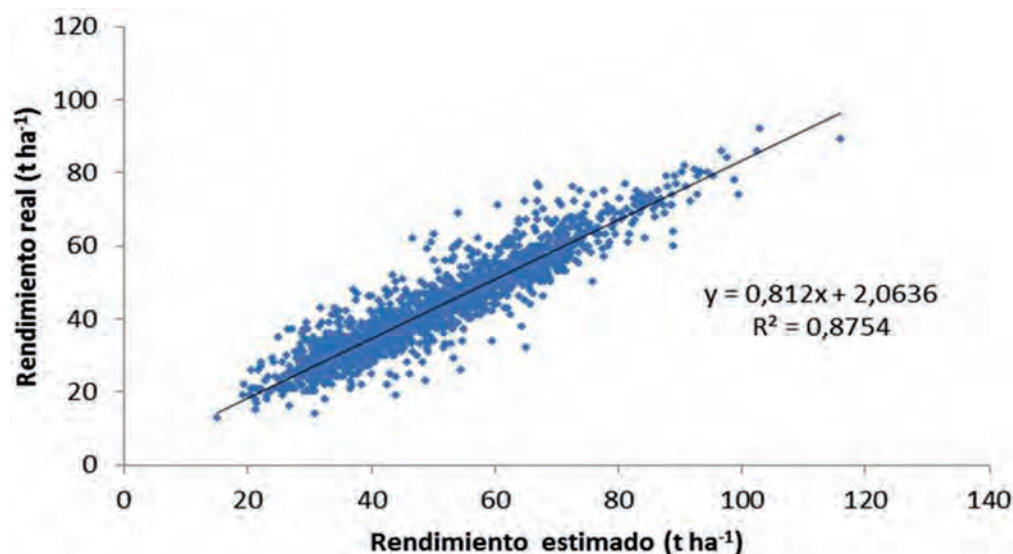


Figura 7. Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 4.

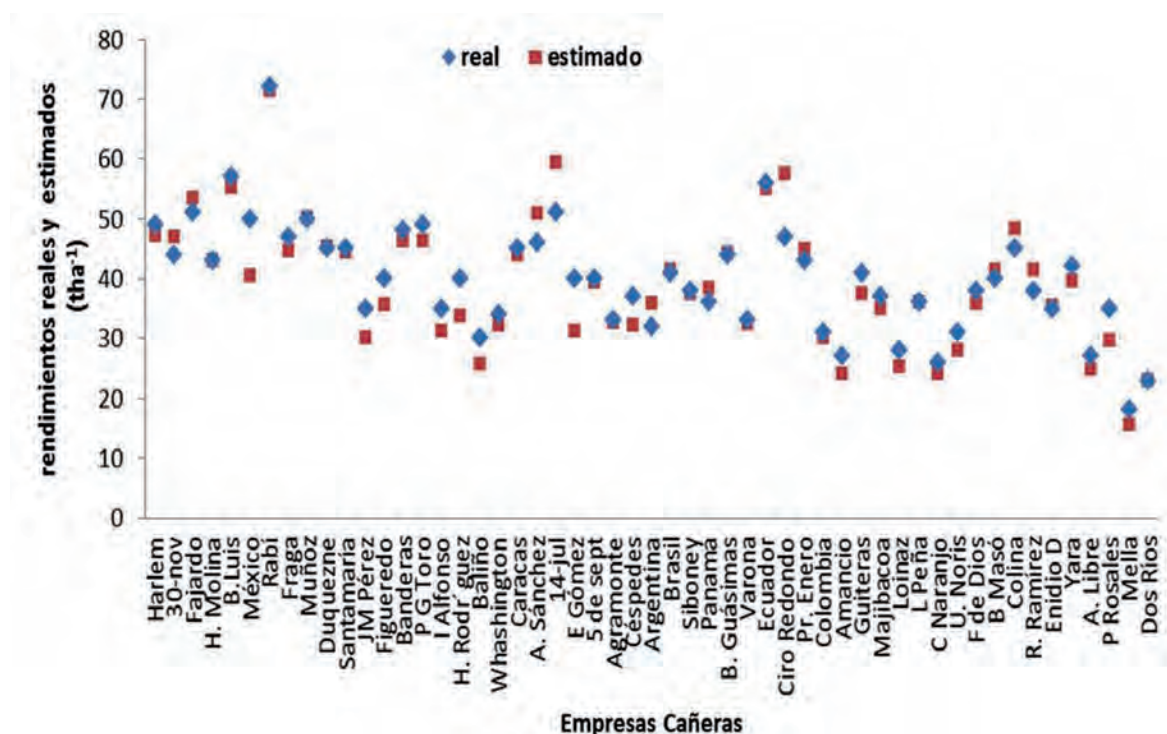


Figura 8. Comportamiento de los rendimientos reales y simulados por el modelo 2.

En la tabla 3 se presentan los rendimientos estimados y reales de la zafra 2013, en 53 UEB de 11 empresas azucareras del Grupo Azucarero AZCUBA, puede observarse que de los 11 casos analizados, en ocho las diferencias entre ambos rendimientos no sobrepasó las cinco tcaña.ha⁻¹ (73 %), en un caso esta diferencia fue inferior a 10 tcaña.ha⁻¹ (9 %) y en dos fue superior a este último valor (18 %), e inferior a 15 tcaña.ha⁻¹.

Este es un resultado positivo, pues si se toma en cuenta que con anterioridad se realizaban los estimados cañeros en Cuba, con prácticas convencionales y tradicionales basadas en métodos empíricos (2); entonces, no es casual que, en muchas ocasiones, estos estimados no se cumplan debido a largos períodos de humedad y/o de sequía, a deficiencias en el manejo de las plantaciones, afectaciones por falta de recursos para el desarrollo adecuado de la zafra y altas pérdidas en la cosecha.

En los tres casos en que los rendimientos estimados fueron superiores a los reales (tabla 3), con diferencias por encima de cinco tcaña.ha⁻¹ (27 % del total), en dos de ellos, ocurrieron en empresas azucareras de mayor regímenes de pluviometría: Cienfuegos, con 1721 mm de lluvia promedio y Sancti Spíritus con 1767 mm de lluvia promedio (los valores más altos del país) y, el último caso correspondió a la empresa azucarera Santiago de Cuba, que resulta contrario a las dos anteriores, con el tercer nivel más bajo de pluviometría de la zafra, con solo 1009.93 mm de lluvia promedio (por encima solo de Holguín y Las Tunas, que fueron los más críticos en este sentido).

Tabla 3. Rendimientos estimados y reales de la zafra 2013, en 53 UEB de 11 Empresas Azucareras de AZCUBA

| Empresa azucarera | Rendimiento (T caña ha ⁻¹) | | | Promedio de lluvia (mm) | Cantidad UEB |
|-------------------|--|-------|-------------|-------------------------|--------------|
| | Estimado | Real | Diferencias | | |
| Artemisa | 45.56 | 44.00 | + 1.56 | 1348.00 | 2 |
| Mayabeque | 51.10 | 50.33 | + 0.77 | 1315.00 | 3 |
| Matanzas | 46.41 | 48.50 | - 2.09 | 1280.50 | 4 |
| Cienfuegos | 50.50 | 42.00 | + 8.50 | 1721.00 | 4 |
| V. Clara | 41.60 | 39.50 | + 2.10 | 1446.00 | 10 |
| S. Espíritu | 49.32 | 36.00 | + 13.32 | 1767.00 | 2 |
| C. de Ávila | 47.65 | 44.75 | + 2.90 | 1195.00 | 4 |
| Camagüey | 37.55 | 37.33 | + 0.22 | 1054.50 | 7 |
| Las Tunas | 34.44 | 35.70 | - 1.26 | 847.00 | 4 |
| Holguín | 34.65 | 31.80 | + 2.85 | 804.00 | 5 |
| Granma | 39.45 | 38.33 | + 1.12 | 1229.00 | 5 |
| S. de Cuba | 36.98 | 23.00 | + 13.98 | 1009.33 | 3 |
| Nación | 46.83 | 42.84 | + 3.99 | 1365.12 | 53 |

En la tabla 4 se presenta el análisis de varianzas entre los rendimientos estimados y los reales de la zafra 2013 en Cuba, se observa que no hubo diferencias significativas entre ellos, en ninguno de los niveles de la Prueba de F, lo cual indica que los rendimientos estimados tuvieron un comportamiento similar al de los rendimientos obtenidos. Esto favorece la estimación por modelos estadístico-matemáticos y los hace confiables porque parten de una base más real; o sea, de los rendimientos de las cepas que se cosechan comercialmente en la estructura agrícola cañera del país.

Tabla 4. Analisis de varianzas entre los rendimientos estimados y los reales de la zafra 2013, en Cuba

| FV | GL | SDC | CM | Fc | Ft | |
|--------------|----|------|---------|---------|---------|--------|
| | | | | | 1 % | 5 % |
| Rendimientos | 1 | 0.30 | 0.01875 | 0.00420 | 6208 ns | 248 ns |
| Error | 24 | 8.73 | 4.36500 | | | |
| Total | 25 | 9.03 | | | | |

FV. Fuentes de variación. GL. Grados de libertad. SDC. Suma de las desviaciones cuadradas. CM. Cuadrado medio.

Fc. Valor calculado de Fischer. Ft. Valor tabulado de Fischer. Ns. No hubo diferencias significativas

Este resultado es interesante porque los modelos analizados exponen la composición de cepas comerciales que participan en la zafra azucarera, cuando fue considerado el universo de ingenios y empresas del país.

Los resultados de este trabajo coinciden con los informes de otros investigadores, que han tratado de modelar los rendimientos de los cultivos agrícolas de importancia económica, entre los que la caña de azúcar ocupa un lugar importante (11, 12, 13).

CONCLUSIONES

1. Se han definido ecuaciones que permiten pronosticar el Rendimiento Base 96 %, teniendo en cuenta la Pol en caña que entra al ingenio y las pérdidas totales reales del proceso de fabricación de azúcar.

2. Se han definido ecuaciones que permiten pronosticar el rendimiento agrícola, a partir de los rendimientos de la composición de cepas de la agricultura cañera que participan en la zafra azucarera.

RECOMENDACIONES

1. El uso de modelos estadístico-matemáticos como herramienta de trabajo del sistema de AZ-CUBA, destinados a modelar y estimar los rendimientos agroazucareros.
2. Capacitar a los productores cañeros en materia de modelación y estimación de rendimientos y en el tema de evaluación de la calidad de la materia prima del proceso de producción de azúcar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kapadi Mangesh D., Jinendra K and Gugaliya: System and method for sugarcane yield estimation Patent application number: 20090099776. 2009.
2. González, A.; Ferrer, M.; Méndez, A.; Gálvez, G.; Acosta, P.P.; Sieiro, G.L.; *et al.* Modelos para estimar el rendimiento agrícola en Cuba a partir de la composición de cepas y la lluvia de mayo a octubre. ICIDCA. sobre los derivados de la caña de azúcar, Vol. 50, No. 1, enero-abril: pp. 59-66. 2016.
3. Gálvez, G.; Sigarroa, A.; Soto, O. La modelación del rendimiento agrícola en la caña de azúcar. Caso de estudio. Diversificación 2004, Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados. La Habana, Cuba, 14-18 de junio: 275-285. 2004.
4. Gálvez, G.; López, T. La Informática y sus aplicaciones en la agricultura en Cuba. XII Jornada Científica "Juan Tomás Roig in memoriam", INIFAT, abril 2-4, 2007. La Habana Cuba. Memorias en Disco Compacto. Revista Agrotécnica de Cuba, Vol. 31: 1-3. 2007.
5. Rodríguez, M. Estudio de diferentes variables agro botánicas y de calidad del jugo en la variedad comercial de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) Ja60-5. 2001.
6. Casanova, E.; Jiménez, G.; González, A.; Ferrer, M.; Vera, A. Calidad de la Caña vs. Azúcar Recuperable. Revista Cuba y Caña. La Habana. Cuba. ISSN1028-6527. No. 2: 28-33. 2015.
7. González, A.; Vera, A.; Mesa, J.M.; García, H.; Ferrer, M.; Casanova, E.; *et al.* Estudio y validación de modelos matemáticos para pronósticos del rendimiento azucarero. Revista Cuba y Caña. Revista Publicada por el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. Cuba. ISSN1028-6527. No. 1: 34-39. 2016.
8. González, A.; Ferrer, M.; Jiménez, G.; Casanova, E. Improving the efficiency of the estimation of agricultural and factory yields in Cuba. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists. Vol. 29: 1301-1306. 2016.
9. Gálvez, G.; Ortiz, R.; Espinosa, R. Análisis de las asociaciones entre diferentes cosechas en experimentos de caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido). Cultivos Tropicales. 7(1): 85-89.1985.
10. González, A. Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido), en la provincia de Las Tunas. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba: 120 p. 1995.
11. Inman-Bamber, N.G. CANEGRO: Its history, conceptual basis, present and future uses. Research and Modeling Approaches to Assess Sugarcane Production Opportunities and Constraints, CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures, Brisbane. 1994.

12. Vítores, X. Especificación de un Modelo Econométrico Espacial Bayesiano para el Pronóstico de la Producción de un Cultivo de Caña de Azúcar. Ingenio San Carlos, Ecuador. 2006.
13. Wynne, A.T.; Murray, T.J.; Gabriel, A.B. Relative cane payment: realigning. 2009.
14. González, R. Bases metodológicas para la modelación y pronóstico de los rendimientos agrícolas e industriales de la caña de azúcar en Cuba, Proyecto de investigaciones. INICA-AZCUBA: 18 p. 2016.
15. González, A.; Casanova, E.; Ferrer, M.; Vera, A. Jiménez, G. Estudio de la potencialidad productiva de las localidades cañeras de Cuba. Modelos para pronósticos del rendimiento agrícola y azucarero. INICA-AZCUBA. Informe Técnico (Inédito). 83 p. 2013.
16. Lerch, G. La Experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas. Editorial Científico - Técnico. La Habana: 450 p. 1977.
17. Ferrer, M.; Roque, R.; Lamelas, C.; González, A. Relación entre el tiempo térmico acumulado durante el gran periodo de crecimiento con los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar. Centro Agrícola, 43 (4): 73-78; octubre-diciembre, 2016. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001. CE: 7815 CF: cag104162102 <http://cagricola.uclv.edu.cu>. 2016.

Sistema informático Cuadro de Mando Integral Plus (CMI PLUS). Una herramienta de análisis y proyección de la zafra

Lérida Hernández-Nodarse*, Alejandro Ruiz-Batista, Yoan Carmona-Izquierdo

DATAZUCAR, AZCUBA

Calle 23 No. 171, Vedado, La Habana, Cuba.

* lerida.hernandez@datazucar.cu

RESUMEN

En los sistemas informáticos de la zafra se manejan miles de indicadores en los diferentes niveles de dirección, pero sólo unos cuantos influyen directamente en los resultados de la zafra, con respecto al cumplimiento del plan de producción de azúcar. El Cuadro de Mando Integral Plus (CMI PLUS), versión mejorada y aumentada del anterior programa Cuadro de Mando Integral (CMI), incorpora elementos estadísticos para el análisis de los resultados, detecta los indicadores que influyen negativamente en estos, de ahí que posibilite a la dirección, a nivel nacional, provincial y de UEB, llevar a cabo programas de mejora continua en los procesos agroindustriales de la zafra, que potencien la solución de problemas que impidan obtener mejores resultados en el nivel correspondiente y, a su vez, redunde en un mayor nivel de cumplimiento del plan de producción de azúcar.

Palabras clave: plan de azúcar, CMI PLUS, Pareto, causa efecto, comportamiento y tendencia.

ABSTRACT

In the computer systems of the harvest thousands of indicators are handled at the different levels of management, but only a few directly affect the results of the harvest, referred to the fulfillment of the sugar production plan. The CMI PLUS, improved and augmented version of the previous CMI program, incorporates statistical elements for the analysis of the results, detecting the indicators that most negatively influence them, which enables the management at the national, provincial and UEB levels to carry continuous improvement programs in the agroindustrial processes of the harvest that promote the solution of problems that prevent better results at the corresponding level, which in turn results in a higher level of compliance with the sugar production plan.

Key words: sugar plan, CMI PLUS, Pareto, cause effect, behavior and tendency.

INTRODUCCIÓN

Hasta la zafra 2018, AZCUBA utilizó el programa CMI, pero este programa aún resultaba incompleto y el usuario debía auxiliarse de tablas y gráficas adicionales para su interpretación. El CMI PLUS, en fase de terminación para la actual zafra, a la vez que perfecciona los cálculos, introduce nuevos indicadores y elementos de estadística que hacen de él un aliado insustituible para la dirección de la zafra a todos los niveles. Por su estructura y prestaciones puede ser utilizado con iguales ventajas por técnicos y dirigentes. Dotado de una amplia ayuda, su operación, que no requiere la introducción de datos, se hace sencilla y agradable por los rápidos resultados que arrojan luz sobre las causas de los problemas que se presentan (1).

MATERIALES Y MÉTODOS

El CMI PLUS, según Fernández Hatte (2), es el resultado de un proceso de perfeccionamiento paulatino del programa de evaluación de pérdidas y del CMI, en uso hasta la zafra anterior. El árbol del CMI muestra las causas principales del comportamiento del plan de azúcar y su desglose en causas fundamentales, importantes y primarias, ofrece a primera vista una visión clara de la situación en el nivel de dirección que se analice, ya que muestra las toneladas de azúcar que aporta o se dejan de producir por cada causa del diagrama que, a su vez, se colorea de rojo en el caso de incumplimiento y, de verde, para los aportes por encima del plan. Con la introducción de gráficas de Pareto, Espinas de Pescado y las gráficas de comportamiento y tendencia, el CMI aporta, de forma rápida, los elementos necesarios para la identificación de los problemas vitales de la zafra en el día, la semana y, hasta la fecha, la determinación de las causas y la individualización de las áreas implicadas en su solución. Elaborado a partir del nivel de UEB, puede convertirse en corto tiempo en herramienta básica del trabajo de directivos y técnicos del Grupo AZCUBA, a todos los niveles (3, 4).

Generalidades del sistema

- Unificar en una sola expresión, toneladas de azúcar, la influencia negativa o positiva de disímiles indicadores y comparar los resultados de causas muy diversas, de modo directo y efectivo.
- Definir las causas que afectan el cumplimiento del plan, clasificándolas en 6 causas fundamentales, 15 principales y 49 primarias.
- Valorar en cada una de los niveles de clasificación de causas, las que resultan vitales y la afectación que provocan en el cumplimiento del plan. Generalmente entre un 20 y un 30 % de las causas analizadas provocan una afectación porcentual de la producción cercana al 80 % (5, 6).
- Facilitar el trabajo de análisis de la zafra a los dirigentes y técnicos, con una identificación inmediata de los problemas que requieren rápida atención a cada nivel.
- Facilitar la toma de decisiones y cada una de las causas vitales bajo su responsabilidad.
- Crear un ambiente interactivo en la explotación de los módulos que facilite a los usuarios la toma de decisiones (7).
- Contribuir, por su contenido y operación, a la profundización de los conocimientos de técnicos y dirigentes sobre el proceso y la interrelación de sus componentes (8).
- Evaluar y prevenir el comportamiento desfavorable de indicadores fundamentales por tendencias que se presenten en sus resultados (9, 6).
- Mantener actualizada a la dirección en los diferentes niveles sobre la marcha de la zafra.
- Disponer de las informaciones que brinda el programa en un sitio Web, accesible desde el teléfono móvil, laptop o computadora de mesa a todos los dirigentes y técnicos que lo necesiten.
- Facilitar la proyección y ejecución de programas de mejoramiento continuo ante comportamientos, tendencias y afectaciones vitales para el cumplimiento del plan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El principal resultado es disponer de una aplicación ágil y dinámica, que no requiere del usuario para la captura de los datos, lo mantiene actualizado y le facilita la toma de decisiones en la zafra (10).



Figura 1. Diagrama de causas del CMI PLUS.

Tomar decisiones acertadas contribuye a una mayor eficiencia en el trabajo de dirección, ya que las pérdidas en el sistema AZCUBA son cuantiosas, de ahí la importancia de que estas decisiones se multipliquen. A partir de las diferencias con el plan, es posible analizar gráficos de Pareto por los diferentes niveles de causas y gráficos por ingenio, para conocer en los que hay que actuar con mayor celeridad.

Diagrama de Pareto

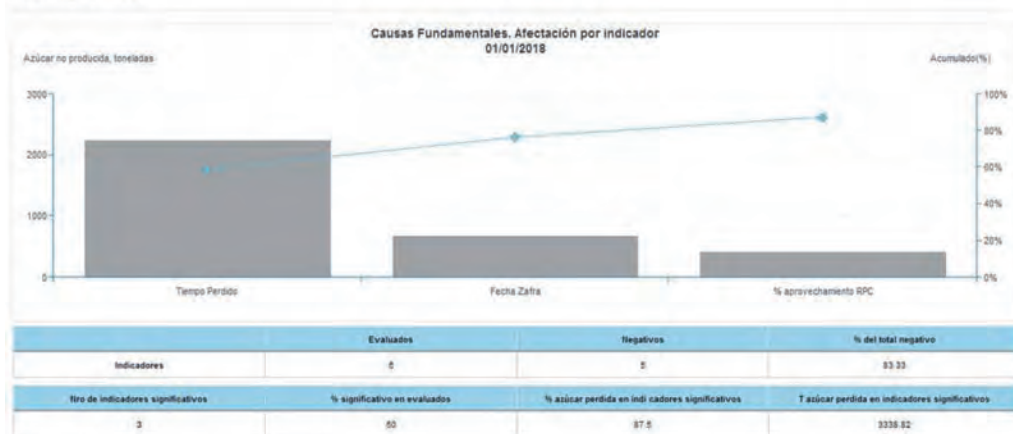


Figura 2. Gráfica de Pareto de causas fundamentales.

Las gráficas de comportamiento se elaboran para conocer las diferencias en toneladas de azúcar, respecto al plan y las causas fundamentales que determinan ese comportamiento.

En el análisis que se realice a cualquier nivel, se debe revisar la situación del cumplimiento del plan de azúcar y la influencia de la caña a moler, del rendimiento base 96 y de las extracciones.

Una vez conocido el comportamiento del plan, se accede al Pareto de causas fundamentales, que define las principales causas de su incumplimiento, si lo hubiera. Estas causas pueden ser: tiempo perdido, fecha zafra, molido horaria, entre otras. El programa va llevando al usuario al análisis de los Paretos de causas, al más bajo nivel en el gráfico general del CMI PLUS, hasta determinar las causas primarias que originan el problema y los ingenios donde se localizan.



Figura 3. Gráficas de comportamiento.

Las gráficas de comportamiento ayudan a valorar cómo se manifiestan las diferencias en la producción de azúcar frente al plan y la tendencia de ese indicador, a fin de que se apliquen medidas correctivas profilácticas.

Las gráficas de causa-efecto facilitan el análisis de las causas de los problemas observados, contribuyen a mejorar los conocimientos de técnicos y dirigentes sobre el proceso agroindustrial y propician la generalización de las soluciones.

CONCLUSIONES

El programa CMI PLUS constituye un salto cuantitativo en la aplicación de la técnica, en la solución de los problemas que afectan el cumplimiento del plan de azúcar a nivel nacional, provincial y de UEB.

La aplicación del programa CMI Plus en los tres niveles de dirección de AZCUBA, contribuirá a lograr mejores resultados en la zafra.

RECOMENDACIONES

Incluir el CMI PLUS en el programa de migración a software libre que implementa Datazucar para que entre en fase de prueba en ingenios escogidos en la próxima zafra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ishikawa, K. (1988). ¿Qué es el Control Total de Calidad? La Modalidad Japonesa.
2. Fernández Hatte, A. (n.d.). Indicadores de Gestión y Cuadro de Mando Integral, Centro para la Calidad de Asturias.
3. Respinosamilla. (2010). EIS (Executive information system). Cuadros de Mando Integral. DSS (Decission Support System). Retrieved from <http://www.sinnexus.com/business/intelligence/>.
4. Nicolai, A. (2011). Tools for Proyect Manegement Workshops and Consulting. second. Edition.
5. Calidad, S. L. (2000). Gráfica de Pareto.
6. ZingChart Build 2.8.3. (n.d.). Retrieved from <https://www.zingchart.com>.
7. Ishikawa, K. (1985). Guía de Control de Calidad.
8. Calidad, S. L. (2000). Diagramas de Causa-Efecto.
9. Calidad, S. L. (2000). Gráficas de comportamiento.
10. Inc, B. P. (n.d.). Basic Primitives orgDiagram v2.0.8. Retrieved from <http://www.basicprimitives.com>.

Evolutionary relationships among prokaryotic fructosyltransferases

Yamira Quintero-de la Oliva*, Alexis Musacchio-Lasa, Ana Gabriela Martínez-Peña,
Carmen Menéndez-Rodríguez, Lázaro Hernández-García

¹ Enzyme Technology Group, Agricultural Research Division, CIGB Havana, Cuba.

² System Biology Department, Biomedical Research Division, CIGB Havana, Cuba.

* yamira.quintero@cigb.edu.cu

ABSTRACT

In nature, fructans are synthesized from sucrose by few plant families and a wide range of microorganisms, including fungi, Archae and bacteria. Prokaryotic fructosyltransferases (levansucrase and inulosucrase) are grouped in the Glycosyl Hydrolase (GH) family -68 and the vast majority belong to five bacterial phyla (mainly Protobacteria, Actinobacteria and Firmicutes) and five archaeal families. These enzymes fold into a common 5-bladed beta-propeller with the active site located in a deep axial pocket. The catalytic triad (Asp/Asp/Glu) is strictly conserved at the pocket bottom in all GH-68 members. In this study, bioinformatics tools were used to predict distinctive structural features among GH-68 enzymes in regions that are not directly involved in substrate binding and catalysis. Comparative phylogenetic analysis and the distinctive non-catalytic characteristics were used as criteria for the evolutionary classification of proteins. Our in-silico predictions revealed several presumed cases of horizontal GH-68 gene acquisition from a taxonomically distant species.

Key words: fructosyltransferases, GH68, evolution.

RESUMEN

En la naturaleza los fructanos son sintetizados a partir de la sacarosa por algunas familias de plantas y un amplio rango de microorganismos, que incluyen hongos, arqueas y bacterias. Las fructosiltransferasas procariotas (levanasacarasa e inulosacarasa) son miembros de la familia glicosil hidrolasas (GH) -68 y la mayoría pertenecen a cinco filos bacterianos (principalmente Protobacteria, Actinobacteria y Firmicutes) y cinco familias de arqueas. Estas enzimas presentan una arquitectura del tipo propela β de 5 pétalos con la presencia de tres residuos catalíticos ácidos (Asp / Asp / Glu) en el sitio activo estrictamente conservados. En este estudio, se utilizaron herramientas bioinformáticas para predecir características estructurales distintivas entre las enzimas GH-68 en regiones que no están directamente involucradas en la unión del sustrato y la catálisis. El análisis filogenético comparativo y las características distintivas no catalíticas, se utilizaron como criterios para la clasificación evolutiva de las proteínas. Las predicciones in silico revelaron varias fructosiltransferasas dentro de la familia GH-68 de adquisición de gen horizontal de una especie taxonómicamente distante.

Palabras clave: fructosiltransferasas, GH68, evolución.

INTRODUCTION

In nature, fructans are synthesized from sucrose by few plant families and a wide range of microorganisms, including bacteria, archaea and fungi. Plant and fungal fructosyltransferases (FTFs) are grouped in the Glycosyl Hydrolase (GH) family 32 together with eukaryotic and prokaryotic invertases, sucrose-6P hydrolases and fructanases. GH family 68 comprises prokaryotic FTFs (levansucrase and inulosucrase) and beta-fructofuranosidases sequenced so far from about 400 species of

three main bacterial phyla (Proteobacteria, Actinobacteria and Firmicutes) and five archaea families. The vast majority of the GH-68 entries in database correspond to genome sequencing projects. Only bacterial members have been characterized functionally (46) or structurally (6) (<http://www.cazy.org>). All characterized bacterial FTFs catalyze both sucrose hydrolysis and transfructosylation reactions. GH-68 enzymes fold into a common 5-bladed beta-propeller containing the strictly conserved catalytic triad (DDE) at the bottom of a deep axial pocket. Natural point mutations in other few amino acids at the active site are supposed to be responsible for differences in the transferase/hydrolase rate, the linkage type, and the polymerization degree of the fructosylated product [1-6].

In this study, we search for distinctive features between GH-68 enzymes in regions that are not directly involved in substrate binding and catalysis, as a supporting criterion to establish the evolutionary relationship among GH-68 enzymes and to identify horizontal gene transfer events between taxonomically distant species.

MATERIAL AND METHODS

Data analysis

Sequences were retrieved by BlastP comparisons of levansucrases from representative families against the database of non-redundant protein sequences (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Clustal Omega (<https://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalo/>) and Simple Phylogeny (https://www.ebi.ac.uk/Tools/phylogeny/simple_phylogeny/) were used for sequence alignment and tree generation, respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

Protein phylogenetic analysis was accompanied with a comparative search of characteristic traits in regions that are not directly involved in substrate binding and catalysis but may better reflect the enzyme evolutionary history. Available bioinformatics tools allowed to predict: -the presence/absence of a signal peptide and a signature motif in the protein N-terminal region, -the size and isoelectric point of the putative mature enzyme, and -the formation of a fold-stabilizing disulfide bridge or its topologically/functionally complementary calcium-binding site. The conservation degree of distinctive non-catalytic traits within the members of adjacent phylogenetic clades was used as a supporting criterion to establish the evolutionary connections among GH-68 proteins and to identify candidate HGT (Horizontal Gene Transfer) events between taxonomically distant species with similar habitats. At least 21 clades are clearly defined in Phylogenetic tree the of 392 available GH-68 sequences. Table I it summary of distinctive non-catalytic traits in GH68 enzymes grouped by their phylogenetic relationships.

The all 58 Archaea species clustered together in exclusive neighboring clades (1, 2 and 3) reflecting no evidence of horizontal gene acquisition. The N-terminal signature motif W(T/S)(R/I)AD(A/I/M/V)(L/M/R/I) of unknown function is shared by most Proteobacteria (clades 7, 8, 9, 10, 11, 12 and 14) and Actinobacteria (clades 6, 12, 13) suggesting a common old ancestor for two groups that evolved separately. In this presumption, it is remarkable the combined presence of signal peptide and fold-stabilizing disulfide bond in all 91 proteins within clades 6, 12, 13 and 14, and their absolute absence in the 62 proteins (Alpha- and Gammaproteobacteria) comprising the clades 7, 8, 9, 10, 11.

Table 1. Summary of distinctive non-catalytic traits in GH68 enzymes grouped by their phylogenetic relationships

| Phylum or Class | Family | Clades (# proteins) | Encoded protein (# aa) | Signal peptide (# aa) | Mature protein (Daltons) | pI | Disulfide bond | |
|---------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|------|----------------|----|
| | | | | | | | Yes | No |
| Euryarchaeota | Haloarculaceae | 1(12) | 442 | 0/12 | 49230.08 | 4.61 | 3 | 9 |
| | Halobacteriaceae | 2(2) | 429 | 0/2 | 47834.00 | 4.78 | 2 | 0 |
| | | 3(4) | 435 | 1/4 (38aa) | 48532.04 | 4.69 | 0 | 4 |
| | Haloferacaceae | 1(5) | 435 | 0/5 | 49313.60 | 4.66 | 5 | 0 |
| | | 2(10) | 432 | 0/10 | 48180.20 | 4.56 | 9 | 1 |
| | | 3(1) | 422 | 0/1 | 46795.00 | 4.41 | 0 | 1 |
| | Halorubraceae | 1(10) | 465 | 0/10 | 50882.40 | 4.52 | 3 | 7 |
| | | 2(4) | 446 | 0/3 | 49217.75 | 4.66 | 4 | 0 |
| | Natrialbaeae | 1(3) | 452 | 0/3 | 50493.00 | 4.53 | 0 | 3 |
| | | 3(7) | 448 | 7/7 (37aa) | 45918.43 | 4.49 | 0 | 7 |
| | Acetobacteraceae | 7(14) | 438 | 0/14 | 48258.36 | 4.99 | 0 | 14 |
| | | 14(9) | 566 | 7/9 (31aa) | 59082.67 | 5.91 | 9 | 0 |
| Alphaproteobacteria | Caulobacteraceae | 19(2) | 384 | 0/2 | 41758.00 | 5.83 | 0 | 2 |
| | Erythrobacteraceae | 19(14) | 370 | 0/14 | 40313.50 | 5.28 | 0 | 14 |
| | Rhodobacteraceae | 17(3) | 468 | 3/3 (26aa) | 48738.33 | 4.38 | 0 | 3 |
| | Sphingomonadaceae | 7(2) | 418 | 0/2 | 46430.50 | 4.84 | 0 | 2 |
| Betaproteobacteria | | 19(29) | 376 | 0/29 | 40890.48 | 5.62 | 0 | 29 |
| | Burkholderiaceae | 14(25) | 526 | 25/25 (31aa) | 53356.16 | 6.23 | 25 | 0 |
| Gammaproteobacteria | Aeromonadaceae | 12(1) | 524 | 1/1 (25aa) | 54793.00 | 5.16 | 1 | 0 |
| | Alteromonadaceae | 12(1) | 528 | 1/1 (27aa) | 55508.00 | 4.78 | 1 | 0 |
| | Enterobacteriaceae | 9(1) | 426 | 0/1 | 47091.00 | 4.69 | 0 | 1 |
| | Erwinaceae | 8(5) | 420 | 0/5 | 46543.00 | 4.91 | 0 | 5 |
| | | 10(3) | 415 | 0/3 | 46439.00 | 4.87 | 0 | 3 |
| | Halomonadaceae | 8(1) | 416 | 0/1 | 46200.00 | 4.54 | 0 | 1 |
| | Moraxellaceae | 10(2) | 434 | 0/2 | 47964.00 | 5.19 | 0 | 2 |
| | Morganellaceae | 8(1) | 423 | 0/1 | 47698.00 | 5.08 | 0 | 1 |
| | Oceanospirillaceae | 12(1) | 524 | 1/1 (25aa) | 55185.00 | 4.75 | 1 | 0 |
| | Pectobacteriaceae | 9(6) | 428 | 0/6 | 47588.00 | 5.02 | 0 | 6 |
| | Pseudoalteromonadaceae | 12(2) | 525 | 2/2 (24aa) | 55652.50 | 4.73 | 2 | 0 |
| | | 9(6) | 424 | 0/6 | 47002.00 | 4.86 | 0 | 6 |
| | Pseudomonadaceae | 10(6) | 426 | 0/6 | 47174.67 | 4.95 | 0 | 6 |
| | | 11(10) | 416 | 0/10 | 46103.60 | 5.13 | 0 | 10 |
| | | 12(2) | 525 | 2/2 (27aa) | 54595.50 | 4.95 | 2 | 0 |
| | Vibrionaceae | 8(2) | 419 | 0/2 | 46592.00 | 4.73 | 0 | 2 |
| | | 12(1) | 523 | 1/1 (27aa) | 54991.00 | 4.67 | 1 | 0 |
| | Yersiniaceae | 10(3) | 416 | 0/3 | 46146.33 | 4.81 | 0 | 3 |
| Deltaproteobacteria | Desulfovibrionaceae | 15(3) | 627 | 3/3 (51aa) | 61950.67 | 3.85 | 2 | 1 |
| Bacteroidetes | Cyclobacteriaceae | 16(1) | 456 | 1/1 (33aa) | 47199.00 | 4.74 | 0 | 1 |
| Actinobacteria | Actinomycetaceae | 12(6) | 622 | 6/6 (33aa) | 63725.83 | 4.87 | 6 | 0 |
| | Cellulomonadaceae | 6(2) | 467 | 2/2 (28aa) | 48778.50 | 4.75 | 2 | 0 |
| | | 12(1) | 558 | 1/1 (29aa) | 57952.00 | 4.74 | 1 | 0 |
| | Dermabacteraceae | 13(2) | 524 | 2/2 (39aa) | 53276.00 | 4.66 | 0 | 2 |
| | Microbacteriaceae | 12(10) | 541 | 10/10 (34aa) | 55689.00 | 4.78 | 10 | 0 |
| | Micrococcaceae | 12(3) | 530 | 3/3 (35aa) | 54817.33 | 5.16 | 3 | 0 |
| | | 13(12) | 532 | 12/12 (37aa) | 54050.50 | 5.74 | 12 | 0 |
| | Mycobacteriaceae | 4(1) | 445 | 1/1 (29aa) | 48787.00 | 4.22 | 0 | 1 |
| | | 13(1) | 514 | 1/1 (42aa) | 52426.00 | 5.63 | 0 | 1 |
| | | 21(1) | 475 | 1/1 (31aa) | 50041.00 | 6.18 | 0 | 1 |
| | Pseudonocardiaceae | 18(2) | 375 | 2/2 | 40964.00 | 5.82 | 0 | 2 |
| | Streptomycetaceae | 6(12) | 441 | 12/12 (27aa) | 46070.42 | 8.56 | 12 | 0 |
| Firmicutes | | 18(1) | 373 | 0/1 | 40786.00 | 5.90 | 0 | 1 |
| | Streptosporangiaceae | 18(11) | 371 | 0/11 | 40396.00 | 6.13 | 0 | 11 |
| | Bacillaceae | 4(14) | 506 | 11/14 (30aa) | 53802.36 | 4.83 | 6 | 8 |
| | | 21(30) | 481 | 30/30 (29aa) | 50858.90 | 5.79 | 0 | 30 |
| | Clostridiaceae | 4(3) | 428 | 0/3 | 48348.00 | 7.84 | 0 | 3 |
| | | 21(2) | 498 | 2/2 (31aa) | 52266.00 | 5.92 | 0 | 2 |
| | Lactobacillaceae | 20(19) | 816 | 19/19 (35aa) | 85839.21 | 6.53 | 0 | 19 |
| | Leuconostocaceae | 20(1) | 900 | 1/1 (46aa) | 91999.00 | 5.12 | 0 | 1 |
| | | 21(3) | 1251 | 3/3 (39aa) | 124256.75 | 5.29 | 0 | 3 |
| | Paenibacillaceae | 4(3) | 424 | 2/3 (29aa) | 44084.00 | 5.62 | 2 | 1 |
| Deinococcus-Thermus | | 21(20) | 493 | 20/20 (28aa) | 51822.35 | 5.41 | 0 | 20 |
| | Ruminococcaceae | 21(1) | 485 | 1/1 (29aa) | 50503.00 | 5.00 | 0 | 1 |
| | Sporolactobacillaceae | 21(2) | 485 | 2/2 (29aa) | 51271.50 | 5.70 | 0 | 2 |
| | Streptococcaceae | 20(13) | 851 | 13/13 (42aa) | 87768.15 | 4.75 | 0 | 13 |
| | Deinococcaceae | 5(2) | 514 | 2/2 (31aa) | 52133.00 | 5.14 | 2 | 0 |

Other Actinobacteria (clade 18) and Alphaproteobacteria (clade 19) produce shorter proteins with a rather ambiguous N-terminal motif and without either signal peptide or disulfide bond. The proteins of 90 Firmicutes species (clades 20 and 21), containing signal peptide and lacking the N-terminal motif, are particularly distinguishable by the Ca²⁺-cofactor binding site that assumes the fold-stabilizing function as alternative to the general absence of Cys residues. Orthologues from other 20 Firmicutes species (clade 4), often with saline habitats, share the highest identities (above 40%) and signature non-catalytic traits with *Euryarchaeota* (clades 1, 2 and 3) and the Actinobacteria families Cellulomonadaceae and Streptomycetaceae (clade 6). The separate clades 5 (Deinococcus-Thermus), 15

(Deltaproteobacteria), 16 (Bacteroidetes), and 17 (Alphaproteobacteria, family Rhodobacteraceae), with only 9 members in total, showed very low identities (below 35%) in independent BlastP comparisons. A different catalytic triad (EED) makes the three reported sequences from *Desulfovibrio africanus* (clade 15) even more peculiar. Several candidate HGT events between bacteria were detected by comparing the topologies of the GH-68 tree against the corresponding 16S rRNA “reference” tree. We consider that the double advantage of utilizing exogenous sucrose as an energy source and producing a protective polysaccharide is a positive selective force driving retention of horizontally acquired GH-68 genes.

CONCLUSIONS

In this study, phylogenetic analysis and distinctive features between GH-68 enzymes in regions that are not directly involved in substrate binding and catalysis, permitted establish the enzyme evolutionary relationship.

Archaea species reflecting no evidence of horizontal gene acquisition. The N-terminal signature motif W(T/S)(R/I)AD(A/I/M/V)(L/M/R/I) of unknown function is shared by most Proteobacteria (clades 7, 8, 9, 10, 11, 12 and 14) and Actinobacteria (clades 6, 12, 13) suggesting a common old ancestor for two groups that evolved separately. Several candidate HGT events between bacteria were detected by comparing the topologies of the GH-68 tree. We consider that the double advantage of utilizing exogenous sucrose as an energy source and producing a protective polysaccharide is a positive selective force driving retention of horizontally acquired GH-68 genes.

REFERENCES

1. Meng G, Fütterer K (2003) Nat Struct Biol 10:935-941 (DOI:10.1038/nsb974).
2. Martinez-Fleites et al. (2005) Biochem J 390:19-27 (DOI:10.1042/BJ20050324).
3. Pijning et al. (2011) J Mol Biol 412:80-93 (DOI:10.1016/j.jmb.2011.07.031).
4. Strube et al. (2011) J Biol Chem 286:17593-17600 (DOI:10.1074/jbc.M110.203166).
5. Tonozuka et al. (2012) Enz Microb Technol 51:359-365 (DOI:10.1016/j.enzmictec.2012.08.004).
6. Wuerges et al. (2015) J Struct Biol 191:290-298 (DOI:10.1016/j.jsb.2015.07.010).

Desarrollo de perfiles sensoriales para la caracterización de aguardientes añejos

Idania Blanco-Carvajal*, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Arlyn Reyes-Linares, Nancy Herrera-Marrero, Silvia Mato-Pérez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba.

* idania.blanco@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La madera de roble aporta a los aguardientes, materia prima fundamental de los rones cubanos, ciertas características que los identifican y, con el paso del tiempo, adquieren personalidad propia. Por este motivo, es preciso diferenciarlos organolépticamente, por medio de un perfil sensorial, que permite diferenciar a cada uno, de acuerdo con la intensidad de sus atributos, con un procedimiento y la experiencia de jueces que conforman el panel sensorial del Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE).

Palabras clave: aguardiente, perfil sensorial, añejamiento.

ABSTRACT

As time goes by, oak wood contributes to spirits, fundamental raw material of Cuban rums, certain characteristics that make each one have their own personality that determine their sensory characteristics, for this reason it is necessary to differentiate organoleptically by means of a sensory profile, in which a differentiation of each one is made according to the intensity of its attributes; taking as a reference a procedure, with the panel of judges of the Alcohol and Beverage Reference Center (CERALBE).

Key words: spirit, sensory profile, aging.

INTRODUCCIÓN

La producción de bebidas, específicamente el ron, y su almacenamiento en barriles, se conoce desde la antigüedad. Los barriles de roble se usan para el añejamiento de las bebidas alcohólicas, debido a que aumentan la complejidad del aroma y mejoran las propiedades organolépticas. Se podría suponer, por tanto, que existe una gran experiencia acumulada en el comportamiento de la evolución de estas bebidas en dichos recipientes, que explique los cambios que se producen y sus razones. Sin embargo, no sucede así. A pesar de la experiencia y los estudios realizados, el añejamiento del ron en toneles sigue siendo un tema de gran actualidad.

Al revisar la bibliografía que trata sobre el impacto sensorial de las sustancias que aportan los diferentes destilados, en contacto con los barriles, durante un tiempo, observamos la falta de información y la dificultad para interpretar los resultados.

En la producción de bebidas alcohólicas, se le otorga gran importancia a la calidad organoléptica de los productos y se vela por el cumplimiento y mantenimiento de los parámetros establecidos en cada uno de los procesos productivos. Nuestro ron es suave y agradable al paladar, presenta un aroma muy particular, con una extraordinaria complejidad y permanencia en la nariz del consumi-

dor; tanto cuando la copa está llena, como cuando está vacía y seca. Estos variados aromas y sabores se deben, principalmente, al carácter del aguardiente que, con levadura y tecnología propias, es obtenido de las melazas cubanas de la caña de azúcar y añejado en barriles de roble blanco, hasta madurar con un carácter particularmente exquisito, de manera que en el ron no prevalecen el olor o el sabor de la madera.

Los rones cubanos presentan sus propias características sensoriales, que los diferencian de otros productos; su aroma particular viene dado por el aguardiente y, es fundamental, el tiempo de añejamiento en barriles de roble, que transforma su crudeza en suavidad. A medida que avanza el añejamiento se originan cambios que le van otorgando características únicas, debido a que ocurre la extracción de los aromas y las sustancias que están presentes en la madera, seguido de un proceso en el que los compuestos químicos se oxidan y forman acetaldehídos y, finalmente, se producen las reacciones químicas responsables de crear esteres y diferentes aromas (1).

Por esta razón, se planteó como objetivo realizar un perfil sensorial de los aguardientes añejados en la solera, para así diferenciarlos, compararlos y describirlos organolépticamente y aprovechar, de forma óptima, su utilización; como instrumento de medida se emplearon catadores entrenados. Es preciso contrastar las diferencias que existen de acuerdo con la edad de añejamiento, por medio de un perfil sensorial, que cada descriptor se analice en cada uno de los tipos de aguardiente y se defina su comportamiento e intensidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso comenzó con el entrenamiento del panel sensorial del laboratorio acreditado de Alcoholes y Bebidas (LABEB). Para establecer la metodología del perfil sensorial de los aguardientes añejados en diferentes años, se realizó un procedimiento, que queda documentado en el LABEB (2).

Se escogieron dos muestras de aguardiente a 75 % v/v a 20 °C, con alcoholes superiores inicial de 350 g/100 L de alcohol absoluto, por cada rango de edades. En los casos en que no coincidían con la misma edad, para el duplicado, se escogió la más cercana. Se respetó que la muestra no se moviera del tonel en todo el tiempo de añejamiento que tenía reflejado.

Los rangos de edades estudiados fueron cinco:

| Rango de edades (meses) | Promedio de la edad real de la muestra |
|-------------------------|--|
| 24-30 | 27.11 |
| 36-42 | 37.92 |
| 48-54 | 51.06 |
| 60-66 | 65.52 |
| 72-78 | 76.14 |

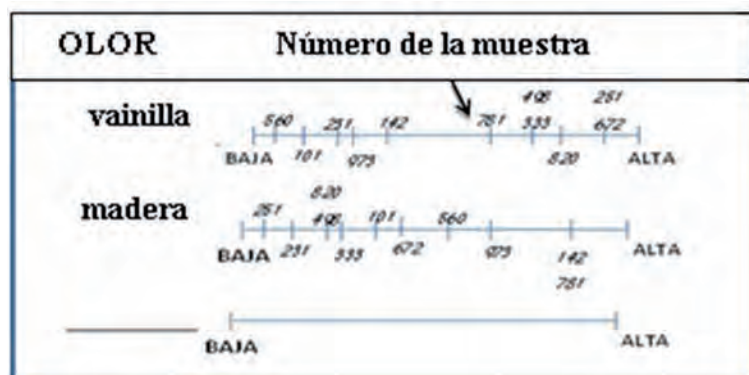
Inicialmente, se realizó una búsqueda de todos los términos descriptivos presentes en el ron: frutal (coco, almendra), floral, vegetal, especiado (vainilla, ahumado), crianza (madera), microbiológico y químico.

En la primera sesión se pidió que, de manera individual, generaran descriptores aromáticos capaces de diferenciar entre las 5 muestras de aguardiente, en el perfil aromático de olor.

Para facilitar el trabajo a los catadores, se les recomendaron algunos de los descriptores mencionados anteriormente, podían generar tantos atributos como ellos quisieran y disponer del tiempo que necesitaran; además podían trabajar en copa seca, con el fin de identificar la mayor cantidad de notas.

Esta lista global se presentó como una herramienta de ayuda para que los jueces pudieran actualizar su propia lista, si lo deseaban, pero no tenía por objetivo llegar a un consenso. A dicha lista, los jueces podrían añadir otros términos que juzgaran pertinentes, pero no generarlos ellos mismos; o, reemplazar algunos de sus propios términos por otros que ellos creyeran más adecuados.

Se les solicitó que clasificaran las 5 muestras de aguardiente, de menor a mayor (en términos de intensidad), para cada uno de los atributos elegidos en olor. Los descriptores sensoriales fueron evaluados con una escala continua no estructurada, anclada con las palabras «baja» y «alta» intensidad en los extremos izquierdo y derecho, respectivamente.



En una segunda sesión de trabajo, se les solicitó que realizaran la misma actividad pero para el perfil aromático de sabor. Seguidamente, se realizó la prueba de identificación de sabores y texturas de las muestras y la identificación por vía retronasal (3, 4, 5). Al final del proceso, se hizo una reducción de términos, se calculó la frecuencia (f) de estos y se eliminaron los valores menores al 20 %; posteriormente, los jueces evaluaron cada uno de los aguardientes y establecieron un nivel de intensidad para cada descriptor (6).

Frecuencia: número de veces que el descriptor es mencionado (n) sobre el número total de veces que es posible mencionar ese descriptor (N), expresado en porcentaje.

$$F = (n/N) \cdot 100$$

Al incluir la actividad de perfiles dentro del entrenamiento, se logra obtener del panel un amplio espectro de descriptores para un mismo producto, se intensifica la actividad y se hace más sensible el catador.

Los descriptores encontrados por los catadores sensoriales aparecen en la tabla 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 2 y 3 se presentan los datos obtenidos, después de la evaluación realizada por los catadores, para los descriptores aromáticos, capaces de diferenciar las 5 muestras de aguardiente analizadas, en el perfil aromático de olor y sabor, respectivamente.

Tabla 1. Términos descriptivos para los aguardientes en estudio

| | 9 términos para OLOR | 7 términos para SABOR |
|------------|----------------------|-----------------------|
| Roble | X | X |
| Vainilla | X | X |
| Coco | X | |
| Caramelo | X | |
| Frutal | X | |
| Etanol | X | |
| Aldehídico | X | X |
| Dulzor | X | X |
| Fúsel | X | X |
| Picor | | X |
| Amargor | | X |

Tabla 2. Resultados obtenidos por los catadores para los descriptores del perfil aromático OLOR

| Edad (meses) | Roble | Vainilla | Coco | Caramelo | Frutal | Etanol | Aldehídico | Dulzor | Fusel |
|--------------|-------|----------|------|----------|--------|--------|------------|--------|-------|
| 24-30 | 2.8 | 1.9 | 0.0 | 2.3 | 2.5 | 5.3 | 4.6 | 2.7 | 4.3 |
| 36-42 | 3.9 | 2.6 | 1.5 | 3.3 | 3.4 | 4.3 | 5.0 | 2.8 | 2.0 |
| 48-54 | 4.6 | 4.0 | 2.5 | 3.0 | 3.8 | 4.7 | 4.0 | 3.3 | 1.0 |
| 60-66 | 5.7 | 4.8 | 3.5 | 5.0 | 4.3 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 1.3 |
| 72-78 | 5.8 | 4.8 | 4.5 | 7.0 | 5.0 | 3.2 | 3.7 | 5.5 | 0.0 |

Tabla 3. Resultados obtenidos por los catadores para los descriptores del perfil aromático SABOR

| Edad (meses) | Roble | Vainilla | Amargor | Picor | Aldehídico | Dulzor | Fusel |
|--------------|-------|----------|---------|-------|------------|--------|-------|
| 24-30 | 3.0 | 2.7 | 3.7 | 5.0 | 5.0 | 2.5 | 3.0 |
| 36-42 | 3.6 | 2.0 | 3.8 | 5.3 | 4.3 | 2.7 | 1.0 |
| 48-54 | 4.3 | 2.0 | 4.8 | 4.8 | 4.0 | 3.8 | 0.0 |
| 60-66 | 4.5 | 3.7 | 5.0 | 6.2 | 3.0 | 5.0 | 0.0 |
| 72-78 | 6.8 | 5.3 | 5.3 | 6.8 | 1.0 | 5.0 | 0.0 |

Los catadores identificaron los aguardientes con una amplia variedad de notas que permiten definir cada uno según el tiempo de añejamiento en los barriles de roble blanco americano.

Los resultados fueron descritos y graficados para su mayor entendimiento.

En los aguardientes más jóvenes (24-30 meses), predomina la nota alcohólica que lo hace más ardiente, punzante; se destacan los compuestos frescos de este tipo de destilado como los aldehídos, compuestos fúsel y aún no están presentes los componentes que se van liberando por parte de

**Figura 1.** Perfil sensorial de los aguardientes entre 24 y 30 meses de añejamiento.

la interacción con la madera de roble.

Los aguardientes entre 36 y 42 meses de añejamiento presentan una disminución en la intensidad del alcohol, son más aromáticos ya que comienzan a percibirse suavemente las notas procedentes de la madera de roble, vainilla, caramelo y frutal, que aparecen medianamente dándoles un toque diferente.



Figura 2. Perfil sensorial de los aguardientes entre 36 y 42 meses de añejamiento.

Los aguardientes entre 48 y 54 meses, se presentan como un producto más equilibrado y excelente cuerpo, con respecto a su olor, sabor y sensaciones, en estos aparece el roble más notablemente y equilibrado, que crea una buena sensación en la boca, por sus suaves notas ameladas y frutales.

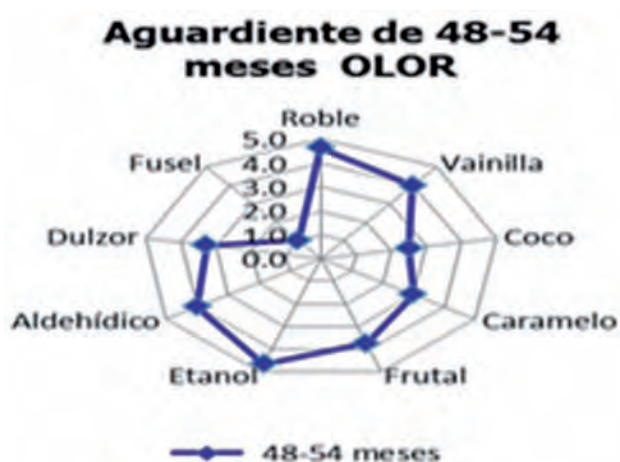
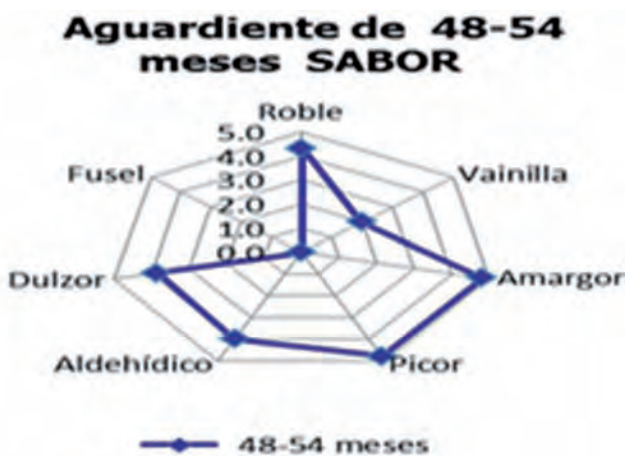


Figura 3. Perfil sensorial de los aguardientes entre 48 y 54 meses de añejamiento.

Los aguardientes entre 60 y 66 meses, se diferencian por su nota baja de alcohol, que permite percibir notas mucho más profundas y acentuadas como las ameladas, frutales, frutos secos y roble, que predominan en la boca; las sensaciones somatosensoriales que posee son de menor intensidad, en comparación con los aguardientes más jóvenes.



Figura 4. Perfil sensorial de los aguardientes entre 60 y 66 meses de añejamiento.

Los aguardientes más añejados, entre 72 y 78 meses, son productos con notas maderosas, aromáticas, afrutados y especiadas intensas, da una sensación aterciopelada en la boca, son productos con tonalidad ámbar intenso, fruto de la extracción de los componentes del roble. Poseen “lágrimas” espesas que caen con lentitud en la copa e indican el cuerpo intenso del producto, esto se debe al glicerol presente en el roble.

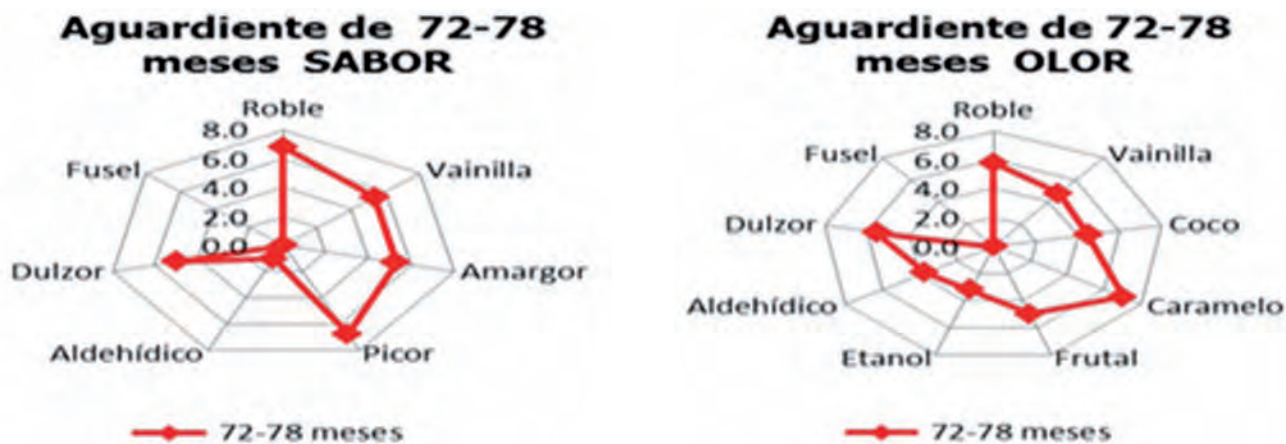


Figura 5. Perfil sensorial de los aguardientes entre 72 y 78 meses de añejamiento.

CONCLUSIONES

Se logró un amplio espectro de descriptores para un mismo producto y se potenció la sensibilidad de los catadores. Los resultados del comportamiento de las muestras de aguardiente, fueron los esperados, en algunos de los descriptores más sobresalientes como: el alcohol, el fúsel y las sensaciones somatosensoriales, a medida que aumentaba el añejamiento, estas iban disminuyendo; en cambio, en otros se fueron intensificando como: el roble, la vainilla, el caramelo y los ésteres, con características excelentes y diferenciación entre ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vásquez, P. Proyecto implementación de sistema de gestión sensorial para la fábrica de licores y alcoholes de Antioquia. Universidad de Antioquia. Facultad de Química Farmacéutica. Medellín. 2012
2. Instrucción S.C.C 2.13.05.09-1. Capítulo II Control de la Calidad. Evaluación Sensorial de Ronces, Aguardientes y Alcohol A. Mayo 2002.
3. NC ISO 5496 Análisis sensorial. Metodología. Iniciación y entrenamiento de jueces en la detección y el reconocimiento de olores.
4. NC ISO 3972 Análisis sensorial. Metodología. Método de investigación de la sensibilidad del gusto.
5. NC ISO 4121: 2005. Análisis Sensorial. Guía para el uso de escalas con respuestas cuantitativas. Oficina Nacional de Normalización. La Habana.
6. Marín Ospina, Daniela. Desarrollo de perfiles por aproximación multidimensional para rones Medellín portafolio fla 3, 5, 8, 12 años y edición especial ron *maestro Gabo*. Calle Medellín-Colombia-Suramérica. 2015.

Comportamiento de los gases nitrosos y del sulfuro de hidrógeno en la obtención del IFA Furvina

María Isabel Díaz-Molina^{1*}, Claudia Lago-Durán¹, Zenaida Rodríguez-Negrín¹, Irenia Gallardo-Aguilar², Amalia Calvo-Alonso¹

¹ Centro de Bioactivos Químicos. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuaní, Km 5 ½ Santa Clara. CP 54830, Villa Clara, Cuba.

*midiaz@uclv.edu.cu

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química-Farmacia. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuaní, Km 5 ½ Santa Clara. CP 54830, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó el comportamiento de la contaminación atmosférica en los años 2018 y 2019, causada por las inmisiones de los gases nitrosos en la obtención del producto intermedio (G-0), durante la técnica de determinación del contenido de metales pesados del ingrediente farmacéutico activo IFA Furvina, en el Laboratorio de Control de la Calidad y, del sulfuro de hidrógeno, en el taller de obtención del IFA Furvina. En la medición de la concentración de los gases NO₂ en el taller de G-0 se obtuvo un valor de 0.04 mg/m³ y 0.08 mg/m³ como concentración promedio admisible (CPA) y concentración máxima admisible (CMA), en los años 2018 y 2019, respectivamente. Durante la técnica analítica en el laboratorio se obtuvo un valor de CPA de NO₂ de 0.02 mg/m³ y 0.46 mg/m³ en los años 2018 y 2019, respectivamente. Los valores de las inmisiones de sulfuro de hidrógeno durante la síntesis del IFA Furvina reflejan una CPA de 0.01 mg/m³, en los años 2018 y 2019. En la investigación se concluye que no existe riesgo de contaminación en el ambiente de trabajo, las inmisiones evaluadas cumplen con los valores de CPA y CMA referidos en la NC 872: 2011.

Palabras clave: contaminación atmosférica, impacto ambiental, mediciones de gases.

ABSTRACT

In the following project, a study was conducted to determine the behavior of air pollution years throughout the years 2018 and 2019 caused by the immissions of nitrous gases in obtaining the intermediate product (G-0), during the technique of determining the content of heavy metals of the active pharmaceutical ingredient IFA Furvina in the Quality Control laboratory and of hydrogen sulfide in the workshop to obtaining IFA Furvina. The measurement of the concentration of NO₂ gases in the G-0 workshop, a value of 0.04 mg/m³ and 0.08 mg/m³ was obtained as the admissible average concentration (CPA) and maximum admissible concentration (CMA) in the years 2018 and 2019, respectively. During the analytical technique in the laboratory, a CPA value of NO₂ of 0.02 mg/m³ and 0.46 mg/m³ was obtained in the years 2018 and 2019, respectively. The values of the hydrogen sulfide immissions during the synthesis of IFA Furvina reflect a CPA of 0.01 mg/m³ in the years 2018 and 2019. The research concludes that there is no risk of contamination in the work environment, the immissions evaluated comply with the CPA and CMA values referred to in NC 872: 2011.

Key words: air pollution, environmental impact, gas measurements.

INTRODUCCIÓN

La lucha contra la contaminación atmosférica presenta dos vertientes: la primera, constituida por la defensa de los criterios sanitarios de la calidad del aire y, la segunda, el establecimiento de niveles máximos de emisión de contaminantes atmosféricos en los focos emisores (1).

El nitrógeno es uno de los contaminantes ambientales que más influye en la salud del hombre, porque forma multitud de óxidos comunes: óxido de dinitrógeno (N_2O), monóxido de nitrógeno (NO), trióxido de dinitrógeno (N_2O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), tetróxido de dinitrógeno (N_2O_4) y pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5) (2-4).

También el sulfuro de hidrógeno (H_2S) es un gas altamente contaminante, incoloro, inflamable, extremadamente tóxico y corrosivo que se produce en minas de carbón, refinerías de gas natural e industrias de lubricantes. Este gas produce severos efectos en el sistema nervioso humano, incluso por debajo del valor límite de exposición ocupacional (10 ppm por 8 h); sin embargo, ha sido poco estudiado como gas de detección en sensores (5).

En el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), ubicado dentro de la Universidad Central Marta Abreu, de Las Villas, se produce el ingrediente farmacéutico activo Furvina, con acción antibacteriana y antifúngica, utilizado para la producción de Dermofural y Vitrofur. Durante la obtención de la Furvina se identificaron tres momentos en los que se produce la emanación de estos gases: gases nitrosos, durante la síntesis química del producto intermedio G-0 (producto precursor de la Furvina) y durante la determinación de metales pesados a la Furvina, como parte del control de la calidad a este producto; y sulfuro de hidrógeno, durante la síntesis química de la Furvina.

En el taller de producción del producto intermedio G-0, en el año 2015, se colocó en el reactor de síntesis una columna de absorción, para evitar que los gases nitrosos que se generan debido a la condensación del Furfural, materia prima contaminen el área de trabajo. Después del proceso de absorción, los gases emanados de la columna, se recolectan en agua. La concentración promedio en mol/L de ácido nítrico (HNO_3) es de 0.0013 y una concentración total de ácidos de 0.0020 mol/L, lo que demostró que hay una tendencia a la aparición de dos ácidos en la corriente residual líquida (6, 7). La concentración de gases nitrosos en el taller de G-0, antes de la colocación de la columna de absorción era de 0.37 mol/L.

La finalidad de este estudio es evaluar la calidad del aire, en cuanto a gases nitrosos y sulfuro de hidrógeno, en las áreas de trabajo, durante los tres momentos señalados, con el objetivo de prever los posibles impactos de las emisiones atmosféricas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la medición de la calidad del aire o inmisiones en puestos de trabajo, se utilizó el equipo Aeroqual, exhaustivo y preciso para monitoreo de gases, de la serie 500, de Nueva Zelanda, de tecnología GSS (Semiconductor GAS Sensible), GSE (Gas Sensible Electroquímico) y Nefelómetros. En correspondencia con una de las sustancias emitidas. A este equipo se le acoplaron los sensores de:

- Dióxido de nitrógeno (NO_2)
- Sulfuro de hidrógeno (H_2S)

Se utilizó el método de estudio establecido por la NC 872: 2011 Seguridad y Salud del Trabajo. Sustancias Nocivas en el Aire de la Zona de Trabajo. Evaluación de la Exposición Laboral. Requisitos Generales, en el apartado 6. *Requisitos generales de los métodos e instrumentos para la medición de las concentraciones de las sustancias nocivas* (8 y 9).

Se toman muestras:

- En el taller de producción del producto intermedio G-0 (2-2-nitrovinil-furano), durante el proceso de síntesis, porque se emanan a la atmósfera los gases nitrosos.
- En el taller de producción del ingrediente farmacéutico activo (IFA) 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil-furano). Durante el proceso de síntesis se adiciona el disulfuro de carbono como materia prima, para que ocurra la reacción.

- En el Laboratorio de Control de la Calidad, durante la técnica de determinación de metales pesados a la (Furvina), porque se desprenden gases nitrosos (NO y NO_x) que pueden afectar la calidad del aire, aun cuando se trabaja bajo campana de extracción.

Para la determinación de la concentración de los gases las muestras fueron tomadas *in situ* en la zona respiratoria de los trabajadores expuestos, a una altura de 1,5 m del suelo, en condiciones normales de trabajo y a pequeños intervalos de tiempo (1,8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el taller de producción del producto intermedio G-0, se obtuvo una concentración promedio admisible de NO_2 de 0.04 mg/m^3 y un valor de concentración máxima de 0.08 mg/m^3 , en los años 2018 (figura 1) y 2019 (figura 2) (1, 8). Ambos valores son inferiores al de la Concentración Promedio Admisible (CPA) de 5 mg/m^3 y al de la Concentración Máxima Admisible (CMA), de 10 mg/m^3 , por lo que cumple con los límites permisibles de exposición establecidos en la NC 872: 2011.

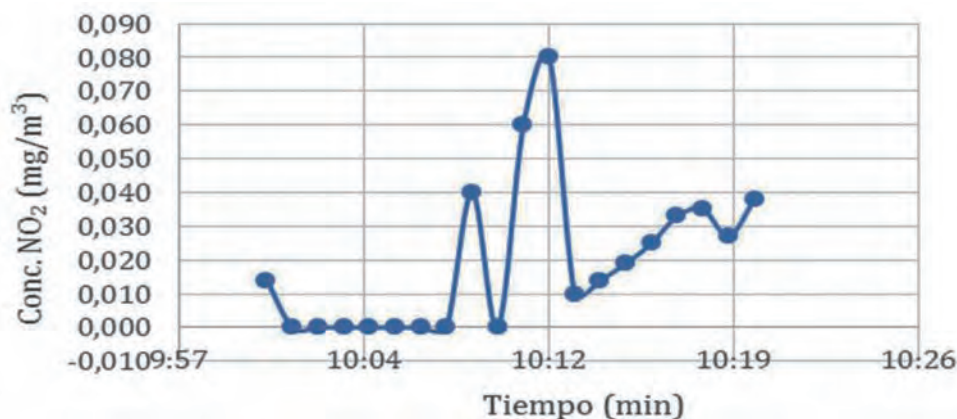


Figura 1. Comportamiento de las inmisiones de NO_2 en el taller de producción de G-0, año 2018.

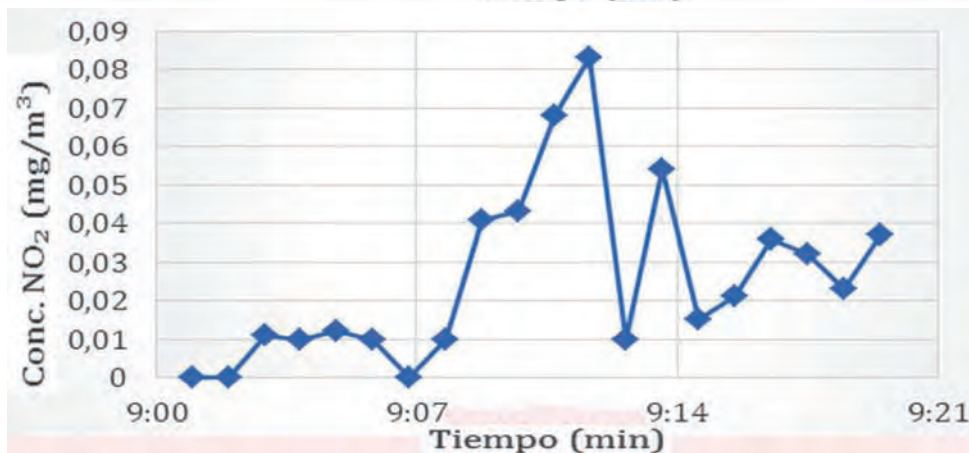


Figura 2. Comportamiento de las inmisiones de NO_2 en el taller de producción de G-0, año 2019.

En el Laboratorio de Control de la Calidad, durante la técnica de determinación de metales pesados a la Furvina se obtuvo una concentración promedio de las inmisiones de NO_2 de 0.02 mg/m^3 , en el año 2018 (figura 3) y de 0.46 mg/m^3 , en el año 2019 (figura 4). Al comparar estos valores con la Concentración Promedio Admisible (CPA) y las Concentraciones Máximas Admisibles (CMA) en el aire de la zona de trabajo, según la NC 872: 2011 (1, 8), se puede observar que no existe contaminación por dióxido de nitrógeno en la zona respiratoria del trabajador.

Figura 3. Comportamiento de las inmisiones de NO_2 , en el Laboratorio de Control de la Calidad, año 2018.

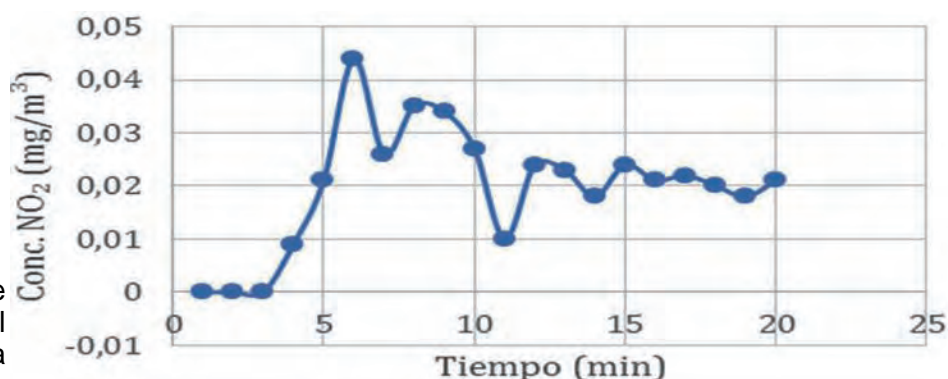
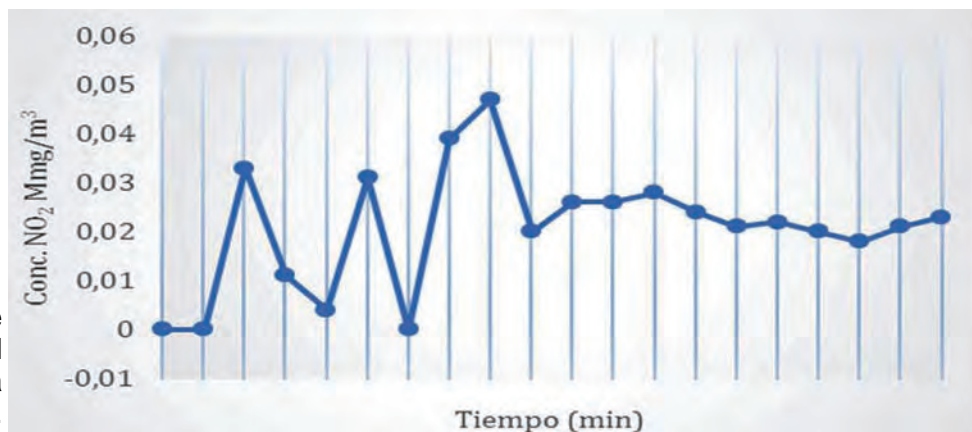


Figura 4. Comportamiento de las inmisiones de NO_2 , en el Laboratorio de Control de la Calidad, año 2019.



Los valores de las inmisiones de H_2S en el año 2018, obtenidos durante la síntesis del IFA Furvina (figura 5), reflejan una concentración promedio de 0.01 mg/m^3 . Este resultado es inferior a 10 mg/m^3 , valor de CPA establecida en la NC 872: 2011. Estas inmisiones fueron registradas al finalizar la síntesis del IFA y se observaron incrementos de 0.04 mg/m^3 a 0.08 mg/m^3 y después un descenso hasta 0.03 mg/m^3 , en un intervalo de 18 min, por lo que cumple con lo establecido en la norma NC 1020:2014 (10) que plantea 0.03 mg/m^3 , para 20 minutos (1).

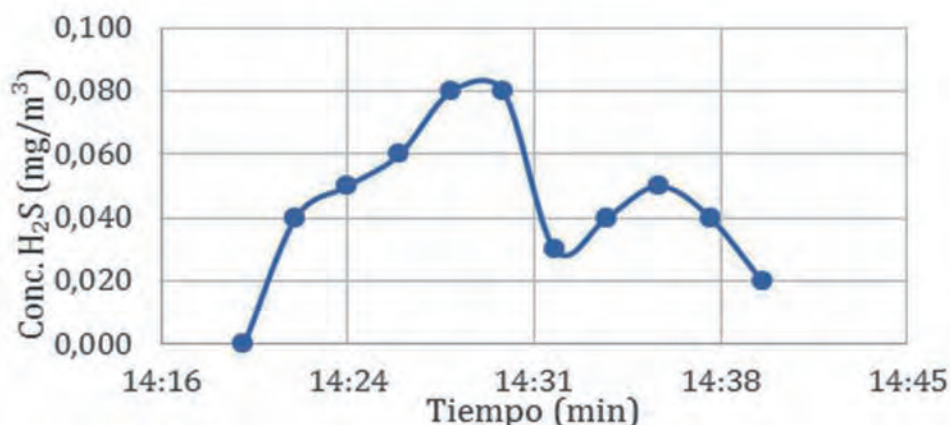


Figura 5. Comportamiento de las inmisiones de H_2S en el taller de producción de Furvina, año 2018.

En el año 2019, los valores de las inmisiones de H_2S , obtenidos durante la síntesis del IFA Furvina (figura 6), reflejan una concentración promedio de 0.01 mg/m^3 , resultado inferior a 10 mg/m^3 , valor de CPA establecida en la NC 872: 2011. Estas inmisiones fueron registradas al finalizar la síntesis del IFA, se observaron incrementos de 0.02 mg/m^3 a 0.09 mg/m^3 (8). Al comparar con los resultados obtenidos en el monitoreo del año 2018, se aprecia un comportamiento similar en las concentraciones de este compuesto en el área de trabajo.

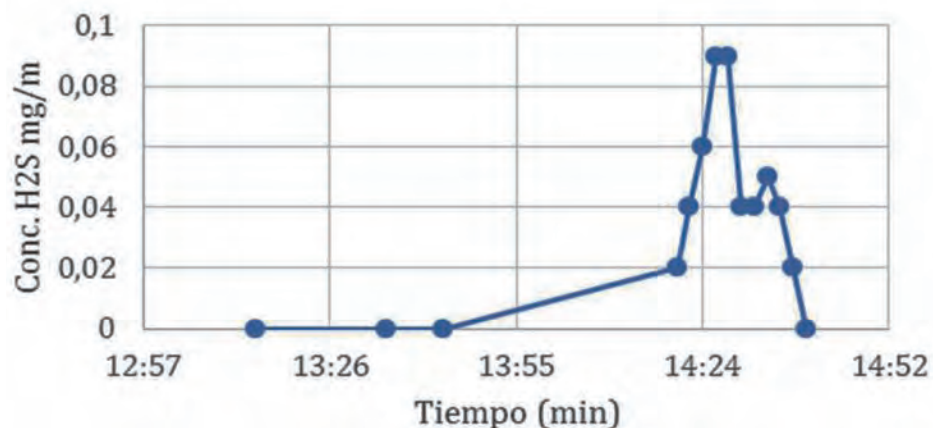


Figura 6. Comportamiento de las inmisiones de H₂S en el taller de producción de Furvina, año 2019.

CONCLUSIONES

Las inmisiones de NO₂ medidas en los años 2018 y 2019, durante la ejecución de la síntesis de G-0, no muestran contaminación en el área de trabajo, según los límites admisibles de exposición laboral establecidos en la NC 872: 2011.

En la síntesis de G-0 ha existido una disminución significativa en la emanación de los gases nitrosos a la atmósfera, con respecto al año 2015, debido al diseño e instalación de una columna de absorción de gases, que ha permitido mejorar el ambiente de trabajo.

Las inmisiones de NO₂ medidas en los años 2018 y 2019, durante el desarrollo de la técnica de determinación de metales pesados, en el Laboratorio de Control de la Calidad, no muestran contaminación en el área de trabajo según, los límites admisibles de exposición laboral establecidos en la NC 872: 2011.

Las inmisiones de H₂S medidas en el taller de obtención de la Furvina, en los años 2018 y 2019, para una hora de exposición, no muestran contaminación, según los límites admisibles de exposición laboral establecidos en la NC 872: 2011.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto Institucional Mejora continua de los procesos de obtención de la Furvina y el Vitrofur, por el apoyo financiero parcial a esta investigación (Código del proyecto:10394). Agradece también a los trabajadores de la Planta de Producción, al Laboratorio de Control de la Calidad, a la Unidad de Aseguramiento de la Calidad y a la máxima dirección del Centro de Bioactivos Químicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GEOCUBA, Monitoreo de variables ambientales (ruido y gases) en el Centro de Bioactivos Químicos. Informe Técnico. 2018.
2. Kampschreur, M.J., *et al.*, Nitrous oxide emission during wastewater treatment. *Water research*, 2009. 43(17): p. 4093-4103.
3. Ravishankara, A.; Daniel, J.S. . Portmann, R.W. Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *science*, 2009. 326(5949): p. 123-125.
4. CATC, boletín técnico óxidos de nitrógeno (NOX), ¿Por Qué y Cómo Se Controlan? .1999, Control y Protección; Environmental Protection Agency

5. Picasso, G., *et al.* Sensores basados en óxido de Fe dopados con Ag para la detección de sulfuro de hidrógeno. Revista de la Sociedad Química del Perú, 2010. 76(3): p. 199-217.
6. Lago-Durán, C. Diseño de una columna de absorción de gases en la Planta de producción del Centro de Bioactivos Químicos., Departamento de Ingeniería Química. 2015, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas: Cuba. p. 95.
7. Lago-Durán, C.; *et al.* Determinación cuantitativa de la concentración del NO₂ disuelto en agua en la síntesis del 2-(2-nitrovinil-furano). ICIDCA de derivados de la caña de azúcar, 2018. 52: p. 67-69.
8. GEOCUBA, Monitoreo de variables ambientales (ruido y gases) en el Centro de Bioactivos Químicos. Informe Técnico. 2019.
9. NC 872:2011. Seguridad y Salud en el Trabajo. Sustancias Nocivas en el Aire de la Zona de Trabajo. Evaluación de la Exposición Laboral. Requisitos Generales.
10. NC 1020:2014 Calidad del aire - contaminantes -Concentraciones máximas admisibles y valores. Guías en zonas habitables.

Influencia de la lignina de biomasa cañera en la microbiota de suelos afectados por el cambio climático

Adolfo Brown-Gómez^{1*}, Héctor Toribio-Cuaya², Sheila Brown-Roldan³, Lorena Pedraza-Segura², Amaury Álvarez-Delgado¹, Juan A. Leal-Alfonso¹, Milaydis Reina-Hernández¹

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

Vía Blanca No. 804 esq. a Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* adolfo.brown@icidca.azcuba.cu

2. Universidad Iberoamericana (UIA). Paseo de la Reforma 880. Lomas de Santa Fe 01219, México, DF.

3. Facultad de Química, Universidad de la Habana, Cuba

RESUMEN

El estudio con lignina, obtenida de la biomasa cañera, permitió evaluar su impacto en suelos de control afectados por la erosión, salinidad y sodicidad, tomando en consideración el papel de la lignina en el ciclo del carbono orgánico del suelo. Los ensayos a nivel de banco demostraron que los suelos tratados con lignina alcalina modificaron su textura con un incremento en su población microbiana a partir del resultado alcanzado en los ensayos de identificación de hongos y levaduras, que indica una mejor retención hídrica del suelo tratado y un incremento del aporte de nutrientes a la planta, lo que contribuye a la esbeltez del tallo y su germinación.

Palabras clave: lignina, suelos, microbiota, cambio climático.

ABSTRACT

The study with lignin obtained from sugar cane biomass, allowed evaluating its impact on control soils affected by erosion, salinity and sodicity, taking into account the role of lignin in the cycling of organic carbon in the soil. Bench-level tests showed that alkaline lignin-treated soils modified their texture with an increase in their microbial population, based on the results obtained in the fungal and yeast identification tests, all of which indicate better water retention of the treated soil, and an increase in the contribution of nutrients to the plant, which contributes to the slenderness of the stem and its germination.

Key words: lignin, floors, microbiota, climatic change.

INTRODUCCIÓN

Cuba es un país predominantemente agrícola donde el suelo juega un papel importante para el desarrollo económico y alimentario del país. Uno de los factores más favorables para la economía es que el 60 % de los suelos son agrícolas y, del 40 % restante, la mitad puede utilizarse con fines pecuarios o forestales. La erosión natural del suelo no es un problema de gran importancia, debido a que la mayor parte del territorio es de llanuras, pero la forma en que se han realizado los desmontes, ha contribuido a empobrecer grandes extensiones de suelos. Las condiciones climáticas, topográficas y edafológicas que existen, han provocado erosión que se pueden considerar entre fuerte y media. Por otro lado, la salinidad y sodicidad ocupan áreas que superan el millón de hectáreas como parte de los efectos del cambio climático.

La importancia de la materia orgánica como factor limitante de la fertilidad del suelo es una evidencia científica aceptada para todos los sistemas de cultivos. Desde las técnicas agrícolas más tradicionales hasta los más modernos sistemas de producción agraria, se utilizan los abonos orgánicos, en mayor o menor proporción, no sólo por el aporte de nutrientes que se logra con su aplicación, sino contando en mayor medida con los efectos beneficiosos que la adición de materia orgánica induce, especialmente en lo que se refiere a la mejora de las propiedades físicas, el incremento de la actividad biológica y de la dinámica de nutrientes en ellos. Su influencia sobre las propiedades físicas del suelo se traduce en tres aspectos fundamentales:

1. En una reducción de la densidad aparente del suelo.
2. Un aumento de la retención hídrica del suelo.
3. Una mejora de su estructura. Esta mejora estructural también repercute sobre la porosidad del suelo, lo que conduce al aumento del agua infiltrada en el perfil de este, incrementado su permeabilidad y una adecuada relación agua-aire.

En este último aspecto, la formación de complejos arcillo-húmicos repercute directamente sobre la estabilidad estructural del suelo. Además, la materia orgánica posee componentes con acción cementante, tales como los polisacáridos y las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas), que favorecen la creación de agregados entre las partículas del suelo, la proliferación de microorganismos que reducen la cantidad de agentes patógenos, lo que mejora su estabilidad. La materia orgánica modera, así mismo, los cambios de temperatura y su color oscuro favorece la absorción de las radiaciones solares, eleva la temperatura del suelo y beneficia procesos como la germinación de las semillas y la actividad microbiana (1).

Todas estas mejoras propician al suelo una mayor estabilidad frente a los agentes atmosféricos, que se traduce en menor pérdida del suelo y, por tanto, en menor erosión.

Desde el punto de vista químico, la materia orgánica es responsable de la capacidad de cambio iónico del suelo, ya que constituye la mayor parte del complejo adsorbente y de cambio, permite retener elementos nutritivos útiles para la planta, pero también elementos contaminantes presentes en el suelo. Así mismo, la fracción coloidal orgánica mejora el poder amortiguador del suelo frente a la adición de agentes ácidos o básicos, mantiene un nivel constante de pH y evita las fluctuaciones de este parámetro (capacidad tampón). Existen tres nutrientes de suma importancia para el suelo fértil: el nitrógeno (N), para garantizar el crecimiento de las hojas y los tallos, el fósforo (P), para las raíces, las frutas y las semillas, y el potasio (K), para la resistencia contra las enfermedades y buena evolución de las plantas. Los suelos más fértiles experimentan contenidos de N y C (carbono) superiores al 25 %, y contenidos de azufre (S) y C bajos, para garantizar un buen pH (2).

La materia orgánica aporta de forma directa elementos nutritivos durante su mineralización y contribuye a su reserva, participa en fenómenos de quelatación y complejación y ejerce una acción muy directa sobre los procesos de persistencia, transporte, movilización, retención y biodisponibilidad de metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos. Los nutrientes aportados por la materia orgánica no pueden compararse con los suministrados por los fertilizantes minerales, con respecto a su rápida disponibilidad en el suelo; los de origen orgánico, tienen a su favor que se liberan de forma gradual y, por tanto, son menos sensibles que aquellos a fenómenos adversos, tales como la lixiviación y volatilización (caso del nitrógeno), o la fijación (como en el caso del fósforo). En cuanto a los micronutrientes, en su solubilidad y asimilabilidad influyen los fenómenos de quelatación, de modo que, numerosos productos orgánicos procedentes de la microbiota del suelo (ácidos alifáticos, aminoácidos y polifenoles), así como las sustancias húmicas, se consideran involucradas en tales procesos de quelatación (3, 4).

La materia orgánica es el soporte de la vida microbiana del suelo, ya que actúa como fuente de energía y de elementos esenciales para el desarrollo de la microbiota, favorece su proliferación. Los microorganismos degradan la materia orgánica y liberan ácidos orgánicos e inorgánicos capaces

de alterar los componentes minerales del suelo. También liberan agentes quelatantes y enzimas, provocando pequeñas alteraciones de pH y de potencial redox que pueden favorecer la liberación y asimilación de elementos nutritivos para la planta. Así mismo, pueden establecerse asociaciones simbióticas planta/microorganismo que favorecen la asimilación de nitrógeno y fósforo (5).

Las sustancias húmicas son, probablemente, los materiales de carácter orgánico más ampliamente distribuidos en la naturaleza, representan aproximadamente el 50 % de la materia orgánica total del suelo y esta (humus) participa en la nutrición vegetal (6, 7).

La lignina constituye un componente importante, en volumen, de la biomasa lignocelulósica. A partir de los métodos de pretratamiento y delignificación en medio básico, con agentes oxidantes, se puede obtener lignina de diversas clases. Se han realizado estudios referidos a suelos con problemas de erosión y existen reportes de que la lignina reacciona con los ácidos húmicos del suelo y forma redes que modifican su estructura, ayuda a retener agua y evitar la pérdida de los estratos superficiales. La lignina y sus productos de degradación son considerados como los principales precursores de la fracción orgánica que forman las sustancias húmicas (8, 9, 10).

Los agricultores se han visto obligados a desarrollar métodos para prevenir la alteración perjudicial del suelo, debido al cultivo excesivo, a la baja rotación y para reconstruir suelos alterados por los cambios climáticos. El conocimiento de los componentes minerales y orgánicos, así como la aireación y capacidad de retención del agua, son necesarios para garantizar un buen rendimiento en cada cosecha (11).

Los requerimientos del suelo varían mucho, en función del tipo de plantas, no debe generalizarse sobre el terreno ideal. Muchas plantas, como la caña de azúcar, requieren suelos húmedos que estarían insuficientemente drenados para el trigo. Las características apropiadas para obtener con éxito determinadas cosechas no sólo son inherentes al propio suelo; algunas de ellas, pueden ser creadas con un adecuado acondicionamiento del suelo (12).

El objetivo del trabajo es la extracción de lignina, a partir de fibras de bagazo integral de caña (BI), y evaluar a escala de banco, su impacto en la modificación de la microbiota de suelos de control, afectados por el cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del estudio se utilizó fibra de bagazo integral de caña de azúcar (BI), procedente del ICIDCA (recolectado en la Empresa Azucarera 30 de Noviembre, zafra 2018). Se revisaron varios métodos de extracción, a partir de reportes consultados para la industria de los derivados de la biomasa. Las experiencias de adecuación, clasificación y estimación de las cargas, se llevaron a cabo en la Planta de Composites que pertenece a la Dirección de Derivados del ICIDCA. Las fibras utilizadas pasaron una malla de 1mm y el porcentaje de humedad medido en la fibra fue de 9.0 %.

La caracterización de la lignina extraída de bagazo integral de caña (BI), para su análisis por espectroscopia infrarroja FTIR, se realizó en un FTIRPrestige21, Shimadzu Corp, 4000 a 500 cm⁻¹, Accesorio ATR: SPECAC con ventana de diamante) y caracterización de la lignina extraída por Calorimetría Diferencial de Barrido y Termogravimetría, DSC (Q20 V24. 10 Build 122) y TGA (Q50 V20. 13 Build 39) TA Instruments (13).

Se utilizaron varios medios de cultivo para ratificar la aparición de colonias o no en los suelos de control y en los modificados con lignina (14).

- 1 Control medio APD
- 2 Lignina medio APD
- 3 Lignina medio APD

- 4 Control medio AN
- 5 Lignina medio AN
- 6 Lignina medio AN

ARB = agar rosa de bengala
APD = agar papa dextrosa
AN = agar nutritivo

Método para la extracción de lignina de bagazo integral de caña

Se pesan 7.3 g de BI en un volumétrico de 500 mL. Se le adicionan 100mL de agua y 1.5 g de NaOH en perlas (figura 1). Se extrae la lignina mediante un proceso alcalino/peróxido. Este tratamiento se realizó a partir de una suspensión de BI con un tamaño de partícula menor a 1 mm de diámetro y una carga de sólido del 7 % p/v. El pH de la suspensión del material lignocelulósico fue elevada a 12 y se utilizó NaOH (22 % p/p con respecto al bagazo). Después se adicionó H_2O_2 al sistema alcalino en una proporción de 13 % p/p en base al material ($2.12 \mu\text{L}$ de H_2O_2) y el sistema se colocó en una incubadora, con agitación a 50°C y 160 rpm, por 2 horas.

Transcurrido ese tiempo se separó el material delignificado con un sistema de filtración a presión, el licor resultante contenía la lignina y polisacárido solubilizado. La lignina se precipitó acidificó el licor con una solución de ácido acético al 50 % p/p hasta $\text{pH} = 3$. La lignina que precipitó en el licor se reposó por una noche para facilitar así la separación del material mediante centrifugación. La suspensión se centrifugó a 2700 rpm por 15 minutos y se separó el sobrenadante. La lignina se secó por una noche a 105°C , en un horno.



Figura 1. Muestras de bagazo integral para la extracción de lignina.

Preparación de suelos de control y modificados con lignina

Para el estudio a escala de banco se tomaron 120 g de suelo de control (poco fértil, erosionado y compactado, procedente de plantaciones mexicanas, con su metagenoma certificado) (figura 2). Se montaron 6 macetas experimentales y tres de ellas se mezclaron con 0.5 g de lignina (LIG) extraída del bagazo integral de caña. Los suelos modificados fueron homogeneizados manualmente con una espátula; luego se plantaron semillas de frijoles y calabaza.



Figura 2. Macetas experimentales (suelo de control).



Figura 3. Preparación de muestras de suelo para el análisis de la microbiota en los ensayos de control y de suelos tratados con LIG..

Luego de 15 días, las plantas alcanzaron un desarrollo determinado, se tomaron muestras de suelos para evaluar la permanencia de microorganismos, hongos y levaduras (modificación de la microbiota) (figura 3).

A las muestras de suelo pesadas (0.5 g) con LIG o sin ella, se les adicionó una solución de NaCl al 0.9 %. Se prepararon 2 muestras (de control y con LIG) en frascos con 50 mL y 10 mL de agua, respectivamente, de donde se tomaron muestras (en μL) para la preparación de los tubos de ensayo que van a servir de base para la toma

de muestras que indicarán, a partir de los resultados revelados en la placa (después de 24 h), el crecimiento o no de bacterias, levaduras y hongos (figura 4) y mostrarán posibles cambios en la población microbiana del suelo mezclado con LIG.



Figura 4. Preparación de placas para evaluar el impacto de la modificación con LIG.

Si se analiza el suelo con lignina o formulaciones para mejorar su fertilidad, tanto la celulosa como la lignina desempeñan un rol importante en su ciclado del carbono orgánico; sin embargo, existe una gran diferencia entre los dos: la celulosa constituye una reserva de carbono lábil en el suelo, que consumen

rápidamente por los microorganismos presentes (bacterias y hongos), y la lignina constituye una reserva de carbono “recalcitrante” y los microorganismos tienden a demorar su consumo. Las unidades fenilpropano de la lignina están entrecruzadas por múltiples enlaces éter y C-C que son extremadamente resistentes al ataque enzimático. La degradación de la lignina ocurre en presencia de oxígeno y glucosa. El sistema enzimático contiene peroxidasas que catalizan la ruptura oxidativa de los β -O-4 éter y los C-C de la lignina y requieren H_2O_2 de la oxidación por la glucosa-oxidasa.

El término metagenoma hace referencia al conjunto de genes microbianos presentes en un entorno o ecosistema determinado. La metagenómica es el método utilizado para el análisis de este metagenoma. Refleja la capacidad potencial de un ecosistema específico, las acciones que sus genes pueden realizar. También explica cuáles son los microorganismos que están presentes. La metagenómica ha permitido estudiar la ecología microbiana de los suelos y descubrir elementos genéticos (15-19).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método utilizado para la extracción de LIG de bagazo integral, reportó resultados satisfactorios para los objetivos trazados a escala de banco. En las siguientes figuras se puede observar el filtrado (figura 5), la operación de separación de LIG en dos fases en el interior del beaker (figura 6), y por último la obtención de LIG (figura 7) en forma de película no cristalina. En la tabla 1 se reportan los resultados alcanzados.



Figura 5. Proceso de filtrado para la extracción de LIG de bagazo integral.



Figura 6. Operación de separación de LIG en dos fases en el interior del beaker.



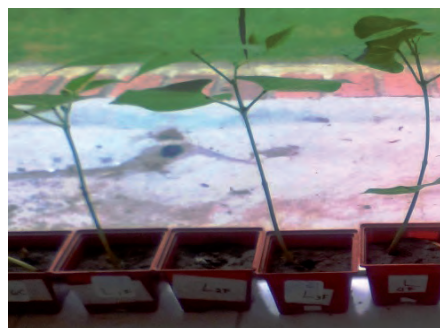
Figura 7. Obtención de LIG en forma de película no cristalina.

Se observaron cambios en la textura de los suelos modificados con LIG, con menor nivel de compactación. Cuando se modifica un suelo, se debe asegurar de que exista mayor cantidad de carbono recalcitrante que de carbono lábil, y la lignina afecta la estructura del suelo, la mineralización de los nutrientes pero actúa como sumidero de carbono, ya que favorece el secuestro de carbono atmosférico. Finalmente, la lignina aporta la estructura resistente y los polisacáridos aportarían los grupos funcionales más reactivos a las sustancias húmicas.

Tabla 1. Resultados para la extracción de LIG de fibras de bagazo integral

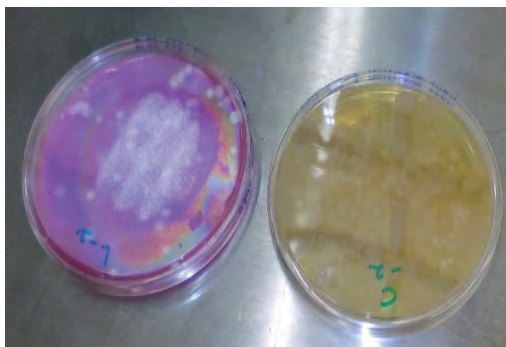
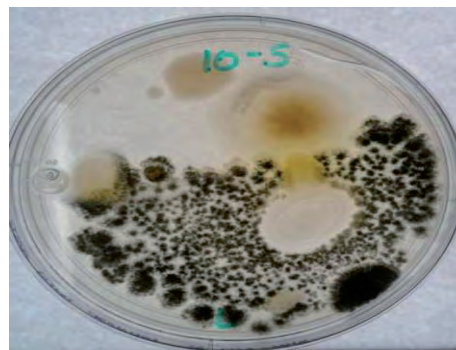
| Muestra | Bagazo seco (g) | Lignina (g) | % Lignina | BI delignificado (g) | % BI delignificado |
|---|-----------------|-------------|-----------|----------------------|--------------------|
| 1 | 11.061 | 2.177 | 19.68 | 6.146 | 55.57 |
| 2 | 11.061 | 2.032 | 18.37 | 6.295 | 56.92 |
| 3 | 11.061 | 2.376 | 21.48 | 5.853 | 52.92 |
| Promedio | 19.84 ±1.56 | | | 55.57± 2.03 | |
| Rendimiento de lignina extraída: 95.86 ± 7.54 | | | | | |

En conclusión, un mayor contenido de lignina en los suelos, reduce la mineralización de nutrientes propiciando una fertilización sostenible. En el caso de las muestras sembradas en los suelos de control la germinación fue débil y la fortaleza del tallo no fue suficiente para mantener erguida a la planta (figura 8). Los suelos tratados con LIG mostraron una mejor fertilidad y robustez en los tallos de la planta, (figura 9).

**Figura 8.** Suelo de control.**Figura 9.** Suelo tratado con LIG.

A partir de este resultado, se montaron los ensayos para evaluar, de forma preliminar, los cambios en la microbiota del suelo de control modificado con lignina, una vez concluido el proceso de germinación de las plantas experimentales.

En las figuras 10 y 11 se observa el incremento de hongos y levaduras para el suelo de control y el modificado con lignina.

**Figura 10.** Suelo de control.**Figura 11.** Suelo tratado con LIG.

Estos ensayos corroboran que, conjuntamente con la modificación de la textura del suelo, surge un incremento en el conteo de microorganismos, indica que el suelo modificado con LIG, a partir del incremento de hongos y levaduras, tuvo una mejor retención hídrica de la tierra, que favoreció un mejor aporte de nutrientes a la planta, la esbeltez del tallo y su germinación. Esta valoración indica una mejoría en el entorno o ecosistema del suelo modificado con LIG y refleja su capacidad potencial, a partir de los microorganismos presentes. El incremento de la biodiversidad microbiana en los

agroecosistemas juega un papel fundamental en procesos ecológicos, como la transformación de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y la promoción del crecimiento de la planta, entre otras interacciones al proceso físico del suelo.

El empleo de la LIG puede contribuir a la solubilización del fósforo, acompañado del aumento de las enzimas fosfatasas, el incremento del contenido en potasio y la porosidad; mejorando, a su vez, la infiltración del agua de riego, aspecto que tiene relación con el cambio de textura del suelo.

El estudio demuestra la importancia que tiene la lignina como reguladora de las interacciones planta-microorganismo, a partir del aporte de carbono recalcitrante a los suelos agrícolas afectados por el cambio climático. Este carbono demora en ser consumido por los microorganismos del suelo, ya que se necesita mucha energía para oxidarlo o reducirlo y garantizar así una buena capacidad de retención de agua y reserva de nutrientes que favorecen el rendimiento agrícola y propician, sin lugar a dudas, a un cambio en la microbiota de los suelos.

CONCLUSIONES

- Se comprobó la eficacia del método empleado para la extracción de lignina, a partir de bagazo integral.
- Se comprobó el impacto de la lignina en la modificación de la textura y microbiota del suelo, aspectos que favorecen la germinación.
- Estos resultados indican que la lignina puede formar parte de un producto bioestimulante ya que, solo o combinado, puede mejorar la eficiencia de la planta, en cuanto al uso de nutrientes, su tolerancia al estrés abiótico y la calidad de la cosecha.
- Se demostró el impacto de la lignina en la capacidad productiva de los suelos afectados por el cambio climático y su posible empleo en viveros, medio idóneo para seleccionar, producir y propagar especies útiles al hombre, en una etapa en que las plántulas están expuestas a mayor vulnerabilidad, antes de ser trasplantadas a su lugar definitivo.

AGRADECIMIENTOS

Al colectivo de trabajo de la Universidad Iberoamericana de México, UIA, quienes permitieron el desarrollo de experiencias y caracterización de materiales a partir del equipamiento instrumental en sus laboratorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Julca-Otiniano, A.; Meneses-Florián, L.; Blas-Sevillano, R.; Bello-Amez, S. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. IDESIA (Chile). Vol. 24, N° 1; 49-61, 2006.
2. García, Y.; Ramírez, W.; Sánchez, S. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes, Matanzas. Vol.35, No.2 (abril -junio 2012). ISSN 0864-0394.
3. Davidson, D. T.; Handy, R. L. "Soil stabilization." Highway engineering handbook, K. B. Wood, ed., McGraw-Hill, New York, Sect. 21, 1960.
4. Johnson, J. M.; Carpenter-Boggs, L.; and Lindstrom, M. J. "Humic acid and aggregate stability in amended soils." Proc., Natural Organic Matter in Soils and Water North Central Region Symposium, USDA, Ames, IA, 21, 2003.

5. Taylor, T.N. and Osborne, J.M. The importance of fungi in shaping the paleoecosystem. *Rev Paleobot Palyn* 90: 249-262, 1996.
6. Atlas, R.; Bartha, R. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4ta. ed. Addison Wesley. Madrid, España. 677 p. 2001.
7. Saussure, D. (1804). Antecedentes históricos y origen de las sustancias húmicas. <http://www.compostandociencia.com/2008/09/>.
8. Lora, J. H.; and Glasser, W. G. (2002). "Recent industrial applications of lignin: A sustainable alternative to nonrenewable Materials." *J. Polym. Environ.*, 10(1/2), 39-48.
9. Chen, C.L.; and Chang, H. Chemistry of lignin biodegradation. In *Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components*. Higuchi, T. (ed.). Orlando, FL, USA: Academic Press, pp. 535-555, 1985.
10. Gellerstedt, G.; Henriksson, G. Lignins: major sources, structure and properties. In *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Belgacem, M., and Gandini, A. (eds). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, pp. 201-224, 2008.
11. Instituto de Suelos. La evaluación de tierras, base para el monitoreo de la degradación de los suelos. En: *Resúmenes del Taller "La metodología LADA y la evaluación de las tierras de Cuba"*. La Habana, Cuba. p. 25. 2006.
12. Colás, A.; *et al.* Análisis multivariado de las propiedades de un suelo Ferralítico Rojo (Oxisol), como base para la selección de indicadores de calidad. *Centro Agrícola*. 35 (3):17, 2008.
13. Brown Gómez, A.; Chala Bermello, A.L.; Toribio Cuaya, H.; Álvarez Delgado, A.; Leal-Alfonso J. A.; Reina Hernández, M. Estudio y caracterización de lignina para la modificación de polímeros adhesivos. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, Vol. 52 No. 3, 68-75, 2018.
14. Kersten, P.; Cullen, D. Extracellular oxidative systems of the lignin-degrading Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Fungal Genet Biol* 44: 77-87, 2007.
15. Daniel, R. The metagenomics of soil. *Nature Review Microbiology* 3:470-478, 2005.
16. Handelsman, J. Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68:669-685, 2004.
17. Taylor, T.N.; Osborne, J.M. The importance of fungi in shaping the paleoecosystem. *Rev Paleobot Palyn* 90: 249-262, 1996.
18. Martínez, A.T.; Speranza, M.; Ruiz-Dueñas, F.J.; Ferreira, P.; Camarero, S.; Guillén, F.; *et al.* Biodegradation of lignocellulosics: microbiological, chemical and enzymatic aspects of fungal attack to lignin. *Int Microbiol* 8: 195-204, 2005.
19. Escalante-Lozada, A.; Gosset-Lagarta, A. Diversidad bacteriana del suelo. Métodos de estudios no dependientes del cultivo microbiano e implicaciones biotecnológicas. *Agro Ciencia* 38: 583-592, 2004.

Determinación experimental del coeficiente total de transferencia de calor en la transesterificación de aceite usado de fritura

Marlín García-Díaz, Yunaisys Cruz-García, José Gandón-Hernández, Guido Riera-González
Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana
José Antonio Echeverría, CUJAE.
mgarcia@quimica.cujae.edu.cu, gandon@quimica.cujae.edu.cu, guido@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

La transesterificación de aceite de soya residual de los procesos de frituras, se lleva a cabo en un reactor. En este, la transferencia de calor es determinante para que ocurra la reacción y obtener buenos rendimientos. Para el calentamiento efectivo de los reaccionantes es preciso el diseño adecuado del equipo, en el que el valor del coeficiente total de transferencia de calor es importante. Para producir biocombustibles, se pueden emplear tanques enchaquetados con agitación mecánica, ya que su limpieza resulta más fácil. El principal inconveniente es la estimación del coeficiente individual del fluido que va por la chaqueta. El presente trabajo tuvo como objetivo la determinación experimental del coeficiente total de transferencia de calor en un reactor de laboratorio, para ser empleado en el escalado del proceso. El tiempo de calentamiento requerido fue de 7 minutos. El coeficiente total promedio resultó ser $255.02 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ con una desviación estándar de 5.55, válido para un intervalo de Reynolds de $8 \cdot 10^2$ a $2 \cdot 10^3$. Este coeficiente se empleó para dimensionar un reactor de 5 L, en el que se reprodujeron los resultados de la escala anterior.

Palabras clave: coeficiente total de transferencia de calor, tanque enchaquetado, transesterificación.

ABSTRACT

The transesterification of residual soybean oil from frying processes is carried out in a reactor. In it, heat transfer is decisive for the occurrence of the reaction and obtaining good yields. For the effective heating of the reactants, the adequate design of the equipment is necessary, in which the value of the overall heat transfer coefficient is important. For the production of biofuels, jacketed tanks with mechanical agitation can be used, since cleaning them is easier. The main drawback is the determination of the individual coefficient of the fluid that goes through the jacket. The objective of this work was the experimental determination of the overall heat transfer coefficient in a laboratory reactor, to be used in the process scaling. It was determined, that the required heating time is 7 minutes. The average overall coefficient turned out to be $255.02 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ with a standard deviation of 5.55, valid for a Reynolds interval of $8 \cdot 10^2$ to $2 \cdot 10^3$. This coefficient was used to size a 5 L, in which the results of the previous scale-up were reproduced.

Key words: overall heat transfer coefficient, jacketed tank, transesterification.

INTRODUCCIÓN

La obtención de biocombustible, a partir de aceite vegetal usado es una idea muy difundida en el mundo. En Cuba, igualmente se investiga en este tema (1 - 4), por las ventajas sociales y medioambientales que representa. Esta conversión ocurre mediante una reacción de transesterificación, que es la etapa definitoria en el proceso de producción del biocombustible (5).

Para que ocurra este proceso es necesario garantizar condiciones operacionales adecuadas, tales como: velocidad de agitación, temperatura y tiempo de reacción (6). La temperatura, una de las variables fundamentales, puede variar entre 40 y 70 °C (1, 6-8), en función del país o del alcohol empleado.

La transformación química depende de la energía o, lo que es lo mismo, de la transferencia de calor, por lo que la velocidad de la reacción está en función de la temperatura, entre otros parámetros. Este aspecto se favorece, en mayor o menor grado, con la velocidad promedio que alcanzan las partículas en un sistema químico.

Si se requiere alcanzar el resultado cinético deseado y un buen diseño del reactor, es necesario conocer el coeficiente total de transferencia de calor. Muchos investigadores han trabajado en este tema (9-11), para lograr diferentes condiciones operacionales y características constructivas.

Al inicio de esta investigación, para facilitar la transferencia de calor y obtener los resultados deseados en la producción de biocombustibles a diferentes escalas, se empleó un reactor con serpentín sumergido.

Debido a las características que presenta el aceite residual de los procesos de frituras, el uso de reactores enchaquetados es más recomendable ya que, a pesar de ser menos eficientes, son más fáciles de limpiar.

En el laboratorio se contaba con un reactor enchaquetado de un litro de capacidad que fue necesario evaluarlo térmicamente. Para esto se requería conocer los coeficientes individuales de transferencia de calor de los fluidos que intercambian o el coeficiente total de transferencia de calor del equipo.

La determinación confiable de estas variables, en equipos enchaquetados y con agitación mecánica, no siempre es posible, debido al número de consideraciones requeridas para aplicar las expresiones de cálculo. Otra dificultad presente en estos casos, es que no se dispone de expresiones confiables para determinar el coeficiente individual del fluido que circula por la chaqueta (en este caso agua). Esto limita la determinación del coeficiente total mediante la estimación de los coeficientes individuales, por lo que resulta más conveniente utilizar expresiones deducidas a partir del balance diferencial de calor en estado no estacionario, que se complementan con datos y resultados experimentales.

El objetivo del presente trabajo fue determinar, experimentalmente, el coeficiente total de transferencia de calor en un reactor enchaquetado, con agitación mecánica empleado en la transesterificación de aceite vegetal usado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se empleó, como materia prima fundamental, aceite de soya residual del proceso de fritura. La experimentación se realiza en un reactor de laboratorio enchaquetado como el que se muestra en la figura 1, de 1 L de capacidad y de acero inoxidable. El fluido que se empleó como medio de calentamiento es el agua.

La obtención del biocombustible se realizó con los mejores valores obtenidos en estudios anteriores (1, 12): velocidad de agitación de 375 min⁻¹ y temperatura de la mezcla reaccionante de 45 °C. El impelente utilizado fue de dos paletas planas.

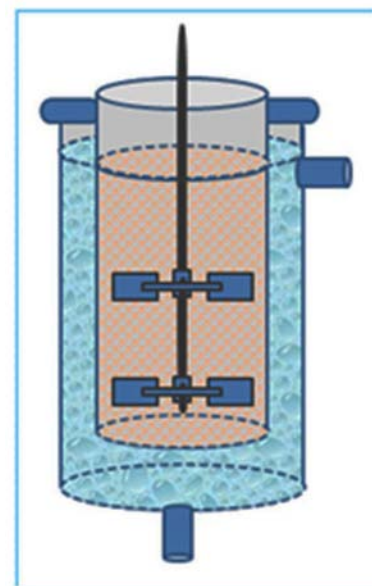


Figura 1. Esquema del reactor enchaquetado.

Para determinar el coeficiente total de transferencia de calor del equipo se emplean las ecuaciones (1) y (2) recomendadas para tanques enchaquetados con medio calefactor no isotérmico (13).

$$\ln\left(\frac{T_1-t_1}{T_1-t_2}\right) = \frac{W.C_W}{M.C_M} \cdot \left(\frac{K_1-1}{K_1}\right) \cdot \theta \quad (\text{Ec.1})$$

De la ecuación (1) se despeja K_1 y, según la ecuación (2), se puede obtener el valor de U .

$$K_1 = e^{\left(\frac{U.A}{W.C_W}\right)} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

T_1 : temperatura inicial del agua (°C)

t_1 : temperatura inicial de la mezcla reaccionante (°C)

t_2 : temperatura final de la mezcla reaccionante (°C)

W : flujo másico del agua, kg/min

C_W : capacidad térmica específica del agua, J/kg. °C

M : flujo másico de la mezcla reaccionante, kg/min

C_M : capacidad térmica específica del aceite o de la mezcla reaccionante, J/kg. °C

θ : tiempo (min)

K_1 : constante en las ecuaciones de calentamiento y enfriamiento, adimensional

e : base del logaritmo natural

U : coeficiente total de transferencia de calor, J/s.m² °C

A : área de transferencia de calor, m²

Se partió de que la mezcla reaccionante tiene propiedades físico-químicas similares a las del aceite, se procedió a determinar el tiempo que demora el aceite en alcanzar la temperatura deseada.

El procedimiento experimental fue el siguiente: Se midió la temperatura inicial del aceite, cuando la temperatura del agua en el termostato se estabilizó en el valor deseado, se conectó el agitador y se comenzó a medir la temperatura que alcanzó el aceite cada dos minutos, hasta que pudo considerarse constante en dependencia de la precisión del termómetro empleado.

De esta forma se pudo establecer la temperatura final alcanzada por el aceite y el tiempo de calentamiento. Se realizó un diseño de experimentos de 3¹, en el que la variable independiente es la temperatura. Los niveles estudiados fueron 35 °C, 45 °C y 50 °C y se realizaron tres réplicas (1, 12). El procesamiento estadístico se realizó por análisis de varianza.

La validación del coeficiente calculado se realizó mediante el cálculo del área de transferencia de calor de un reactor, ecuación (3), para procesar 5 litros de aceite. Este fue escalado por similitud geométrica y se obtuvieron las dimensiones y condiciones operacionales.

$$Q = U \cdot A \cdot \text{MLD} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

Q : Calor a transferir en el equipo (W)

U : Coeficiente total de transferencia de calor (W/m² °C)

A : Área de transferencia de calor (m²)

MLDT : Diferencia media logarítmica de temperatura (°C)

Se siguió el mismo procedimiento experimental a partir de las condiciones fijadas. En este caso la velocidad de agitación fue de 250 min⁻¹. Se realizaron cinco corridas de producción de biocombustible y se evaluó el rendimiento de la reacción con respecto al volumen de aceite empleado.

Los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente, mediante el programa Statgraphics Centurion XVI.I.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 muestra el comportamiento de la temperatura del aceite con el tiempo, para 60 °C del agua en la chaqueta para la determinación del tiempo de calentamiento en el reactor de 1 L.

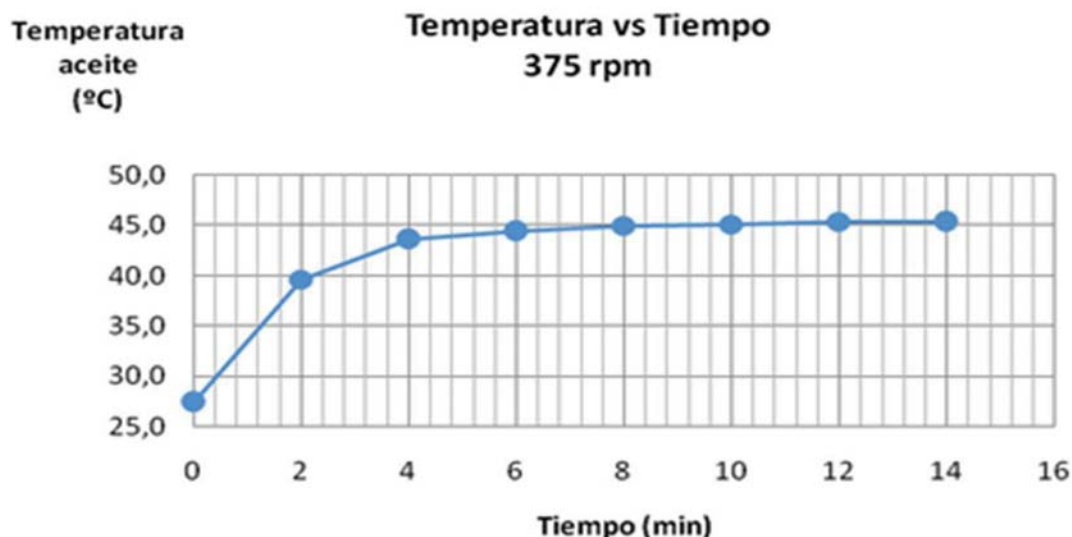


Figura 2. Comportamiento de la temperatura del aceite de soya residual del proceso de fritura en el tiempo, en el reactor de 1 L.

En la figura se observa que, a partir de los 7 minutos de comenzar el calentamiento, se ha alcanzado la temperatura deseada y se logró la estabilidad de dicho valor. Solo se muestra el comportamiento de la temperatura del aceite en 45 °C, ya que es el valor que se emplea en la transformación. El resto de los niveles estudiados indicaron resultados similares. Este resultado permite fijar el tiempo de calentamiento del aceite o de la mezcla reaccionante en 7 minutos, con lo cual se puede determinar el coeficiente total de transferencia de calor.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para alcanzar las tres temperaturas de aceite o mezcla reaccionante experimentadas.

Tabla 1. Determinación del coeficiente total de transferencia de calor

| | U (W/m ² °C) | | |
|-------------------------------------|-------------------------|--------|--------|
| | 35 °C | 45 °C | 50 °C |
| T mezcla | 35 °C | 45 °C | 50 °C |
| Recuento | 3 | 3 | 3 |
| Promedio | 255.73 | 253.30 | 253.72 |
| Desviación Estándar | 4.61 | 8.94 | 8.93 |
| Coeficiente de Variación (%) | 1.80 | 3.53 | 3.51 |

Se observa la poca variabilidad que presenta el coeficiente total de transferencia de calor para cada temperatura, con un coeficiente de variación menor a 4 % en todos los casos, lo que se considera aceptable (14).

No obstante, se realiza un análisis de rangos múltiples, para analizar si existen diferencias significativas entre los diferentes grupos de coeficientes totales de transferencia de calor determinados. Esto se observa en la tabla 2.

Tabla 2. ANOVA para los coeficientes totales de transferencia de calor

| Fuente | Suma de cuadrados | Gl | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 5.25807 | 2 | 2.62903 | 0.07 | 0.9374 |
| Intra grupos | 241.298 | 6 | 40.2164 | | |
| Total (Corr.) | 246.56 | 8 | | | |

Según los resultados de la tabla 2, donde el valor-P (0.937) de la razón-F es mayor o igual a 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las variables con un nivel del 95.0 % de confianza, por tanto, hay repetitividad en el experimento.

Esto también se puede comprobar en la tabla 3, donde se observa que todos los grupos son homogéneos; por tanto, se reafirma que no hay diferencia significativa entre los grupos.

Tabla 3. Análisis de grupos homogéneos

| | Casos | Media | Grupos homogéneos |
|-----|-------|---------|-------------------|
| Ut2 | 3 | 253.963 | x |
| Ut3 | 3 | 255.39 | x |
| Ut1 | 3 | 255.727 | x |

Al no existir diferencia estadísticamente significativa entre los grupos estudiados, se realizó un análisis conjunto de todos los valores cuyo resultado se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Determinación del coeficiente total de transferencia de calor

| | U (W/m ² °C) |
|-------------------------------|-------------------------|
| Recuento | 9 |
| Promedio | 255.02 |
| Desviación estándar | 5.55 |
| Coefficiente de Variación (%) | 2.17 |
| Sesgo estandarizado | -0.64 |
| Curtosis estandarizada | -0.43 |

Como se aprecia, los valores cumplen con una distribución normal al tener Sesgo estandarizado y Curtosis estandarizada dentro del intervalo -2 a +2. También presentan un coeficiente de variación menor que 3 % que demuestra la poca variabilidad que existe entre los 9 valores determinados.

Las razones anteriores permiten considerar como el valor del coeficiente total de transferencia de calor al promedio de 255.02 W/m²°C, para determinaciones futuras en proceso de transformación de aceite vegetal usado en biocombustible, así como para el escalado del proceso. Se realizó también un análisis del valor y se encontró que este está en el intervalo reportado por Welty para equipos de transferencia de calor donde intercambia agua con aceite lubricante (15).

Las condiciones a las que fueron determinados los coeficientes indican que son válidos para un intervalo de $800 < Re < 2000$ y un valor de $Pr=340$.

Validación del coeficiente total de transferencia de calor calculado

El coeficiente de transferencia de calor calculado se toma como base para determinar el área de transferencia de un reactor enchaquetado para procesar 5 litros de aceite vegetal usado.

Al aplicar la ecuación (3), se obtuvo que el área de transferencia de calor para la producción de biocombustible, a partir de 5 L, es de 0.10 m^2 . Las condiciones operacionales y las dimensiones del equipo, a partir del escalado se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones del reactor de 5 L y condiciones operacionales

| Escalado | Cálculo | Estándar |
|--|---------|----------|
| Diámetro interno del reactor (cm) | 20.00 | 20 |
| Altura total del reactor (cm) | 24.55 | 25 |
| Altura del líquido en el reactor (cm) | 20.00 | 20 |
| Longitud de la paleta (cm) | 15.82 | 16 |
| Altura de la paleta (cm) | 1.65 | 2 |
| Diámetro de la chaqueta (cm) | 27.27 | 28 |
| Velocidad de agitación (min^{-1}) | 233 | 250 |

Los resultados obtenidos para las dimensiones del reactor se consideran adecuadas, ya que cumplen con las relaciones geométricas establecidas. Con respecto a la velocidad de agitación, se observa que hay una pequeña variación, pero se considera aceptable ya que este es uno de los valores empleados en la reacción de transesterificación (2).

Para el reactor de 5 L se determinó el tiempo en que se logra alcanzar la temperatura del aceite y estabilizarse, siguiendo el mismo plan experimental que en el caso anterior. El resultado se presenta en la figura 3.

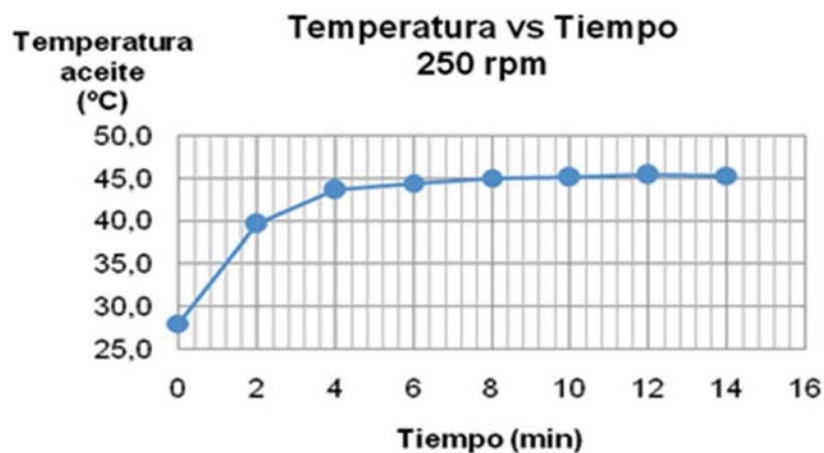


Figura 3. Comportamiento de la temperatura del aceite de soya residual del proceso de fritura en el tiempo, para el reactor de 5 L.

La figura 3 muestra el resultado para la temperatura de 45°C (para los otros dos niveles los resultados son similares). Además, se observa que al igual que en el reactor de 1 L, la estabilidad de la temperatura del aceite se logra a partir de 7 minutos; se demuestra que, a esta escala, se reproducen los resultados de la escala inferior.

A esta nueva escala, se realizaron 5 corridas experimentales y se emplearon las condiciones descritas anteriormente. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

Se puede observar que el rendimiento, en todos los casos, es superior al 80 %, lo cual se corresponde con lo planteado en la literatura (2, 4, 8). Lo anterior permite concluir que los resultados obtenidos reproducen los que se obtienen con el reactor de 1 L, por lo que el empleo del coeficiente total global de transferencia de calor determinado en el reactor de escala de un litro, se puede emplear para el cálculo del área de transferencia de calor de reactores empleados en las reacciones de transesterificación para la producción de biocombustible, a partir del aceite de soya usado en frituras y en las condiciones descritas.

Tabla 6. Resultados de la transesterificación en el reactor de 5 L

| Volumen de aceite (L) | Volumen de biocombustible (L) | Rendimiento (%) |
|----------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 5 | 4.3 | 86.00 |
| 5 | 4.1 | 82.00 |
| 5 | 4.2 | 84.00 |
| 5 | 4.1 | 82.00 |
| 5 | 4.2 | 84.00 |
| Promedio | | 83.60 |
| Desviación estándar | | 1.67 |

CONCLUSIONES

1. Para el reactor de laboratorio de 1L de capacidad y de material de acero inoxidable, el tiempo de calentamiento del aceite de soya residual del proceso de fritura o mezcla reaccionante es de 7 minutos.
2. El coeficiente total de transferencia de calor promedio es de $255.02 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ con una desviación estándar de 5.55, válido para un intervalo de Reynolds de $8 \cdot 10^2$ a $2 \cdot 10^3$, un valor del Prandtl de $3.4 \cdot 10^2$.
3. El coeficiente total de transferencia de calor puede ser empleado en el cálculo del área de transferencia de calor y el escalado de la operación, lo que fue comprobado a partir de los resultados obtenidos para un reactor de 5 L.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García-Díaz, M.G.-H., José ; Maqueira-Tamayo, Yudisel Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. . Tecnología Química, 2013. XXXIII(2): p. 134-138.
2. Sarracent-López, A.G.-H., José, Estudio de la transformación del Aceite de Soya usado en ésteres etílicos de ácidos grasos. Tecnología Química, 2016. XXXVI(3): p. 417-438.
3. Ordoñez-Sánchez, Y.C.B.-S., Bárbara ; Gandón-Hernández, José; García-Díaz, Marilyn Desarrollo de un software para la simulación del proceso de transformación del aceite vegetal usado en un biocombustible. UCE Ciencia. revista de Posgrado 2016. 4(3).
4. Gandón-Hernández, J.T.-B., Yanelis Caridad; García-Díaz, Marilyn, Caracterización de un biocombustible obtenido a partir de aceite vegetal de desecho. Tecnología Química, 2017. XXXVII (2).
5. López, L.B., Jenny ; Malagón-Romero, Dionisio Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. Ing. Univ, 2015. 19(1): p. 155-172.
6. Narváez-Rincón, P.C.F.S.-C.J.A.-T., Luisa Fernanda-Ponce de León, Influencia de la temperatura y el porcentaje del catalizador en la etanolisis del aceite de palma. REVISTA COLOMBIANA DE QUÍMICA, 2004. 33: p. 109-115.
7. Lafont, J.J.M.S.P.Y.C.T., Análisis químico de mezclas biodiesel de aceite de cocina usado y diesel por espectroscopia infrarroja. Información Tecnológica, 2011. 22(4): p. 35-42.
8. Zainol-Abidin, R.G.P.-M.M.H.A.-R., Transesterification of Waste Cooking Oil using Calcium Loaded on Deoiled Spent Bleaching Clay as A Solid Base Catalyst. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 2016. 11(2): p. 176-181.
9. Dostál, M.K.P.F.R., Measurement of heat transfer coefficients in an agitated vessel with tube baffles. Acta Polytechnica, 2010. 50(2): p. 46-57.

10. Reddy-K, A.B.R.-M.R.R.-P., Experimental estimation of heat transfer coefficients using helical coil in an agitated vessel. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2012. 3(2): p. 193-200.
11. Avilez-Montes, Y.M.R.-M.F.A.O.-Q.E.L.-A.Ó.P.-S., Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor en el proceso de escaldado de mora Castilla (*Rubus glaucus* Benth) por el método de elementos finitos *Ingeniería e Innovación*, 2016 4(2): p. 7-14.
12. García-Díaz, M., Estudio del aprovechamiento del aceite comestible usado, in *Facultad de ingeniería Química 2013*, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría p. 81.
13. W. Green, D.H.P., *Robert Perry's chemical engineers' Handbook*. 2008: McGraw-Hill Companies, Inc. 2735.
14. Welty, J.R.C.E.W.R.E.W.G.L.R., *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*. 2007: United States of America. 729.
15. Barrera Aldama Y, García Noa E, Solís Aliaskina K. Análisis de procesos en la cuba quesera empleando el método de los mínimos cuadrados parciales. *Revista Centro azúcar*, Vol 47, N° 2, pp1-10 2020.

Potencial fermentativo de mieles finales para la producción de etanol en las destilerías

My-Lai Ibáñez-Fuentes*, Gustavo Saura-Laria, Roxana García-Gutiérrez, Emilia Carrera-Bocourt, Nancy Herrera-Marrero, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Arlyn Reyes-Linares
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca # 804 y Carretera Central, Apartado 4026, La Habana, Cuba.
*mylai.ibanez@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Se evaluó el potencial fermentativo de 4 mieles, a través de una prueba de fermentación, debido a la imposibilidad que tenía una destilería de producir etanol con eficiencia en el proceso fermentativo, a causa de los niveles elevados de alcoholes superiores. En este estudio se analizó el comportamiento de variables como: grado alcohólico, rendimiento y alcoholes superiores, estos últimos tienen una incidencia en la eficiencia del proceso fermentativo y están estrechamente relacionados con la calidad de la materia prima, en este caso, la miel final. Los resultados se procesaron estadísticamente, mediante el programa Statgraphics®-Centurion XV, para determinar diferencias significativas entre medias muestrales, para un nivel de confianza de un 95 %. Los resultados obtenidos demostraron que existen diferencias significativas entre los parámetros analizados de las diferentes mieles, por lo que se necesita efectuar este ensayo fermentativo para tener criterios de la calidad de la materia prima que la fábrica utiliza en el proceso fermentativo para la producción de etanol.

Palabras clave: mieles, test de fermentación, etanol, rendimiento, eficiencia.

ABSTRACT

Due to the impossibility that had an alcohol factory to produce ethanol with efficiency in the fermentative process caused for the higher levels of higher alcohol, 4 types of molasses were analyzed by a biological test. In this study the behavior of variables as: alcohol grade, yield and higher alcohols which they have an impact on the organoleptic characteristics of *aguardiente* and are closely related to the quality of the raw material in this case, the molasses. The results were processed statistically by Statgraphics® -Centurion V program, and the analysis showed significant differences between sample means for a confidence level of 95 %. The results showed significant differences between the parameters analyzed from different molasses so it is necessary to realize this biological test in order to have many opinions about the quality of the distillers which are directed towards to the production of the ethanol.

Key words: molasses, biological test, ethanol, higher alcohols, yields.

INTRODUCCIÓN

Las mieles de caña y, especialmente las finales, han sido la materia prima principal para la producción de alcohol. Constituyen un sustrato de una elevada heterogeneidad y pueden cambiar su composición, incluso, para un mismo productor, dentro de una campaña determinada. La composición de las mieles finales no es uniforme y en ellas pueden influir diferentes factores. Entre los factores más importantes se encuentran: procedencia de la caña, tipo de suelo, métodos de cosechas y las especificaciones propias del proceso particular aplicado a cada fábrica.

Cuando se emplea la miel final de caña en la industria alcoholera, no deben tenerse en cuenta solamente sus composiciones químico-físicas (1) sino, también, su comportamiento desde el punto de vista fermentativo, debido al carácter biológico de este proceso. En este sentido juega un papel muy importante la interacción levadura-materia prima, la calidad del proceso de fermentación y las características de la levadura.

En la producción de etanol se obtienen compuestos como glicerol, ácidos orgánicos, aldehídos, alcoholes superiores, que impiden que se alcancen valores elevados de eficiencia alcohólica y eficiencia fermentativa (2). Estos compuestos afectan, además, la producción de aguardientes y su calidad. Los aguardientes tienen diferentes fines: constituyen las materias primas principales para la elaboración de rones. Por lo que resulta muy beneficioso conocer la presencia de estos compuestos que le pueden cambiar el sabor a las bebidas y, por consiguiente, su calidad sensorial.

Este trabajo tiene como objetivo el empleo de una prueba biológica o fermentativa, que sea utilizada como una herramienta para conocer el potencial fermentativo de las mieles para producir etanol. Además, que le permita a la fábrica tener criterios de calidad que le facilite decidir el destino de sus destilados dígase en la producción de aguardiente y, también, en otros surtidos como: alcohol rectificado o alcohol fino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se disolvieron 0.016 g de levadura seca activa (*Saccharomyces cerevisiae*), SAFOENOS® (SAF-MEX, S.A de C.V, México) por mililitro de medio. Se analizaron 4 mieles a las cuales se les determinaron azúcares reductores totales (ART), por el método de Eynon-Lane y se preparó una batición de miel final con una concentración inicial de 120 g/l de ART y un volumen efectivo de 300 ml, se ajustó el pH del medio 4.5 ± 0.2 . Se añadieron 2.5 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y 0.52 g de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, así como la levadura seca activa. Esta batición se transfirió a frascos de 1L y se les colocaron trampas de CO_2 , este procedimiento se hizo por triplicado. Los frascos fueron colocados en una estufa a 30°C , alrededor de 24 horas. Cuando finalizó la fermentación se tomó una muestra para determinarles la concentración de ART y calcular el rendimiento de la fermentación (2). Además, se tomaron 250 mL de batición para destilarlos en un equipo de destilación semiautomático, determinar el grado alcohólico y los alcoholes superiores (3). El grado alcohólico se efectuó según norma cubana NC 290: 2007 (4) y los alcoholes superiores según la norma cubana NC 508: 2011 (5). Los resultados se procesaron estadísticamente, utilizando el programa Statgraphics®-Centurion XV y se determinaron diferencias significativas entre medias muestrales, con un nivel de confianza de un 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mieles que mostraron un mayor grado alcohólico (figura 1) en el ensayo de fermentación, resultaron las denominadas 2 y 4, con valores de 6.3 % (v/v) y la de una concentración menor resultó la 1. Esta miel 1 es una mezcla de diferentes mieles, provenientes de distintos tributarios y se emplea también en la fermentación. La miel 3 rindió una concentración de etanol con un valor intermedio diferente estadísticamente, al resto de las mieles evaluadas.

Los alcoholes superiores totales (AST) se determinaron cromatográficamente (AST: sumatoria de alcoholes propílico, isobutílico, isoamílico y amílico activo), el experimento demostró que la miel tributaria puede ser un factor que incida significativamente sobre la formación de estos componentes mayoritarios. Fueron detectados tres grupos de homología para AST entre las mieles ensayadas, destacó la miel 1 como la de menor síntesis del alcohol amílico activo (217.23 g/100 L AA) y las

nombradas 1 y 2 con concentraciones significativamente mayores (por encima de 350.00 g/100 L AA) que, prácticamente duplicaron a la miel 1.

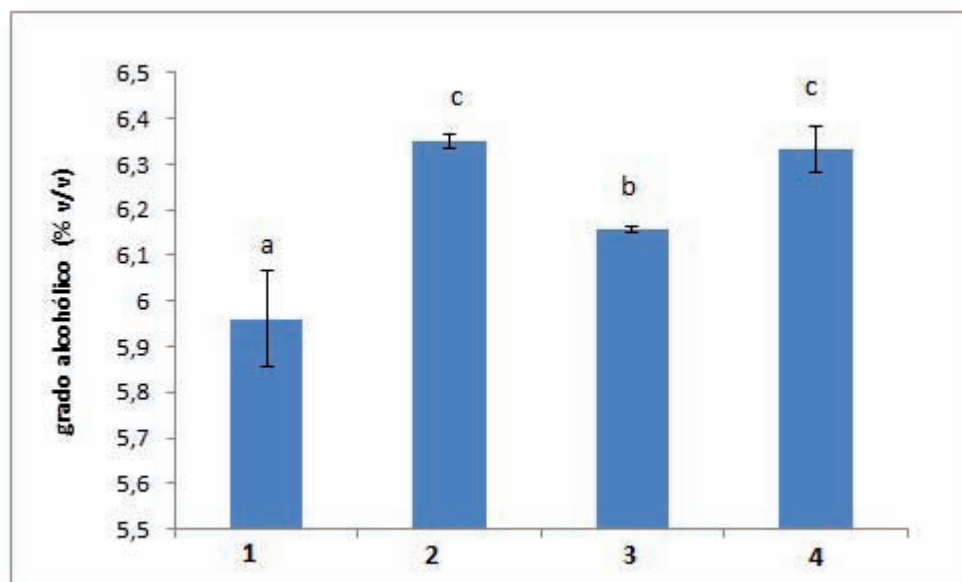


Figura 1. Grados alcohólicos.

Al particularizar sobre la contribución individual de los alcoholes *fusel* (figura 2) en esta sumatoria (AST), se encontró que, de forma proporcionada, la miel 1 mostró valores significativamente menores, para cada uno de los compuestos contribuyentes, con respecto a las otras 3 mieles evaluadas.

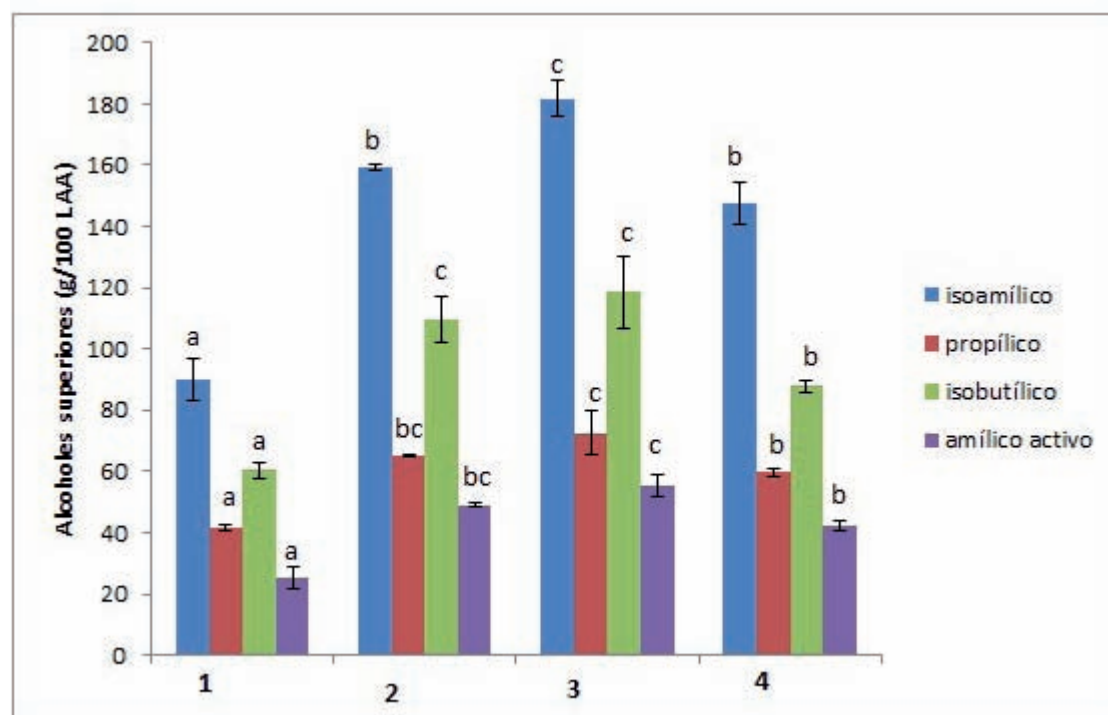


Figura 2. Contribución de alcoholes *fusel* mayoritarios en la fracción de alcoholes superiores totales.

Es necesario destacar que para el caso del alcohol isoamílico (mayoritario dentro de la fracción de alcoholes superiores en fermentaciones alcohólicas), la miel 3 duplicó su concentración, con respecto a la miel 1; hecho que determina la respuesta obtenida para AST. Con respecto a este alcohol las mieles 2 y 4 mostraron un comportamiento sin diferencias significativas, con valores intermedios dentro del rango detectado.

Al analizar la síntesis del alcohol isobutílico, se obtuvo una mayor concentración de este alcohol de cadena ramificada, al fermentar con las mieles 2 y 3, a diferencia de la miel mezclada (1), que mostró una concentración aproximadamente 2 veces menor. La miel 4 mostró una síntesis de este alcohol diferente estadísticamente, de las restantes evaluadas, con un valor intermedio

Tanto el alcohol propílico, como el amílico activo, mostraron idénticos patrones para las cuatro mieles en cuanto a los grupos homólogos, de acuerdo con el análisis estadístico realizado. Fueron observadas diferencias significativas entre las mieles de 1, 4 y 3 (en orden ascendente de concentración). La fermentación con la miel 2 rindió concentraciones similares que las obtenidas, tanto con las muestras 4 como con la 3.

Estos resultados obtenidos, en cuanto a la fracción de alcoholes *fuze/* en la composición del destilado, evidencian que el destino de una fermentación en fábrica, para la producción de aguardiente, debe ser tratado de forma diferencial, en cuanto a los indicadores de calidad deseados, cuidando de que las variaciones tecnológicas (miel tributaria, formulación nutricional, cepa, entre otros) (6) no vayan en detrimento de los indicadores fermentativos vitales para la eficiencia de la fábrica, como son: el grado, el rendimiento alcohólico y los ciclos de fermentación.

En este estudio la miel 1 mostró una composición significativamente menor en cuanto a AST (ideal para producción de aguardiente); sin embargo, no resultó la de mejor desempeño en cuanto a los criterios fermentativos (grado). Este resultado advierte sobre la necesidad de ajustar correctamente el esquema productivo, en dependencia del producto final (7).

Por otra parte, se analizó el rendimiento calculado sobre la base de los azúcares consumidos. El cálculo indicó que las mieles que rindieron una mayor cantidad de etanol con el mínimo consumo de azúcares fueron las mieles 2 y 1, resultado que potencia la calidad de ambas si se tiene en cuenta que también alcanzaron los mayores grados alcohólicos. La miel 4 de forma paralela, también compartió grado de homología en cuanto a Yp/s en base a azúcares consumidos, con las mieles 3 y 1 consideradas estadísticamente ambas de un menor rendimiento. Discernir con claridad a que grupo homogéneo (donde no existen diferencias significativas) pertenece este tributario, requeriría quizá el montaje del test con un número mayor de réplicas (> 3), diseño que no fue considerado en este estudio, pero pudiera tenerse en cuenta para detectar diferencias con una mayor certidumbre.

CONCLUSIONES

Los resultados confirman la necesidad de implementar el ensayo de fermentación bajo condiciones estandarizadas en los laboratorios de destilerías (8), no solo como prueba biológica predictiva, sino también, para tener criterios de calidad de los destilados dirigidos hacia la producción de etanol.

El estudio realizado concluye que, no solo los parámetros fermentativos pueden estar afectados por la variación de la materia prima fundamental en la producción de alcohol, sino también, la síntesis de alcoholes superiores, denominados mayoritarios dentro del perfil aromático (alcohol propílico, isobutílico, isoamílico y amílico-activo), pueden resultar alterados o modularse por el empleo de una miel.

RECOMENDACIONES

Es recomendable que el laboratorio de la fábrica realice el ensayo de fermentación, como técnica rutinaria, ante la llegada de cada lote de miel tributaria, para conformar records históricos y para la miel de proceso diaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Espinosa, E. Influence of nitrogen supply on the production of higher alcohols/esters and expression of flavour-related genes in cachaça fermentation. *Food Chemistry*, 2013, 138, 701-708.
2. NC 715: 2009. Miel final (melaza)- Especificaciones.
3. K.A, J. The alcohol textbook. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries .Nottingham University , 4th Edition,2003, ISBN 1-897676-13-1
4. NC 290: 2007. Bebidas alcohólicas -Determinación del grado alcohólico en alcoholes.
5. NC 508: 2011: Bebidas alcohólicas-Determinación de componentes volátiles mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico por cromatografía gas líquido.
6. Otero, M. Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos –melazas de caña de azúcar. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, pp 17-22, Vol 43, No. 1. enero-abril, 2009.
7. Otero, M. Las mieles finales de caña. Composición, propiedades y usos. La Habana.1997. ICIDCA.
8. Vázquez, M. Manual de Técnicas Analíticas para Destilerías. La Habana: Editorial ICIDCA, 2013, 7-55, ISBN 978-959-71-65-35-4.

Principales modelos empíricos para describir las curvas de ruptura en la operación de adsorción. Caso de estudio para la purificación de biogás con empleo de membranas

Félix Enrique Alfonso-Martínez, Lianys Ortega-Viera*, Elina Fernández-Santana, Iris Rúa-Rodríguez

Departamento de Ingeniería Química. Grupo de Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae). Calle 114, No. 11901 e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba

*lortega@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

La adsorción es una operación unitaria de amplias aplicaciones industriales y es la adsorción en lecho fijo es la más utilizada. Por ello, el presente trabajo propone una revisión de los principales modelos empíricos para describirla, mediante un caso de estudio. Los modelos de Adams- Bohart y Wolborska, se representan mediante curvas exponenciales y los modelos BDST, Thomas, Yoon – Nelson, Dosis – Respuesta, y Clark que representan funciones sigmoideas con asíntotas en $(C/Co)=1$. Partiendo de lo anterior, se realiza el ajuste de los modelos de Adams- Bohart y Wolborska, para la etapa inicial del proceso de remoción de sulfuro de hidrógeno del biogás, con empleo de membranas vítreas y de zeolita natural cubana al variarse la concentración del contaminante. Los resultados muestran que se obtiene mayor remoción con las membranas de zeolita natural cubana y un mejor ajuste de los modelos; significa que para ambos tipos de membranas, el incremento en la concentración del contaminante, solo acelera la saturación de las membranas, sin cambios en su comportamiento fenomenológico.

Palabras clave: adsorción, curva de ruptura, lechos fijos, modelos matemáticos.

ABSTRACT

Adsorption is a unitary operation with wide industrial applications, being the fixed bed the most used. For this reason, the aim of this work is to review the main empirical models used to describe the process of adsorption in a fixed bed, presenting the example of a case study. In this work, a review about the principal empirical models used to describe the break through curve is done. The Adams – Bohart's and Wolborska's model represent an exponential curve and the BDST, Thomas', Yoon – Nelson's, Dosage – Response, and Clark's model represent a sigmoidal behaviour with limit when $(C/Co) = 1$. Starting from the above, the fitting of Adams – Bohart's and Wolborska's model were applied to removal of hydrogen sulfide with vitreous and Cuban natural zeolite membranes changing its concentration. The results show that the removal of hydrogen sulfide with the Cuban natural zeolite membranes is better than the vitreous membranes. The fitting of the both models to the Cuban natural zeolite membranes is better than vitreous membranes. The increase of hydrogen sulfide concentration accelerated the process without changing the phenomenological behaviour of the system.

Key words: adsorption, breakthrough curve, fixed bed, mathematical models.

INTRODUCCIÓN

Las operaciones de adsorción ocurren cuando ciertos sólidos tienen la capacidad de extraer, con preferencia, determinadas sustancias de una solución y las concentran sobre sus superficies. Los

adsorbentes sólidos se utilizan generalmente en forma granular y se caracterizan por ser porosos, debido a que las grandes superficies por unidad de masa son una característica esencial que favorece este fenómeno, ejemplo de ellos son: el carbón activado, los geles sílicos, las zeolitas, entre otros (1). La adsorción es una operación unitaria de amplias aplicaciones industriales, y es la adsorción en lecho fijo la más utilizada. Esta es una operación en estado no estacionario, por lo que su descripción matemática resulta compleja. La descripción matemática de la forma que presenta la onda de adsorción, requiere de la resolución de ecuaciones diferenciales formuladas en función del conocimiento de factores cinéticos, de equilibrio y de la etapa controladora del proceso; por lo que es más usual que se recurra al ajuste de modelos matemáticos empíricos. Son numerosos los modelos empíricos que se reportan en la literatura para describir la onda de adsorción, que han sido aplicados a diversos sistemas con resultados satisfactorios.

La curva de ruptura en la operación de adsorción

En las operaciones de adsorción en lecho fijo, el fluido que se va a tratar circula a través del lecho empacado, a una tasa de flujo constante. En el proceso de lecho fijo son importantes las resistencias a la transferencia de masa y se lleva a cabo en estado no estacionario. La eficiencia del proceso depende de la dinámica global del sistema, y no sólo de las consideraciones de equilibrio (2). Cuando el lecho fijo es atravesado por el fluido se separan gradualmente el componente de interés (contaminante) y este se purifica. Se forma una zona de transición en la cual la concentración del contaminante varía desde un máximo, al final de la zona, hasta prácticamente cero en su parte inicial. Esta zona es la porción activa del lecho y se denomina zona de adsorción. El movimiento progresivo de esta puede verse mediante la representación de las llamadas curvas de ruptura (figura 1) (3). El rendimiento de una columna de lecho fijo se representa a través del concepto de la curva de ruptura. El tiempo de ruptura y la forma de la curva son características importantes, tanto para la determinación de operación como para el establecimiento de la respuesta dinámica de la columna (4).

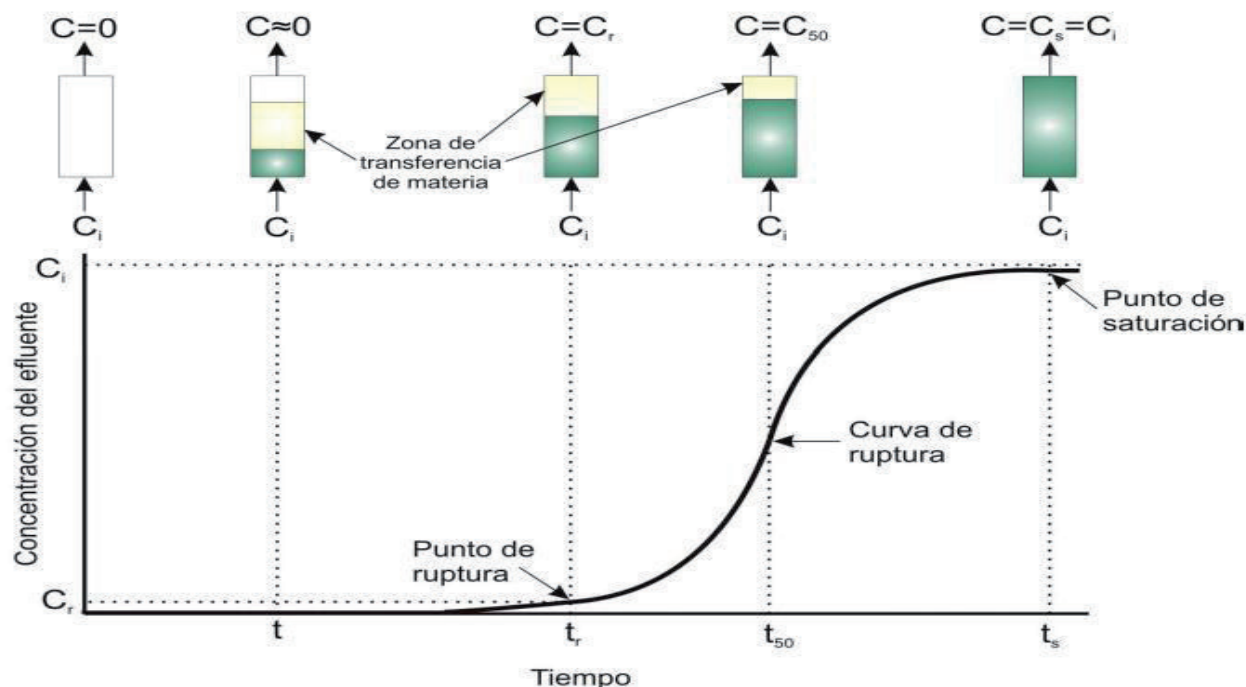


Figura 1. Representación de la curva de ruptura (3) en la adsorción.

Para la representación gráfica de la curva de ruptura, las ordenadas corresponden a la concentración del efluente y las abscisas corresponden a la duración del flujo a través de la columna (figura 1). Otra forma de graficarla es a partir de la concentración reducida (C/C_o) en función del tiempo (3).

Para el tiempo t , la concentración a la salida es prácticamente cero, tal como se observa en la figura 1. Cuando la concentración alcanza el valor límite permisible o punto de ruptura, se interrumpe el flujo, o bien se conduce a un nuevo lecho (3). Se denomina punto de ruptura, al valor máximo en la concentración del gas que se puede permitir a la salida del lecho y, al tiempo empleado para alcanzar esta concentración específica se le llama tiempo de ruptura para cada una de las condiciones de operación del lecho (2).

Con frecuencia el punto de ruptura se toma como una concentración relativa de 0.05 o 0.10 de la concentración inicial, y puesto que solamente la última porción de fluido tratado posee la concentración más elevada, la fracción media de soluto separado, desde el comienzo hasta el punto de ruptura es, con frecuencia, 0.99, o superior (3). Si la adsorción se continuase más allá del punto de ruptura, la concentración aumentaría muy rápido tal como se observa en la figura 1. Esta curva en forma de S es similar a la de los perfiles de concentración interna. Mediante un balance de materia se puede demostrar que el área limitada por la curva y la ordenada para $C/C_o = 1.0$ es proporcional a la cantidad total de soluto adsorbido, si todo el lecho alcanza el equilibrio con la alimentación. El área hasta el tiempo t_b del punto de ruptura representa la cantidad real adsorbida.

Si la zona de transferencia de materia es estrecha con relación a la longitud del lecho, la curva de ruptura será más brusca, como en la figura 2 (a) y se utilizará la mayor parte de la capacidad del sólido, hasta el punto de ruptura. Cuando la zona de transferencia de materia coincide con la altura del lecho, la curva de ruptura está muy extendida, como en la figura 2 (b) y se utiliza menos de la mitad de la capacidad del lecho (3).

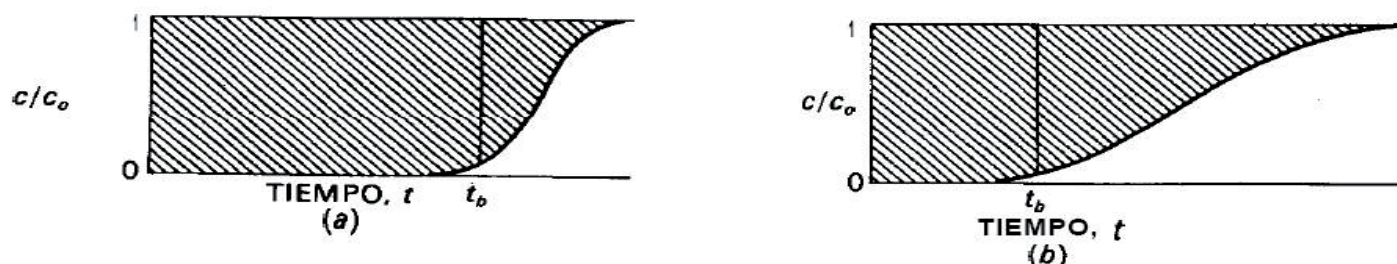


Figura 2. Curvas de ruptura: (a) una zona estrecha de transferencia de materia; (b) una zona amplia de transferencia de materia (3).

Son varios los factores que afectan la forma de la curva de ruptura: el régimen y mecanismos reales del proceso de adsorción, la naturaleza del equilibrio de la adsorción, la velocidad del fluido, la concentración del soluto en la alimentación y la longitud del lecho adsorbente. Existe una mínima altura de lecho por debajo del cual la concentración de soluto en el efluente se eleva rápidamente. Al planear nuevos procesos, lo mejor es determinar el punto de ruptura y la curva de apertura para un sistema en particular, experimentalmente, bajo condiciones tan semejantes como sea posible a aquellas que se han de hallar en el proceso (1).

Modelos de curvas de ruptura

Los modelos que a continuación se presentan pueden linealizarse para ser evaluados mediante regresión y comprobar su ajuste a los datos. De la ecuación de la recta se calculan los parámetros de cada modelo.

Modelo de Adams-Bohart. Fue desarrollado para la descripción de lechos fijos de adsorción con carbón activado (5). Este modelo supone que la velocidad de sorción es proporcional a la capacidad residual del sólido y a la concentración de la especie retenida, y se usa para describir la parte inicial de la curva de ruptura (6).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{e^{K \cdot C_0 \cdot t}}{e^{\frac{K \cdot N_0 \cdot H}{V}} - 1 + e^{K \cdot C_0 \cdot t}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: C_0 , concentración en el afluente (kg/m^3); C , concentración en el efluente (kg/m^3); K , constante de velocidad ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); N_0 , capacidad de adsorción ($\text{kg}_{\text{adsorbido}}/\text{m}^3_{\text{adsorbente}}$); H , altura del lecho (m); V , velocidad lineal (m/h) y t , tiempo de servicio (h).

Para describir la parte inicial de la curva de ruptura, esta ecuación se ha simplificado y se asume que el término $e^{\frac{K \cdot N_0 \cdot H}{V}} \gg 1$, y que el punto de ruptura se alcanza para valores muy pequeños de concentración inicial $C < 0,05 \cdot C_0$, por lo que se obtiene:

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = K \cdot C_0 \cdot t - \frac{K \cdot N_0 \cdot H}{V} \quad (\text{Ec. 1a})$$

Esta ecuación representa una línea recta cuando se grafica en función del tiempo, y se obtiene la constante K de la pendiente y N_0 , del intercepto.

Modelo de Wolborska. Este modelo describe la distribución de la concentración en un lecho fijo para el intervalo de baja concentración de la curva de ruptura (7, 8).

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = \frac{B_0}{N_0} \cdot C_0 \cdot t - \frac{B_0 \cdot H}{V} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde: B_0 , es el coeficiente cinético de transferencia de masa externo (h^{-1}).

$$B_0 = K \cdot N_0 \quad (\text{Ec. 2a})$$

Esta ecuación es idéntica a la ecuación de Adams – Bohart, en la que el coeficiente cinético se relaciona con la constante de velocidad del modelo de Adams – Bohart ($\text{m}^3/(\text{g} \cdot \text{h})$) y la capacidad de adsorción ($\text{g}_{\text{adsorbido}}/\text{m}^3_{\text{adsorbente}}$):

Modelo Bed-Depth / ServiceTime (BDST). Este modelo se conoce como tiempo de servicio de la altura del lecho, por su traducción del inglés. Fue deducido por Hutchins, a partir del modelo de Adams – Bohart. *Este es uno de los modelos más ampliamente usados*, que describe la adsorción de metales pesados, con columnas de lecho empacado. Se basa en la medición de la capacidad de adsorción del lecho en diferentes valores de la curva de avance, ignora la resistencia a la difusión intrapartícula y la resistencia externa de película, dado que la cinética de adsorción está controlada por la reacción superficial entre el soluto en la disolución y el adsorbente, que no ha sido usado (9 - 11).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{K_{BDST} \cdot N_0 \cdot H \cdot t_r}{V} - K_{BDST} \cdot C_0\right)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

La forma linealizada del modelo se presenta a continuación:

$$t_r = \frac{N_0}{V \cdot C_0} \cdot H - \frac{1}{K_{BDST} \cdot C_0} \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) \quad (\text{Ec. 3a})$$

Este modelo predice la relación entre la altura del lecho y del tiempo de ruptura (t_r), ya que requiere de la realización de experimentos a diferentes alturas del lecho. En este caso la concentración del efluente se toma como el valor permisible del contaminante a la salida del sistema. Debido a las ventajas que ofrece, se emplea en la realización del escalado del sistema, a partir de ensayos de laboratorio, manteniendo la carga hidráulica constante en ambas escalas (11).

Modelo de Thomas. Este modelo es uno de los más generales y utilizados para describir el comportamiento de biosorción en columnas de lecho fijo. Su principal limitación es que su derivación se basa en una cinética de segundo orden y considera que está controlada por la transferencia de masa en la interface (6). Es muy utilizado para conocer la máxima capacidad de adsorción del material adsorbente y la constante cinética.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{K_{Th} \cdot q_0 \cdot X}{Q} - t \cdot K_{Th} \cdot C_0\right)}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde los nuevos términos son: K_{Th} , es la constante de velocidad del modelo de Thomas (mL/(h·mg)); q_0 , es la capacidad de adsorción máxima del adsorbente (mg/g); X , es la cantidad de adsorbente en la columna (g); Q , es la velocidad del fluido (mL/h). La ecuación linealizada se muestra a continuación:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) = \frac{K_{Th} \cdot q_0 \cdot X}{Q} - t \cdot K_{Th} \cdot C_0 \quad (\text{Ec. 4a})$$

Modelo de Yoon – Nelson. Este modelo simple está dirigido a la adsorción de vapores o gases en carbón activo. Supone que la velocidad con la que disminuye la probabilidad de adsorción para cada molécula de adsorbato, es proporcional a la probabilidad de adsorción del adsorbato y a la probabilidad de que no se adsorba sobre el adsorbente. No requiere de datos detallados sobre las características del adsorbato, el tipo de adsorbente y las propiedades físicas del lecho de adsorción (12 - 14).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{e^{(t \cdot K_{YN} - \tau \cdot K_{YN})}}{1 + e^{(t \cdot K_{YN} - \tau \cdot K_{YN})}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde: K_{YN} , es la constante de Yoon-Nelson (h⁻¹); τ , es el tiempo requerido para adsorber el 50 % del adsorbato inicial (h). La ecuación linealizada se muestra a continuación:

$$\ln\left(\frac{C}{C_0 - C}\right) = t \cdot K_{YN} - \tau \cdot K_{YN} \quad (\text{Ec. 5a})$$

Modelo de Dosis – Respuesta (Modelo de Yan): Este modelo, que se ha utilizado con frecuencia en farmacología para describir diferentes tipos de procesos, se emplea en la actualidad para describir los procesos de biosorción en columna. Tiene una importancia relativa ya que describe, normalmente, la curva completa de ruptura con gran exactitud y minimiza el error en los resultados al aplicar el modelo de Thomas. Sin embargo, es difícil relacionar el parámetro empírico “a” con las condiciones experimentales, por lo que resulta prácticamente imposible la realización de un cambio de escala del sistema (8, 10, 14, 15).

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{Q \cdot C_0 \cdot t}{q_0 \cdot m}\right)^a} \quad (\text{Ec. 6})$$

La linealización de esta ecuación es:

$$\ln\left(\frac{C}{C_0 - C}\right) = a \cdot \ln(Q \cdot t) - a \cdot \ln\left(\frac{q_0 \cdot m}{C_0}\right) \quad (\text{Ec. 6a})$$

Modelo de Clark: Clark utilizó el coeficiente de transferencia de masa en combinación con la isoterma de Freundlich, para definir una nueva relación para la curva de ruptura (7).

$$\frac{C}{C_0} = \left(\frac{1}{1 + A \cdot e^{-rt}} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (\text{Ec. 7})$$

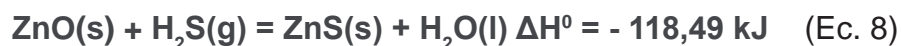
Donde: n , es la constante de Freundlich; A y r ; las constantes de Clark. La ecuación linealizada se muestra a continuación:

$$\ln \left[\left(\frac{C_0}{C} \right)^{n-1} - 1 \right] = -r \cdot t - \ln A \quad (\text{Ec. 7a})$$

CASO DE ESTUDIO. Purificación del biogás con empleo de membranas vítreas y de zeolita natural cubana

Estas membranas se obtienen mediante un proceso de síntesis que transita por las operaciones unitarias siguientes: molienda, tamizado, mezclado, prensado y, por último, un tratamiento térmico. Para la obtención de las membranas vítreas, se emplean: vidrio borosilicato, carbón vegetal, óxido de zinc (ZnO(s)) y etilenglicol. En el caso de las membranas de zeolita natural, se utilizan las materias primas antes mencionadas y se sustituye el vidrio borosilicato por la zeolita natural del tipo Clinoptilolita, procedente del yacimiento de Tasajeras, provincia Villa Clara (16).

En la purificación del biogás que emplea las membranas vítreas y de zeolita natural cubana, se alcanzan porcentajes de remoción de sulfuro de hidrógeno ($\text{H}_2\text{S(g)}$) del 98.87 % y del 99.69 %, respectivamente. Se aprecia un incremento en la remoción de $\text{H}_2\text{S(g)}$, según se aumenta la masa de ZnO(s) en ellas. Las membranas vítreas con que se alcanzan los mayores valores en la remoción de $\text{H}_2\text{S(g)}$ son aquellas que se elaboran con 3.16 g de ZnO(s) y partículas de carbón con diámetros inferiores a los 0.067 mm, y para las membranas de zeolita natural cubana, aquellas que se elaboran con 2.37 g de ZnO(s) y partículas de carbón con diámetros inferiores a los 0.067 mm. Este comportamiento se atribuye a la reacción química entre ambas sustancias, según la ecuación 8, que ha sido confirmado mediante estudios de difracción de rayos x (17).



Sin embargo, debido a que la masa de $\text{H}_2\text{S(g)}$ removida es superior a la que estequiométricamente puede reaccionar, el proceso de purificación del biogás ocurre, además, por otros de adsorción física y química. Los porcentajes de remoción de $\text{H}_2\text{S(g)}$, cuando se emplean las membranas vítreas, son menores que los de las membranas de zeolita natural cubana, porque en estas la remoción de $\text{H}_2\text{S(g)}$ se debe a que ocurren ambos fenómenos: la adsorción física y química, a diferencia de las primeras en las que sólo ocurre la adsorción física (18).

Para modelar matemáticamente el proceso de purificación del biogás, con ambos tipos de membranas, se debe tener en cuenta la diversidad de sustancias en la composición del biogás y la complejidad estructural de las membranas, que se pueden tratar como lechos fijos de adsorción. Ante la complejidad de este sistema, es necesario recurrir a modelos empíricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se emplean 12 membranas: seis vítreas y seis de zeolita natural cubana, con el objetivo de realizar tres corridas experimentales con una réplica. Todas las membranas poseen en su composición 3.16 g de ZnO(s) y se sintetizaron a partir de partículas de carbón vegetal, con diámetros inferiores a 0.067 mm, según la metodología propuesta por Bárcenas (16), la masa total de

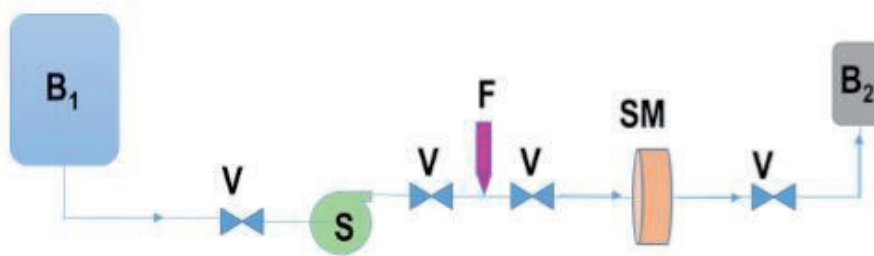
las membranas es igual a 20 g. Las características geométricas de las membranas empleadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características geométricas de las membranas vítreas y de zeolita natural cubana empleadas en el proceso de purificación del biogás

| Características geométricas | Membranas vítreas | Membranas de zeolita |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Diámetro | 0.0504 m (± 0.0005 m) | 0.0504 m (± 0.0005 m) |
| Espesor | 0.0064 m (± 0.0002 m) | 0.0069 m (± 0.0002 m) |

Descripción del sistema experimental empleado en la purificación del biogás

El sistema experimental empleado en el proceso de purificación del biogás con membranas vítreas y de zeolita natural cubana a escala de laboratorio, trabajó a temperatura ambiente (27 °C) y a presión atmosférica (101.3 kPa). Se conformó con una bolsa de nailon *STEDIM* de 50 L de capacidad, que se llenó con biogás obtenido a partir de heces de ganado vacuno. Esta bolsa fue conectada a un sistema cerrado, conformado por un flujómetro (marca *GraccoGearAssy G3000*, *Meter-PartNumber 239-716* (5-230 L/h)), un soporte para las membranas y un conjunto de seis bolsas de nailon *STEDIM* de 1 L de capacidad. Para las conexiones se utilizan mangueras de silicona y presillas, que garantizan la hermeticidad del sistema (figura 3).



Leyenda: B1: Bolsa de 50 L *STEDIM* con biogás, S: Soplador, F: Rotámetro, SM: Soporte para las membranas, B2: bolsas *STEDIM* de 1 L, V: Válvulas

Figura 3. Sistema experimental empleado en la purificación del biogás, a escala de laboratorio.

Una vez realizadas y selladas todas las conexiones, para garantizar la hermeticidad del sistema, se abre la válvula para que circule el biogás. Al comenzar y finalizar el proceso de purificación, se determinaron las fracciones volumétricas de metano ($\text{CH}_4(\text{g})$), dióxido de carbono ($\text{CO}_2(\text{g})$) y $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ presentes en el biogás, recolectados en las bolsas. Para determinar la composición de biogás, se emplea un analizador portátil automático, modelo MX21 (0 – 200 mg/L), que cuenta con detectores de $\text{CH}_4(\text{g})$, $\text{CO}_2(\text{g})$ y $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$, entre otros gases. Este equipo se acopló a la bolsa que contiene el biogás para realizar su lectura en la pantalla.

El biogás para realizar las corridas experimentales posee una composición inicial de 65 % de $\text{CH}_4(\text{g})$, 33 % de $\text{CO}_2(\text{g})$, y 0.2 % de otros gases, expresados en fracciones volumétricas. Para la operación del sistema, que se muestra en la figura 3, se desarrollaron tres experimentos, con una réplica a tres valores diferentes en la concentración inicial de $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ en el biogás(Co), como se muestra en la tabla 2, para un total de 12 corridas experimentales.

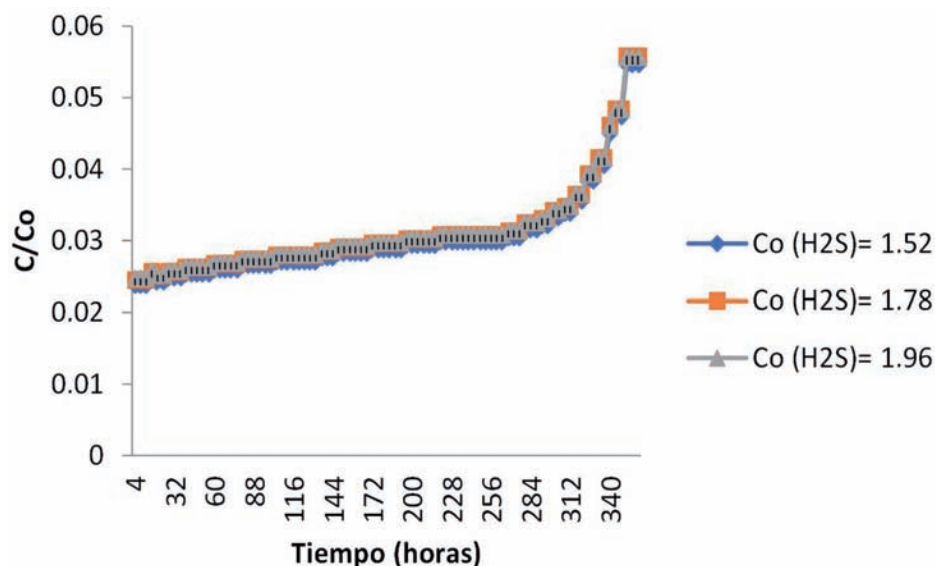
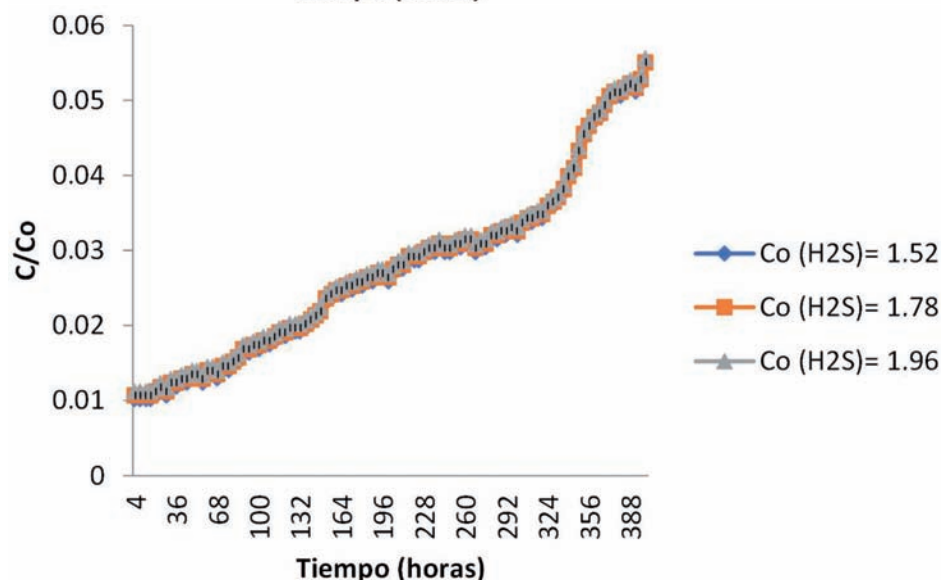
Las mediciones de la concentración final de $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ en el biogás (C) se realizaron a intervalos de 1 hora, para determinar el tiempo en el que se alcanza el valor de 0.1 %, considerado el punto de ruptura, en el que se detiene el proceso.

Tabla 2. Variables de operación del sistema experimental para la purificación del biogás con membranas vítreas y de zeolita natural cubana

| Flujo del biogás (m ³ /h) | Velocidad m/h) | Co _{(H₂S(g))} (%) | Temperatura (°C) | Presión (kPa) | Densidad del H ₂ S(g) (kg/m ³) |
|--------------------------------------|----------------|---------------------------------------|------------------|---------------|---|
| 15·10 ⁻³ | 7.52 | 1.52 | 27 | 101.3 | 1.38 |
| | | 1.78 | | | |
| | | 1.96 | | | |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del proceso de remoción de H₂S(g) del biogás para las membranas vítreas y de zeolita natural cubana, se representan en las figuras 4 y 5, respectivamente.

**Figura 4.** Comportamiento de la remoción de H₂S(g) presente en el biogás, con membranas vítreas.**Figura 5.** Comportamiento de la remoción de H₂S(g) presente en el biogás, con membranas de zeolita natural cubana.

Como se aprecia, existe prácticamente un solapamiento de las curvas para las tres diferentes concentraciones de H₂S(g) en el biogás, lo que indica que, para bajas concentraciones de este gas, se obtiene similar comportamiento. No obstante, se aprecia que el tiempo de ruptura disminuye proporcionalmente con el aumento de la concentración del H₂S(g) en el biogás (tabla 3).

Tabla 3. Tiempos de ruptura obtenidos para las membranas vítreas y de zeolita natural cubana a diferentes concentraciones del $H_2S(g)$ en el biogás

| Co _{(H₂S(g))} (%) | Tiempos de ruptura (t _r) (horas) | |
|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| | Membrana vítrea | Membrana de zeolita natural cubana |
| 1.52 | 186 | 214 |
| 1.78 | 180 | 200 |
| 1.96 | 174 | 186 |

Estos resultados coinciden con lo reportado en la literatura (2), es posible predecir el comportamiento de las curvas de ruptura al variar ligeramente la concentración del contaminante. Es notable la diferencia entre los valores para los dos tipos de membranas, se aprecia que se logra mayor remoción con las membranas de zeolita natural cubana, en comparación con las vítreas; al obtenerse mayores tiempos de ruptura para las tres composiciones del $H_2S(g)$ en el biogás.

Los experimentos se detuvieron al alcanzar el punto de ruptura, solo se obtuvo el comportamiento inicial del proceso de purificación del biogás con las membranas vítreas y de zeolita natural cubana. Por tanto, solo fue posible probar los modelos de Adams – Bohart (Ec. 1a) y de Wolborska, (Ec. 2), que describen la parte inicial de la curva de ruptura. Los resultados obtenidos mediante regresión lineal, para ambos tipos de membranas, se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del ajuste lineal para la zona inicial de las curvas de remoción del $H_2S(g)$ presente en el biogás, según los modelos de Adams – Bohart y Wolborska

| Co _{(H₂S(g))} (%) | Membrana vítrea | Membrana de zeolita natural cubana |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1.52 | $y = 0.006x - 3.7902$ | $y = 0.0158x - 4.5058$ |
| | $R^2 = 0.742$ | $R^2 = 0.9701$ |
| 1.78 | $y = 0.0059x - 3.7561$ | $y = 0.0155x - 4.4659$ |
| | $R^2 = 0.7416$ | $R^2 = 0.971$ |
| 1.96 | $y = 0.0058x - 3.7483$ | $y = 0.0151x - 4.4269$ |
| | $R^2 = 0.7391$ | $R^2 = 0.9718$ |

Como se aprecia en la tabla 4, las ecuaciones de las líneas rectas que se ajustan mejor a las curvas de rupturas, para las diferentes concentraciones de $H_2S(g)$ en el biogás, muestran similares resultados para cada tipo de membrana. Al comparar los resultados entre ambos tipos de membranas se obtiene un mejor ajuste para las membranas de zeolita natural cubana, lo que supone que la velocidad de sorción del $H_2S(g)$ es proporcional a la capacidad residual de la membrana y a la concentración de $H_2S(g)$ retenida en esta. Estos resultados ratifican que las pequeñas variaciones en la composición del $H_2S(g)$, presente en el biogás, no provocan variaciones evidentes en el comportamiento fenomenológico del sistema, sino que se obtiene una saturación más rápida de las membranas al incrementarse la concentración del $H_2S(g)$ en el biogás.

A partir de la pendiente y el intercepto de las ecuaciones del ajuste lineal, fueron determinados los valores de los parámetros para las membranas vítreas y de zeolita natural cubana, que se muestran en las tablas 5 y 6, respectivamente.

Los parámetros del modelo muestran valores similares para cada tipo de membrana. Este resultado es el esperado si se tiene en cuenta la similitud entre las ecuaciones del ajuste lineal. Como puede apreciarse, los valores en la capacidad de adsorción se incrementan ligeramente con el aumento de la concentración del $H_2S(g)$ en el biogás, lo cual coincide con lo planteado en la literatura (1).

Tabla 5. Valores de los parámetros de los modelos de Adams – Bohart y Wolborska obtenidos para la remoción del $H_2S(g)$ del biogás con el empleo de membranas vítreas

| Membranas vítreas | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|---------|---------------|---------|
| $Co_{(H_2S(g))}$ (%) | Adams – Bohart | | Wolborska | |
| | Parámetros | Valores | Parámetros | Valores |
| 1.52 | $K (m^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1})$ | 0.29 | $Bo (h^{-1})$ | 4515.59 |
| | $No (kg \cdot m^{-3})$ | 15571 | | |
| 1.78 | $K (m^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1})$ | 0.24 | $Bo (h^{-1})$ | 4413.36 |
| | $No (kg \cdot m^{-3})$ | 18389 | | |
| 1.96 | $K (m^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1})$ | 0.21 | $Bo (h^{-1})$ | 4404.12 |
| | $No (kg \cdot m^{-3})$ | 20972 | | |

Tabla 6. Valores de los parámetros los modelos de Adams – Bohart y Wolborska obtenidos para la remoción del $H_2S(g)$ del biogás, con el empleo de membranas de zeolita natural cubana

| Membranas de zeolita natural cubana | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------|---------------|---------|
| $Co_{(H_2S(g))}$ (%) | Adams – Bohart | | Wolborska | |
| | Parámetros | Valores | Parámetros | Valores |
| 1.52 | $K (m^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1})$ | 0.75 | $Bo (h^{-1})$ | 4890.75 |
| | $No (kg \cdot m^{-3})$ | 6521 | | |
| 1.78 | $K (m^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1})$ | 0.63 | $Bo (h^{-1})$ | 4859.19 |
| | $No (kg \cdot m^{-3})$ | 7713 | | |
| 1.96 | $K (m^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1})$ | 0.56 | $Bo (h^{-1})$ | 4841.76 |
| | $No (kg \cdot m^{-3})$ | 8646 | | |

CONCLUSIONES

1. El análisis matemático de estas ecuaciones demuestra que los modelos de Adams-Bohart y Wolborska se corresponden con una ecuación exponencial, por lo que solo describen la parte inicial de la curva de ruptura. Los restantes modelos se corresponden con funciones sigmoideas con asíntota en $(C/Co) = 1$ cuando el tiempo tiende al infinito.
2. Los modelos de Adams-Bohart y Wolborska se ajustan mejor a la remoción de sulfuro de hidrógeno del biogás cuando se emplean membranas de zeolita natural cubana que al utilizar membranas vítreas.
3. Se comprobó la mayor capacidad de remoción de las membranas de zeolita natural cubana en comparación con las membranas vítreas.
4. Las pequeñas variaciones de la composición del sulfuro de hidrógeno en el biogás no producen variaciones en el comportamiento fenomenológico del sistema, solo se acelera la saturación de las membranas con el aumento de su concentración y disminuyen proporcionalmente el tiempo de ruptura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Treybal, R. Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda Edición. México: McGraw-Hill, 1980. 687 – 707.
2. Geankoplis, C. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Tercera Edición. México: CEC-SA, 1998. 777 – 783.

3. McCabe, W.; Harriott, P.; Smith, J. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. España: McGraw-Hill, 1998. 804 – 810.
4. Villada, Y.; Hormaza, A.; Casis, N. Uso de la cascarilla de arroz para la remoción de azul de metileno en columnas de lecho empacado, *TecnoLógicas*, vol. 17, (33): 43-54, 2014.
5. Ferradas, A.; Trujillo, H. Estudio de un sistema de tratamiento para la remoción de fenoles del efluente industrial de la refinería de Iquitos con carbón activado granular. Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.
6. Coca, Y. Remoción de azul de metileno en medio acuoso utilizando residuos agrícolas de sorgo (RAS). Tesis de grado. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2016.
7. Valencia, J.; Castellar, G. Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* (66): 141-158, marzo 2013.
8. Pazin, N.; Dos Santos, K. Enseñanza del Laboratorio de Ingeniería Química basado en proyecto: adsorción de gas con cáscara de plátano. *Research, Society and Development*, 9 (3): 1-25, marzo 2020.
9. Hormaza, A.; Villada, Y.; Orrego, L. Remoción de azul brillante mediante columnas empacadas usando tuza de maíz. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5 (1): 57- 68, junio 2014.
10. Lara, J.; Tejada, C.; Villabona, A.; Arrieta, A.; Granados, C. Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Rev.ion.29(2):113-124*, octubre 2016.
11. Castellar, G.; Cely, M.; Cardozo, B.; Angulo, E.; Plaza, M. Adsorción del colorante azul directo 2 sobre borra de café en una columna de lecho fijo a escala de laboratorio. *Revista U.D.C.A Actualidad &Divulgación Científica* 21 (2): 531 – 541, diciembre 2018.
12. Tejada, C.; Gallo, J.; Moscote, J.; Villabona, A.; Acevedo, D. Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 16 (1): 52-61, junio 2018.
13. Tejada, C.; Villabona, A.; Álvarez, G.; Jattin, L.; Granados, C. Influencia de la altura del lecho sobre el comportamiento dinámico de columna de lecho fijo en la biosorción de mercurio. *TecnoLógicas* 20 (40): 71-81, agosto 2020.
14. Calero, M.; Blazquez, G.; Hernáinz, F.; Ronda, A.; Martín, M. Biosorción de cobre con corteza de pino en columna de lecho de fijo: Optimización de las variables del proceso. *Afinidad LXIX* (559): 175-184, septiembre 2012.
15. Vera, L.; Bermejo, D.; Uguña, M.; García, N.; Flores, M.; Brazales, D. Modelado en columna de lecho fijo para la bioadsorción de Cd^{2+} y Pb^{2+} con cáscara de cacao. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (4): 611-620, enero 2018.
16. Bárcenas, L. Obtención de membranas vítreas para tratamientos de residuales líquidos. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Química, Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos, Instituto Superior Politécnico «José Antonio Echeverría» Cujae, Cuba, 2013.
17. Ortega, L. Purificación de biogás empleando membranas vítreas y de zeolita natural cubana Tesis de doctorado, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría» Cujae, Cuba, 2017.
18. Ortega, L.; Gzegotowski, M.; Rodríguez, S.; Fernández, E. “Purificación de biogás empleando membranas vítreas y zeolita natural”, III Congreso Internacional de Ingeniería Química, Biotecnológica y Alimentaria (III CIIQBA 2014), Cuba, 2014.

Influencia del campo magnético estático en el proceso de preparación del sirope de piña

Guillermo Ribeaux-Kindelán^{1*}, Fidel Gilart-González^{1**}, Yelennis Hernández-Vázquez²

¹ Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente, Cuba.

² Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Cuba.

*ribeaux@uo.edu.cu, **fgg@uo.edu.cu

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la influencia de un campo magnético estático de 81.7 mT sobre los parámetros de calidad, en el proceso de elaboración del sirope de piña. La preparación del sirope se realizó siguiendo las normas de fabricación de la UEB José Tey Saint Blancard, de Santiago de Cuba. El tratamiento magnético a las muestras se realizó con un dispositivo diseñado y construido en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA, para estos propósitos. Se determinó el conteo de coliformes, levaduras y hongos filamentosos, así como pH, °Brix y el color. El análisis de estos resultados se realizó mediante una comparación de muestras con el programa profesional STATGRAPHICS Centurion, se demostró que entre cada uno de los parámetros medidos en los controles y las muestras tratadas magnéticamente no existían diferencias significativas desde el punto de vista estadístico; sin embargo, para los efectos de la industria, y de acuerdo con la experiencia de investigaciones precedentes, si se considera que, en cuanto al color y el °Brix, el campo magnético tuvo una ligera influencia en la sedimentación y clarificación del sirope, pues disminuyó su turbidez y, en el caso del °Brix, específicamente, pudiera deberse a un aumento de la capacidad calórica del sirope que favorece así su concentración al valor deseado en menos tiempo.

Palabras clave: tratamiento magnético, siropes.

ABSTRACT

The objective of the work was to determine the influence of a 81.7 mT static magnetic field on the quality parameters in the process of making pineapple syrup. The research was carried out at the National Center of Applied Electromagnetism, the preparation of the syrup was carried out following the manufacturing standards of the UEB José Tey Saint Blancard of Santiago de Cuba. The magnetic treatment of the samples was carried out with a device designed and built at the CNEA for these purposes. The count of coliforms, yeasts and filamentous fungi, as well as pH, °Brix and color, were determined. The analysis of these results was carried out by means of a comparison of samples using STATGRAPHICS Centurion, demonstrating that between each of the parameters measured between the controls and the magnetically treated samples, there were no statistically significant differences, however, for the purposes of industry and according to the experience of previous investigations, if it is considered that in terms of color and °Brix the magnetic field had a slight influence on the sedimentation and clarification of the syrup, reducing its turbidity, and in the case of the °Brix, it could be due to an increase in the caloric capacity of the syrup, thus favoring its concentration to the desired value in less time.

Key words: magnetic treatment, syrups.

INTRODUCCIÓN

Los siropes son disoluciones concentradas de azúcar, elaborados con excelente calidad para evitar la descomposición, pues constituyen un medio notable para el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias. El azúcar es el ingrediente principal que define la composición de este producto,

ya que le confiere el sabor dulce, el valor alimenticio o energético y actúa como preservante en la conservación y prolongación de la vida media de este alimento.

La demanda creciente de alimentos mínimamente procesados, seguros, que conserven totalmente sus características y respeten las exigencias medio ambientales, justifica el desarrollo de nuevas tecnologías para la conservación y transformación de alimentos; como las tecnologías emergentes y de procesamiento no térmico de alimentos que han cobrado protagonismo y aceptación entre los consumidores (1). Estas no emplean el calor como agente de inactivación microbiana.

En la UEB José Tey Saint Blancard, perteneciente a la Empresa de Bebidas y Refrescos (EM-BER), en Santiago de Cuba, se elaboran siropes de diferentes sabores, y se emplean aditivos como técnica de conservación tradicional, pero aun así no se consigue que la vida útil del producto, específicamente el de piña, sea la esperada, por lo que no satisface las expectativas del productor y los consumidores.

La durabilidad del sirope, envasado en recipientes plásticos, debe oscilar entre dos y cuatro meses. Sin embargo, en las condiciones actuales de producción se garantiza la estabilidad del producto solamente por un mes. La realización de investigaciones en esta área, con el propósito de mejorar la calidad del producto, es de gran importancia e interés, por los beneficios económicos y sociales que reportaría.

Por ello, constituye un reto aplicar la tecnología del campo magnético estático durante el proceso de elaboración del sirope y que pueda influir en su durabilidad. Por lo que el objetivo de la investigación es evaluar la influencia del campo magnético estático, con inducción magnética de 81.7 mT, en la preparación del sirope de piña.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sirope se elaboró según la norma cubana (2). Primeramente, se esterilizaron los instrumentos a utilizar en autoclave a 120 °C, por 20 minutos. También se esterilizó el lugar de trabajo con una solución al 70 % de alcohol etílico.

Para la preparación de 200 mL de sirope de piña a escala de laboratorio se utilizó:

- 1.53 mL esencia de piña
- 149.8 g de azúcar refino
- 1.4 g de ácido cítrico
- 0.2 g benzoato de sodio
- 0.3 mL color caramelo
- 100.88 mL de agua tratada

Se mezcló hasta lograr la total homogenización con un agitador mecánico, a una velocidad de 295 rpm, durante 30 min, a temperatura ambiente, en un vaso de precipitado de 250 mL. Alrededor del vaso de precipitado se acopla el acondicionador magnético, como se muestra en la figura 1. El tiempo de exposición al campo magnético estático coincide con el tiempo de agitación.

Al sirope se le efectúan los análisis que certifican que se encuentra apto para su comercialización y consumo; estas determinaciones son: físico-químicas (°Brix, pH y color) y microbiológicas (coliformes, hongos filamentosos y levaduras)

El contenido de sólidos solubles (°Brix) se determina según (3) empleando tablas que correlacionan el índice de refracción con el contenido de sólidos solubles (expresado en sacarosa), o la lectura directa de sólidos solubles en el refractómetro, a 20 °C. Para ello se vierte una pequeña cantidad de muestra en el equipo y se lee por medio de una escala graduada el índice de refracción que presenta el sirope.



Figura 1. Instalación experimental en la elaboración del sirope de piña a escala de laboratorio.

La determinación del pH se realiza según NC ISO 1842: 2001 (4), donde establece la medición por el método potenciométrico; el cálculo se realiza por la diferencia de potencial entre dos electrodos.

El análisis microbiológico se realiza para conocer la cantidad de microorganismos patógenos que hay presentes en el sirope elaborado; según lo establecido en la NC-ISO 4832 2010 y la NC 1004: 2014 (5 y 6). Se realizan las siembras microbiológicas para cada una de las muestras según la NC 585:2017 (7), para las determinaciones de: levaduras, hongos y Conteo Total de Microorganismos (MOS); y se realizan las lecturas microbiológicas al término de los tres y cinco días, respectivamente.

El color se determinó por el Método de Horne. Es un atributo de apariencia de los productos y su observación permite detectar ciertas anomalías y defectos (ICUMSA).

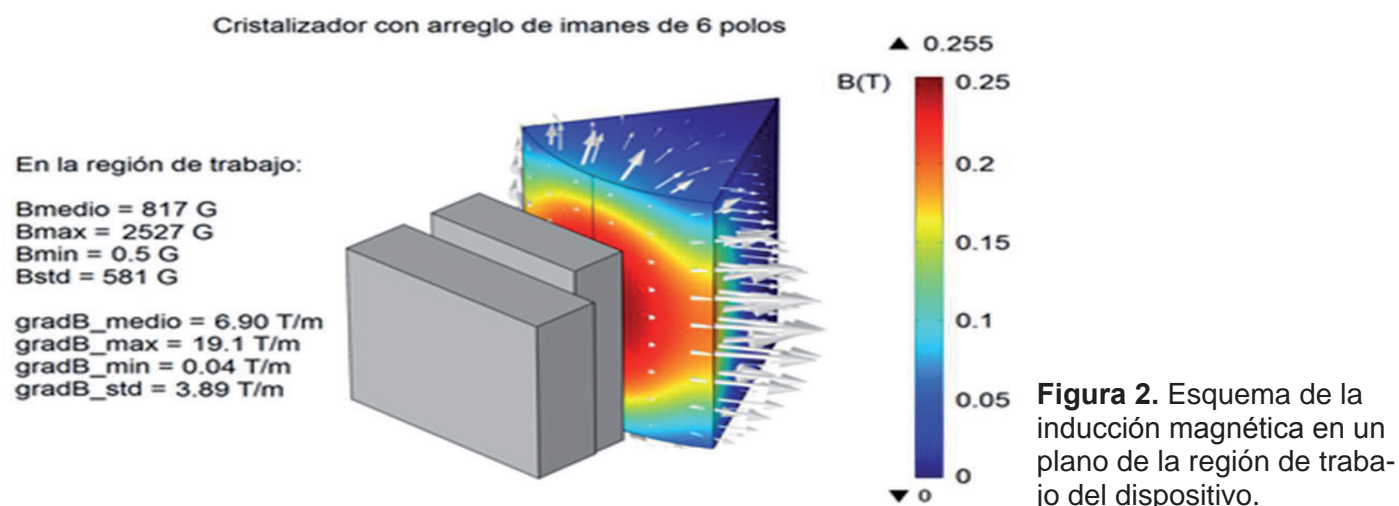
Equipos y materiales empleados

- Balanza técnica, modelo Sartorius, soporta hasta 120 g, alimentación de 220 V.
- Autoclave, modelo ASH –260, alimentación de 110 V y una potencia de 1 kW.
- pHmetro.
- Brixómetro.
- Agitador Mecánico con un voltaje de 110 V.
- Incubadora para mohos y levaduras.

Dispositivo acondicionador magnético

Para la aplicación del campo magnético se utilizó un arreglo de imanes permanentes como el que se muestra en la figura 1, elaborado y caracterizado en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Los imanes son de NdFeB de 32 MGOe, con forma de barra transversal rectangular, con dimensiones de 5x3x1 cm, magnetizados hasta la saturación a lo largo del eje menor y todos enfrentan el mismo polo al eje de simetría del dispositivo. El acondicionador magnético utilizado fue diseñado y confeccionado especialmente para los experimentos desarrollados en esta investigación, este se ubica alrededor del reactor y garantiza que las líneas de campo magnético atraviesen todo el volumen de la solución.

Para la caracterización del dispositivo se realizó una simulación con el software profesional COMSOL Multifisic V- 5, basado en el método de los elementos finitos. Se resolvió un problema magnetostático 3D sin corrientes eléctricas. El dominio de solución fue una esfera de 0.25 m de diámetro. La precisión de resolución fue de 10-8. Sobre la esfera límite se aplicó la condición de frontera de elementos infinitos, como se muestra en la figura 2.



RESULTADOS Y DISCUSION

Del análisis estadístico

Primeramente, se hizo un análisis exploratorio de los datos para saber de qué distribución provienen, debido a que el sesgo y la curtosis estandarizada se encuentran en el rango de -2 a +2, podemos afirmar que proviene de una distribución normal.

Se realizó una comparación de muestras independientes (muestras con tratamiento magnético y controles) para el pH y el °Brix.

Para el pH

Comparación de medias

Se trabajó con un intervalo de confianza del 95.0 %. Se realizó una prueba t de student para comparar las medias. Como el valor probabilístico es mayor que 0.05 se concluyó que no existen diferencias significativas desde el punto de vista estadístico, entre los controles y las muestras tratadas magnéticamente, en relación con el pH.

Sin embargo, existe una ligera diferencia entre el pH de los controles y las muestras tratadas con magnetismo, figura 3, siendo el de este último ligeramente más elevado y, quizás, esto tenga alguna relevancia para la industria, ya que la acidez de los siropes varía en forma inversa con el pH, las muestras de sirope con una acidez más elevada presentan un mayor contenido de azúcares reductores, debido a que un aumento en la concentración de iones H^+ , favorece la hidrólisis de la sacarosa. En nuestro caso particular, no podemos afirmar categóricamente que este ligero aumento del pH sea causado por la presencia del campo magnético estático, ya que el ambiente en que se realizaron las corridas experimentales era bastante descontrolado, en cuanto a la temperatura (condiciones ambientales), tal y como se realiza en la fábrica, y es conocido que el pH es muy sensible a los cambios de este parámetro; no obstante, si es importante señalar que se ha corroborado el cambio de concentración de iones en las soluciones, cuando estas son sometidas a la acción del campo magnético, de manera que no se descarta una posible influencia del campo magnético sobre el pH, solo que es necesario continuar y profundizar estos estudios en condiciones más controladas.

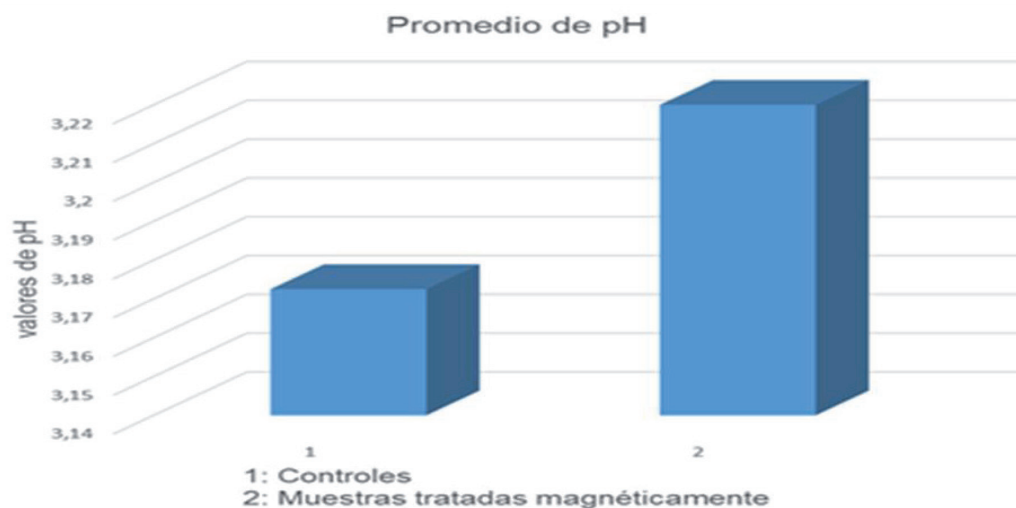


Figura 3. Promedio del comportamiento del pH.

Para el °Brix

Comparación de medias

Se trabajó con un intervalo de confianza del 95.0 %. Se realiza una prueba t de student para comparar las medias. Como el valor probabilístico es mayor que el 0.05 se puede concluir que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los controles y las muestras tratadas con magnetismo, en relación con el °Brix. No obstante, se puede observar que en cada una de las muestras tratadas magnéticamente en el mismo período de tiempo (30 min), se logra una concentración algo superior que cuando no se emplea el campo magnético. Esto podría resultar de interés para la industria, figura 4. De este resultado se infiere que el coeficiente de traspaso de calor α debe ser menor para las muestras tratadas. Esto pudiera deberse a que la muestra tenga una menor conductividad térmica o una mayor capacidad calorífica que el control.

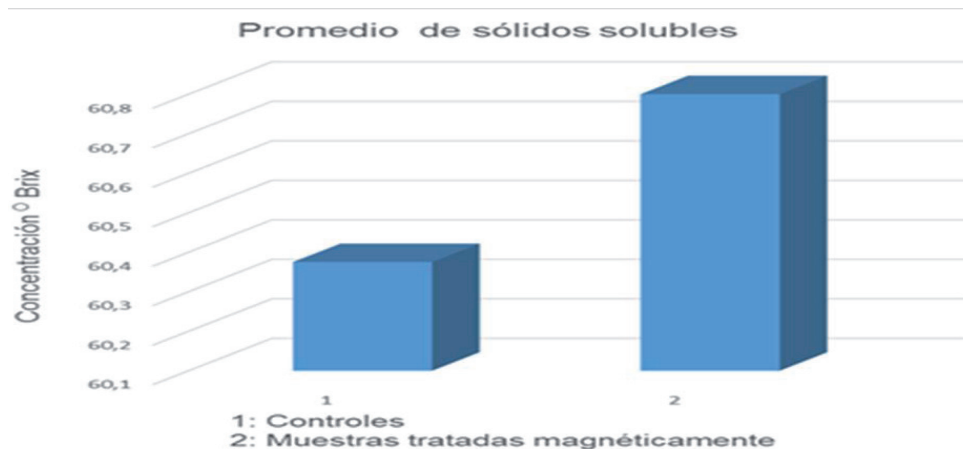


Figura 4. Promedio del comportamiento de °Brix.

Esto se puede explicar porque la energía interna de los líquidos se determina no solo por la energía cinética de los movimientos térmicos de sus partículas, sino también por la energía potencial de su interacción. La experiencia muestra, que la capacidad calorífica depende de la temperatura y esta dependencia es diferente para los distintos líquidos. En la mayoría de estos la capacidad calorífica aumenta con el aumento de la temperatura, ya que el campo magnético estático externo, al igual que lo hace la temperatura, al deshidratar las moléculas de sacarosa, aumenta la intensidad de la interacción entre ellas, su acción debe conducir a un aumento de la capacidad calorífica de las soluciones tratadas. Esto se puede deducir de los resultados del estudio de la influencia del campo

magnético sobre la cinética de la cristalización de la sacarosa, por el método de enfriamiento (9, 10), donde se demuestra que un campo magnético es capaz de debilitar los enlaces por puentes de hidrógeno (11, 12). Del comportamiento del °Brix se puede inferir que la capacidad calorífica de las muestras tratadas magnéticamente pudiera ser mayor que la de las muestras no tratadas.

Este resultado a nivel industrial tiene gran significación, ya que lograr el valor de concentración deseado, en menos tiempo, redonda en un ahorro de energía.

Color

Al analizar los valores del color medidos, se observa una disminución de estos en las muestras tratadas magnéticamente, con respecto a los controles, y según la experiencia y resultados obtenidos en la investigación sobre la influencia del campo magnético en la sedimentación (13), se concluye que un campo magnético estático con inducción 170.6 mT favorece el proceso de sedimentación y clarificación de una solución azucarada, de ahí que se pueda plantear que para los valores de color obtenidos corresponden absorbancias de 1.167 (control) y 1.071 (muestra), lo que nos indica que sí existe diferencia en el color, figura 5.

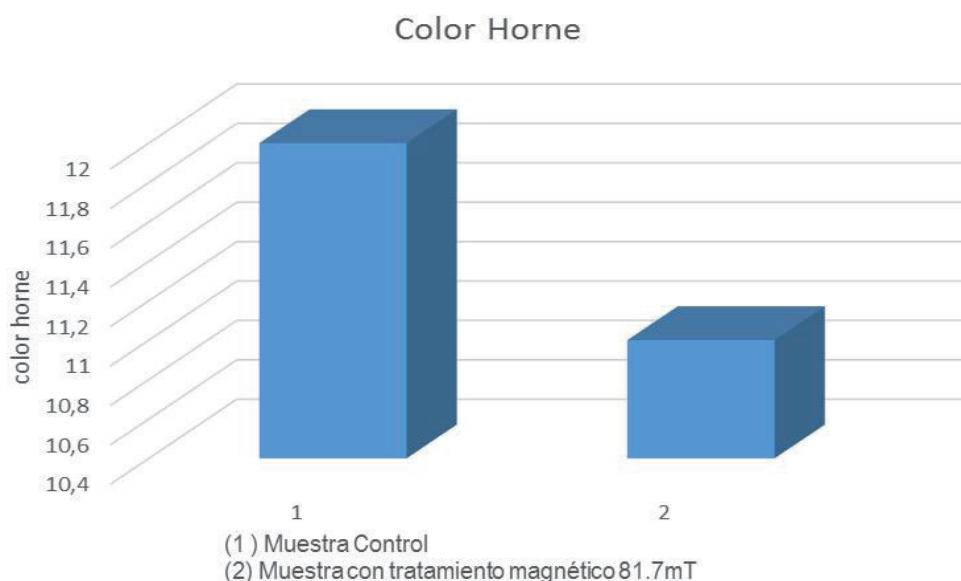


Figura 5. Valor de Color Horne.

La explicación de este fenómeno se debe a que las partículas coloidales son las causantes de la turbiedad del sirope, para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación, que es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas, facilitando su aglomeración, para lo cual deben ser anuladas las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide; es decir, que ocurra una compresión de la doble capa y permita que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos, se infiere que esto sea lo que esté provocando el campo magnético tal y como se plantea en (14), donde refieren que la fuerza de Lorentz pudiera provocar la condensación de la capa de Stern (Capa comprimida) a costa de la capa de Gouy-Chapman (Capa difusa).

La neutralización de la superficie cargada de la partícula dispersada puede ser valorada sobre la base de la teoría de la doble capa eléctrica. Al finalizar el tratamiento magnético pudiera haber una tendencia a que los contraiones en exceso, en la capa de Stern, se distribuyan uniformemente. Este proceso pudiera durar desde horas hasta días y conducir a la heterocoagulación de las partículas. La homogenización de la capa de Stern, finalizado el tratamiento magnético, intensificaría la agregación de la fase sólida por homocoagulación (figura 6).

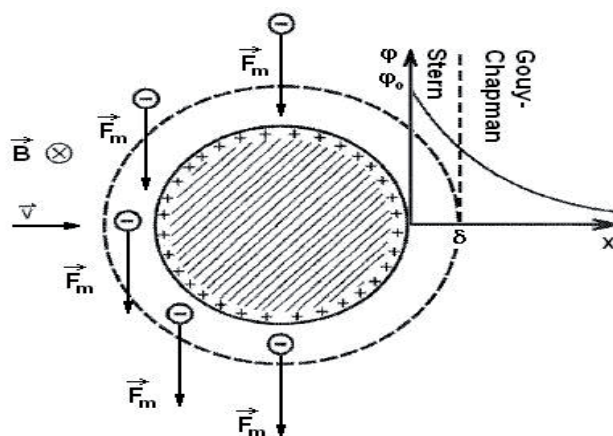


Figura 6. Efecto de la componente magnética de la fuerza de Lorentz sobre la capa de Stern (Capa comprimida) en el tratamiento magnético.

Del análisis microbiológico

Los coliformes, levaduras y hongos filamentosos se mantuvieron en normas (<10 UFC/mL), excepto dos muestras y un control que estuvieron fuera de parámetros, seguramente debido a alguna contaminación en la manipulación o esterilización de los recipientes, el caso es que no se observó ni inhibición ni estimulación de ninguno de estos parámetros tanto en los controles como en las muestras tratadas magnéticamente. Los valores de inducción de campo magnético que inhiben o estimulan el crecimiento de microorganismos son indistintos en dependencia de cual se trate (15), evidentemente el valor seleccionado en esta investigación (81.7 mT) y el tiempo de exposición de la muestra (30 min), no fueron suficientes para producir algún efecto, siempre resaltando el hecho de que el Laboratorio Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología (LPHEM) no emite los valores de coliformes, hongo filamentoso y levaduras por debajo del límite permisible, por lo que no fue posible determinar si este valor de campo magnético (81.7 mT) propició una inhibición de los microorganismos, de manera que sería necesario continuar con esta investigación solicitando al LPHEM los valores en UFC/mL de coliformes, hongo filamentoso y levaduras de los controles y las muestras tratadas magnéticamente aunque estén por debajo del límite permisible, lo que nos permitiría conocer definitivamente si hubo una inhibición de los mismos por acción del campo magnético.

CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento de los parámetros físico - químicos del sirope de piña y se determinó que entre los controles y las muestras tratadas magnéticamente, de cada uno de los parámetros medidos, no existía diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, en cuanto al color, el °Brix y pH, el campo magnético estático tuvo una ligera influencia, lo que desde el punto de vista industrial es relevante, ya que este campo provocó la disminución de la turbidez, lo que pudiera deberse a un aumento de la capacidad calórica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Raventos, M. Industria alimentaria, tecnologías emergentes Ediciones UPC – España. 2005.
2. NC 903:2012. Elaboración del sirope.
3. NC 424: 2006. Código refractométrico.
4. NC ISO 1842: 2001. Determinación de pH.
5. NC-ISO 4832 2010. Análisis microbiológico.
6. NC 1004: 2014. Análisis microbiológico.

7. NC 585:2017. Siembra microbiológica.
8. Mijeeva, I. M.; Mijeev, M. A. Fundamentos de termotransferencia, ENPES, Unidad administrativa Santiago, Noviembre de 1988.
9. Ribeaux, G.; Ares, O.; Falcón, F.; Girasole, M. Verificación mediante la AFM de la influencia del campo magnético en la cinética de la cristalización de soluciones azucaradas. Revista Cubana de Química. Vol. XVIII, No. 1, 2006.
10. Ribeaux, G.; Ares, O.; Fernández, A.; Falcón, F. Influencia del Campo Magnético Estático en la nucleación y cristalización de la sacarosa, Bol. Soc. Quím. Méx., 2(2), ISSN 1870-1809. 2008.
11. Cefalas, A.C.; Kobe, S.; Drazic, G.; Sarantopoulou, E.; Kollia, Z.; Strazisar, J.; *et al.* Nanocrystallization of CaCO_3 at solid/liquid interfaces in magnetic field: A quantum approach, Applied Surface Science, 254, 2008.
12. Danielewicz-Ferchmin, I.; Ferchmin, A.R. Water at ions, biomolecules and charged surfaces, Phys. Chem. Liquids 42, 2004.
13. Cabrera Y. Influencia del campo magnético en la sedimentación y clarificación del jugo alcalizado. Tesis de Grado. Universidad de Oriente. 2014.
14. Lipus, L.C.; *et al.* Dispersion Destabilization in Magnetic Water Treatment. Journal of Colloid and Interface Science 236, 2001.
15. Berlot, M.; Rehar, T.; Fefer, D.; Berovic, M. The influence of treatment of *Saccharomyces cerevisiae* inoculum with a magnetic field on subsequent grape must fermentation, Chem. Biochem. Eng. Q., 27 (4): 423-429. 2013.

Reducción de la carga contaminante de empresas azucareras durante el quinquenio 2013-2018

Orly López-Delgado*, Georgina Michelena-Álvarez, Yohana De la Hoz-Izquierdo, Yaima Izquierdo-González, Evelyn Faife-Pérez, Dania Alonso-Estrada, Danelis Roget-Guevara
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.
orly.lopez@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

El desarrollo de la industria azucarera y sus derivados, a partir de la caña de azúcar, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación, debido a la generación de altos volúmenes de residuales líquidos de alto poder contaminante. De ahí que surjan restricciones cada vez más severas con relación al vertimiento de los efluentes industriales, por lo que estos deben ser tratados adecuadamente, a fin de reducir la contaminación ambiental.

La determinación y monitoreo de las cargas contaminantes de las empresas azucareras ayudan a controlar el impacto ambiental, por los efectos y consecuencias del accionar del hombre en el medio ambiente.

Para el presente trabajo se realizó un estudio de los niveles de contaminación de algunas de las empresas pertenecientes a Azcuba, en los últimos 5 años, para determinar el comportamiento de las propiedades físico-químicas de sus residuales y la influencia en el medio ambiente. Se realizó la caracterización de estas aguas residuales en el laboratorio Laguazur del Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA) y se determinaron los valores de DQO, DBO, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, sólidos. Los resultados demuestran una disminución de estos parámetros en el período analizado, que corrobora la importancia de realizar los diagnósticos ambientales, actividades de monitoreo y asesorías de Producción Más Limpia, así como otras acciones inversionistas y de adecuación tecnológica, que han favorecido en este resultado.

Palabras clave: carga contaminante, medio ambiente, empresas azucareras.

ABSTRACT

The development of the sugar industry and its derivatives from sugarcane is one of the sources of more impact on pollution due to the generation of high volumes of wastewater and high polluting power. This has led to the emergence of increasingly severe restrictions in relation to the discharge of industrial effluents, so these must be treated adequately in order to reduce environmental pollution.

The determination and monitoring of the pollutant loads of the sugar companies affect the environmental impact, referred to the effects and consequences of the actions of man in the environment.

In the present work, was made a study of the pollution levels of some sugar companies belonging to Azcuba in the last 5 years, to determine the behavior of the physical-chemical properties of these residuals and their influence on the environment. The characterization of this wastewater was carried out in the Laguazur laboratory of Environmental Management Center of the Sugar Industry (CENGMA), determining the values of COD, BOD, pH, electrical conductivity, nitrogen, phosphorus, solids. The results obtained show that there has been a decrease of these parameters in the analyzed period, which allowed corroborating the importance of carrying out the environmental diagnoses, monitoring activities and Cleaner Production consultancies, as well as other investing and technological adaptation actions that have favorably affected this result.

Key words: pollutant load, environment, sugar companies.

INTRODUCCIÓN

En su evolución, el hombre ha aprovechado los recursos naturales y, a la vez, ha tenido que adaptar sus acciones para lograr un equilibrio entre el aprovechamiento de esos recursos y los efectos que su actividad ha causado sobre ellos.

Las aguas residuales procedentes de la industria de los derivados de la caña de azúcar están constituidas por desechos líquidos y sólidos, originados en sus operaciones. La contaminación de las aguas, superficiales o subterráneas, con contaminantes en cantidad y tiempo suficientes para provocar efectos adversos a la salud humana y a la calidad ambiental de los ecosistemas asociados, son muestra de ello.

El control y estudio de su composición y el grado de eficiencia alcanzado en su procesamiento son el primer paso para tratar y aprovechar esos desechos.

Los principales contaminantes de las aguas residuales son: la materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos, metales pesados, hidrocarburos, sales, sustancias químicas de diversa índole, calor y organismos patógenos. Su comportamiento en las aguas depende, entre otras cuestiones, de sus características y las del cuerpo receptor.

Este trabajo tiene como objetivo presentar los resultados alcanzados en la caracterización de las aguas y aguas residuales en el período 2013-2018, por el laboratorio Laguazur del CENGMA, a partir del análisis de muestras de la industria azucarera y realizar una comparación de los principales parámetros que se deben considerar para el vertimiento de los residuales, en cuatro centrales azucareros del total evaluado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la caracterización de las aguas residuales de cuatro centrales azucareros en el laboratorio Laguazur del CENGMA y se determinaron los valores de:

- Demanda Química de Oxígeno, método de reflujo con dicromato de potasio (1, 2).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno, método DBO₅ 20 °C, equipo Oxitop Box WTW (3).
- pH, método electrométrico (4).
- Conductividad eléctrica, método electrométrico (5).
- Nitrógeno, método Kjeldahl (6).
- Fósforo, método colorimétrico (7).
- Sólidos (8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra el comportamiento en el tiempo de la DQO (mg/L), en los residuales líquidos de cuatro empresas azucareras. Como puede observarse, los índices de contaminación han disminuido significativamente en las cuatro empresas y muestran diferentes tendencias: unas con decrecimientos exponenciales y otras con menor pendiente.

Los valores de remoción de la carga contaminante superan el 80 % en todos los casos (figura 2), que avala la efectividad del trabajo que se ha realizado a favor de la reducción de la contaminación ambiental en la industria, entre ellos: los diagnósticos ambientales, las asesorías de Producción Más Limpia, actividades de monitoreo, así como otras acciones inversionistas y de adecuación tecnológica que han favorecido este resultado.

Cuando se analizan los valores de DQO y DBO, de la segunda laguna y se comparan con la NC 27:2012, que regula el vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado

(tabla 1), se observa que aún no cumple la normativa e indica la necesidad de tratamientos más severos y efectivos.

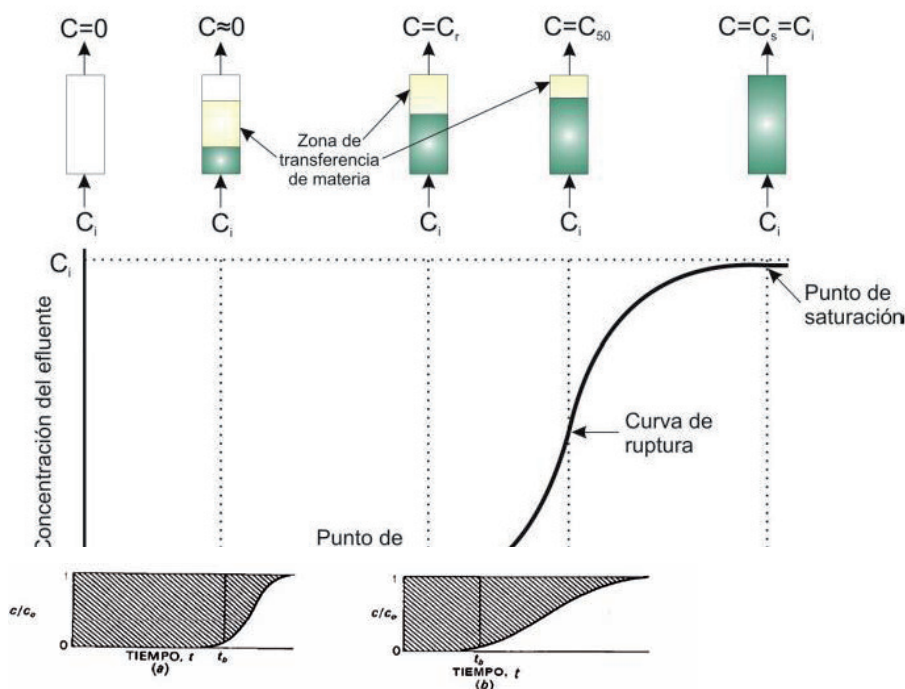


Figura 1. Resultados de la determinación de la DQO de los residuales de cuatro empresas azucareras.

Figura 2. Resultados de los porcentajes de reducción de DQO (mg/l) de las cuatro empresas azucareras estudiadas.

Tabla 1. Límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales

| Parámetro | Unidades | NC 27: 2012 | Valores de los residuales analizados |
|------------------|----------|-------------|--------------------------------------|
| pH | u | 6-9 | 6.67 |
| DBO ₅ | mg/L | < 300 | 529* |
| DQO | mg/L | < 700 | 1755* |
| Conductividad | μS/cm | < 4000 | 924 |

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran la disminución de los valores de DQO, DBO, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, sólidos, en el período analizado, que corroboran la importancia de realizar los diagnósticos ambientales.

Permiten un mejor control y análisis de los niveles de contaminación en lagunas de las empresas azucareras.

Una mejor valoración del destino de los residuales, para minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente y el ecosistema

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Conde, J.; Bartós, J.; Reyes, A. (1978). Determinación rápida de la demanda química de oxígeno (DQO). Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar Vol. XII, 3, pp. 21-31.

2. 5220 Chemical Oxygen Demand. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 21 Edition. 2005. APHA-AWWA-WPCF.
3. 5210 Biochemical Oxygen Demand. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 21 Edition. 2005. APHA-AWWA-WPCF.
4. Norma ISO 10523 (2008). Calidad de agua, Determinación del pH.
5. 2510 Conductivity. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters. 21 Edition. 2005. APHA-AWWA-WPCF.
6. 4500-N Nitrogen. Standard Method for the Examination of water and wastewater. 21 Edition. 2005. APHA-AWWA-WPCF.
7. 4500-P Phosphorus. Standard Method for the Examination of water and wastewater. 21 Edition. 2005. APHA-AWWA-WPCF.
8. 2540 B-G Solids. Standard Method for the Examination of water and wastewater. 21 Edition. 2005. APHA-AWWA-WPCF.