

Evaluación de las bombas centrífugas en una planta procesadora de alimento ensilado para cerdos

Evaluation of Centrifugal Pumps in a Silage Feed Processing Plant for Pigs



<http://opn.to/a/8mMba>

M.Sc. Arelys Vázquez-Peña ^{I*}, Dr.C. Verena Torres-Cardenas ^I, Dr.C. Fermín Raúl Cobo-Cuña ^I, Dr.C. Antihus Hernández Gómez ^{II}, Lic. Alejandro Ruiz-González ^I, Dr.C. Caridad Walkiria Guerra-Bustillo ^{II}

^IInstituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: El trabajo se realizó con el objetivo de determinar con qué frecuencia tienen que trabajar las bombas centrífugas para la producción de ensilado a escala industrial en la planta "Héctor Molina" del Municipio San Nicolás de Barís en Mayabeque, Cuba. Tecnología desarrollada por el Instituto de Ciencia Animal (ICA), que aprovecha subproductos y desechos de la industria azucarera y de las producciones agrícolas, para la alimentación animal. Para determinar la frecuencia se calculó la velocidad de sedimentación (v) de los sólidos en las materias primas líquidas (crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada, vinaza concentrada) y el alimento ensilado, para esto se realizaron tres experimentos cada uno con 10 probetas aforadas, se midieron la altura inicial de cada probeta, la altura de interfases descendientes a diferentes intervalos de tiempo y se analizó el comportamiento de la variable sedimentación vs tiempo con criterios estadísticos. Se obtuvo que la (v) de la vinaza, la crema y del ensilaje son de $1,58 \text{ E}^{-6} \text{ m/s}$, $2,76 \text{ E}^{-07} \text{ m/s}$, y $1,55 \text{ E}^{-07} \text{ m/s}$ respectivamente. Se concluye que la bomba centrífuga debe recircular la vinaza y la crema para mantener una composición química estable cada 4 h y 12 h. El ensilaje debe recircularse cada 58 h para facilitar la extracción del producto final de los silos y el modelo que mejor describe la sedimentación del AEC es el modelo cuadrático.

Palabras clave: sedimentación, ensilaje, bombas centrífugas, recirculación.

ABSTRACT: The work was carried out with the objective of determining how often the centrifugal pumps for industrial silage production have to work in the "Héctor Molina" plant of the Municipality of San Nicolás de Bari in Mayabeque, Cuba. That technology was developed by the Institute of Animal Science (ICA) and it uses by-products and wastes from the sugar industry and agricultural production for animal feed. To determine the frequency, the sedimentation rate (v) of the solids in the liquid raw materials (thermolised *Saccharomyces cerevisiae* yeast cream, concentrated vinasse) and the silage feed was calculated. For that, three experiments were carried out, each one with 10 graduated test tubes. Initial height of each test tube and height of descendant interfaces at different time intervals were measured and the behavior of the variable sedimentation vs. time was analyzed with statistical criteria. It was obtained that the (v) of the vinasse, cream and silage are $1,58 \text{ E}^{-6} \text{ m / s}$, $2,76 \text{ E}^{-07} \text{ m / s}$, and $1,55 \text{ E}^{-07} \text{ m / s}$, respectively. It is concluded that the centrifugal pump must recirculate the vinasse and the cream to maintain a stable chemical composition every 4 h and 12 h. The silage should be recirculated every 58 h to facilitate the extraction of the final product from the silos and the model that best describes the sedimentation of CSF is the quadratic model.

Keywords: sedimentation, silage, centrifugal pumps, recirculation.

*Autor para correspondencia: Arelys Vázquez-Peña, e-mail: avazpe2015@gmail.com

Recibido: 15/07/2018

Aceptado: 10/12/2018

INTRODUCCIÓN

Las bombas centrífugas son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico según [Cherkasski \(1986\)](#); [Ramos \(1994\)](#) y [Fernández \(2017\)](#), que se utilizan en la mayoría de los procesos industriales para el trasiego de fluido de un lugar a otro, en consecuencia su uso se ha incrementado según [Pérez \(2004\)](#); [Reyes e Izquierdo \(2007\)](#), desde pequeñas bombas para fines doméstico hasta grandes máquinas para industrias y abastecimiento de ciudades ([Pérez, 2004](#)).

Una de las industrias que en Cuba utiliza las bombas centrífugas, es la industria azucarera según ([Moreno et al. \(2018\)](#)) y las plantas para la producción de alimento ensilado cubano (AEC) pertenecientes a este sector no son la excepción. Once plantas únicas de su tipo con capacidad de 45 t/8 h son el resultado de diversos estudios que conllevaron a su extensión por todo el país ([Lezcano et al., 2017](#)). La sobreexplotación de las bombas en las industrias y su uso indebido pueden acortar su vida útil.

Este nuevo alimento líquido, se elabora a partir de la mezcla de subproductos y desechos de la industria azucarera (miel B, crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada, vinaza concentrada) y excedentes de la agricultura según [Lezcano et al. \(2016\)](#), tiene materias primas (crema de levadura y vinaza) que sedimentan que dan lugar a un producto final con sólidos en suspensión que al igual sedimenta. Tecnología que se desarrolló por el ICA, que recibió la categoría de patente mediante la resolución 2013-0122 ([Lezcano et al., 2016](#)).

La sedimentación es la operación que consiste en separar de una suspensión, un líquido claro que sobrenada en la superficie y un lodo que se deposita en el fondo que posee una concentración elevada de materias sólidas. Como fuerza impulsora en esta operación actúa el campo gravitatorio ([Smith y Harriot, 2002](#)). Para la selección del tipo de bomba a utilizar para la recirculación e impulsión de los líquidos en procesos industriales se hace necesario conocer las propiedades de estos y ver cómo se comportan los sólidos presentes en ellos y a qué velocidad sedimentan.

El siguiente trabajo tiene como objetivo determinar con qué frecuencia tienen que trabajar las bombas centrífugas para la producción de ensilado a escala industrial en la planta “Héctor Molina” del Municipio San Nicolás de Bari en Mayabeque, Cuba, para mantener una composición química estable acorde a los parámetros establecidos en el proceso de obtención del AEC a escala industrial y analizar el comportamiento de la variable sedimentación vs tiempo con criterios estadísticos.

MÉTODOS

Se realizó un estudio de la velocidad de sedimentación con el objetivo de conocer la variación en el tiempo de las fases en que se dividen las materias primas líquidas (vinaza concentrada, crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada) y el AEC, aspectos a tener en cuenta para proponer cada que tiempo deben ser recirculadas las materias primas líquidas para mantener una composición química estable y el AEC para la no sedimentación en los silos.

Metodología para determinar velocidad de sedimentación

Para determinar la velocidad de sedimentación de los sólidos se realizaron tres experimentos, que los diferencian los productos a estudiar.

Experimento 1: Determinar la velocidad de sedimentación de la crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada.

Experimento 2: Determinar la velocidad de sedimentación de la vinaza concentrada.

Experimento 3: Determinar la velocidad de sedimentación del AEC.

Se realizaron los ensayos de sedimentación en el laboratorio del ICA por el método de [Coe \(1916\)](#), donde se obtienen la velocidad de sedimentación de los sólidos. A partir de los datos experimentales, se determinó los valores de las pendientes en el origen, $-(dh/dt)$, que coinciden con las velocidades de sedimentación (v) y la teoría de sedimentación según [Kynch \(1952\)](#), que considera que la velocidad de sedimentación (v), solamente depende de la concentración. Cada ensayo de sedimentación (que corresponde con cada experimento), se realizó con 10 probetas aforadas de vidrio de 250

mL de capacidad, que disponen de escala graduada de altura. El tiempo se midió con cronómetro digital: Marca Oregón Scientific, Modelo SL210, de cero a 24 h, precisión 0,01 s. Se iluminó la probeta por la parte posterior con un flexo, para observar mejor el avance de la interfase.

Se introdujo en las probetas aforadas el producto, hasta altura (h_0), se agitaron y se depositaron las probetas sobre superficie horizontal (Figura 1), momento en que se pone en marcha el cronómetro digital. Se tomaron medidas de la altura de interfase descendientes a intervalos de 10, 20, 30 min durante las primeras 5 h y cada 1, 2, 3, 4, 6, 12 y 24 h a partir de la quinta hora, hasta concluir el estudio. Se recoge el comportamiento de la altura de las interfaces en las probetas (P) en cada intervalo de tiempo y los parámetros iniciales y finales (h_0 , h_i) en el tiempo para cada probeta, que determina la velocidad de sedimentación para cada ensayo.

Análisis estadístico - matemático

Para describir la relación entre la sedimentación del AEC y el tiempo fueron probados los modelos de regresión lineal simple de primer y segundo orden de acuerdo a lo sugerido por el gráfico de dispersión entre dichas variables (Figura 2). La selección del modelo de mejor ajuste fue basada en los criterios de bondad de ajuste aportados por Guerra *et al.* (2003), los cuales fueron: coeficiente de determinación R^2 y R^2 ajustado por los grados de libertad, significación de los parámetros y del modelo y el cuadrado medio residual (CME). El análisis fue

hecho con el software STATGRAPHICS Centurion XVI (Statgraphics Centurion, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1: Resultados de la velocidad de sedimentación de la crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada

En el ensayo de sedimentación, se obtiene la altura de las interfaces en el tiempo y la velocidad de sedimentación. Se observó que a partir de los 360 min (6 h) comenzó a separarse el producto en dos fases y a los 540 min (9 h) existe una concentración de las partículas en el fondo de las probetas. Las partículas en suspensión, desarrollaron una velocidad de sedimentación de $2,76 \text{ E}^{-7} \text{ m/s}$. Se observa (Figura 3) el comportamiento de cada probeta (P1, P2,..., P10), que según los resultados, la crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada tiene que ser recirculada cada 12 h para ser utilizada en el proceso agroindustrial.

Experimento 2: Resultados de la velocidad de sedimentación de la vinaza concentrada

En el ensayo de la sedimentación, se obtiene la altura de las interfaces en el tiempo y la velocidad a que sedimenta. Se observó que a partir de los 240 min (4 h) comenzó a separarse el producto en dos fases y a los 300 min (5 h) existió una mayor concentración de las partículas en el fondo de las probetas. En la vinaza concentrada las partículas en suspensión sedimentaron a $1,58 \text{ E}^{-6} \text{ m/s}$.

Se observa (Figura 4) como se comportó la vinaza concentrada para cada probeta y según los resultados la vinaza concentrada, tiene que ser

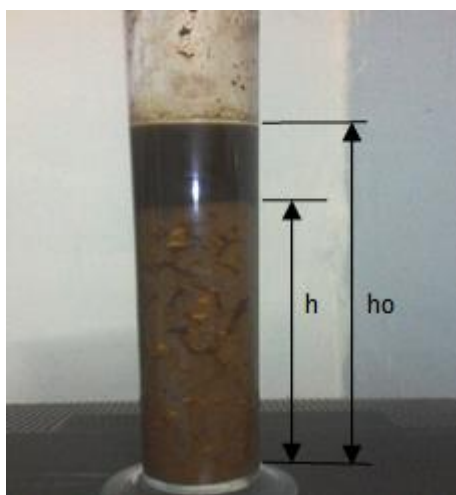


FIGURA 1. Probeta del ensayo de sedimentación.

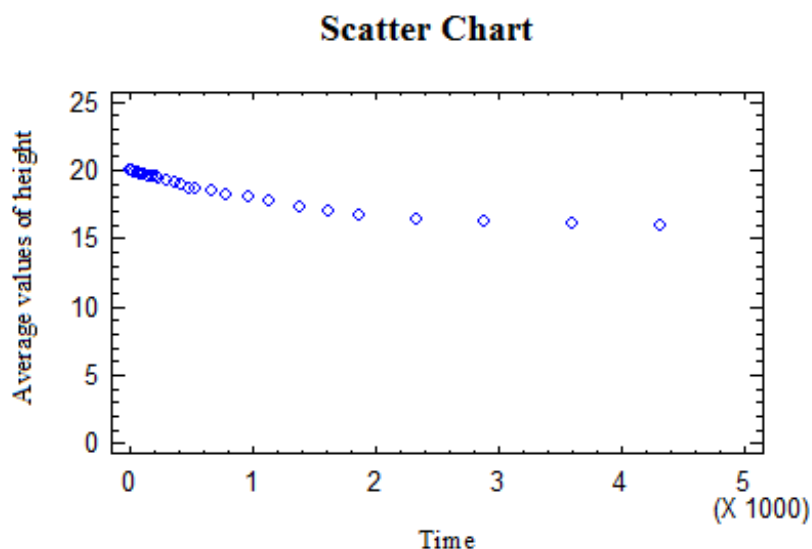


FIGURA 2. Gráfico de dispersión para la sedimentación del AEC.

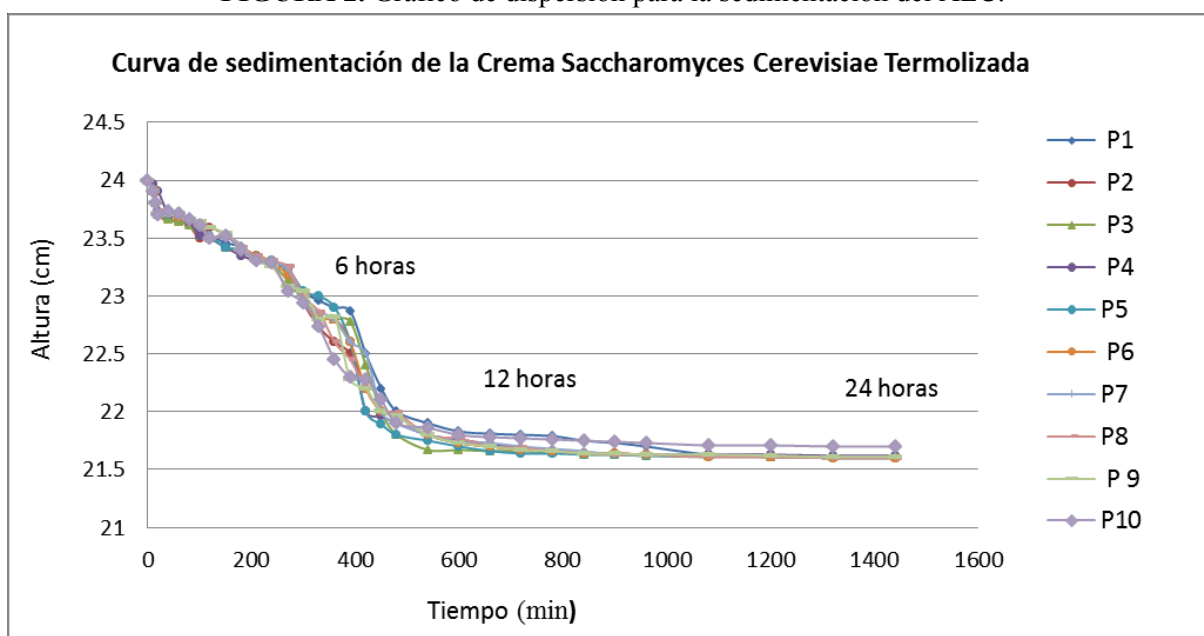


FIGURA 3. Curva de sedimentación de la crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada.

recirculada cada 4 h, para ser utilizada en el proceso agroindustrial.

Experimento 3: Resultados de la velocidad de sedimentación del AEC

En el ensayo de la sedimentación del AEC se obtiene la altura de las interfaces en el tiempo y la velocidad a que el AEC sedimenta. Se observó que a partir de las 58 h comenzó a separarse el producto en fases. Las partículas de boniato quedaron en la superficie de las probetas, que al absorber los líquidos de la mezcla el peso de ellas se incrementó, al tener los líquidos mayor

densidad que el boniato. Al descender lentamente ($1,55 \text{ E}^{-7} \text{ m/s}$) las partículas de boniato, no es hasta el tercer día que comenzaron a compactarse.

Se observa (Figura 5) el comportamiento del AEC para cada una de las probetas y se considera que tiene que ser recirculado, para evitar la compactación en los silos, acción que mejora el proceso agroindustrial.

Se demostró que los productos en estudios deben ser recirculados, desarrollando la vinaza concentrada ($1,58 \text{ E}^{-6} \text{ m/s}$) mayor velocidad de sedimentación con respecto a la crema de

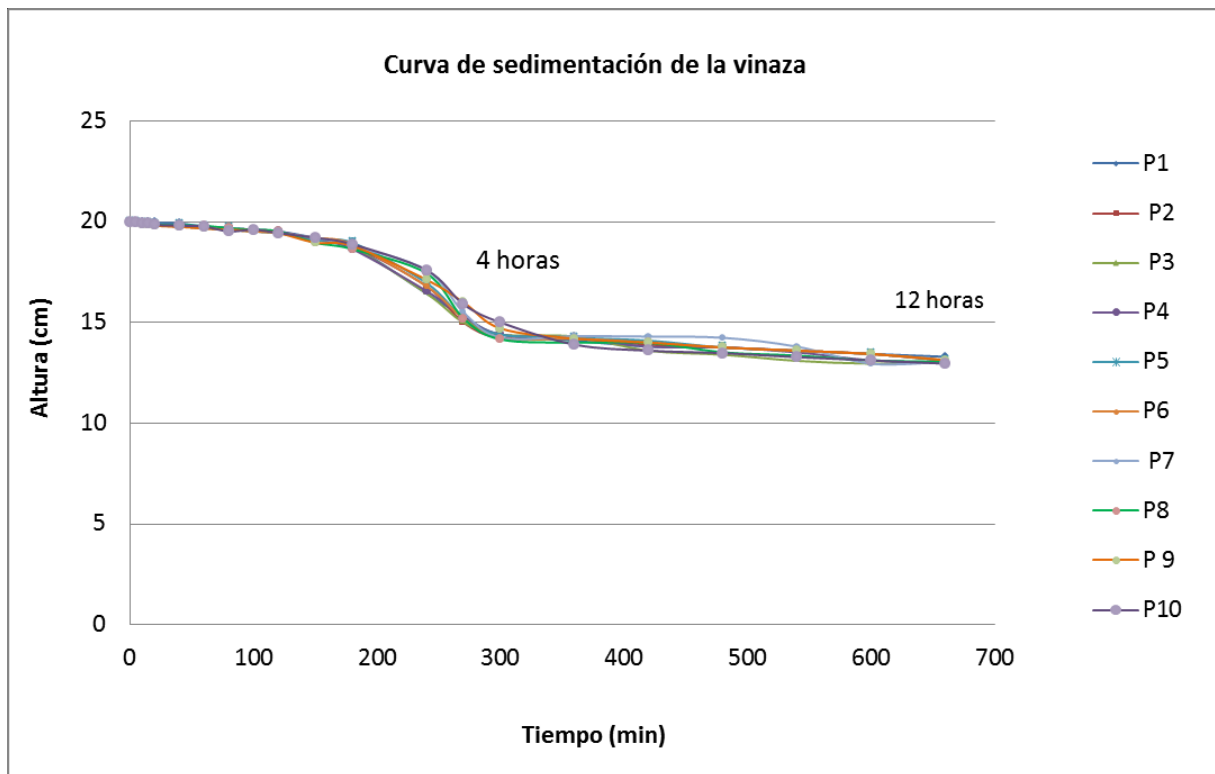


FIGURA 4. Curva de sedimentación de la vinaza concentrada.

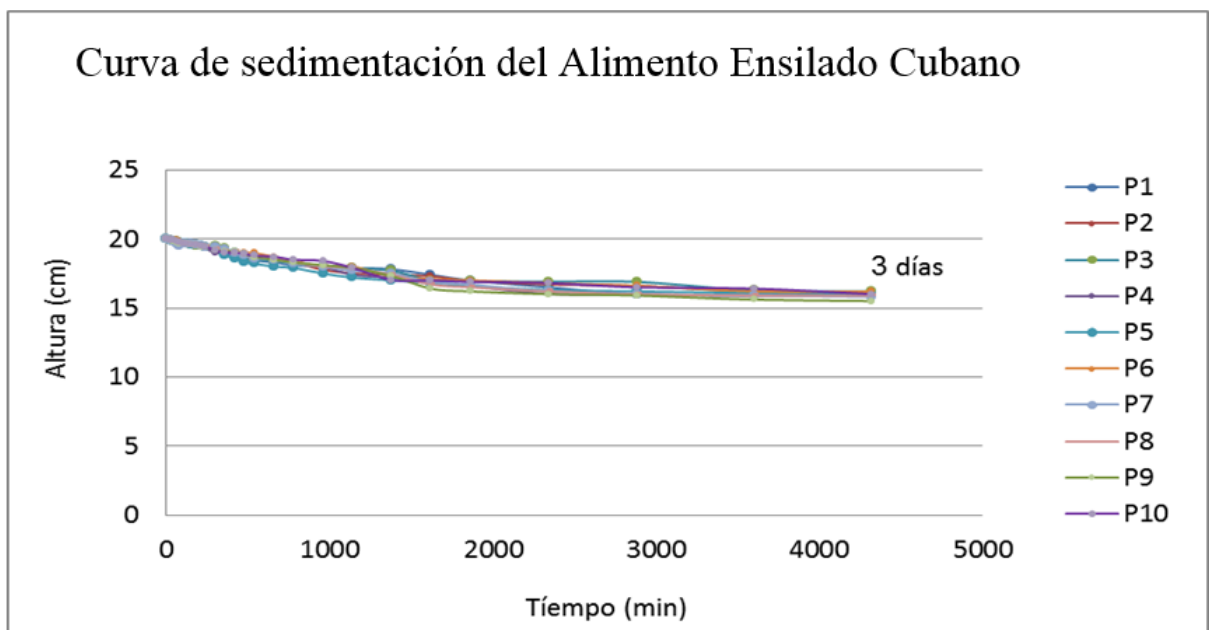


FIGURA 5. Curva de sedimentación del Alimento Ensilado Cubano.

levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada ($2,76 \text{ E}^{-07} \text{ m/s}$) y al AE ($1,55 \text{ E}^{-07} \text{ m/s}$).

La [tabla 1](#) muestra los resultados obtenidos para los criterios de bondad de ajuste de los modelos ajustados. Se observa que los dos modelos son estadísticamente significativos al igual que sus correspondientes parámetros a un nivel de significación de 0.05, dado por los correspondientes valores de p. Los valores

ajustados de R^2 para el lineal de primer y segundo orden fueron 87,65% y 99,5% respectivamente, siendo mayor en el modelo cuadrático. En sentido contrario el valor del CME disminuyó del modelo lineal de primer orden al modelo cuadrático. Las [Figuras 6 y 7](#) muestran las gráficas para los modelos lineal y cuadrático ajustados respectivamente.

TABLA 1. Resultados de los ajustes de los modelos de regresión lineal simple para la sedimentación del AEC

Aspectos/Modelo	Lineal de primer orden	Lineal de segundo orden
Expresión	$y=b_0+b_1x$	$y=b_0+b_1x+b_2x^2$
Estimadores de $\beta(b)$	$b_0=19,4979$	$b_0=19,8998$
	$b_1=-0,00108652$	$b_1=-0,00228441$
		$b_2=3,27324E-7$
Significación de los parámetros	b_0 0,0000	b_0 0,0000
	b_1 0,0000	b_1 0,0000
		b_2 0,0000
Significación del modelo	0,0000	0,0000
R^2 (%)	88,13	99,53
R^2 ajustado (%)	87,65	99,5
CME	0,222041	0,00901737

Graph of the adjusted linear model

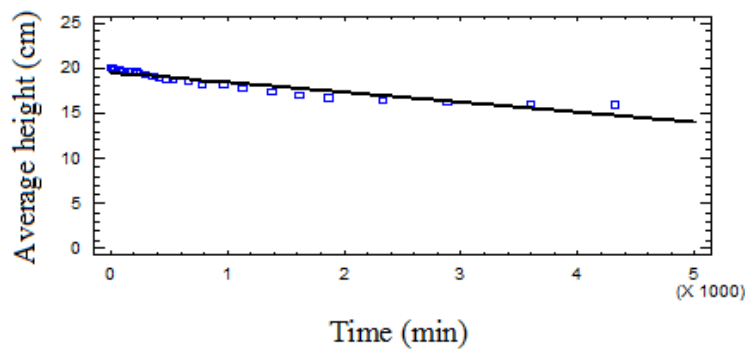


FIGURA 6. Modelo lineal ajustado.

Graph of adjustment for the quadratic model

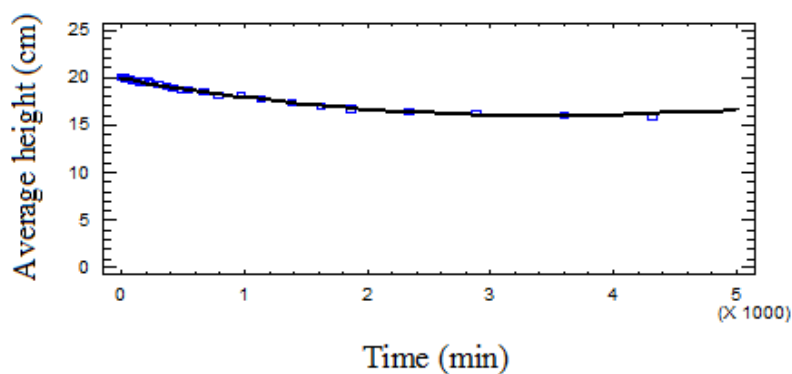


FIGURA 7. Modelo cuadrático ajustado.

Con respecto al cumplimiento de los supuestos de los errores experimentales para los dos modelos ajustados (normalidad, incorrelación y homocedasticidad), se estandarizaron los residuos para identificarlos con la distribución normal con

media 0 y varianza 1, con lo cual se incluye el cumplimiento del supuesto de varianza homogénea, al ser esta 1. La [tabla 2](#) muestra el cumplimiento de estos supuestos donde se

TABLA 2. Cumplimiento de los supuestos de los errores en los modelos ajustados

Modelo	Normalidad	Incorrelación	Homocedasticidad
Lineal de primer orden	Se cumple	No se cumple	Se cumple
Lineal de segundo orden	Se cumple	No se cumple	Se cumple

observa que los dos modelos ajustados tienen el mismo comportamiento al respecto.

De acuerdo a los criterios expuestos, el modelo que mejor describe la sedimentación del AEC es el modelo de segundo orden de expresión:

$$y = 19.8998 - 0.00228441x + 0.000000327324x^2$$

Basado en el criterio de la primera derivada para la expresión del modelo cuadrático se estima que el valor mínimo de la sedimentación del AEC sea de 15,91 cm a los 3490 minutos (58 h) aproximadamente.

CONCLUSIONES

- La bomba centrífuga debe recircular la crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* termolizada y la vinaza concentrada cada 12 h y 4 h respectivamente, para que puedan ser utilizadas con una composición química estable en el proceso agroindustrial.
- La bomba centrífuga debe recircular cada 58 h el AEC, para evitar la compactación en los silos, acción que mejora el proceso de despacho y la entrega de un producto homogéneo.
- Mantener la estabilidad de las materias primas y cumplir con el proceso tecnológico propuesto a escala industrial para producir AEC, nos permite obtener un comportamiento similar a lo estudiado y en correspondencia con el modelo cuadrático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHERKASSKI, V.: Bombas, ventiladores, compresores, [en línea], Ed. Mir Publishers, Moscú, URSS, 1986, Disponible en: Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scieloOrg/php/reflinks.php?>, [Consulta: 3 de noviembre de 2018].

COE, H.: Methods for determining the capacities of slime settling tanks, Ed. Transactions American Institute of Mining Engineering, vol. 55, Transactions American Institute of Mining Engineering, USA, 1916.

FERNÁNDEZ, P.: “Bombas centrífugas y volumétricas”, monografía), Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, Cantabria, España. Extraído de: Extraído de: http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumentricas.pdf en julio, 2000, 2017.

GUERRA, C.W.; CABRERA, A.; FERNÁNDEZ, L.: “Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica”, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 37(1): 3-10, 2003, ISSN: 0034-7485.

KYNCH, G.J.: “A theory of sedimentation”, Transactions of the Faraday society, 48: 166-176, 1952.

LEZCANO, P.; MARTÍNEZ, M.; VÁZQUEZ, A.; PÉREZ, O.: “Main methods of processing and preserving alternative feeds in tropical areas. Cuban experience”, Cuban Journal of Agricultural Science, 51(1), 2017, ISSN: 2079-3480.

LEZCANO, P.; VÁZQUEZ, A.; RODRÍGUEZ, A.; RODRÍGUEZ, Y.; BOUCOURT, R.; SOSA, D.; FRAGA, Y.; PÉREZ, O.: “Procedimiento de obtención de un alimento ensilado para la producción animal, no. 2013-0122”, Resolución, 4155: 2016, 2016.

MORENO-TAMAYO, I.D.; CAUSA-MARTILIANO, E.; ROSA-ANDINO, A.A. de la; AGUILERA-CORRALES, Y.: “Parámetros de bomba centrífuga de doble succión para la industria azucarera”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 27(2): 1-11, 2018, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.

PÉREZ-BARRETO, R.: “Procedimiento para evaluar y seleccionar bombas centrífugas”, Minería & Geología, 20(1-2): 84-88, 2004, ISSN: 1993-8012.

RAMOS, N.: “Bombas, ventiladores y compresores”, Editora ISPJAE, La Habana, 1994.

- REYES-CRUZ, J.L.; IZQUIERDO-PUPO, R.:
“Diagnóstico de instalaciones de transporte de hidromezcla afectadas por cavitación”,
Minería & Geología, 23(3): 15, 2007, ISSN: 1993-8012.
- SMITH, J.C.; HARRIOT, P.: “Operaciones unitarias en ingeniería química”, McGraw-hill book Co. Ejemplares en Biblioteca, 26, 2002.
- STATGRAPHICS CENTURION, X.: “Version 16.1. 17”, Statpoint Technologies, Inc, 2012.

Arellys Vázquez-Peña, investigadora, Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: avazpe2015@gmail.com

Verena Torres-Cárdenas, e-mail: avazpe2015@gmail.com

Fermín Raúl Cobo-Cuñá, e-mail: avazpe2015@gmail.com

Antihus Hernández Gómez, e-mail: antihus@unah.edu.cu

Alejandro Ruiz-González, e-mail: avazpe2015@gmail.com

Caridad Walkiria Guerra-Bustillo, e-mail: luzmi@infomed.sld.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.