

# Recuperación de los fondajes de la fermentación alcohólica para su uso como alimento animal

Dayanis Rodríguez-Páez<sup>1</sup>, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas<sup>1</sup>, Osney Pérez-Ones<sup>1\*</sup> y Yileni Martínez-Guía<sup>2</sup>

1. Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae. Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. \*osney@quimica.cujae.edu.cu
2. Ronera Santa Cruz, Santa Cruz del Norte, Mayabeque, Cuba.

## RESUMEN

Se realizó la caracterización química y física de los fondajes de la fermentación de una destilería y se determinaron parámetros que demuestran su alto contenido proteico para ser utilizados como suplementos en la alimentación animal. Se propusieron cuatro alternativas para la recuperación de levadura de estos fondajes: sedimentación, centrifugación, filtración y termólisis. Se realizó el diseño preliminar para cada una de estas alternativas, también su valoración económica y resultó factible la inversión, pues se obtiene VAN positivo en las cuatro y se recupera dicha inversión en un período inferior a los cinco años. La alternativa basada en la sedimentación resultó ser mejor económicamente, con un costo total de inversión de 341 400 CUP, VAN de 580 638 CUP, TIR igual a 57 %, la inversión se recupera aproximadamente a los 3 años y RVAN de 1.07 CUP/CUP, el mayor de todos, por lo que debe ser la primera en implementarse.

**Palabras clave:** fermentación, fondajes, recuperación, levadura, alimento animal.

## ABSTRACT

The chemical and physical characterization of the fermentation wastes of a distillery were done, showing its high protein content able to be used as supplements in animal feed. Four alternatives were proposed for the recovery of yeast from these wastes sedimentation, centrifugation, filtration and thermolysis. Each of these alternatives was designed, and its economic evaluation was carried out, making the investment feasible, since positive NPV is obtained, investment is recovered in less than five years. The alternative based in sedimentation turned out to be the most economically feasible, with a total investment cost of 341 400 CUP, NPV of 580 638 CUP, IRR equal to 57 %, investment recovers around 3 years and RVAN of 1.07 CUP/CUP, the largest of all, so it must be the first to be implemented.

**Key words:** fermentation, bottom, recuperation, yeast, animal feeding.

## INTRODUCCIÓN

Una de las fermentaciones industriales más importantes y mejor conocidas es la que da lugar al alcohol etílico, al actuar levaduras sobre los azúcares. Durante la fermentación alcohólica los azúcares presentes en el medio a fermentar, se transforman en etanol y dióxido de carbono principalmente, por la levadura unicelular *Saccharomyces cerevisiae* (1), la especie más utilizada en la industria productora de bebidas alcohólicas (2).

Simultáneamente a la degradación de los azúcares ocurre un aumento en la población de los microorganismos participantes, que se separan como subproducto, una vez finalizada la fermentación y constituyen una fuente proteica no convencional que se ha empleado como una alternativa alimentaria (3).

A lo largo del proceso de fermentación, la levadura se desarrolla grandemente y se transforma en un producto muy valioso, tanto al ser recuperada para su empleo como alimento animal (4) como para recircularla al proceso y reiniciar la fermentación. Decisivos en la composición de la levadura recuperable, son el tipo y la calidad de las mieles finales de caña, utilizados como sustrato en el proceso (5); las condiciones específicas de producción y el régimen de operación desarrollado en cada fábrica de alcohol (6).

Actualmente, la recuperación de levadura en Cuba se aprovecha, en lo fundamental, como fuente proteica para la elaboración de dietas para animales. Se plantea, desde hace años, que debido a la importancia nutritiva de este producto, se requeriría de la implementación de tecnologías para modificar la composición de la levadura y poder ampliar su perfil de uso (7, 8). Entre esas tecnologías consideradas se encuentran: sedimentación, filtración, centrifugación y termólisis.

Conforme a esta afirmación, en este trabajo se analiza la posibilidad de evaluar tecnologías de recuperación de la levadura en una destilería cubana, en la que, al vaciar los fermentadores, queda un volumen de residuos o fondajes de unos 3000 litros aproximadamente, formado por los componentes de la melaza, las sales nutrientes adicionadas y la levadura que precipitó. Estos residuos salen por el fondo de los recipientes, al efectuarse la limpieza con agua del proceso, pasan a la zanja de recolección y, de esta, al sistema de evacuación de residuales y constituyen un contaminante de alta agresividad para el medioambiente (8, 9). Lo anterior crea un problema para la industria pues no se recupera la levadura para su posterior uso en la producción de etanol o para utilizarla como suplemento alimenticio en animales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la caracterización físico-química de tres muestras de los fondajes de fermentación en el laboratorio del Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO) de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. En la tabla 1 se presentan las propiedades evaluadas y los métodos utilizados.

**Tabla 1.** Determinaciones analíticas realizadas y métodos empleados

Parámetros	Unidad de medida	Método empleado
pH	-	Método electrométrico (10)
Temperatura	°C	Termómetro
Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	Método potenciométrico (10)
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	Método acelerado autoclaveando muestras bajo presión con dicromato (10)
Sólidos totales	mg/L	Determinación de sólidos totales (10)
Sólidos suspendidos fijos	mg/L	Determinación de sólidos suspendidos fijos (10)
Grasas y aceites	mg/L	Determinación de grasas y aceites (10)
Nitrógeno total	mg/L	Determinación de nitrógeno (10)
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	Función del Brix y la T en tabla 2.3 de (11)
Viscosidad (μ)	mPas	(12) (T: K; CE:S/m)

Se evaluaron cuatro alternativas de recuperación de la levadura presente en los fondajes de fermentación:

Alternativa 1: Sedimentación

Alternativa 2: Filtración

Alternativa 3: Centrifugación

Alternativa 4: Termólisis

En cada una de ellas se realizaron los balances de masa (total y de sólidos) y de energía correspondientes y el dimensionamiento de los equipos principales requeridos. Las premisas para la operación fueron: se trabaja en una destilería que consta de 13 fermentadores cerrados, de acero inoxidable, donde se lleva a cabo la fermentación alcohólica para la producción de aguardiente, se destilan, como promedio, ocho fermentadores diariamente, y operan ocho horas al día, los 365 días al año. En cada fermentador se estima que, después del vaciado, queda un volumen de residuos o fondajes de unos 3000 litros aproximadamente. Se consideró que los fondajes de los fermentadores se obtienen con 7.5 °Brix, y la crema de levadura se consideró que posee un 20 % de materia seca (13).

### Análisis económico

Para la evaluación económica se estableció el cálculo fundamentado en el método del flujo de caja, se consideró una tasa impositiva de 35 %, una tasa de interés del 12 %, un horizonte de planeación de cinco años y un tiempo de vida útil del equipamiento de 10 años.

Para conocer la factibilidad de las inversiones se emplearon indicadores económicos dinámicos: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR), el plazo de recuperación del capital (PRC), el plazo de recuperación del capital al descontado (PRCD), el retorno sobre la inversión (RSI) y la tasa de rendimiento actualizada (14).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los fondajes

En la tabla 2 se presenta el resultado de la caracterización de las tres muestras evaluadas, tomadas en diferentes momentos.

**Tabla 2.** Caracterización de los fondajes

Parámetros	Unidad de medida	Valor	Desviación estándar
pH	-	3.92	0.04
Temperatura	°C	31.7	0.65
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	6 033.33	1 980.21
DQO	mg/L	35 655.3	10 214.1
Sólidos totales	mg/L	14 696.7	2 540.7
Sólidos suspendidos fijos	mg/L	5 056.7	314
Grasas y aceites	mg/L	No se detecta	-
Nitrógeno total	mg/L	964.7	5.57
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	1 024.36	-
Viscosidad (µ)	Pas	0.0015	-

El pH de los fondajes de fermentación se encuentra en el intervalo entre 3 y 4, por lo que se constata que son de carácter ácido. Debe observarse que el valor está muy cercano al límite superior de 4.

Se aprecian altos valores de conductividad eléctrica, por lo que los fondajes tienen naturaleza iónica. Como el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, cuanto mayor sea la conductividad, mayor será la concentración de sólidos. La desviación estándar es elevada, lo que puede deberse a la procedencia diversa de las mieles y, por ende, a su composición variable.

Los fondajes presentan un valor elevado de DQO y, al ser esta una medida representativa de su contaminación y de su grado de toxicidad, es necesario reducir estos valores y aplicar diferentes tratamientos como la electrocoagulación, el ozono, tratamientos físico-químicos, ente otros. La desviación estándar es elevada.

En los resultados se aprecia que la concentración de grasas y aceites no puede detectarse. Las grasas y aceites presentes en los residuales absorben la radiación solar, que afecta la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto encarece los tratamientos de depuración y algunos aceites suelen ser tóxicos; por consiguiente, estos problemas no afectarán. Sin embargo, como el objetivo de la investigación es usar los fondajes como alimento animal, no presentar grasas y aceites puede resultar una carencia, pues son componentes clave en la alimentación, ya que contribuyen en la palatabilidad de la dieta; además, aportan energía y ácidos grasos esenciales, que ayudan a tener una piel saludable y permiten al cuerpo absorber muchas de las vitaminas que le son necesarias.

Las muestras tienen un contenido de nitrógeno de alrededor de un 15 % como proteína bruta, lo cual evidencia que estos residuales pueden ser utilizados en la alimentación animal.

## Dimensionamiento de los equipos principales requeridos en cada alternativa

### Alternativa 1: Sedimentación

Se realizó el balance de masa (total y de sólidos) para este proceso, que es el mismo para las restantes alternativas, pues operan con los mismos flujos. Los resultados del balance de masa se observan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados del balance de masa

Corrientes	Flujos (kg/día)
Fondajes	24 584.64
Crema de levadura	9 219.24
Líquido no sedimentado	15 365.40

**Tabla 4.** Resultados del dimensionamiento del sedimentador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Carga superficial	qs	(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	2.5
Carga superficial ajustada	qr	(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	1.67
Tiempo de retención	tr	(h)	3.5
Área superficial	As	(m <sup>2</sup> )	14.4
Diámetro del tanque	Ds	(m)	4.28
Volumen del tanque	Vs	(m <sup>3</sup> )	10.5
Profundidad efectiva	hc	(m)	0.73
Carga real	q	(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	0.21

En la tabla 4 se muestran los resultados del dimensionamiento de un sedimentador industrial para utilizar en esta alternativa. Como la carga superficial es mayor que la carga real el sedimentador dimensionado es adecuado.

### Alternativa 2: Filtración

Debido a las ventajas que presenta la filtración al vacío y a las características de este proceso de separación sólido-líquido, se propuso un filtro de vacío simple rotatorio horizontal, con ambos lados abiertos a la atmósfera y, por tanto, que opere como filtro de gravedad. Entre estas ventajas se encuentra que el equipo no tiene que soportar altas presiones y, por consiguiente, se puede fabricar en una gama amplia de materiales, lo que implica tener una economía en costos de fabricación. Para el dimensionamiento se siguió la metodología desarrollada por (15). En la tabla 5 se muestran los resultados del dimensionamiento del filtro seleccionado (16).

**Tabla 5.** Resultados del dimensionamiento del sedimentador

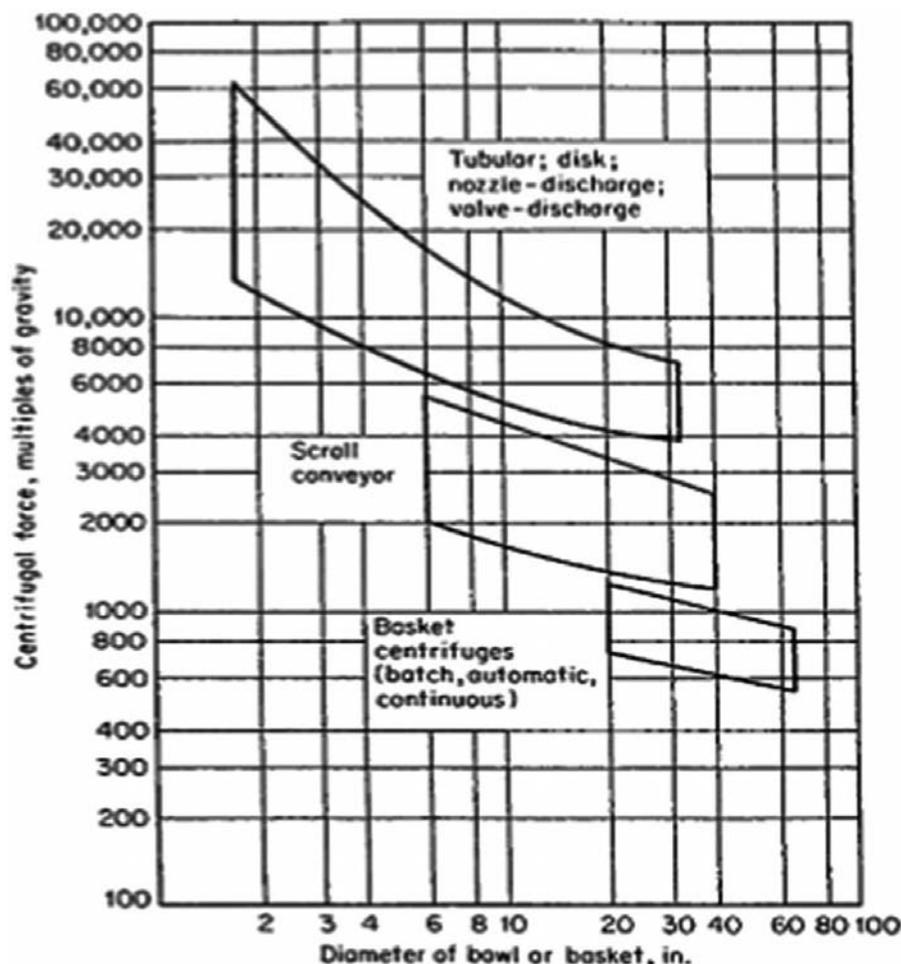
Parámetro	Unidad	Valor
Tipo de filtro		TSF 9.2/2.5
Diámetro del tambor	(m)	0.92
Ancho del tambor	(h)	0.25
Número de celdas	-	14
Longitud del filtro	(m)	2.05
Ancho del filtro	(m)	2.05
Altura del filtro	(m)	1.70
Consumo energético	(kW)	1.5

**Alternativa 3: Centrifugación**

Se seleccionó una centrífuga de sedimentación decantadora, ya que el decantador centrífugo es el adecuado para el manejo de una concentración de sólidos significativa en la suspensión de alimentación (17). Se supuso un diámetro de 0.6 m. Las principales ventajas de este tipo de centrífuga son la posibilidad de remover sólidos separados en zonas de separación específicas, de manera continua y aceptar grandes intervalos de concentraciones de alimentación al sistema, la disponibilidad para una gran variedad de capacidades del flujo de alimentación y que se pueden utilizar para un mayor intervalo de usos potenciales. Los resultados del dimensionamiento de la centrífuga se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** Resultados del dimensionamiento de la centrífuga decantadora

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Radio externo del decantador centrífugo	r2	(m)	0.1
Radio interno del decantador centrífugo	r1	(m)	0.065
Velocidad angular		(rad/s)	240.73
Velocidad de sedimentación	Vs	(m/s)	1.65*10 <sup>-4</sup>
Factor sigma	Σ	(m <sup>2</sup> )	4.64
Longitud del decantador centrífugo	L	(m)	2.15
Aceleración centrífuga	Gr	(m/s <sup>2</sup> )	5795.25
Relación entre Gr y aceleración de la gravedad	rGr	-	590.75



**Figura 1.** Variación de la fuerza centrífuga con el diámetro en los decantadores centrífugos. Tomado de (18).

Se comprobó, por la figura 1, que el valor obtenido de Gr (valor de la aceleración centrífuga) y el valor del diámetro están dentro de la región admisible para el decantador centrífugo de tipo tornillo (scroll) helicoidal.

La eficiencia, en este caso, resultó ser del 51 %. Es importante destacar que en todo proceso de separación por centrifugación se presenta un fenómeno en el cual las eficiencias aumentan cuando aumenta el peso del material a centrifugar o viceversa. Es por esto que cuando disminuye el peso del material, disminuye la eficiencia de separación, lo cual indica que el material no tiene la cantidad de sólidos recomendada para separar.

#### Alternativa 4: Termólisis

En esta alternativa el flujo de salida de crema recuperada es igual a la del fondaje a tratar, ya que el tratamiento se realiza en un intercambiador sin mezcla de fluidos. Se realizó el balance de energía en el intercambiador y se supo que el calor absorbido por los fondajes, es de 214 405 kJ/h. El diseño del intercambiador de calor se basó en el procedimiento reportado por (19) y (20). Se consideró como fluido calefactor vapor de agua a presión atmosférica con 5 °C de sobrecalentamiento. A partir de la ecuación de diseño se obtuvo un área de transferencia de calor de 228 m<sup>2</sup>.

Se calculó el número de tubos, con un resultado de 291. Se estandarizó para tubos 1 ¼" con arreglo triangular 1 9/16" y se obtuvo un diámetro interno de 0.8382 m y 297 tubos (19), por lo que se diseñó un intercambiador de calor de tubos y coraza con un pase por los tubos y 4 pases por la coraza.

Para almacenar la crema levadura, después que sale del intercambiador, se utiliza un tanque de almacenamiento de 5 m<sup>3</sup>, cuya máxima presión de trabajo es de 0.5 MPa, fabricado con acero inoxidable.

En las tres últimas alternativas se utiliza un equipo de bombeo para impulsar el fluido desde la salida del fermentador hasta cada uno de los equipos de separación. Los resultados obtenidos para la selección de la bomba se muestran en la tabla 7.

Se seleccionó la bomba en correspondencia con los requerimientos de carga y flujo (1.29 m y 3 m<sup>3</sup>/h respectivamente), fue conveniente seleccionar del catálogo una bomba centrífuga SIMPLEX-M de 3 400 rpm. En la tabla 8 se muestran las características técnicas de la bomba seleccionada (21).

#### Análisis económico

La tabla 9 muestra un resumen de los resultados económicos obtenidos para las propuestas tecnológicas de cada alternativa.

Se observa que las alternativas son económicamente factibles. En todos los casos la TIR presenta valores por encima de la tasa de interés y la inversión se recupera en un tiempo inferior a cinco años, así que demuestra liquidez. El criterio del RVAN establece el orden de prioridad de implementación, por lo que la mejor alternativa es la alternativa 1, puesto que es la que posee mayor valor de RVAN.

**Tabla 7.** Resultados para la selección de la bomba

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Diámetro interior de la tubería	Di estandarizado	(m)	0.035
Área	A	(m <sup>2</sup> )	9.6*10 <sup>-4</sup>
Velocidad del fluido	V	(m/s)	0.86
Suma de los coeficientes de resistencia hidráulica	∑K	-	2.42
Número de Reynolds	Re	-	20 683
Factor de fricción	f	-	0.035
Pérdidas friccionales en tuberías y accesorios	hp	(m)	0.29
Carga de la bomba	H	(m)	1.29

**Tabla 8.** Características técnicas de la bomba

Características	Valor
Caudal	De 1.5 a 6 m <sup>3</sup> /h
Potencia	0.37 - 4 kW
Tensión	220 - 380 V
Presión	Menor e igual a 2.1 MPa
Temperatura	De -20 a 120 °C

**Tabla 9.** Resultados económicos de las propuestas tecnológicas

No.	Costo de inversión (CUP/año)	Costo total de producción (CUP/año)	VAN (CUP)	TIR (%)	PRC (años)	RVAN (CUP/CUP)
1	341 400	812 970	580 638	57	2.06	1.70
2	401 624	827 893	494 249	46	2.68	1.23
3	445 295	840 428	427 814	40	3.25	0.96
4	544 904	827 363	367 882	33	4.20	0.67

## CONCLUSIONES

1. Se evaluaron las características físico-químicas de los fondajes de fermentación y, a partir de sus prometedoras características, se propusieron alternativas que permitieran su recuperación para ser usadas como suplemento alimenticio en la alimentación animal.
2. Se evaluaron las cuatro alternativas propuestas tanto técnica como económicamente y se comprobó que, aunque la que produce la mayor cantidad de crema de levadura es la termólisis, es muy costosa, por lo que desde el punto de vista económico la más factible es la sedimentación, pues tiene menor costo de inversión y es la primera en el orden de implementación.
3. El análisis económico de la alternativa 1 arrojó un costo de inversión de 341 400 CUP/año. Sus indicadores económicos son: VAN positivo, tasa interna de rendimiento de 57 %, plazo de recuperación del capital de 2.06 años, plazo de recuperación del capital al descontado de 3.53 años y un retorno sobre la inversión de 48.55 %. Estos valores indican la factibilidad de la inversión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vargas-Trinidad, A. S., Lerena, M. C., Alonso-del-Real, J., Esteve-Zarzoso, B., Mercado, L. A., Mas, A., et al. (2020). Effect of transient thermal shocks on alcoholic fermentation performance. *International Journal of Food Microbiology*, 312, 108362, January, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108362>
2. Walker, G. M., & Walker, R. S. K. Enhancing Yeast Alcoholic Fermentations. *Advances in Applied Microbiology* 105:87-129, 2018. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.05.003>.
3. Belén-Camacho, D. R., Cedeño, C., López, I., Moreno-Alvarez, M. J., García, D., & Medina, C. Características físicoquímicas y propiedades funcionales de la biomasa residual de la fermentación alcohólica de tamarindo chino. *Interciencia*, 36:682-688, 2011.
4. Cancino, S. Proceso Industrial\_U2clase 3. Retrieved from <http://es.scribd.com>. Fecha de consulta 30/08/2021.
5. Estévez, R. Manual Tecnológico Industria Alcohólica Cubana. Vol. 3: Alcoholes. La Habana. Cuba: ICIDCA, 2014. 21 p.
6. Suárez-Machín C, Garrido-Carralero N, Guevara-Rodríguez C. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1): 20-28, 2016.
7. Álvarez- equeira, X. Producción controlada de congéneres en la producción de aguardiente mediante manipulación genética de microorganismos *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40:35-43, 2006.
8. Rodríguez M, Milián G, Rondón, Ana J, Bocourt R, Sarduy L. and Beruvides A. Chemical and microbiological characterization of *Saccharomyces cerevisiae* creams, obtained from different Cuban Distilleries *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(6): 323-330, 2020.
9. López-Kramer, J. M., Jaímez-Salgado, E., Rocamora-Alvarez, E., Rosario, K. d., Díaz-Barrio, I., & Polo-González, B. Principales problemas ambientales que afectan al municipio Santa Cruz del Norte. Provincia Habana. Cuba. Cuarta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias 2011, Memorias en CD-Rom, La Habana, 4 al 8 de abril de 2011. ISBN 978-959-7117-30-8 Retrieved from [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011\\_Polo\\_Gonzalez\\_GEO6-P5.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011_Polo_Gonzalez_GEO6-P5.pdf).

10. APHA. Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation (23 ed). Washington DC, USA, 2017.
11. Vásquez, O., Orellana-Parra, M., & Hinojosa-Caballero, A. Desarrollo de modelos polinomiales para el cálculo de densidad de materiales azucareros en función del Brix y temperatura y su aplicación a sistemas informáticos. *Revista científica Ciencia y tecnología*, 17(6) 157-171, 2017.
12. Escudero-Lamela, L., Díaz, M., & Tur-Quintero, J. Nomograma para la determinación de viscosidad de jucos de caña. *Tecnología Química*, 19 (1):8-22, 1999.
13. Díaz, M., Saura, G., & Pérez, I. La producción de levadura *Candida utilis* (levadura Torula). Resultados de los institutos cubanos de investigación Desarrollo e innovación en las tecnologías sobre azúcar y derivados. La Habana, Cuba: Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca); 2019. p. 338-51.
14. Ramos-Corral, J. M., Martínez-González, G. M., Jiménez-Islas, H., Cervantes, J. D., Barrera, E., & Rosa-Cedillo, R. Modelamiento y diseño de un sedimentador de aguas residuales analizando el efecto de varios tamaños de partículas Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ, 1: 96-101, 2017
15. Escobar, E., Pava, B., Rossette, F., & Julio, L. Diseño del filtro de tambor rotatorio al vacío. <http://es.scribd.com>. 2015. Fecha de consulta 4-11-21.
16. TEFSA Filtros de vacío Técnicas de filtración S. A. España. [https://gruptefsa.com/filtros\\_de\\_vacio/](https://gruptefsa.com/filtros_de_vacio/) Fecha de consulta 12-11-21.
17. Sinnott, R. K. Chemical Engineering Desing. Vol 6, cuarta edición. Editorial Elsevier, 2005. 1055 p.
18. García-Pineda, V. Diseño de una planta de producción de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  mediante cristalización (Tesis de diploma). Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2021.
19. Kern, D. Q. Procesos de transferencia de calor (Trigésima primera reimpresión ed.). México: Compañía editorial continental, S.A. De C.V. México, 1999. 981 p.
20. Turton, R., Bailie, R., Whiting, W., & Shaelwitz, J. A. Analysis synthesis and design of chemical processes. 5th edition Pearson Education, 2018. 1549 p.
21. IMPPUMPS. Intelligent Motor Pumps. [https://imp-pumps.com/wp-content/uploads/2018/10 / Katalog-MULTISTAGE\\_SPA-min.pdf](https://imp-pumps.com/wp-content/uploads/2018/10/Katalog-MULTISTAGE_SPA-min.pdf). 2018. Fecha de consulta. 12-julio 2021.