

# Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto

M. C. Julián-Ricardo\*, J. G. Baltá-García, E. J. Pérez-Sánchez y A. Pérez-Sánchez

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Circunvalación Norte, km 5½, Camagüey 74650, Cuba

*Simulation of the process of production of beer to scale pilot*

*Simulació del procés de producció de cervesa a escala pilot*

RECEIVED: 25 APRIL 2017; REVISED: 20 JULY 2017; ACCEPTED: 21 JULY 2017

## SUMMARY

The present work was carried out in the Pilot Plant of the Camagüey University in the line of production of beer. In the same have been carried out diverse investigative works relating to this process, which have been characterized by the realization of experiments starting from the theoretical knowledge or results published in the consulted bibliography. In any case it has been used the simulation as way to approach to the solution of the problems, therefore, pose as general objective of the investigation: to simulate the process of obtaining of beer for the analysis of the influence of the main operation variables that make that the process is more efficient from the technical and economic and environmentally sustainable point of view. To give solution to this thematic, was created a computer tool developed in SuperPro Designer, where two technological variants were analyzed taking as reference the process of current production in the plant. The first variant intends to carry out the fermentation at the temperature of 8 °C and the second intend to increase the concentration of initial substrate in the reactor to 120 g/L. Is obtained the better results in the technological variant 1, with production of 5 846 L/year, cost of annual operation of 22 446 \$/year, unitary cost of 3,84 \$/L, and with favorable results of the environment analysis.

**Keywords:** Beer; pilot plant; simulation; SuperPro Designer.

## RESUMEN

El trabajo se realizó en la Planta piloto de Ingeniería de Procesos de la Universidad de Camagüey, en la línea de producción de cerveza. En esta planta se han realizado diversas investigaciones referentes a este proceso, caracterizadas por hacer experimentos sin el

empleo de la simulación como vía para aproximarse a la solución de los problemas. Se plantea como objetivo de la investigación: simular el proceso de producción de cerveza para el análisis de la influencia de las principales variables de operación, sobre la eficiencia técnica, económica y ambiental. Para la simulación se creó una herramienta informática desarrollada en *SuperPro Designer*. Se analizaron un caso base (proceso de fabricación actual en la planta) y dos variantes tecnológicas. La primera variante se centra en realizar la fermentación a la temperatura de 8 °C y la segunda en aumentar la concentración de sustrato inicial en el reactor hasta 120 g/L. Se obtuvieron los mejores resultados en la variante 1, con producción de 5 846 L/año, costo de operación anual de 22 446 \$/año, costo unitario de 3,84 \$/L y con resultados favorables del análisis ambiental.

**Palabras clave:** Cerveza; planta piloto; simulación; *SuperPro Designer*.

## RESUM

El treball es va realitzar a la Planta pilot d'Enginyeria de Processos de la Universitat de Camagüey, en la línia de producció de cervesa. En aquesta planta s'han realitzat diverses investigacions referents a aquest procés, caracteritzades per fer experiments sense l'ús de la simulació com a via per aproximar-se a la solució dels problemes. Es planteja com a objectiu de la investigació: simular el procés de producció de cervesa per a l'anàlisi de la influència de les principals variables d'operació, sobre l'eficiència tècnica, econòmica i ambiental. Per a la simulació es va crear una eina informàtica desenvolupada en *SuperPro Designer*. Es

\*Corresponding autor: maria.julian@reduc.edu.cu

van analitzar un cas base (procés de fabricació actual a la planta) i dues variants tecnològiques. La primera variant es centra en realitzar la fermentació a la temperatura de 8 °C i la segona en augmentar la concentració de substrat inicial al reactor fins a 120 g/L. Es van obtenir els millors resultats en la variant 1, amb producció de 5.846 L/any, cost d'operació anual de 22.446 \$ / any, cost unitari de 3,84 \$/L i amb resultats favorables de l'anàlisi ambiental.

**Paraules clau:** cervesa; planta pilot; simulació; *SuperPro Designer*.

## INTRODUCCIÓ

La cervesa es la bebida resultante de la fermentación alcohólica, mediante levadura seleccionada, de un mosto procedente de malta de cebada, solo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática (malta de otros cereales, granos crudos que contengan féculas, así como azúcares, siempre que estas sustancias añadidas no excedan del 50 % en masa de la materia prima empleada), al cual se agrega lúpulo y/o sus derivados y se somete a un proceso de cocción<sup>1</sup>.

El proceso de producción de cerveza en la planta piloto consta de dos etapas fundamentales, proceso en caliente y proceso en frío, en cada una de ellas se realizan las siguientes operaciones:

- **Proceso en caliente:** molienda de la cebada, maceración, extracción del mosto, hervidura del mosto y sedimentación.
- **Proceso en frío:** enfriamiento, inyección de la levadura y fermentación, maduración, enfriamiento y reposo de la cerveza y extracción de la levadura

En esta planta piloto se han realizado diversas investigaciones referentes a este proceso, caracterizadas por la realización de experimentos a partir de conocimientos teóricos o de resultados publicados. En ningún caso se ha empleado la simulación como vía para aproximarse a la solución de los problemas que se analizan a pesar de que se ahorrarían importantes recursos materiales, tiempo y esfuerzo por parte de los investigadores. Por lo que se definió como objetivo de este trabajo: simular el proceso de producción de cerveza para el análisis de la influencia de las principales variables de operación, sobre la eficiencia técnica, económica y ambiental.

La simulación se realizó con el programa *SuperPro Designer* desarrollado por Intelligent, Inc., debido a que es uno de los más completos y reconocidos paquetes de simulación y diseño de procesos, siendo un simulador muy versátil que puede satisfacer las necesidades de los ingenieros en gran variedad de industrias, tales como la Biotecnológica, Farmacéutica, Química, Alimenticia, Minería, Tratamiento de aguas residuales, Control ambiental, etc. Combina diferentes modelos de operaciones unitarias que permite al usuario de forma simultánea el diseño y evaluación de procesos. Posee una interfase desarrollada en ambien-

te Windows amigable con el usuario y los resultados pueden ser exportados a hojas de cálculo compatibles de Excel, Lotus, etc.<sup>2,3,4</sup>.

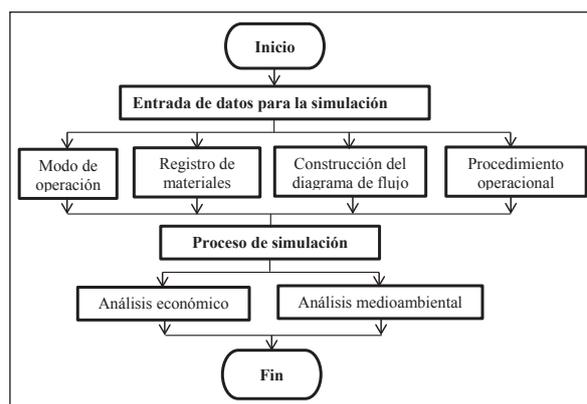
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Variantes tecnológicas

Se realizó la simulación de un caso base, tomando como referencia el proceso de fabricación actual en la planta, a partir de ahí se analizaron dos variantes tecnológicas. La primera variante se centra en realizar la fermentación a la temperatura de 8 °C y la segunda en aumentar la concentración de sustrato inicial en el fermentador hasta 120 g/L, valores seleccionados a partir de los estudios por simulación realizados por Carneiro y Almeida<sup>5</sup>.

### Metodología para realizar la simulación

La simulación del proceso con el programa *SuperPro Designer* V. 9.0 se realizó en dos etapas, la primera se denominó Entrada de datos para la simulación y la segunda Proceso de simulación. En la figura 1 se representan los pasos que se realizaron.



**Figura 1.** Pasos para realizar la simulación

A continuación se describen los pasos que incluye cada una de las etapas del proceso de simulación:

- Entrada de datos para la simulación

### Modo de operación

El programa brinda dos modos de operación: modo discontinuo y modo continuo. Se escoge el modo discontinuo por las características del proceso, con un tiempo de operación anual de 5 000 h (208 días). Sin embargo, el modo operativo y el tiempo de operación anual pueden ser cambiados en cualquier momento usando la opción "*Tasks/Set Mode of Operation*" del menú principal.

### Registro de materiales

Se registraron los componentes y mezclas (*Tasks/Register Components & Mixtures*), pueden ser seleccionados de la base de datos de componentes o pueden ser adicionados por el usuario. Están presentes como componentes puros predeterminados el nitrógeno, el oxígeno y el agua. Para los componentes o mezclas de nuevo ingreso deben introducirse las



especificó el tiempo que dedica el trabajador, tomando como referencia 1 h. A través de *Reports/Economic Evaluation (EER)* se elaboró un reporte donde se muestran los resultados.

### Análisis medioambiental

Se especificaron las corrientes residuales y las emisiones a la atmósfera mediante *Tasks/Stream Classification*. Luego, por medio de *Reports/Environmental Impact (EIR)* y *Reports/Emissions (EMS)* se elaboraron reportes ambientales, que dan una evaluación cualitativa y cuantitativa de cada corriente.

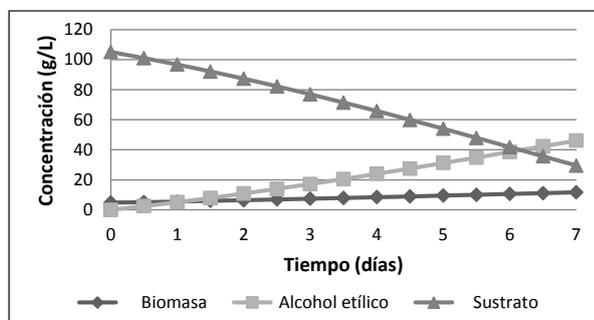
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diagrama de flujo

Los equipos requeridos son: Molino, Tacho 1, Clarificador, Bomba 1, Tacho 2, Bomba 2, Sedimentador, Fermentador 1 y Fermentador 2. En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo del proceso.

### Resultados de la simulación

En el caso base, se utilizan como principales materias primas: 32 kg de cebada, 13.5 L de agua azucarada a una concentración de 1 200 g/L y 1 L de *Saccharomyces uvarum U-57* inoculada. Se realiza la fermentación durante 7 días, a 15 °C y la maduración durante 2.5 días, a 18 °C. La concentración inicial de sustrato es de 105 g/L y la de biomasa es de 4.8 g/L. La variación de las concentraciones en el proceso fermentativo se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Variación de las concentraciones en el tiempo de fermentación (caso base)

Se observa que, después de 7 días de fermentación, la concentración de sustrato en el fermentador es de 29.5 g/L, la de biomasa es de 11.7 g/L y la de alcohol etílico es de 46 g/L. En este proceso se puede obtener un total 4 224 L de cerveza/año, en 201 L/lote, con una duración de 235 h/lote y un total de 21 lotes al año. Los valores de composición final de la cerveza en cuanto al contenido de alcohol es de 4.6 % en volumen y de 91 % de agua, estos se encuentran dentro de la norma establecida para cervezas clásicas de baja fermentación<sup>8</sup>.

Del reporte económico se obtuvo un costo de operación anual de 21 589 \$/año y un costo de producción unitario de 5.11 \$/L de cerveza. La partida que más influye es el salario a los trabajadores, representando

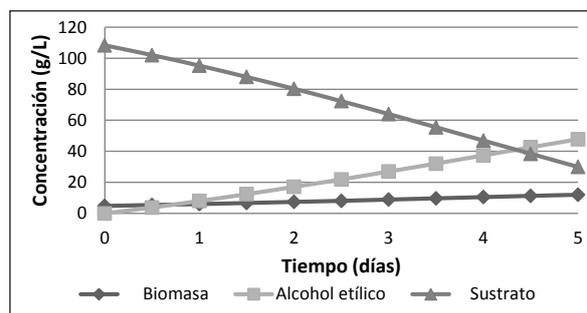
un 87.6 %, luego es la compra de materias primas, representando un 5.24 %.

Esta planta genera como residual sólido el afrecho (compuesto por almidón, cenizas, cáscaras, grasas, proteínas, sustrato y agua); como residuales líquidos la biomasa (levadura extraída del proceso fermentativo) y aguas residuales provenientes del lavado de los equipos y residuales gaseosos debido a la actividad microbiana de la fermentación. Las aguas de lavado pasan por un sistema de alcantarillado hasta la laguna de oxidación facultativa de la Universidad donde reciben su tratamiento. El afrecho y la levadura son productos de gran valor nutritivo los cuales son destinados a la alimentación animal y el CO<sub>2</sub> se recuperará para emplearse en la elaboración de bebidas carbonatadas y para otras investigaciones que emplean fluidos supercríticos. Después de realizar el reporte medioambiental, se obtiene anualmente un total de 230 kg de afrecho, 149 kg de biomasa y 113 kg de CO<sub>2</sub>.

### Variante 1

Se realiza la fermentación a la temperatura de 8 °C, buscando un acercamiento a la temperatura óptima para el crecimiento de la levadura *Saccharomyces uvarum U-57*. Se utilizan las mismas materias primas y en iguales cantidades que en el caso base. La variación de las concentraciones en el tiempo se muestra en la figura 4.

Se observa que, después de un período de 5 días de fermentación la concentración de sustrato es de 29.9 g/L, la de biomasa es de 12 g/L y la de alcohol etílico es de 46 g/L. Esta variante demuestra que, al usar esta temperatura de fermentación se obtiene la concentración de alcohol deseada en menor tiempo de fermentación. En este proceso se produce un total de 5 846 L de cerveza/año, en una cantidad de 201 L/lote, con una duración de 175 h/lote y un total de 29 lotes al año. Los valores de composición final de la cerveza muestran un contenido de alcohol de 4.6 % en volumen y un 91 % de agua.



**Figura 4.** Variación de las concentraciones en el tiempo de fermentación (variante 1)

Del reporte económico se obtuvo que este proceso tiene un costo de operación anual de 22 446 \$/año y un costo de producción unitario menor que el caso base, siendo de 3.84 \$/L. La partida que más influye es el salario, representando un 85.99 % del monto total. La compra de materias primas es superior al caso base, representando un 6.96 %, esto se debe al aumento de la producción anual.

Después de realizar un reporte medioambiental no existen residuales que ocasionen un impacto negativo alto al medio ambiente, ya que el valor del afrecho excede en 87 kg al caso base, la biomasa en 45 kg y el CO<sub>2</sub> producido en 44 kg.

### Variante 2

Se aumenta la concentración inicial de sustrato en el fermentador, de 105 g/L a 120 g/L, con el empleo de 38.78 kg de cebada y 6.7 L de suero cervecero como adjunto. Se realiza la fermentación a una temperatura de 15 °C. La variación de las concentraciones en el proceso fermentativo se muestra en la figura 5. Se demuestra que, en un período de 5.3 días de fermentación la concentración de sustrato es de 31 g/L, la de biomasa es de 11.7 g/L y la de alcohol etílico es de 46 g/L. Esta variante tecnológica permite obtener esta concentración de alcohol en menor tiempo en comparación con el caso base, pero en mayor tiempo en comparación con la variante 1. El proceso obtiene un total de 5 190 L de cerveza/año, produciéndose una cantidad de 200 L/lote, con una duración de 195 h/lote y un total de 26 lotes/año. Los valores de composición final de la cerveza muestran un contenido de alcohol de 4.6 % en volumen y un 91 % de agua.

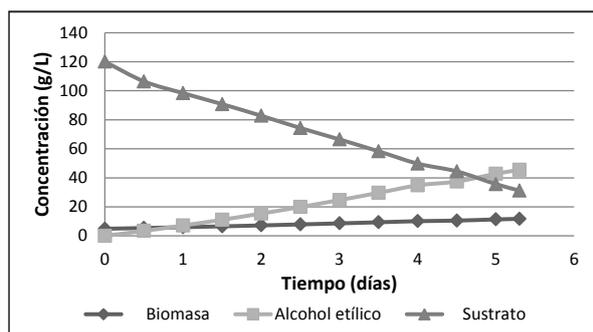


Figura 5. Variación de las concentraciones en el tiempo de fermentación (variante 2)

Del reporte económico se obtuvo que este proceso tiene un costo de operación de 22 849 \$/año y un costo de producción unitario de 4.40 \$/L, siendo menor que el caso base, pero mayor que la variante 1. En esta variante también la partida que más influye es el salario, representando un 84.31 % del monto total. La compra de materias primas es superior al caso base, representando un 7.83 %, esto se debe al aumento de la concentración inicial de sustrato y por tanto la compra de materias primas.

Después de realizar un reporte medioambiental no existen residuales que ocasionen un impacto negativo alto al medio ambiente, ya que el valor del afrecho excede en 94 kg al caso base, la biomasa en 7 kg y el CO<sub>2</sub> producido en 22 kg solamente.

### Comparación de las variantes tecnológicas

Se analizó el comportamiento del tiempo de fermentación para alcanzar el por ciento de alcohol requerido en la cerveza fabricada. Como se muestra en la figura 6, la variante 1 alcanza esta concentración en menor tiempo que los demás casos. Esto se debe a que

la fermentación se realiza a la temperatura próxima a la óptima de crecimiento de la levadura, incrementándose de esta manera la velocidad de obtención de alcohol, así como de cerveza.

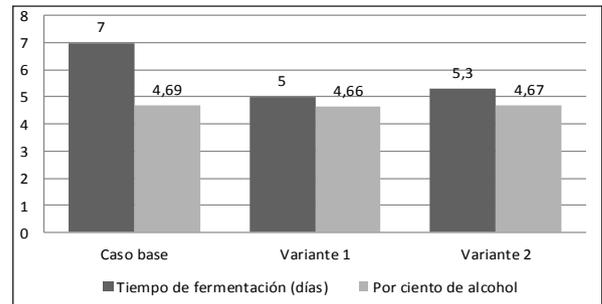


Figura 6. Análisis técnico de las variantes

En el análisis económico se incluyó la comparación de la producción anual obtenida y el costo unitario alcanzado en cada uno de los casos. La figura 7 muestra los resultados, siendo la variante 1 la de mayor producción anual y la de menor costo unitario, alcanzando los 3.84 \$/L. Esto es debido a que, como el proceso de fabricación tiene una menor duración respecto a los demás, se obtiene una mayor producción anual de cerveza, y la compra de materias primas es prácticamente insignificante respecto a la cantidad de productos alcanzados.

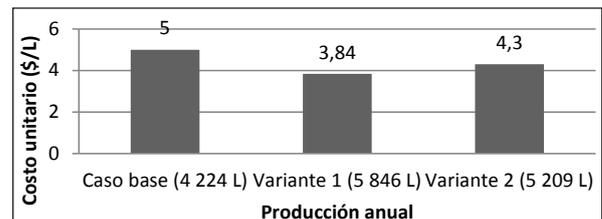


Figura 7. Análisis económico de las variantes

En la figura 8 se muestra el costo de operación neto y los litros de cerveza producidos al año, pudiéndose observar que la variante 1, excede en 857 \$ a la del caso base, pero su producción sobrepasa en 1 622 L/año.

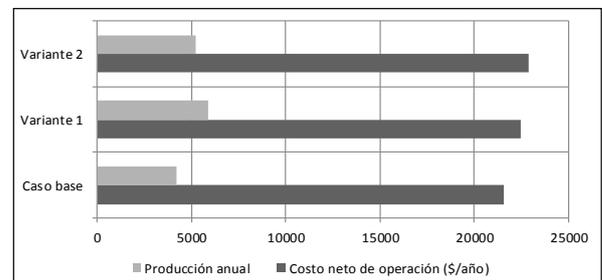
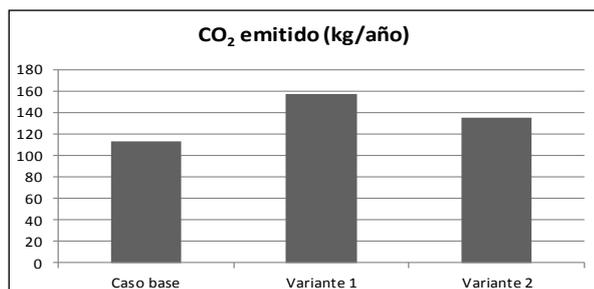


Figura 8. Análisis de las producciones anuales

Después de identificar los principales residuales generados en el proceso, se observa que el CO<sub>2</sub> es el residual que más debe controlarse, a pesar de ser producido en pocas cantidades al año y se cuenta en la planta piloto con un sistema para su recuperación. En la figura 9 se muestra la cantidad de CO<sub>2</sub> producido al año en cada una de las variantes, tanto para el caso base

como para las dos variantes analizadas representa solo 0,03 kg por unidad de producto terminado.



**Figura 9.** Dióxido de carbono emitido al año en cada variante

De acuerdo al análisis técnico, económico y ambiental realizado, la variante tecnológica 1 es la más factible, ya que se logra una mayor producción anual con la misma calidad final y con menor costo unitario, además de tener un impacto negativo bajo en el medio ambiente.

## CONCLUSIONES

La herramienta elaborada sobre *SuperPro Designer* permite el análisis del proceso de obtención de cerveza en la planta piloto mediante la simulación. Se seleccionó como mejor variante la 1, donde la temperatura de fermentación es de 8 °C y se alcanzan 4.6 grados alcohólicos en 5 días de fermentación. La variante 1 tiene un costo unitario de 3.84 \$/L, reduciéndose en un 23.2 % en comparación con el caso base. Del análisis ambiental se obtuvo que el afrecho y la levadura son productos de gran valor nutritivo los cuales son destinados a la alimentación animal y el CO<sub>2</sub> se recuperará para emplearse en la elaboración de bebidas carbonatadas y para otras investigaciones que emplean fluidos supercríticos.

## REFERENCIAS

1. Carneiro, D. D.; da Cruz Meleiro, L. A. Proposta de uma nova estratégia de controle para a fermentação cervejeira. *UEPG Exact Earth Sci., Agr. Sci. Eng.*, Ponta Grossa, 2011, 17, 17-28,
2. Garrido, N.; Navarro, H.; Díaz de los Ríos, M.; Pérez, I. Evaluación de alternativas de producción de levadura forrajera a partir de vinazas mediante simulación con SuperPro Designer. *ICIDCA*. 2010, 44, 2, 34-40.
3. Pérez, I. Diseño de una planta de levadura torula utilizando la herramienta de software *Superpro Designer*. *Revista Cubana de Química*. 2006, 18, 101-107.
4. Kwiatkowski, J. R. ; McAloon, A. J; Taylor, F; Johnston, D. B. Modeling the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process. *Ind. Crops. Prod.* 2006, 23, 288–296.
5. Ribas, M.G. Metodología para la modelación matemática del proceso de fermentación alcohólica. *ICIDCA*. 2012, 57, 104.
6. Almeida, A. Simulación del proceso fermentativo de la cerveza Tínima de 10° 70/30. Tesis de grado, Ingeniería Química. Universidad de Camagüey, Cuba, 2015.
7. Julián-Ricardo, M. C.; Ramos-Sánchez; L.B. Análisis del crecimiento de la levadura *Candida utilis* en un biorreactor tambor rotatorio continuo. *Afinidad*. 2015, 72, 291-296.
8. Oficina Nacional de Normalización. NC 144 Cervezas – Especificaciones. La Habana, Cuba, 2009.