

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO PARA EL ENRIQUECIMIENTO PROTEICO DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

Agustín García Rodríguez,* Nelsy Herrera Coello,
CAP, Facultad de Química y Farmacia Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas;
Alfredo Marín Cárdenas,
CIAP, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Recibido: Abril/2005

Aprobado: Julio/2005

Se presenta el procedimiento para el diseño de una planta de inóculo multipropósito para la propagación por vía sumergida del cultivo de microorganismos seleccionados para el proceso de enriquecimiento proteico de subproductos de la agro industria azucarera. La instalación tiene como propósito, a través de una tecnología sencilla y fácil de adaptar a condiciones mínimas de recursos, ideal para zonas de economía sostenible, producir el pie de cultivo del inóculo necesario para desarrollar la producción a escala industrial de estos subproductos enriquecidos proteicamente por vía fermentativa. En este caso se particulariza el diseño para una Planta de Crema de Biomasa proteica, pero, por sus características, la instalación diseñada reúne condiciones multipropósitos en la propagación de inóculos para procesos fermentativos por cultivo controlado, donde la esterilidad del medio y del proceso no son necesarias.

Palabras clave: Biomasa proteica, fermentaciones, diseño de planta, derivados azucareros

DESIGN OF A PLANT OF PRODUCTION OF INOCULATE FOR THE ENRICHMENT WITH PROTEIN OF BY-PRODUCTS OF THE SUGAR CANE INDUSTRY

The procedure the design of a plant of inóculo multipurpose is presented for the propagation for via submerged of the cultivation of microorganisms selected for the process of enrichment protein of by-products of the sugar agroindustry. The installation pursues as objective, through a simple and easy technology of adapting to minimum conditions of resources, ideal for areas of sustainable economy, to produce the foot of cultivation of the necessary inóculo to develop the production to industrial scale of these by-products enriched proteicamente for via fermentativa. In this case the design is particularized for a Plant of Cream of Biomass proteic, but for its characteristics the designed installation, it gathers conditions multipurpose in the inóculos propagation for processes fermentables for controlled cultivation where the sterility of the means and of the process it is not necessary.

Key words: Proteic biomasa, plant of desing, sugar derivatives, fermentations.

*Dtor. del Centro de Análisis de Procesos de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. E-mail: agarcia@uclv.qf.edu.cu

INTRODUCCIÓN

Los productos y subproductos de la agroindustria azucarera son fuentes de materia prima para la alimentación humana y animal por su carácter eminentemente energético; sin embargo, su contenido de proteína es muy bajo, por lo que su enriquecimiento proteico, especialmente cuando se usan como alimento animal, es muy necesario y ha sido objeto en los últimos años de la atención de los especialistas cubanos, principalmente los orientados hacia tecnologías sencillas y técnica, económica y ecológicamente viables para aplicar en zonas de economía sostenible, con la utilización de residuales y subproductos líquidos y fibrosos de la caña de azúcar, tales como: jugos mieles, cachaza, paja, bagacillo y bagazo.^{2,4,9,11}

Los estudios que se desarrollan requieren de instalaciones para producir en cantidades suficientes los cultivos de microorganismos que se usan como inóculo en el proceso. Aunque parece ser sencillo, atendiendo a la capacidad de la instalación requerida en comparación con la planta industrial a que se destina su producción, la necesidad de producir un inóculo con la calidad y cantidad requerida usando el mínimo de

recursos es el reto técnico y tecnológico resuelto con el diseño de la planta de inóculo que se presenta y que por sus características reúne condiciones multipropósitos para la producción de inóculos para procesos fermentativos por cultivo controlado, donde la esterilidad del medio y del proceso no son necesarias.

DESARROLLO

Características de la instalación. Fundamentos

Las plantas de propagación de cultivos de microorganismos constan, por lo general, de tres etapas, a veces no bien definidas, y que son: preparación de sustratos, propagación y concentración del inóculo. La localización de la instalación, concebida como una parte de una planta industrial donde los costos de inversión de las instalaciones auxiliares tales como calderas de vapor y compresores de aire pueden no tenerse en cuenta, son variantes que pueden contribuir a alcanzar la viabilidad tecnológica o técnico-económica de una instalación de este tipo (figura 1).

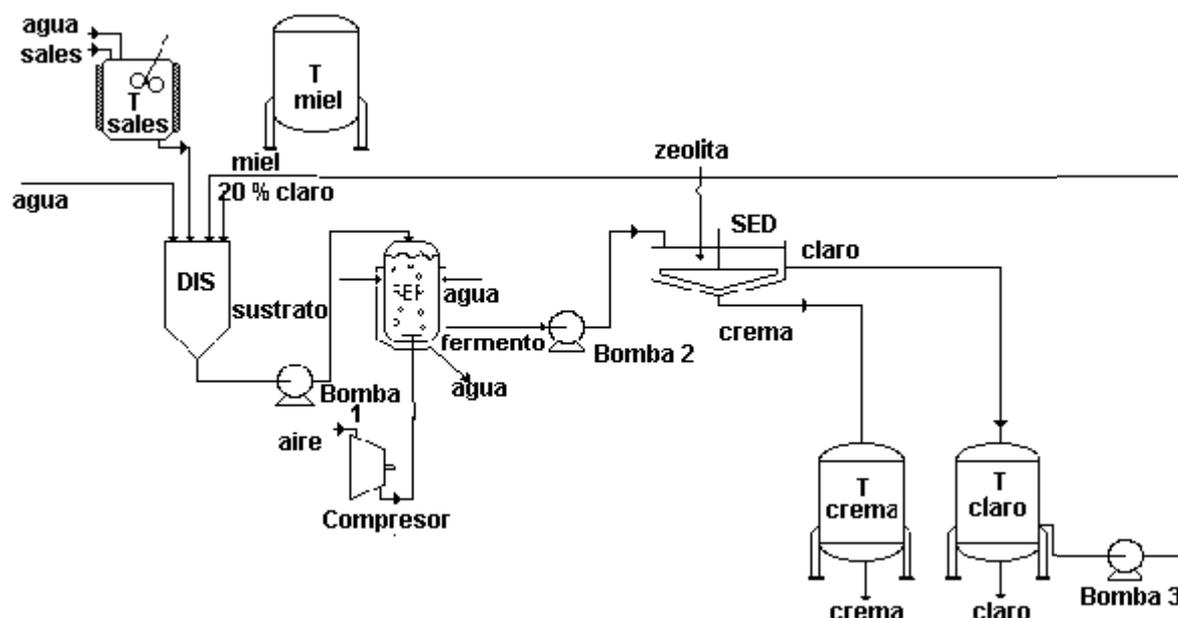


Figura 1. Esquema de Planta para la Producción de Inóculo para el enriquecimiento proteico del bagazo

La propagación del inóculo a escala industrial, en este caso por cultivo sumergido, puede desarrollarse exitosamente bajo las condiciones

demostradas a escala de laboratorio y piloto,^{6,9} donde las condiciones de asepsia no son rigurosas y el fermentador y otros equipos no requieren

operaciones estériles, y es suficiente para el proceso una asepsia adecuada del sustrato que asegure la fermentación controlada por el microorganismo deseado, con un mínimo de contaminación. La adecuada presión del aire y el diseño correcto del elemento distribuidor de este en la masa del fermento es indispensable para el éxito de la operación.

Por otra parte, es necesario asegurar los requisitos de temperatura, pH y concentración de nutrientes en el fermento para el éxito del proceso. En los casos en que el fermento obtenido deba ser trasladado o utilizado a altas concentraciones es conveniente someterlo a una etapa de concentración (centrifugación o sedimentación) que permita alcanzar un inóculo con grado crema, caso en el cual su calidad (nivel de viabilidad de las células del cultivo) debe ser estrictamente controlada.

Procedimiento para el diseño

Como guía para el diseño de una instalación como la descrita se ejemplifica el procedimiento seguido para el diseño de una planta de inóculo para la producción del pie de fermento a partir de un cultivo de levaduras cuyos estudios a escala de laboratorio y piloto demuestran la posibilidad para su uso en el proceso de enriquecimiento proteico de los subproductos fibrosos de la caña de azúcar.^{1,7,9}

Los parámetros idóneos para la propagación del cultivo se enumeran a continuación:

- 1) Temperatura óptima de fermentación: 38 °C
- 2) pH: 4,5 á 3,8 (autorregulable)
- 3) Concentración de sustrato: ART: 20 -25 g/L (4 °B_x), preparado a partir de Miel Final con 520 g/L de ART y 1,4666 kg/L de densidad.
- 4) Nutrientes: fosfato diamónico (8 g/L) y sulfato de amonio (2 g/L)
- 5) Fermentación: Discontinua
- 6) Fermentador: Tipo columna de borboteo
- 7) Flujo de aire: 2,0 vvm
- 8) Capacidad de la instalación: 200 L de crema/lote
- 9) Proceso de concentración del fermento: Sedimentación

A partir de la información antes referida se realiza el procedimiento de diseño, dimensionamiento y(o) selección de equipos, sistemas auxiliares e interconexiones; así como un análisis económico de la inversión para delimitar la viabilidad técnico-económica de la instalación propuesta.

Balance de carga y capacidades

Como premisa para llevar a cabo esta tarea fue necesario realizar un Balance de Carga y Capacidades de cada una de las etapas que integran la instalación:

- 1) Preparación del sustrato
- 2) Fermentación
- 3) Sedimentación

Teniendo en cuenta que la instalación debe tener una capacidad de producción de 200 L de crema/lote, se toma esta base para el balance. Según los resultados de estudios a escala de laboratorio, planta piloto e industrial,^{4 13} el volumen de crema (1,037 kg/L de densidad), que se obtiene en la etapa de sedimentación es 25 % del volumen total de fermento (1,026 kg/L de densidad), que se genera al fermentar el sustrato (1,0073 kg/L de densidad), obtenido a partir de la Miel Final, con una relación de inoculación de 1:10. En la tabla 1 se exponen los resultados del balance de materiales llevado a cabo bajo las condiciones especificadas.

Tabla 1. Balance de materiales de la Planta de Inóculo de 200 litros crema/lote

Materiales	Volumen (L)	Masa (kg)
Crema de fermento (C _f)	200	207,4
Fermento (F _f)	800	820
Sustrato (S) (35 g/L de Art.)	727,1	732,3
Inóculo (In)	72,7	74,6
Miel final (Mi)	48,93	71,73
Agua (A)	660,58	660,58

A partir de las ecuaciones geométricas convencionales y de los criterios de diseño –según el equipo– se realizaron los cálculos de dimensionamiento y el área de transferencia de calor, según el régimen de operación de los equipos.^{12, 13, 14}

En la tabla 2 se exponen los resultados del estudio de los insumos de vapor y agua en los procesos de diseño y dimensionamiento de los equipos y calentamiento y enfriamiento.

Tabla 2. Dimensionamiento de equipos e insumos de vapor y agua

Parámetros	Disolutor	Fermentador	Sedimentador
Diámetro del equipo (D)	0,893 (m)	0,9219 (m)	0,9212 (m)
Altura del equipo (H)	1,585 (m)	1,7623 (m)	1,9575 (m)
Altura del líquido	1,2192 (m)	1,2588 (m)	1,5058 (m)
Área de transferencia de calor (A)	3,756 (m ²)	4,0050 (m ²)	3,97 (m ²)
Consumo de vapor	162 (kg/h)	-	160,7 (kg/lote)
Agua de enfriamiento	6 481,2 (kg/h)	116,5 (kg/lote)	45 402,4 (kg/lote)
Agua de calentamiento	-	932 (kg/lote)	-

Sistemas auxiliares e interconexiones

La planta opera de forma discontinua, por lo que se selecciona una sola bomba con capacidad de 20 g/min. y potencia de 0,09 kW, según los estándares, que responde a los tres sistemas de tuberías de la instalación con diferentes características, de acuerdo con la operación que realizan. El primer sistema está formado por las interconexiones entre los equipos y debe ser de acero inoxidable, por su carácter resistente a la corrosión. El segundo corresponde al vapor de

agua que será de acero al carbono, igual que el tercer sistema, que corresponde al agua de enfriamiento.

Según los procedimientos y criterios convencionales,^{12, 15} se procedió a evaluar los sistemas de flujo correspondientes para los parámetros de flujo de 1,2617. 10⁻³ m³/s y velocidad óptima de 1,5 m/s. En la tabla 3, se resumen los resultados y se incluyen los costos de adquisición del equipamiento, tuberías y accesorios de la instalación.

Tabla 3. Costo de adquisición de equipamientos para la planta de inóculo

Equipos	Capacidad	Costo Adquisición (\$)	Costo Actual (\$)
Disolutor	792 L	395	544,4
Fermentador	1 211 L	796	1 097
Sedimentador	811 L	416	565
Bomba	20 (gal/min)	363	500
Tuberías	-	-	1 478,35
Accesorios	-	-	2 289,00
		Total	6 473,75

Para instalaciones de pequeña capacidad pueden usarse conexiones de flujo entre la bomba y los equipos a través de manguera flexible multipropósito.

Análisis económico

El análisis económico se efectuó sobre la base de métodos e índices convencionales,¹⁵ adaptado a las características de la instalación. Con los criterios industriales obtenidos³ y convencionales se obtuvieron para la instalación los resultados siguientes:

- Costo de la inversión: \$ 16 896,45

- Estimaciones del costo total de producción: \$ 60 323,00
- Costos directos: costos de requerimientos (materias primas, mano de obra, vapor de agua, aguas de enfriamiento, aire comprimido, electricidad); costo de mantenimiento (5 % del costo de inversión); costo de suministros (15 % de mantenimiento); Consumo de análisis (15 % de la mano de obra).
- Costos fijos: depreciación (10 % de la inversión en maquinarias y equipos); seguros (0,6 % de la inversión); impuestos (2 % de la inversión).
- Exteriores: (50 % de costos de operación y mantenimiento): \$ 19 644,1

- Gastos generales: \$ 14 370,00
- Investigación y desarrollo: (5 % del costo de fabricación)
- Costo de interés bancario: (7 % del costo de inversión fija)
- Imprevistos: (2 % del costo de fabricación): \$ 5 700,8

Análisis de rentabilidad

Debido a las características de la inversión se estimó suficiente realizar un análisis de rentabilidad basado en índices estáticos como criterio suficiente para valorar la viabilidad técnico-económica de la inversión.

Ganancia = Valor de producción - Costos de producción

- Valor del producto: 0,20 \$/kg (según listado del MINAGRI).
- Capacidad anual de la planta: 492 480 kg
- Valor de la producción: 98 496 \$/año
- Costo de producción: \$ 60 323.
- Ganancia: 38 173 \$/año.
- Período de recuperación de la inversión: Costo de Inversión/Ganancia.
- PR = \$ 16 896,45/ 38 173 \$/año = 0,44 = 5,3 meses.

CONCLUSIONES

- 1) Como se aprecia de los resultados obtenidos, la instalación propuesta reúne los requisitos técnico-económicos necesarios para asegurar una viabilidad inversionista favorable.
- 2) La planta propuesta cumple además con los requerimientos multipropósitos requeridos para la producción de inóculo de levaduras por cultivo controlado mediante la vía sumergida.
- 3) La capacidad de la planta diseñada responde aproximadamente a los intereses de una instalación piloto de fermentación sobre estado sólido de una capacidad de 1 000 t de sustratos sólidos agroindustriales de la industria de la caña de azúcar bajo la consideración de una mezcla de inoculación en relación 1:2 sólido 50 % humedad/fermento, este último,

si se tiene en cuenta el requerido suministro de sustrato y nutrientes para completar el proceso fermentativo sobre el material sólido.

BIBLIOGRAFIA

1. Alejo, N.: "Estudio a nivel de laboratorio de la producción de biomasa proteica rústica a partir de la utilización de cepas múltiples", trabajo de diploma, Facultad de Química y Farmacia, UCLV, 1998.
2. Arabel, E.: "La saccharina: nuevo producto obtenido de la caña de azúcar para la alimentación animal", *Boletín Técnico de Ganadería* (19), 1988.
3. Cortés Urrutia, Katiuska: "Perfeccionamiento de la etapa de fermentación de la planta de producción de biomasa proteica", trabajo de diploma, UCLV, 1999.
4. Díaz, Edely: "Obtención de proteína unicelular para la alimentación animal a partir de fermentación en estado sumergido", trabajo de diploma, Facultad de Química y Farmacia, UCLV, 1999.
5. García, A. y otros: "Nueva tecnología para la producción de saccharina industrial", *Centro Azúcar* 21(2), mayo-agosto, 1994.
6. García, A.; Nelsy Herrera; J. Obregón; J. A. Álvarez: "Producción de biomasa proteica a partir de jugo de caña", Memorias XV Congreso Interamericano y V Congreso Venezolano de Ingeniería Química, Caracas, Venezuela, 23-26 de mayo de 1993.
7. García, A.; Nelsy Herrera; O. Pérez; Yania Correa: "Desarrollo de la tecnología de producción de biomasa proteica para la alimentación animal en zonas de economía sostenible", *Centro Azúcar* 25(2): 18-22, mayo-agosto, 1998.
8. Herrera Coello, Nelsy y otros: "Producción de saccharina con cultivo controlado I", *Centro Azúcar* 18(3): 24-34, octubre-diciembre de 1991.

9. Herrera Coello, Nelsy y otros: “Cultivo de microorganismos para la producción de biomasa proteica a partir del jugo de caña”, *Centro Azúcar* 22(1): 3-9, enero-abril, 1995.
10. Kern, D.: *Procesos de transferencia de calor*, pp., 812-820, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1979.
11. Machado, Inocencia y otros: “Producción de saccharina con cultivo controlado II”, *Centro Azúcar* 21(1): 3-8, ene.-abr., 1994.
12. Pavlov, K. F.; A. Romamkov; A. A. Noskov: *Problemas y Ejemplos para el curso de Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química*, pp. 108-112, Ed. MIR, Moscú, 1981.
13. Pérez, D.; “Diseño de una planta de inóculo para la producción de biomasa proteica”, trabajo de diploma, Facultad de Química y Farmacia, UCLV, 1997.
14. Pérez, O.; A. García; Nelsy Herrera: “Análisis técnico-económico de la producción de saccharina industrial mediante cultivo controlado”, *Centro Azúcar* 21(3), oct.-dic., 1994.
15. Peters, M. S.; K. P. Thimmerhaus: *Plant Design for economics and chemical engineering*. pp. 108-112, Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, Ciudad de La Habana, 1986.
16. Rosabal, J. M. y L. Garcell: *Hidrodinámica y separaciones mecánicas*, pp. 86-144, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1988.