Tecnología Química
ISSN: 0041-8420
revista.tec.quimica@fiq.uo.edu.cu
Universidad de Oriente
Cuba

Julián Ricardo, María Caridad; Ramos Sánchez, Luis B.
FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO (I). PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ANIMAL
Tecnología Química, vol. XXVII, núm. 3, septiembre-diciembre, 2007, pp. 17-22
Universidad de Oriente
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543754003

Cómo citar el artículo
Número completo
Más información del artículo
Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO (I). PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ANIMAL

María Caridad Julián Ricardo, Luis B. Ramos Sánchez
Universidad de Camagüey

Importantes avances se reportan en el desarrollo de bioprocesos y productos mediante fermentación en estado sólido (FES), se destaca su uso en biorremediación y biodegradación de compuestos contaminantes, en la transformación biológica de residuos agroindustriales y en biopulpeo, en la producción de compuestos bioactivos, de enzimas, de ácidos orgánicos, biopesticidas, biocombustibles y compuestos aromáticos, entre otros. En este artículo se presenta un análisis de su definición y de sus aplicaciones en el enriquecimiento nutricional de los residuos agroindustriales destinados a la alimentación animal, se encuentra un creciente interés tanto por los resultados en el incremento microbiano como por la formación de productos. En la actualidad, múltiples investigaciones en nuestro país están dirigidas a dar un importante aporte a esta tecnología que permitirá su integración al desarrollo diversificado de la industria de la caña de azúcar.
Palabras clave: *fermentación en estado sólido, alimentación animal.*

Important advances are reported in the bioprocesses development and products by solid state fermentation (SSF), such as bioremediation and biodegradation of polluting compounds, biological transformation of agroindustrial residuals, biopulping and in the production of bioactive compounds, enzymes, organic acids, biopesticides, biofuels and aromati compounds, among others.
This article points out its definition and its applications in the nutritional enrichment of the agroindustrial residuals dedicated to the animal feeding, there is an increasing interest in the microbial increment, and in the formation of products. At the present time, many investigations in our country are directed to give an important contribution to this technology that will allow their integration to diversified development in the industry of the sugar cane.
Key words: *solid state fermentation, animal feeding*

Introducción

El desarrollo de bioprocesos y productos mediante fermentación en estado, sólido ha mantenido un interés creciente en los últimos años, en Cuba. Muchas investigaciones se realizan en este tema, fundamentalmente, dedicadas al enriquecimiento proteico de los residuos agroindustriales de la producción azucarera.

Diferentes términos se emplean para definir este tipo de fermentación, creándose confusiones en algunos casos, por lo que este trabajo tiene como objetivo analizar su definición y sus aplicaciones en el enriquecimiento nutricional de los residuos agroindustriales destinados a la alimentación animal, a partir de las publicaciones más recientes.

Desarrollo

Pandey *et al*. /1/ presentaron un resumen que expone los avances obtenidos en cuanto a bioprocesos y productos en la década de los 90. Luego, Mitchell *et al.* /2/ publican lo relacionado con el diseño, operación y escalado de los biorreactores en ese período. Otros resúmenes han sido publicados de forma general o específica, como es el artículo de García /3/, que está dedicado a la producción de biomasa proteica a partir de residuales y subproductos de la caña de azúcar en Cuba.

Hesseltine /4/ empleó el término de fermentación en estado sólido a todas las fermentaciones donde el sustrato no es líquido, luego planteó que el término FES debe usarse para designar el crecimiento de los microorganismos en materiales sólidos no sumergidos en una fase líquida /5, 6/. Según él este tipo de fermentación es posiblemente la forma más antigua en la que el hombre ha puesto a funcionar los microorganismos en su beneficio, pues se tienen noticias de su uso desde hace más de 2 500 años.

Autores como Kondo /7/ y Zadrazill *et al*. /8/ definen que la Fermentación en Medios Sólidos (FMS) es un proceso natural, mediante el cual se da continuidad a importantes ciclos vitales, dentro de los cuales se destacan los de descomposición de la materia orgánica mediante los hongos y levaduras, los cuales tienen una gran habilidad para asimilar residuos lignocelulósicos.

Moo -Young *et al*. /9,10/, dan una definición donde consideran que la humedad presente se encuentra retenida de forma compleja dentro de la matriz sólida, posteriormente incluyeron a todos los procesos que utilizan materiales insolubles en agua para el crecimiento de microorganismos en ausencia de agua libre, al igual que Mitchell *et al*. /11/.

Según Durand *et al*. /12/, la FMS es un método de cultivo de microorganismos sobre y/o dentro de partículas sólidas. El líquido ligado a las partículas debe ser en una cantidad que asegure la actividad de agua adecuada para el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos, pero sin exceder el máximo poder de retención de agua de la matriz sólida.

Correa, en su monografía sobre este tema, considera que la definición más general es la dada por Viniegra /13/, donde se plantea que "es un proceso microbiológico que ocurre comúnmente en la superficie de materiales sólidos que tienen la propiedad de absorber y contener agua, con o sin nutrientes solubles", haciendo énfasis en que esta definición abarca a procesos donde el soporte sólido es inerte y los sustratos que utiliza el microorganismo pueden ser sustancias solubles en agua. También Bellon-Maurel *et al*. /14/ hacen énfasis en que el sólido puede incluir al sustrato o puede ser soporte solamente.

Por su parte, Pandey /1/ señala que frecuentemente se han usado los términos fermentación en estado sólido y fermentación en sustrato sólido ambiguamente, y que deben distinguirse, en el caso de la fermentación en sustrato sólido, debe usarse sólo en los procesos donde el sustrato actúe como fuente de carbono y como fuente de energía en ausencia o casi en ausencia de agua libre, y la fermentación en estado sólido debe definir una fermentación que ocurra en ausencia o casi en ausencia de agua libre, empleando un sustrato natural como el caso anterior o usando un material inerte como soporte sólido.

Viccini *et al*. /15/, Nagel *et al*. /16/, Gutiérrez-Correa y Villena /17/ y Lagunas et al. /18/, entre otros autores, siguen dando una definición limitada al considerar solamente el crecimiento de microorganismos en sustrato sólido.

En el artículo de Gutiérrez-Correa y Villena /17/ se plantea "Contrariamente a la creencia común, la ventaja de la fermentación en estado sólido está relacionada a la adhesión de los hongos a partículas sólidas y no al bajo contenido de agua. Por lo tanto, la fermentación en estado sólido y la fermentación en biopelículas son variantes técnicas del mismo proceso biológico y deben ser referidas como fermentación por adhesión a superficies".

Consideran entonces que es necesario usar esa nueva categoría fermentativa, esta valoración está más asociada al mecanismo de reacción que al proceso global, por lo que se sugiere mantener la expresión tradicional, fermentación en estado sólido, que también tiene otras competidoras similares como fermentación en fase sólida /18/, fermentación sólida /19,20/ y fermentación en sustrato sólido /21, 22/ entre otras, que en esencia significan lo mismo.

En este trabajo, se prefiere considerar la fermentación en estado sólido como un proceso en el cual se desarrollan microorganismos en materiales sólidos húmedos, por supuesto que quedan incluidos los materiales naturales o sintéticos que actúan sólo como soportes, y que están impregnados en una solución que contiene las sustancias nutritivas.

Producción de alimentos por fermentación en estado sólido

Uno de los métodos más prometedores para la producción de proteína no convencional lo constituye la Fermentación en Fase Sólida (FFS) de los residuos lignocelulósicos, lo cual está determinado en primera instancia, por los grandes volúmenes de estos residuos que se producen anualmente en el mundo, y en segundo lugar, por las

ventajas que tiene el sistema de FFS sobre las fermentaciones sumergidas convencionales. /18/

Tanto la caña de azúcar como sus residuos agroindustriales se utilizan en la producción de alimento animal enriquecido en proteína por FES. En Cuba, se han obtenido alimentos como la *Saccharina* y el *Bagarip*, entre los más destacados, por sus aplicaciones como sustitutos parciales de alimentos tradicionales y como suplementos dietéticos en algunos animales.

La *Saccharina* es un producto obtenido por fermentación de los tallos de caña de azúcar desprovistos de las hojas, suplementado con urea y sales minerales, según la tecnología desarrollada por Elías *et al.* /23/.

De acuerdo con el procedimiento empleado para la fermentación y secado de la caña durante la elaboración de este material se obtienen tres tipos de *Saccharina* (industrial, semindustrial y rústica). La industrial se obtiene al fermentar y secar el producto en condiciones controladas en fermentadores, mientras que la semindustrial se fermenta en condiciones también controladas (fermentadores), pero se seca al sol, y en la *Saccharina* rústica todo el proceso ocurre en una plataforma asfaltada. /24/

El proceso de obtención de *Saccharina* no genera residuales y es relativamente sencillo, pero con resultados muy variables en cuanto a la eficiencia de conversión de los azúcares de la materia prima en proteína de origen unicelular. Esto se debe fundamentalmente a utilizar como inóculo la flora epifítica de la caña de azúcar, la cual es susceptible a cambiar en calidad y cantidad por el efecto de diversos factores /23/. Por otra parte, este alimento se caracteriza por un elevado contenido de fibra bruta, que limita su uso en animales monogástricos /23/. Además, su baja densidad atenta contra la economía de su embalaje, transporte y almacenamiento, a la par que dificulta su manejo en las fábricas de piensos.

La *Sacchamaíz* es una variante que se obtiene al incluir diferentes niveles de harina de maíz en la fermentación de la caña de azúcar buscando mejores resultados en la alimentación de animales monogástricos /25/, pero su producción cuenta con las mismas limitantes que se mencionaron para la *Saccharina*.

Otros productos se han obtenido a partir del enriquecimiento proteico de la caña de azúcar por FES, dentro de los que se encuentra el proceso para la producción de un forraje enriquecido en proteína a partir de la caña de azúcar natural finamente triturada, utilizando una cepa de *Aspergillus níger* y como nutrientes: sulfato de amonio, urea y fosfato monobásico de amonio, patentado por Roura *et al*. /26/. El proceso que dura entre 30 y 40 h, se lleva a cabo en un reactor hexagonal en forma de bandeja, con suministro continuo de aire. Se señala que es un producto a base de caña fresca, que su proceso productivo requiere un área de producción extensa, y que el costo de producción es elevado.

Como resultado de los estudios realizados en el perfeccionamiento de la *Saccharina*, surge la tecnología de producción del Bagarip (bagazo rico en proteínas), que elimina las principales deficiencias de las tecnologías precedentes. Este alimento y su tecnología de producción están registrados en Cuba. /27/

Según Ramos /28/, antes de comenzar sus trabajos se habían elaborado tres variantes del producto. La primera usaba jugo de caña como inóculo, cachaza líquida, miel final, urea y sales de minerales. Con esta variante se produjo *Bagarip* en 1991, utilizando las facilidades de la planta de *Saccharina* del CAI Siboney. Con el alimento elaborado se realizaron experimentos a escala de producción, y se incluyó en la ración de animales domésticos como sustituto de materias primas tradicionales. Aunque los resultados fueron alentadores, la tecnología tenía los inconvenientes de la flora epifítica.

La primera modificación introducida fue prefermentar el jugo para controlar la calidad del inóculo. Esta variante, sin embargo, fue desechada al compararla con los resultados de pruebas realizadas sin jugo de caña, tomando como inóculo varios tipos de levaduras: *Cándida utilis, Cándida tropicalis, Saccharomyces cerevisiae* y *Endomycopsis fibuligera*. Esta segunda variante no contenía jugo, y se escogió la *Cándida utilis,* no sólo por los buenos resultados en el

crecimiento, sino también, por el reconocido prestigio de esta levadura en la alimentación animal, que le daría mayor aceptación en los consumidores.

Aprovechando instalaciones existentes en la planta de pienso criollo de la empresa Triángulo 3 y con pequeñas modificaciones, se elaboró una tercera variante denominada *Bagarip* "simplificado", como alternativa a la producción industrial de gran escala. La diferencia básica introducida fue sustituir la cachaza líquida por húmeda (30 % MS) y utilizar equipos no diseñados para este tipo de producción.

El alimento obtenido permite sustituir, sin efectos negativos en la producción y la salud animal, los alimentos tradicionales: hasta el 11 % en pollos de ceba, el 20 % en gallinas ponedoras y cerdos en preceba, y el 60 % en conejos en ceba. En producción de leche durante la época seca se logró un incremento de 1,8 L de leche/vaca/día, sin alteraciones en su calidad. El *Bagarip* puede ser utilizado en la ración de las aves, cerdos y conejos, como sustituto parcial de los alimentos tradicionales y como suplemento en la dieta de rumiantes alimentados con forrajes. /29/

En el año 1995, se produjeron varias toneladas bajo estas condiciones, utilizando como inóculo *Cándida utilis*, propagada en una planta de "biomasa proteica". Desde el punto de vista técnico se demostró que esta variante es viable, lográndose una proteína verdadera promedio que osciló entre 7 y 8 %, mientras la fibra bruta mantuvo valores inferiores al 15 %. El contenido de cenizas, sin embargo, estuvo cercano al 18 %, problema este por resolver, porque significaba una reducción en el valor biológico del alimento y un posible aumento en su nocividad para algunas especies de animales. La causa fundamental de este incremento en la ceniza fue la forma en que se preparó el medio de cultivo, con el uso de cachaza seca. /28/

El costo de producción del producto seco fue estimado en 76,05 $/t /31/, inferior en casi un 19 %, respecto a la *Saccharina*, /30/. La disminución del costo se debe al empleo de materias primas más baratas y un proceso más estable en su calidad. Esto lo hace más competitivo en el mercado nacional. /28/

Brizuela *et al*. /18/ demuestran la posibilidad de enriquecer proteicamente los residuos de la cosecha cañera hasta niveles entre 6 y 10 %, seleccionan el hongo filamentoso *Aspergillus terreus* H6-39-4 como el más adecuado, y optimizan deferentes parámetros que influyen en el proceso.

Por otra parte, Lagunas *et al*. (2006) reportan la producción de enzimas celulolíticas a partir de residuos del procesamiento de café soluble y de olote de la cosecha de maíz y su aplicación en alimento balanceado para pollo de engorde /19/, en un biorreactor de columna con capacidad para 6,6 kg de sustrato, con resultados favorables.

Aguilar *et al*. /31/ exponen resultados positivos en la obtención de un preparado multienzimático en polvo a partir de un extracto con actividad fitasa y otras enzimas hidrolíticas (pectinasa celulasa y xilanasa), obtenidas por FES a partir de cáscara cítrica con la cepa *Aspergillus níger* W2.

Dusted e Izquierdo /32/ estudian dos alternativas para aumentar la eficiencia en la transformación de bagacillo de caña predigerido con cal, demostrando que la transformación del mismo en varios ciclos es una vía para favorecer la síntesis de enzimas, mientras que la alternativa de cultivo mixto es una solución para favorecer el incremento del rendimiento en la síntesis de biomasa.

Conclusiones

Se define la fermentación en estado sólido como un proceso en el cual se desarrollan microorganismos en materiales sólidos húmedos.

La producción de alimento animal por fermentación en estado sólido de residuos agroindustriales, fundamentalmente, de la producción azucarera ha alcanzado notables avances a pesar de las limitaciones que aun se señalan, tanto por los resultados en el incremento de la masa microbiana como por la formación de productos. En la actualidad, múltiples investigaciones en nuestro país están dirigidas a dar un importante aporte a esta tecnología, que permitirá su integración al desarrollo diversificado de la industria de la caña de azúcar.

Bibliografía

1. Pandey, A.; Soccol, C.; Mitchell, D.; "New Developments in Solid State Fermentation: I. Bioprocesses and Products", *Process Biochemistry* 35, 2000, págs. 1153–1169. www.elsevier.com:locate:procbio.
2. Mitchell, D. y otros, "New Developments in Solid-State Fermentation: II. Rational Approaches to the Design, Operation and Scale-up of Bioreactors", *Proc. Biochemistry* 35, 2000, págs. 1211-1225. www.elsevier.com:locate:procbio
3. García, A. "Aproximaciones a la solución tecnológica viable del enriquecimiento proteico de los residuales y subproductos sólidos de la industria de la caña de azúcar", *Memorias II Conferencia Internacional de Química*, Santa Clara, 2003.
4. Hesseltine, C. W., "Solid State Fermentation", *Biotechnol. and Bioeng*. 14, 1972, págs. 517-532.
5. _____, "Solid State Fermentation, Part I", *Process Biochemistry*, Julio-Agosto, 1977a, págs. 24-27.
6. _____, "Solid State Fermentation. Part II", *Process Biochemistry*, Noviembre, 1977b, págs. 29-32.
7. Kondo, R. "Investigation on Mechanism of Biological Delignification by Solid Sate Fermentation", *J. of Scientific & Ind. Research*, 55, 1996, págs. 394-399.
8. Zadrazil, F.; Isikhuemhem, O. S., "Cultivation of White Rot Fungi in SSF", *Scientific & Industrial Research*, 55, Mayo -Junio 1996, págs. 333-342.
9. Moo-Young, M.; Cannel, E., "Solid State Fermentation Systems", *Process Biochemistry*, Agosto - Septiembre, 1980, págs. 24-28.
10. Moo-Young, M.; Moreira, A. R.; Tengerdy, R. P., *Principles of the Solid Substrate Fermentation*, In *Filamentous Fungi*. 4. Ed. J. E. Smith, D. R. Berry and B. Kristianse, Edward Arnold, 1983, págs. 117 – 144.
11. Mitchell, D. *et al*., "Scale-up Strategies for Packed-bed Bioreactors for Solid-state Fermentation", *Process Biochemistry* 35, 1999, págs. 167–178.
12. Durand, A. *et al*., "Reactors for SSF: Designs and Applications", *J. of Scientific & Industrial Research*, 55, mayo - junio ,1996, págs. 317-332.
13. Viniegra-González G. *et al. Solid State Fermentation: Definition, Characteristics*, Limitations and Monitoring, Ed. Advances in Solid State Fermentation, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Chapter 2, 1997, págs. 5-22.
14. Bellon-Maurel, V.; Orliac, O.; Christen, P., "Sensors and Measurements in Solid State Fermentation: a Review", *Process Biochemistry* 38, 2003, págs. 881- 896.
15. Viccini, G. *et al*., "Analysis of Growth Kinetic Profiles in Solid-State Fermentation", *Food Technol. Biotechnol*. 39 (40) A–B, 2001, págs. 1 – 23.
16. Nagel, F. *et al*., "Water and Glucose Gradients in the Substrate Measured with NMR Imaging During Solid-state Fermentation with *Aspergillus oryzae*", *Biotechnology and bioengineering*, v. 79, No. 6, 2002.
17. Gutiérrez-Correa, M.; Villena, G., "Surface Adhesion Fermentation: A New Fermentation Category", *R. Peruana Biol*., 10 No. 2, 2003, págs. 113 – 124.
18. Brizuela, M. *et al*., "Enriquecimiento proteico de residuos de cosecha cañera por FES con hongos filamentosos", *LABORAT – acta*, vol. X, No. 3, 1998.
19. Lagunas, I. *et al*., "Production of Hemicellulolytic Ensymes Through Solid Substrate Fermentation and Their Applications in the Production of Balanced Feed for Broilers", *Veterinaria México*, vol. XXXVII, No. 1, 2006, págs. 1 – 13.
20. Cira, L.; Huerta S.; Shirai K., "Fermentación láctica de cabezas de camarón (*Penaeus sp*) en un reactor de fermentación sólida", *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. I, No. 1 – 2, 2002, págs. 45 – 48.
21. Peña y Lillo M. *et al*., "Indirect Measurement of Water Content in an Aseptic Solid Substrate Cultivation Pilot-Scale Bioreactor", *Biotechnology and Bioengineering*, vol. LXXVI, No. 1, 2001, págs. 44 – 51.
22. Aguado A.; Gómez A., "Control de un proceso de fermentación en sustrato sólido", 2004, Consultado 5/11/06.
23. Elías, A. *et al*., "Reseña descriptiva sobre el desaarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido. (*Saccharina*)", *Rev. Cubana Ciencias Agrícolas*, XXIV, No. 1, 1990.
24. Stuart, R., "La experiencia cubana en la utilización de la proteína vegetal unicelular y en el mejoramiento proteico de los residuos agroindustriales", Taller Internacional: Manejo de la Proteína en la Prod. de Ganado Bovino, 2002.
25. Elías, A.; Lezcano, O., "Effect of the Inclusion of Levels of Maize Meal on the Fermentation of Sugar Cane", *Cuban J. Agric. Sci*., 28, No. 321, 1994.
26. Roura, G. *et al*., "Proceso para la producción de un forraje enriquecido en proteína a partir de la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar", Patente cubana A23J 1/14, A23K 1/14, La Habana, Cuba, 1992.
27. Pedraza, R. M.; Crespo, L. M.; Ramos, L. B., "Método de obtención de un alimento para el ganado a partir de la caña de azúcar y el producto obtenido",Patente cubana A23K 1/22 337), La Habana, Cuba, 1994.
28. Ramos, L. B., "Aplicación de la modelación matemática para el desarrollo de la tecnología de fermentación del *Bagarip*", Tesis presentada en la opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Abril, 2000.

29. PEDRAZA, R. “Bagazo rico en proteína (Bagarip). Alimento animal obtenido por FES”. Revista de Producción Animal, vol. 12, 2000, págs. 45 – 51.
30. Jardines, E., Pascual, M., Estudio de la prefactibilidad económica el Bagarip en el CAI Siboney, Trabajo de Diploma, Univeridad de Camagüey, 1993.
31. Aguilar, L., “Obtención de un preparado multienzimatico con perspectivas de uso en alimentación animal”, Memorias II Conferencia Internacional de Química, Santa Clara, 2003.
32. Dustet, J.; Izquierdo E., “Enriquecimiento en proteína unicelular y obtención de celulasas: dos alternativas para la transformación del bagazo de caña de azúcar”, Memorias II Conferencia Internacional de Química, Santa Clara, 2003.