



Tecnologías para la industria de alimentos

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA

FICHA N° 27

Lic. Magali Parzanese

En los últimos años el proceso de fermentación sobre sustratos sólidos (FSS) ha recibido una creciente atención por parte de investigadores de todo el mundo. Como resultado de ello, se han realizado muchos estudios sobre su viabilidad para ser aplicado en obtención de enzimas, aromas y sabores, colorantes, ácidos orgánicos, y otras sustancias de interés para la industria de alimentos.

Vale destacar que la mayor atención hacia este tipo de fermentación se incrementa a partir que se observa que este proceso es capaz de dar altos rendimientos de conversión de sustrato a producto, con menores costos de inversión y producción, cuando se compara con el proceso de fermentación sumergida tradicional (sustratos con alto contenido de agua). Adicionalmente, es una alternativa para el aprovechamiento y agregado de valor de desperdicios o subproductos de la agro industria, ya que la mayoría de los sustratos usados para la FSS surgen de allí.

Por todo lo anterior es interesante conocer este proceso, fundamentalmente cuáles son sus principales aplicaciones, cuál es el flujo del proceso y los equipos que se requieren, cuáles son sus principales ventajas y desventajas.

La fermentación es un proceso biotecnológico aplicado desde la antigüedad para la transformación de materias primas con el fin de elaborar y conservar alimentos. Cuando se habla de fermentación, se debe entender como la acción de microorganismos (bacterias, hongos o levaduras) sobre diversos sustratos biológicos, es decir aprovechar la actividad metabólica de aquellos a fin de obtener una transformación favorable de las materias primas para la obtención de alimentos procesados. En este sentido, desde siempre las distintas poblaciones utilizaron microorganismos ubicuos, es decir presentes de forma generalizada en la región de procedencia, y se ocuparon en mejorar y controlar procesos naturales a fin de desarrollar métodos de producción de alimentos. Ejemplo claro de ello son, la fermentación por parte de levaduras de los azúcares presentes en la harina de trigo para la fabricación de pan o de los azúcares de cebada malteada para elaboración de cerveza; el uso de diversos cultivos bacterianos para la fermentación de leche para la elaboración de queso, yogur y otros derivados lácteos fermentados, la fermentación de mostos derivados de distintas frutas para la elaboración de bebidas alcohólicas, etc. Actualmente se continúa empleando la acción de microorganismos en esos y muchos otros procesos en la industria de alimentos. Además en los últimos años, dado el auge de la biotecnología moderna, se han desarrollado procesos de fermentación que permiten obtener como productos compuestos de alto valor que son usados como aditivos de la industria alimentaria.

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

CULTIVOS SUMERGIDOS Y EN SUSTRATO SÓLIDO

En la mayoría de los procesos de fermentación tradicionales aplicados comercialmente, los microorganismos están en contacto con el sustrato en un ambiente acuoso, es decir se trata de un cultivo sumergido, donde la disponibilidad de agua es abundante, lo que facilita y favorece el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. Sin embargo existen sustratos, donde el agua disponible está sumamente limitada, y los cultivos microbianos que allí se desarrollan se denominan cultivos en sustrato sólido (CSS), siendo el proceso que resulta del metabolismo de los mismos la fermentación en sustrato sólido (FSS). La característica principal de este tipo de cultivo es justamente la restricción del agua disponible, dado que esta constituye un recurso fundamental para la actividad de cualquier organismo vivo, **todos aquellos microorganismos que logran crecer y desarrollarse en esas condiciones exponen ciertas cualidades únicas**, que no se presentan cuando son cultivados con alta disponibilidad de agua. Por esto último, la FSS se presenta como un proceso biotecnológico interesante, alternativo al empleo del cultivo en sustrato sumergido tradicional, y con una amplia perspectiva para la obtención de diversos metabolitos de importancia en la industria alimentaria actual y futura, como son enzimas, flavours, ácidos orgánicos, goma xántica u otros polisacáridos de origen microbiano, etc. En la siguiente tabla se detallan las principales diferencias entre cultivo sumergido y cultivo en sustrato sólido:

Cultivo sumergido	Cultivo en sustrato sólido
El agua se encuentra altamente disponible y es el componente mayoritario del medio.	El agua no es un componente mayoritario del medio de cultivo
El medio de cultivo fluye libremente.	El medio de cultivo no fluye libremente, porque es sólido.
Profundidad del medio grande.	Profundidad del medio pequeña
El medio se compone de nutrientes provenientes de fuentes diversas.	La fuente de todos los nutrientes la constituye el sustrato sólido, ya sea de fuentes naturales o un soporte sólido sintético impregnado.
No hay gradientes de concentración de nutrientes, sino que hay una uniformidad en la distribución de los mismos en todo el medio.	Existen importantes gradientes de nutrientes, es decir hay zonas del sustrato donde hay grandes concentraciones de nutrientes disponibles y otras donde los nutrientes son escasos.
Aséptico.	No aséptico.
El medio está constituido por dos fases: una líquida y una gaseosa. El oxígeno disponible es el que se encuentra disuelto en la fase líquida.	El medio de cultivo se constituye de tres fases: líquida, gaseosa y sólida. El oxígeno disponible
Los hongos crecen formando pellets.	

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

<p>Requiere de una cantidad pequeña de inóculo para iniciar el cultivo.</p> <p>El producto final obtenido se encuentra diluido en el medio, requiere etapas posteriores de extracción y concentración.</p>	<p>se encuentra en la fase gaseosa.</p> <p>Los hongos crecen formando hifas, de tipo aéreas o penetrantes.</p> <p>Requiere de uninóculo grande para iniciar el cultivo.</p> <p>Se obtiene el producto ya concentrado.</p>
--	---

PROCESO DE FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO (FSS)

Se denomina FSS a cualquier proceso fermentativo ejecutado sobre un medio no sumergido, en ausencia de agua libre, donde se usan sustratos naturales que sirven como fuente de nutrientes y son a su vez el soporte físico para los microorganismos. El bajo contenido de humedad define que solo un determinado grupo de microorganismos puedan desarrollarse, principalmente levaduras y hongos que tienen capacidad de crecer con menor disponibilidad de agua, aunque existen algunas bacterias que también pueden desarrollarse.

Ya desde la antigüedad, muchas culturas aprendieron a emplear cultivos de hongos filamentosos sobre determinadas materias primas sólidas para la producción de alimentos. Ejemplos típicos de esto se muestran en la siguiente tabla:

Alimentos tradicionales obtenidos por FSS

Alimento (origen)	Sustrato o materia prima	Microorganismo	Uso
Ketjap (Indonesia)	Soja	<i>Aspergillus oryzae</i>	Sazonador
Kimchi (Corea)	Legumbres	Bacterias lácticas	Condimento
Miso (Japón, China)	Arroz, soja	<i>Aspergillus niger</i> y bacterias lácticas	Sazonador
Pozole (México)	Maíz	Levaduras y bacterias	Alimento base
Sufu (China)	Poroto de soja	<i>Mucor</i> sp	Queso de soja
Tempeh (Indonesia)	Soja	<i>Rhizopus</i> sp	Sustituto de carne
Torani (India)	Arroz	<i>Candida</i> , <i>Saccharomyces</i>	Sazonador

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

Ejemplos actuales de la aplicación de FSS son: en Japón donde se emplea a escala comercial para la obtención de enzimas de uso industrial y en Brasil, y otros países de América Latina, donde se ha avanzado sustancialmente en desarrollar procesos de FSS que permitan el aprovechamiento de subproductos de la agroindustria para la obtención de productos de alto valor agregado, tal como enzimas, ácidos orgánicos, aromas, antibióticos, etc.

Vale destacar que en todo FSS, los microorganismos crecen en contacto con tres fases:

- Fase sólida: compuesta por la matriz sólida, ya sea natural o sintética, es la principal y actúa como soporte físico para los microorganismos.
- Fase gaseosa: compuesta por el aire que se dispone entre las partículas que componen la fase sólida (fase gaseosa interpartícula) y también por el aire que está por encima y dependiendo del tipo de bioreactor, por debajo de la fase sólida. La fase gaseosa permite aportar el oxígeno necesario para el crecimiento de los microorganismos.
- Fase líquida: está extendida en una capa muy fina en contacto con la interface aérea, se trata de una fase discontinua formada por una película líquida que está atrapada en la matriz sólida, es la de menor preponderancia y aporta el agua mínima necesaria para el metabolismo celular.

MICROORGANISMOS USADOS EN FSS

Como en todo proceso biotecnológico que involucra una etapa de fermentación, es necesaria la presencia de uno o varios cultivos microbiológicos, ya sean bacterias, hongos o levaduras. Específicamente, la FSS involucra el cultivo de hongos filamentosos porque estos presentan ciertas características que los hacen más adecuados para el desarrollo en un medio que carece de agua libre: el crecimiento en forma de micelio y la tolerancia a bajas actividades de agua y condiciones de alta tensión osmótica hacen que los hongos sean la micro flora natural más adecuada para la FSS. Particularmente, determinadas especies del género *Aspergillus* son las más extensamente usadas en este tipo de procesos. Esa elección se debe a que tienen la capacidad de crecer rápidamente y excretar una gran cantidad de enzimas, además dado que crecen en forma de micelios o filamentos, esto facilita la separación y extracción del producto. Asimismo, gracias al avance de la biología molecular y de la ingeniería genética se ha logrado que modificar determinadas cepas de *Aspergillus* para que produzcan determinadas exo enzimas que no eran generadas naturalmente por este hongo y que son de gran interés comercial por su amplia aplicación en la industria. Un ejemplo claro de ese caso es la producción de quimosina bovina recombinante, la enzima responsable de cuajar la leche en la producción de queso, por FSS de determinados sustratos con cepas de *Aspergillus* que fueron modificadas genéticamente.

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

Por su parte, otras especies que pertenecen a ese género y que han sido desde la antigüedad empleadas en procesos de FSS son *Aspergillus oryzae* y *A. awamori*. Ambos han sido tradicionalmente empleados en Asia Oriental como productores de amilasas y proteasas en la producción de alimentos fermentados a partir de arroz y soja. Específicamente, el cultivo de estos hongos sobre arroz cocido al vapor se denomina *koji*, siendo este uno de los procesos de FSS más antiguo. A partir de ello se logra convertir el almidón del arroz en azúcares simples, que son la materia prima para la elaboración de bebidas y alimentos fermentados de la cocina tradicional asiática, tal como el sake y el miso, ambas bebidas fermentadas, una a partir de arroz y la otra a partir de soja.

APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA

Para llevar a cabo un proceso de FSS pueden utilizarse matrices biológicas, es decir sustratos naturales, o soportes inertes, estos son sustratos sintéticos impregnados. La elección de uno u otro tipo de soporte dependerá de las particularidades del proceso y del tipo de producto que se quiere obtener. Teniendo en cuenta esto, la mayoría de los procesos desarrollados en los últimos años se han valido de sustratos naturales que provienen de procesos agroindustriales y que mayormente son subproductos sin valor económico. De esta forma, la FSS se plantea cada vez más como una alternativa para agregar valor y aprovechar materia orgánica que de otra forma terminaría como desperdicio, con todo lo que ello implica.

Los residuos agroindustriales presentan características fisicoquímicas adecuadas para utilizarse como sustratos en procesos de FSS. En general tienen un alto contenido de polisacáridos de glucosa, como celulosa y hemicelulosa, esto es de suma importancia para que actúen como fuente de carbono para el crecimiento de los microorganismos. Sin embargo, la presencia de lignina, en muchos casos es una limitante para el aprovechamiento de esos nutrientes, ya que ese compuesto limita la disponibilidad y el aprovechamiento de las fuentes de carbono por parte de algunos organismos. Para superar este obstáculo una alternativa implementada con éxito ha sido disminuir el tamaño de partícula del sustrato sólido, de esa forma se aumenta el área superficial disponible para los microorganismos, facilitando los procesos de degradación mediante el metabolismo enzimático y aumentando por lo tanto, la disponibilidad de las fuentes de carbono.

En todo proceso de fermentación, ya sea sólido o sumergido, se considera que un sustrato es ideal cuando es capaz de proveer todos los nutrientes que en microorganismo necesita en cantidades adecuadas para su metabolismo celular y fermentativo. Cuando el sustrato carece de alguno de los nutrientes necesarios se realiza una suplementación incorporando otra fuente externa que provea del mismo.

Para la elección de un residuo o subproducto agroindustrial como sustrato se deben tener en cuenta las siguientes características:

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

- ❑ Costo del material y disponibilidad del mismo en las distintas temporadas del año. También es importante contar con una calidad uniforme del residuo.
- ❑ Posibilidad de almacenamiento y conservación del residuo sin que este sufra procesos de deterioro que imposibiliten su uso como sustrato en el proceso fermentativo.
- ❑ Composición química y estructura macromolecular que facilite la disponibilidad de nutrientes.
- ❑ Tamaño y forma de partícula adecuados para el aprovechamiento de las fuentes de carbono y otros nutrientes que son necesarios para el crecimiento y proceso de fermentación.

Actualmente, entre los sustratos más utilizados en procesos de FSS se encuentran: bagazos de caña de azúcar, yuca, naranja, manzana, uva, tomate; cascarilla y pulpa de café; salvado y paja de trigo; paja de arroz; escobajo de uva; harina de trigo y maíz; torta del prensado en la producción de aceite de diversas semillas o frutos; entre otros.



FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR DE FSS y SUS APLICACIONES

□ Enzimas

Recientemente a partir del trabajo de diversos investigadores de todo el mundo se puede concluir que la FSS se posiciona como uno de los mejores procesos para la producción comercial de enzimas de aplicación industrial. Al respecto se puede agregar que la FSS presenta varias ventajas sobre la obtención por cultivo sumergido. Vale destacar que estas afirmaciones se han hecho sobre resultados obtenidos en la mayoría de los casos, solo a escala laboratorio, por lo tanto es necesario continuar trabajando en el escalado de los procesos, para poder afirmar que tales ventajas comparativas se mantienen cuando se trabaja a escala industrial.

En la siguiente tabla se presentan ejemplos de enzimas obtenidas comercialmente por procesos de FSS y sus aplicaciones en la industria:

Actividad de la enzima	Origen	Sustrato	Función - Aplicación
Celulasas Xilanasas Poligalacturonasa	<i>Trichoderma spp.</i> <i>Penicillium spp.</i> <i>Botritis spp.</i>	Bagazo de caña, desecho de té, vinazas	Procesamiento de fibras
Lacasas Ligninasas	<i>Pleurotas spp.</i> <i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma viride.</i>	Harina de girasol, maíz, desechos de café.	Biorremediación
Amilasas Glucoamilasa Phytasas	<i>Aspergillus spp.</i> <i>Rhizopus spp.</i> <i>Mucor spp.</i>	Bagazo de caña, desecho de té, otros.	Industria alimentaria: panadería, elaboración de cerveza, producción de batidos, jugos de frutas, jarabes de almidón, etc. Producción de suplementos dietarios. Producción de piensos para alimentación animal.

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

Pectinasas	<i>Aspergillus niger</i>	Varios	Industria alimentaria: clarificación de jugos, producción de vino, optimizar la extracción de aceites, remover la piel de algunas frutas, etc.
Quimosina	<i>Aspergillus oryzae</i>	Varios	Producción de queso

□ Aromas y sabores

Los aromas y sabores comprenden aproximadamente un cuarto del negocio mundial de aditivos alimentarios. Principalmente los compuestos aromáticos que se emplean como aromatizantes y/o saborizantes son obtenidos por síntesis química, o extraídos a partir de sustancias vegetales u otras matrices biológicas por procesos físico-químicos. Actualmente existe una demanda creciente de aditivos naturales, dado que los consumidores están cada vez más preocupados por llevar una dieta natural, libre de compuestos sintéticos. Si bien los vegetales han sido siempre una fuente natural de aceites esenciales que son usados como aromas o sabores en alimentos, su producción y uso se ve limitada por factores climáticos o por presencia de plagas u enfermedades.

Una alternativa válida a ello es la biosíntesis de estos compuestos aromatizantes a partir de determinadas bacterias u hongos, ya que existen diversas especies de microorganismos que son conocidas por su habilidad para sintetizar o bioconvertir compuestos aromáticos. Si bien el cultivo sumergido de tales microorganismos ha dado malos resultados, ya que el producto obtenido está muy diluido y es difícil su extracción y concentración, se ha concluido a partir de diversos trabajos de investigación que la FSS es un proceso recomendable para la obtención de aromas y sabores destinados a ser usados como aditivos en alimentos. Haciendo una revisión de tales trabajos se pueden citar los siguientes ejemplos de compuestos aromáticos obtenidos por FSS:

- Usando como sustrato bagazo de caña de azúcar y como inóculo cepas de *Ceratosystis fiambrada* es posible obtener compuestos que dan intenso aroma frutal. También a partir de residuos de café y usando el mismo inóculo se logró a escala laboratorio obtener intenso aroma a ananá.
- Se logró extraer acetaldehído y 3 metil butanol, ambos son compuestos aromáticos de extenso uso, a partir de procesos de FSS llevados a cabo por distintas cepas de hongos filamentosos de la especie *Rhizopus oryzae* empleando distintos residuos agroindustriales como sustrato.

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

- Se encontró que la FSS es adecuada para la producción de pirazinas (compuestos responsables del aroma a tostado característico de muchos alimentos) cuando el proceso de fermentación se lleva a cabo por cepas de *Bacillus natto* y *B. subtilis*, sobre granos de soja.

□ Ácidos orgánicos

Muchos ácidos orgánicos, son empleados desde hace tiempo en la producción de alimentos como aditivos alimentarios cuya función es actuar como preservantes, evitando o retrasando determinadas reacciones de deterioro de alimentos a fin de aumentar la estabilidad de los productos y extender su vida útil. Si bien la mayor producción de estos se realiza por síntesis química, estos pueden obtenerse por biosíntesis ya que algunos microorganismos sintetizan ácidos orgánicos como metabolitos secundarios durante su ciclo de vida.

Uno de los ácidos orgánicos más empleado en la producción de alimentos es el ácido cítrico. Se estima que del total de la producción mundial de este ácido, un 70 % es consumido por la industria de alimentos, seguido de la industria farmacéutica que usa un 12 %, mientras que el 18 % restante se destina a otras aplicaciones. La producción de ácido cítrico se realiza por vía de síntesis química y también por biosíntesis por fermentación en sustrato sumergido de cultivos de *Aspergillus niger*. Igualmente existen desarrollos a escala laboratorio de procesos de FSS para la obtención de este ácido, principalmente con el objetivo de obtener mejores rendimientos y disminuir los costos respecto al cultivo sumergido. Diversos estudios demuestran que la producción de ácido cítrico por biosíntesis depende en gran medida de la elección adecuada de la cepa de microorganismo así como del ajuste de las condiciones de operación. Al respecto se ha observado que el nivel de oxígeno en el fermentador es un parámetro clave en la producción de ácido cítrico por FSS. Varios investigadores han estudiado la influencia de la aireación forzada en ese proceso, y se ha concluido que la producción de ácido cítrico por FSS con *A. niger* se ve favorecida por una limitada producción de biomasa, lo que ocurre cuando se aplican bajas velocidades de aireación (menor disponibilidad de oxígeno).

En cuanto a los sustratos que han sido probados para la producción de ácido cítrico por FSS se pueden mencionar una amplia variedad de desechos de la agroindustria: pulpa de manzana, cascarilla de café, paja de trigo, bagazo de yuca, desechos del procesamiento de distintas frutas tropicales, entre otros. Si bien en todos los casos se han hecho pruebas a escala laboratorio, la producción de ácido cítrico por medio de FSS con el aprovechamiento de subproductos de la agroindustria se manifiesta como una alternativa viable a la producción por fermentación tradicional en cultivo sumergido y la síntesis química.

□ Hongos comestibles

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

Otra de las aplicaciones antiguas de la FSS es la producción de hongos comestibles. Este proceso se usa exitosamente en la producción de *Pholiota nameko*, *Oyster mushroom*, *Pleurotus spp.*, entre otros.

Se puede afirmar que una forma de aprovechar y agregar valor a residuos lignocelulósicos de una forma que sea económicamente viable es el cultivo de hongos comestibles. Además, en algunos casos, los residuos y derivados que quedan después que los hongos comestibles son cosechados pueden recuperarse y ser destinados a la alimentación animal, ya que durante la fermentación sólida los hongos generan una cantidad significativa de enzimas que degradan los residuos lignocelulósicos (compuestos que inhiben la biodisponibilidad de las fuentes de carbono). De esa manera, dado que la lignina presente originalmente fue degradada, esos residuos pueden ser destinados a la elaboración de piensos para nutrición animal.

De esta manera se demuestra que la FSS brinda la posibilidad de producir, de forma combinada, hongos comestibles y forraje para nutrición animal. Es decir, esta tecnología permite obtener, mediante la bioconversión de subproductos agrícolas, alimento humano y alimento animal.

VENTAJAS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO

- Bajos costos de inversión y operación. La tecnología es simple y tiene menores requerimientos energéticos.
- Rendimientos de producción altos y reproducibles se obtienen cuando el proceso está ajustado correctamente.
- Se emplea sustrato concentrado, por lo tanto las cámaras de fermentación son de menor tamaño.
- No se requieren tanques de alimentación, y puede utilizarse la inoculación con esporas.
- Los bajos niveles de humedad disminuyen la aparición de contaminación del cultivo.
- Las condiciones de crecimiento de los hongos en el birreactor son muy similares a las condiciones de su habitat natural, lo que favorece su desarrollo y expresión genética.
- La aireación forzada en el reactor es más sencilla que para cultivos sumergidos.
- El downstream (operaciones de extracción y purificación del producto) es más simple.

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

- Permite el aprovechamiento de subproductos de la agroindustria para la obtención de compuestos de alto valor agregado.

PRINCIPALES DESVENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA FSS

- El proceso puede aplicarse solo con ciertos microorganismos debido a las condiciones de escasa disponibilidad de agua.
- El escalado de los procesos, de laboratorio a escala industrial, es difícil, principalmente porque la remoción del calor generado por el metabolismo de los microorganismos es una operación dificultosa.
- El control del proceso y la optimización de las condiciones en escala industrial deben continuar siendo investigadas, ya que muchos aspectos de la ingeniería del proceso aun son desconocidos.

BIORREACTORES PARA PROCESOS DE FSS

Actualmente existen varios tipos de biorreactores destinados a procesos de FSS. Cada uno de ellos presenta características determinadas que lo hace adecuado para ciertos fines pero que lo limita para otros. Esto significa que dependiendo del tipo de proceso se deben ajustar las condiciones y el diseño del birreactor, a fin de que sea más eficiente.

Principalmente el diseño de un birreactor eficiente para FSS presenta como desafío superar los siguientes inconvenientes: resistencia a la transferencia de cantidad de movimiento y calor y la aparición de gradientes de calor y de concentración de gases en la capa media. Asimismo en estos procesos es difícil el control de parámetros como pH, temperatura, biomasa, humedad, entre otros. Para superar estos inconvenientes se han empleado sistemas de agitación y de aireación, pero igualmente estos afectan negativamente algunos aspectos del proceso, por ejemplo modifica la porosidad del medio e interrumpe o corta el crecimiento de los micelios de hongos filamentosos.

Fundamentalmente existen cuatro grandes tipos de biorreactores para la FSS, cada uno de ellos se distingue por el sistema de aireación y agitación. A continuación se describen de forma breve cada uno de ellos:

Grupo I: biorreactor de cama estática y aireación periférica: carece de sistema de agitación, es decir no hay mezclado durante el proceso o solo se aplica un mezclado infrecuente. Es sistema de aireación consiste en una aireación forzada periférica, es decir el aire solo está en contacto con el sustrato sobre los límites externos.

Grupo II: biorreactor de cama estática y aireación interna: al igual que el grupo I estos reactores no emplean sistemas de mezclado continuo, pero lo que es diferente en este grupo es que si se usan sistemas de aireación a través de la cama, es decir el aire

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

alcanza de forma externa e interna el sustrato, favoreciendo la transferencia e intercambio gaseoso.

Grupo III: biorreactor de cama con mezclado continuo y aireación periférica: emplean sistemas de agitación permanente o con una frecuencia de minutos a horas. El sistema de aireación es similar al empleado en el grupo I, es decir solo se usa una aireación forzada periférica.

Grupo IV: biorreactor de cama con mezclado continuo y aireación interna: estos reactores combinan el sistema de agitación del grupo III, agitación frecuente o continua, con el sistema de aireación del grupo II, esto es aireación interna a través del lecho. Es decir complementan sistemas de agitación con sistemas de aireación, son los más sofisticados y que requieren mayor control.

FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO: APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA – Ficha N° 27

FUENTES CONSULTADAS

- Biotecnología alimentaria. Editado por Mariano García Garibay, Rodolfo Quintero Ramírez, Agustín López-Munguía Canales.
- Conversión de residuales agroindustriales en productos de valor agregado por fermentación en estado sólido. Dra. C. Rosa Catalina Bermúdez Savón, Dra. C. Nora García Oduardo¹, MSc. Migdalia Serrano Alberni, MSc. Maritza Idilia Rodríguez Castro, MSc. Irene Mustelier Valenzuela. Centro de Estudios de Biotecnología Industrial (CEBI), Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba. Estación Experimental Agroforestal III Frente, Santiago de Cuba.
- Application of solid-state fermentation to food industry — A review. Susana Rodriguez-Couto, Maria Angeles Sanromán. Journal of Food Engineering, octubre 2006.
- Fermentación en estado sólido: una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales. Revista tecno científica URU – Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. José R. Ferrer, José L. Machado y Jana Brieva. Mayo 2014.