

## Producción de aromas por fermentación en medio sólido

Pierre Christen

*ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación)*

### Resumen

La fermentación de materias primas sólidas ha sido usada desde los más remotos tiempos para mejorar la calidad organoléptica de los alimentos. Se ejemplifica en los alimentos tradicionales de Asia, Europa y América. En estos procesos naturales son involucrados microorganismos tan diversos como las bacterias lácticas (verduras, productos lácteos, carne), algunas levaduras (pan) y varios hongos filamentosos (quesos). En este artículo se propone presentar algunos ejemplos del uso de microorganismos para la generación de aromas en medio sólido. Eso incluye la producción directa en la materia prima, la biosíntesis de moléculas específicas y la bioconversión de precursores en moléculas de alto poder aromatizante. Un enfoque especial está dado a las actividades desarrolladas en este campo, en el marco de la cooperación entre el ORSTOM (Francia) y el Laboratorio de Bioprocesos de la Universidad Autónoma Metropolitana (México).

**Palabras clave:** *aroma, microorganismo, fermentación en medio sólido (FMS), alimento*

### Abstract

The fermentation of solid raw materials has been used for a long time to improve the organoleptic quality of food. Some examples come from traditional fermented food in Asia, Europe and America. Many microorganisms such as lactic bacteria (vegetables, dairy products, meat), some yeasts (bread) and various filamentous fungi (cheeses) are involved in these natural processes. In this paper are presented some examples of the use of microorganisms for the generation of aroma in solid medium. This includes the direct production in the raw material, the biosynthesis of specific molecules and the bioconversion of precursors into molecules of powerful aroma. Special interest is given to the activities developed in this field within the cooperation accords between ORSTOM (France) and the Bioprocess laboratory of the Autonomous Metropolitan University (México).

**Key words:** *flavor, microorganism, solid state fermentation (SSF), food*

### Introducción

**E**l aroma de un alimento puede ser definido como la fracción volátil percibido por receptores ubicados en las fosas nasales, mientras que el sabor está percibido por receptores situados en la lengua; en tanto que hay una multitud de aromas en la naturaleza, sólo existen cuatro sabores (ácido, dulce, amargo y salado), a los cuales se suele agregar el picante. El aroma tiene que ser diferenciado del aceite esencial constituido por la fracción no volátil del alimento y que es compuesto de las moléculas más pesadas (es el caso por ejemplo del zumo de la cáscara de los cítricos compuesto en gran parte de alcoholes terpénicos). Cabe mencionar que esta fracción puede ser usada también como saborizante en la industria de alimentos.

síntesis bibliográfica de los diferentes aromas observados durante el cultivo de microorganismos (bacterias, levaduras y hongos filamentosos). En el transcurso de las últimas tres décadas, los enormes avances logrados en el campo de la química analítica (cromatografía en fase gaseosa, cromatografía líquida de alta presión y espectrometría de masa principalmente), así como la creciente demanda por parte del público de aditivos alimentarios naturales, han hecho resurgir el interés por la biotecnología y su aplicación en la producción de aromas alimentarios. El número importante de estudios bibliográficos dedicados a este tema refleja dicho interés, por ejemplo: Latrasse *et al.* (1985), Gatfield (1988), Sharpell (1988), Welsh *et al.* (1989), Janssens *et al.* (1992), Cheetham (1993), Gutiérrez y Revah (1993), entre otros.

La investigación relacionada con la producción de aromas por vía biotecnológica se inició hace aproximadamente treinta años en base a observaciones realizadas a principios de siglo por Omelianski (1922). Este autor fue el primero en realizar una

En el campo de los aromas alimentarios, se pueden distinguir:

1) La formación de metabolitos volátiles durante fermentaciones tradicionales como la maduración del queso, la fermentación

alcohólica o la elaboración de alimentos como el *tempeh* o el *miso* (ver tabla I).

2) La modificación de dichos procedimientos con el fin de obtener estos mismos aromas en tiempos más cortos y en concentraciones más elevadas. Es el caso, por ejemplo, de los quesos modificados por vía enzimática.

3) La biosíntesis por cepas puras cultivadas en medios sintéticos adecuados.

4) La bioconversión de compuestos iniciales (o precursores) en otras moléculas con propiedades aromatizantes.

La fermentación en medio sólido (FMS), definida como el crecimiento de microorganismos sobre medios sólidos o semisólidos en ausencia de agua libre, ha sido aplicada desde la antigüedad en la preparación de alimentos fermentados. Aïdo *et al.* (1982) reconstituyeron la historia de este proceso, desde sus orígenes en el Lejano Oriente (preparación del *koji* en China y en Japón, del *tempeh* en Indonesia, etc.) hasta nuestros días. El estudio bibliográfico de Pandey (1992) y la compilación de Doelle *et al.* (1992) prueban que esta antigua técnica resurgió desde hace aproximadamente treinta años. En la figura 1 está representado el dispositivo experimental comúnmente utilizado para estudios a nivel laboratorio. Las investigaciones en este campo se orientan hacia la producción de metabolitos tan diversos como proteínas, enzimas, antibióticos o ácidos orgánicos. La generación de aromas en los alimentos puede asimismo considerarse como una extensión de la misma, debido a la utilización de células enteras o de enzimas microbianas.

En este artículo se hace una revisión del uso de la biotecnología en la producción de aromas en alimentos a excepción de las bebidas. A fin de presentar el estado del arte y las perspectivas de esas aplicaciones de la FMS, se presentan en una primera parte, algunos ejemplos del uso tradicional de la FMS para la aromatización de los alimentos y en una segunda parte la producción *in vitro* de compuestos de aromas, sea por biosíntesis o por bioconversión.

## II. GENERACION DE AROMAS EN LOS ALIMENTOS

La producción de aromas alimenticios se debe, en la mayoría de los casos, a la acción de microorganismos y/o de enzimas. Esto ha sido tema de diversas compilaciones (Scharpf *et al.*, 1986; Welsh *et al.*, 1989; Christen y López-Munguía, 1994).

### A. Alimentos fermentados tradicionales

El extenso estudio bibliográfico realizado por Beuchat (1983) permite darnos cuenta de la diversidad de microorganismos implicados en el desarrollo del aroma en los alimentos fermentados tradicionales (ver tabla I). Sin embargo, en la mayoría de los casos la fermentación de dichos alimentos tiene como objetivo principal facilitar su asimilación y/o lograr una mejor conservación de los mismos.

*El koji*, otro alimento fermentado milenario originario de Japón, preparado a base de arroz precocido al vapor en el que se siembra una cepa de *Aspergillus oryzae*, es igualmente utilizado como materia prima en la preparación del *sake*. Ito *et al.* (1990)

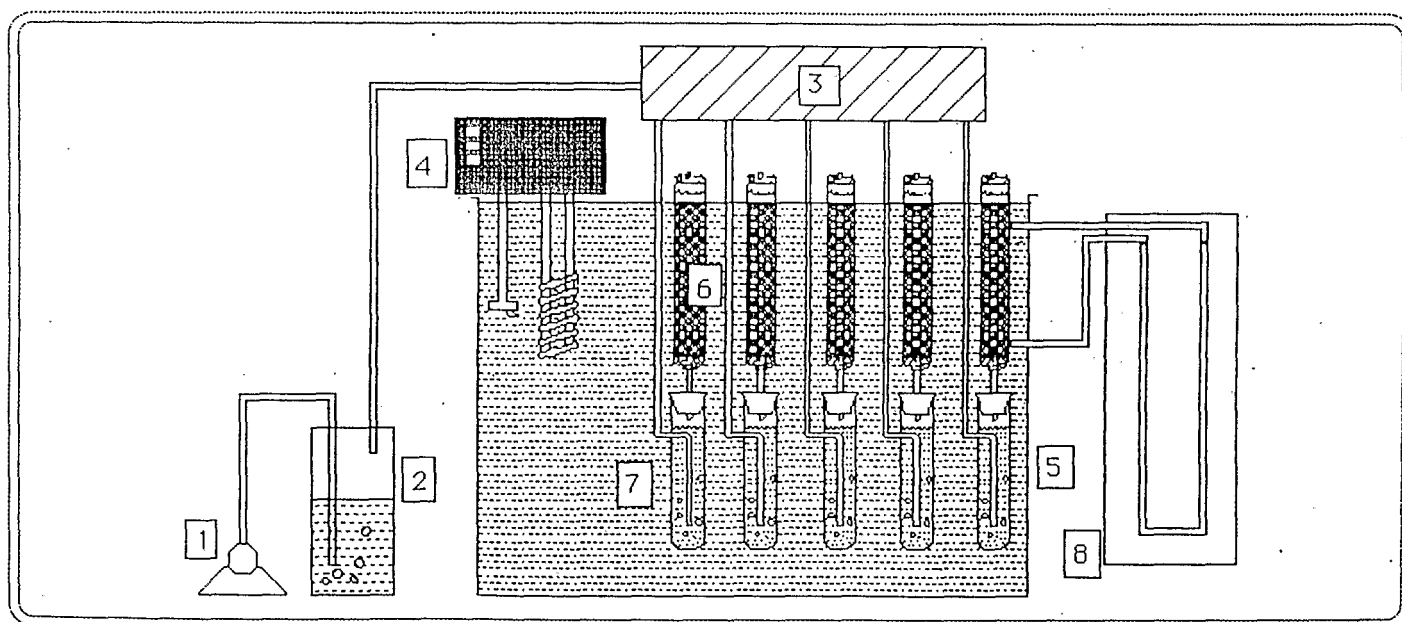


Figura 1. Dispositivo experimental de la fermentación en medio sólido. 1. BOMBA DE AIRE, 2. HUMIDIFICADOR, 3. DISTRIBUIDOR DE FLUJO, 4. TERMOREGULADOR, 5. BAÑO DE AGUA, 6. COLUMNAS DE FERMENTACION, 7 HUMIDIFICADORES 8. MEDIDOR DE PRESION

Alimento (Origen)	Substrato	Microorganismo(s)	Utilización
Ketjap (Indonesia)	Soya	<i>Aspergillus oryzae</i>	Sazonador
Kimchi (Corea)	Legumbres	Bacterias lácticas	Condimento
Miso (Japón, China)	Arroz, Soya	<i>A. niger</i> , lactobacilos	Sazonador
Pozole (México)	Maíz	Levaduras y bacterias	Diluido, alimento base
Sufu (China)	Grano de soya	<i>Mucor sp.</i>	Queso de Soya
Tempeh (Indonesia)	Soya	<i>Rhizopus sp.</i>	Sustituto de carne
Torani (India)	Arroz	<i>Candida, Saccharomyces</i>	Sazonador

**Tabla 1. Algunos ejemplos de producción de aromas en los alimentos fermentados tradicionales (adaptado de Beuchat, 1983).**

demonstraron que un gran número de volátiles (3 aldehídos, 5 cetonas, 8 alcoholes y 1 éster) se producían durante la fase de crecimiento (metabolismo primario) y que la producción de alcoholes y aldehídos se veía favorecida por una limitación en oxígeno.

Otro ejemplo es el *beiju*, masa de yuca fermentada naturalmente originaria de la región de Maranhão en Brasil. Pastore *et al.* (1994) aislaron de este alimento varias cepas de *Neurospora sp.* por los agradables olores a fruta que producen los cultivos. Pudieron evidenciar en el "headspace" del cultivo más de 10 compuestos, entre los cuales destacan al acetato de etilo, el 3-metil-1-butanol y el hexanoato de etilo.

## B. Quesos

Los quesos constituyen otro campo en el que la FMS fue aplicada con éxito en la producción de aromas. La leche, después de haber sido sometida a los procedimientos de cuajamiento y de desuerado se transforma en requesón, pasta con características fisicoquímicas adecuadas (contenido de agua, pH, contenido de sales, de lactosa, de grasa, etc.), que permiten que se lleve a cabo la maduración, etapa en la que interviene un gran número de microorganismos y de enzimas. Durante esta última etapa son liberados, por lipólisis, los ácidos grasos precursores de los agentes aromáticos: metil cetonas, ácidos grasos volátiles, ésteres, etc. (Lenoir *et al.* 1985). Los conocimientos adquiridos en este campo han permitido desarrollar estrategias para la producción de esos aromas en el queso, gracias al estricto control de las condiciones de maduración, adición de enzimas y/o de microorganismos (Fernández-García, 1986; Seitz, 1990). Esta tecnología, utilizada desde hace aproximadamente quince años para la obtención de aromas o de concentrados de queso naturales, puede aplicarse de dos maneras:

1) Modificando la tecnología tradicional agregando a la leche o al requesón enzimas específicas con el fin de alterar el

equilibrio entre los diferentes compuestos del aroma. Se obtienen de esta manera quesos de sabor y texturas diferentes.

2) En base a quesos "jóvenes", y después de agregar agua y de agitar la mezcla, formando una pasta en la que se incorporan las enzimas (proteasas, lipasas) o microorganismos de manera secuencial. Después de un tiempo de incubación adecuado y bajo condiciones de temperatura y pH controlados, las enzimas y los microorganismos se desactivan por calentamiento. La concentración de aromas del producto final puede llegar a ser 20 veces superior a la concentración del producto tradicional y esto puede lograrse en períodos reducidos. Este proceso se estudió de manera particular en relación con la producción de aromas tipo "Bleu" (King y Clegg, 1979; Revah y Lebeault, 1989). Los avances obtenidos fueron posibles gracias a la elucidación de las vías de síntesis de dichos compuestos (Kinsella y Hwang, 1976). El papel de los hongos filamentosos en el desarrollo de estos aromas es primordial (ver tabla 2).

## C. Otros alimentos

La intervención de microorganismos en el desarrollo o la eliminación de sustancias de aromas no se circunscribe únicamente a los alimentos arriba mencionados. Por ejemplo, Bigelis (1992) reporta la utilización de cepas de *Aspergillus* y de *Penicillium* con el propósito de desarrollar el aroma de ciertos alimentos salados (en particular jamones y salchichones). Nomura *et al.* (1987) demostraron, mediante la utilización de bacterias acéticas, que era posible eliminar el n-hexanal (que da una nota "verde" desagradable) de ciertos alimentos como la leche de soya o la masa para pan. Finalmente, el empleo de una cepa de *Aspergillus niger* puede representar una alternativa para la fermentación de residuos de vainas de vainilla. Durante esta fermentación, *A. niger* libera enzimas (principalmente b-glucosidasas) que hidrolizan la glucovanilina y liberan de esta manera la vanilina activa (Pouget *et al.*, 1990). Si tomamos en cuenta el alto costo de la vainilla natural, el interés económico de este proceso es obvio.

Hongos Filamentosos	Compuestos	Quesos
<i>Penicillium roqueforti</i>	Metil cetonas	"Bleu"
<i>Penicillium roqueforti</i>	2-pentanol, 1-octano-3-ol	"Bleu"
<i>Aspergillus oryzae</i>	H <sub>2</sub> S, metil mercaptan, dimetil sulfito	"Camembert"
<i>Penicillium caseicolum</i>	Nucleótidos ácidos	Queso blanco

**Tabla 2. Substancias de aromas producidas por hongos filamentosos en diferentes quesos (según Seitz, 1990).**

### III. SINTESIS DE NOVO DE AROMAS POR FMS

La investigación realizada en este campo es relativamente reciente y se han publicado hasta la fecha pocos trabajos. Existe sin embargo un interés real por la utilización de la FMS en la producción de aromas.

Ciertos microorganismos (tales como los hongos filamentosos) registran un mayor crecimiento, así como una mayor producción de metabolitos en FMS (Doelle *et al.*, 1992).

La recuperación de los volátiles en el gas de aeración a la salida del reactor resulta más fácil que en la fermentación en medio líquido (FML).

Estos compuestos, extraídos más fácilmente del medio de cultivo, no se acumulan en el reactor y por lo tanto la inhibición que pueden provocar en FML desaparece.

#### A. Biosíntesis en el sentido estricto

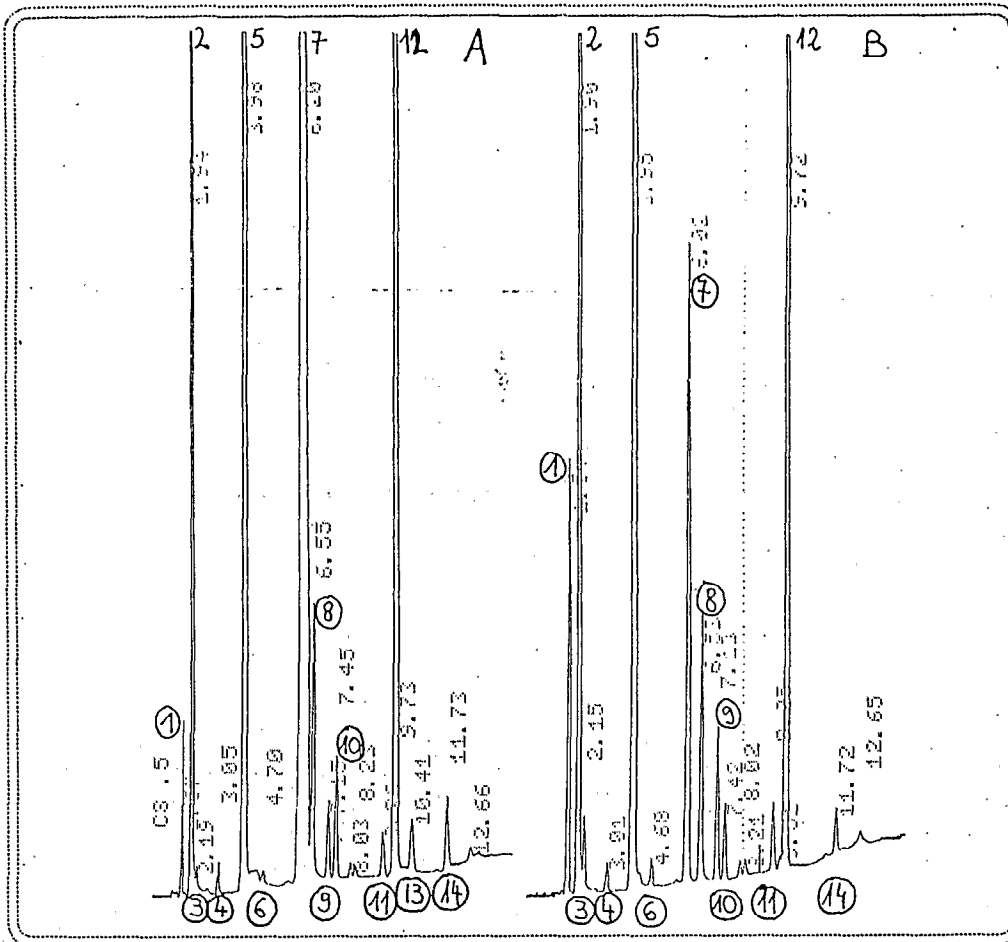
La producción de aromas en medio sólido depende de varios factores, entre los cuales destacan, por su importancia, la actividad del agua y el estado fisiológico del cultivo (o su edad). Gervais *et al.* (1988) y posteriormente Gervais y Sarrette (1990) lo demostraron en el caso de la elaboración de 2-heptanona (cetona que interviene en la composición del aroma a queso) producida por *Trichoderma viride* sobre agar-agar. Otro factor importante es la composición del medio de cultivo y en particular las fuentes de nitrógeno y de carbono. Sastry *et al.* (1985) demostraron que la producción de un aroma con un olor a coco (6-pentil-a-pirona) se veía estimulada cuando se cultivaba *Trichoderma viride* sobre agar-agar agregando extracto de zanahoria o de papa. Christen y Raimbault (1991) señalaron la importancia de las proporciones de cada compuesto en la producción de aromas afrutados por *Ceratocystis fimbriata*, cultivado en medio líquido. La influencia directa de la naturaleza de la fuente de carbono o de nitrógeno en los diferentes aromas producidos por este hongo fue demostrada en diversos trabajos realizados en el Laboratorio de Bioprocesos de la Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, en colaboración con el

ORSTOM (Christen *et al.*, 1994a; Christen *et al.*, 1995a). En la figura 2 se presentan dos cromatogramas obtenidos cultivando esta cepa en un matraz Erlenmeyer con y sin limitaciones de oxígeno. Se puede ver que la aeración influye principalmente sobre las cantidades relativas de cada compuesto. En la figura 3 está ilustrada la evolución de algunos compuestos volátiles en el espacio de cabeza o "headspace" de un cultivo del mismo hongo cultivado en un matraz Erlenmeyer sobre bagazo de yuca. Se observó que la producción de estos compuestos está directamente ligada al crecimiento y está reflejada en el intenso aroma a plátano observado al momento de mayor producción (alrededor del cuarto día). Este aroma se debe en gran parte a la presencia del acetato de amilo, derivado del metabolismo de la leucina previamente agregada al medio.

Existen otros ejemplos de la misma índole. Yamauchi *et al.* (1989) lograron producir con éxito un aroma afrutado intenso mediante el cultivo de una cepa de *Neurospora* sobre arroz pregelatinizado. El arroz fermentado de esta manera, enriquecido en substancias de aromas (principalmente en etil caproato y alcohol isoamílico) y liberado de la biomasa puede ser posteriormente utilizado como base para la elaboración de un sake más afrutado.

Hadar y Dosoretz (1991), en un estudio bibliográfico reciente, informan acerca de las potencialidades del cultivo de hongos filamentosos y de hongos superiores para la producción del aroma característico a "hongo", el 1-octeno-3-ol. Asimismo, establecen que, en este caso, el cultivo sumergido es más atractivo por ser más rápido y más económico.

En relación a la FMS, es posible considerar que ésta se asemeja a la técnica que emplea células inmovilizadas. Existen algunos ejemplos de producción de aromas mediante este procedimiento. Cavin *et al.* (1985) producen en proceso continuo aromas de queso tipo "Emmenthal" a partir de células de *Propionibacterium sp.* inmovilizadas en un gel de alginato; también obtienen concentraciones de ácidos grasos volátiles de 8g/l y producen  $4 \cdot 10^9$  células/l gel-h. Asimismo, Larroche *et al.* (1989) y Creuly *et al.* (1990) aplicaron esta técnica para la producción de metil cetonas a partir de esporas de



**Figura 2.** Cromatogramas del "headspace" de un cultivo de 48 horas aerado (A) y cerrado (B) de *Ceratocystis fimbriata* crecido sobre bagazo de caña complementado con un medio nutritivo (glucose=200) g/l).

Los picos corresponden a 1: acetaldehído, 2: etanol, 3: 2-propanol, 4: 1-propanol, 5: acetato de etilo, 6: 1-butanol, 7: propionato de etilo, 8: alcohol isoamílico, 9: desconocido, 10: acetato de isobutilo, 11: desconocido, 12: acetato de isoamilo, 13: desconocido, 14: acetato de n-amilo.

**Fuente:** Christen P., J. C. Meza y S. Revah, 1995. *Memorias de 2o. Congreso Internacional de Fermentación en Medio Sólido*, 27-28 de febrero, Montpellier, Francia

*Penicillium roqueforti*. Estos tres artículos concluyen que los resultados obtenidos son alentadores para una aplicación industrial.

Por su parte, Omata *et al.* (1981) llevaron a cabo, mediante células de *Rhodotorula minuta* inmovilizadas, la producción continua de L-mentol a partir de una mezcla racémica natural de succinato DL-mentol con rendimientos de conversión del 100%.

Existe por otra parte un gran número de patentes registradas por empresas japonesas, relacionadas con la separación purificación de L-mentol por microorganismos o enzimas (Schindler y Schmid, 1982).

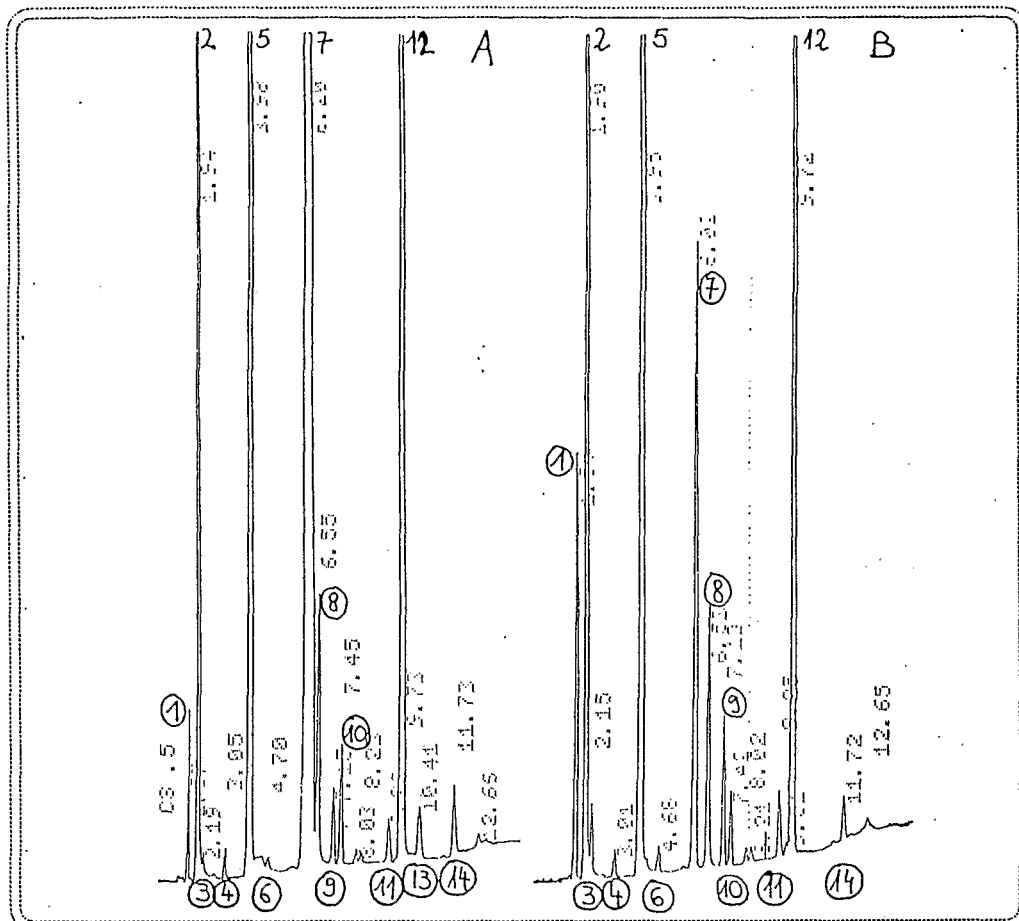
## B. Bioconversión

Otra alternativa es la bioconversión, es decir, la producción de sustancias de aromas a partir de precursores transformados por vía enzimática o microbiana. En lo que se refiere a los aromas, compuestos volátiles por naturaleza, existe un interés evidente por llevar a cabo las reacciones en medio gaseoso, en particular con el fin de evitar la inhibición que resulta de la acumulación del producto en el reactor. Este es el caso de la oxidación enzimática del etanol en fase gaseosa (Barzana *et al.*, 1989). La reacción se cataliza por un alcohol-oxidasa inmovilizado sobre un soporte polimérico y el acetaldehído que se forma es recuperado a la salida.

Otro ejemplo es la conversión del etanol en acetaldehído y en acetato de etilo, dos sustancias utilizadas como agentes aromatizantes en la industria alimentaria. Esta técnica, actualmente estudiada en el Laboratorio de Bioprocesos de la UAM en colaboración con el ORSTOM, utiliza la levadura *Candida utilis* cultivada sobre bagazo de caña de azúcar al que se agrega una solución de sales minerales. Las primeras pruebas demostraron la capacidad de la levadura de crecer sobre diferentes soportes (Christen *et*

*al.*, 1993), utilizando el etanol como única fuente de carbono (Christen *et al.*, 1994b, Christen *et al.* 1995b). Los volátiles producidos son condensados a la salida del reactor. Otro proceso, inspirado en la FMS clásica, que utiliza bacterias inmovilizadas en un biofiltro puede ser aplicado a la descontaminación del aire (Auria *et al.*, 1993).

Humphrey *et al.* (1990) demostraron la factibilidad a escala industrial de la bioconversión de grasa de coco en metil cetonas. En este caso, el sustrato es fijado por absorción en las fibras de celulosa e inoculado con esporas de *Aspergillus niger*. La mezcla de metil cetonas es posteriormente recuperada por destilación de la matriz. Sode *et al.* (1989) proporcionan otro ejemplo. Dichos autores estudiaron la conversión de la  $\beta$ -ionona,



**Figura 2.** Cromatogramas del "headspace" de un cultivo de 48 horas aerado (A) y cerrado (B) de *Ceratocystis fimbriata* crecido sobre bagazo de caña complementado con un medio nutritivo (glucose=200) g/l).

Los picos corresponden a 1: acetaldehído, 2: etanol, 3: 2-propanol, 4: 1-propanol, 5: acetato de etilo, 6: 1-butanol, 7: propionato de etilo, 8: alcohol isoamílico, 9: desconocido, 10: acetato de isobutilo, 11: desconocido, 12: acetato de isoamilo, 13: desconocido, 14: acetato de n-amilo.

**Fuente:** Christen P., J. C. Meza y S. Revah, 1995. *Memorias de 2o. Congreso Internacional de Fermentación en Medio Sólido*, 27-28 de febrero, Montpellier, Francia

*Penicillium roqueforti*. Estos tres artículos concluyen que los resultados obtenidos son alentadores para una aplicación industrial.

Por su parte, Omata *et al.* (1981) llevaron a cabo, mediante células de *Rhodotorula minuta* inmovilizadas, la producción continua de L-mentol a partir de una mezcla racémica natural de succinato DL-mentol con rendimientos de conversión del 100%.

Existe por otra parte un gran número de patentes registradas por empresas japonesas, relacionadas con la separación purificación de L-mentol por microorganismos o enzimas (Schindler y Schmid, 1982).

## B. Bioconversión

Otra alternativa es la bioconversión, es decir, la producción de sustancias de aromas a partir de precursores transformados por vía enzimática o microbiana. En lo que se refiere a los aromas, compuestos volátiles por naturaleza, existe un interés evidente por llevar a cabo las reacciones en medio gaseoso, en particular con el fin de evitar la inhibición que resulta de la acumulación del producto en el reactor. Este es el caso de la oxidación enzimática del etanol en fase gaseosa (Barzana *et al.*, 1989). La reacción se cataliza por un alcohol-oxidasa inmovilizado sobre un soporte polimérico y el acetaldehído que se forma es recuperado a la salida.

Otro ejemplo es la conversión del etanol en acetaldehído y en acetato de etilo, dos sustancias utilizadas como agentes aromatizantes en la industria alimentaria. Esta técnica, actualmente estudiada en el Laboratorio de Bioprocesos de la UAM en colaboración con el ORSTOM, utiliza la levadura *Candida utilis* cultivada sobre bagazo de caña de azúcar al que se agrega una solución de sales minerales. Las primeras pruebas demostraron la capacidad de la levadura de crecer sobre diferentes soportes (Christen *et*

*al.*, 1993), utilizando el etanol como única fuente de carbono (Christen *et al.*, 1994b, Christen *et al.* 1995b). Los volátiles producidos son condensados a la salida del reactor. Otro proceso, inspirado en la FMS clásica, que utiliza bacterias inmovilizadas en un biofiltro puede ser aplicado a la descontaminación del aire (Auria *et al.*, 1993).

Humphrey *et al.* (1990) demostraron la factibilidad a escala industrial de la bioconversión de grasa de coco en metil cetonas. En este caso, el sustrato es fijado por absorción en las fibras de celulosa e inoculado con esporas de *Aspergillus niger*. La mezcla de metil cetonas es posteriormente recuperada por destilación de la matriz. Sode *et al.* (1989) proporcionan otro ejemplo. Dichos autores estudiaron la conversión de la  $\beta$ -ionona,

## REFERENCIAS

- Aidoo KE, Hendry R, Wood BJB (1982). Solid state fermentations. *Adv Appl Microbiol* 28:201-237.
- Auria R, Christen P, Revah S (1993). La dépollution de l'air á México. *ORSTOM Actualités* 38:2-5.
- Barzana E, Karel M, Klivanov AM (1989). Enzymatic oxidation of ethanol in the gaseous phase. *Biotechnol Bioeng* 34:1178-1185.
- Beuchat TLR (1983). Indigenous fermented foods. In: Rehm HJ, Reed G, ed. *Biotechnology* 5:477-528.
- Bigelis R (1992). Flavor metabolites and enzymes from filamentous fungi. *Food Technol* 46(10): 151-161.
- Cavin JF, Saint C, Divies C (1985). Continuous production of Emmental cheese flavours and propionic acid starters by immobilized cells of a propionic acid bacterium. *Biotechnol Lett* 7(11):821-826.
- Cheetham PSJ (1993). The use of biotransformations for the production of flavours and fragrances. *Trends Biotechnol* 11(11):478-488.
- Christen P, Raimbault M (1991). Optimization of culture medium for aroma production by *Ceratocystis fimbriata*. *Biotechnol Lett* 13(7):521-526.
- Christen P, Auria R, Vega C, Villegas E, Revah S (1993). Growth of *Candida utilis* in solid state fermentation. *Biochem Adv* 11:549-557.
- Christen P, López-Munguía A (1994). Enzymes and food flavor - a review. *Food Biotechnol* 8(2):167-190.
- Christen P, Villegas E, Revah S (1994a). Growth and aroma production by *Ceratocystis fimbriata* in various fermentation media. *Biotechnol Lett* 16 (11):1183-1188.
- Christen P, Auria R, Marcos R, Villegas E, Revah S (1994b). Growth of *Candida utilis* on Amberlite with glucose and ethanol as sole carbon sources. En: Galindo E, Ramirez OT, ed. *Adv Bioprocess Eng*. Dordrecht: Kluwer Acad. Pub pp 87-93.
- Christen P, Meza JC, Revah S (1995a). Fruity aromas production in solid state fermentation by the fungus *Ceratocystis fimbriata*. *Memorias del 2do Seminario Internacional de Fermentación en Estado Sólido*. 27-28 de febrero, Montpellier, France.
- Christen P, Domenech F, Revah S (1995b). Bioconversion of ethanol into ethyl acetate and acetaldehyde by *Candida utilis* in solid state system. Poster presentado al VII Congreso Europeo de Biotecnología. 19-23 de febrero, Nice, France.
- Creuly C, Larroche C, Gros JB (1990). A fed-batch technique for 2-heptanone production by spores of *Penicillium roquefortii*. *Appl Microbiol Biotechnol* 34:20-25.
- Doelle HW, Mitchell DA, Rolz CE (1992). *Solid Substrate Cultivation*. England: Elsevier Appl Sci Pub.
- Fernández-García E (1986). Maduración acelerada del queso. Nuevas tendencias. *Alimentación* 5 (4):53-63.
- Gatfield IL (1988). Production of flavor and aroma compounds by biotechnology. *Food Technol* 42(10):110-122,169.
- Gervais P, Belin JM, Grajek W, Sarrette M (1988). Influence of water activity on aroma production by *Trichoderma viride* TS growing on a solid substrate. *J Ferment Technol* 66:403-407.
- Gervais P, Sarrette M (1990). Influence of age of mycelium and water activity on aroma production by *Trichoderma viride* grown on solid substrate. *J Ferment Technol* 69(1):46-50.
- Gutiérrez M, Revah S (1993). Aromas y sabores. En: García M, Quintero R, López-Munguía A, ed. *Biotecnología Alimentaria*. México: Limusa Pub pp 453-478.
- Hadar Y, Dosoretz CG (1991). Mushroom mycelium as a potential source of food flavour. *Trends Food Sci Technol* sept:214-218.
- Humphrey M, Pearce S, Skill B (1990). Biotransformation of coconut fat to methyl ketones. A commercial scale solid-state fermentation. *Abstracts. Symposium on Bioformation of Flavour*. London: Royal Society of Chemistry.
- Ito K, Yoshida K, Ishikawa K, Kobayashi S (1990). Volatile compounds produced by the fungus *Aspergillus oryzae* in rice koji and their changes during cultivation. *J Ferment Bioeng* 70(3):169-172.
- Janssens L, DE Pooter HL, Schamp NM, Vandamme EJ (1992). Production of flavours by microorganisms. *Process Biochem* 27(4):195-215.

- King RD, Clegg GH (1979). The metabolism of fatty acids, methyl ketones, and secondary alcohols by *Penicillium roqueforti* in blue cheese slurries. *J Sci Food Agric* 30:197-202.
- Kinsella JE, Hwang DH (1976). Enzymes of *Penicillium roqueforti* involved in the biosynthesis of cheese flavor. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 8(2):191-228.
- Larroche C, Arpah M, Gros JB (1989). Methyl ketones production by Ca-alginate/Eudragit RL entrapped spores of *Penicillium roqueforti*. *Enzyme Microbiol Technol* 11:106-112.
- Latrasse A, Degorce-Dumas JR, Leveau J Y (1985). Production d'arômes par les microorganismes. *Sci Alim* 5:1-26.
- Lenoir J, Lamberet G, Schmidt JL, Tourneur C (1985). La maîtrise du bioreacteur fromage. *Biofutur* 41:2-50.
- Nomura Y, Sugisawa K, Adachio O, Ameyama M (1987). Reduction of off-flavors in food materias with acetic acid bacteria. *Nippon Nogeikagaku Kaishi* 61(9):1079-1085.
- Omata T, Iwamoto N, Kimura T, Tanaka A, Fukui S (1981). Stereoselective hydrolysis of DL-menthyl succinate by gel-entrapped *Rhodotorula minuta* var. *texensis* cells in organic solvent. *Appl Microbiol Biotechnol* 11:199-204.
- Omelianski VL (1922). Aroma-producing microorganisms. *J Bacteriol* 8:393-419.
- Pandey A (1992). Recent developments in solid-state fermentation. *Process Biochem* 27:109-117.
- Pastore GM, Park YK, Min DB (1994). Production of fruity aroma by *Neurospora* from beiju. *Mycol Res* 98(11):1300-1302.
- Pouget MP, Pourrat A, Pourrat H (1990). Recovery of flavor enhancers from vanilla pod residues by fermentation. *Lebensmitt Wissen Technol* 23 (1):1-3.
- Revah S, Lebeault JM (1989). Accelerated production of blue cheese flavors by fermentation on granular curds with lipase addition. *Lait* 69:281-289.
- Sastry KSM, Rao CVP, Manavalan R (1985). Studies on *Trichoderma viride* (Pers.) and the coconut oil like aroma produced by this fungus. *Indian Perf* 29(3-40):193-200.
- Scharpf LG, Seitz EW, Morris JA, Farbood MI (1986). Generation of flavor compounds through fermentation processes. En: *Biogeneration of aromas ACS Symp. Ser.* 317:323-346.
- Schindler J, Schmid RD (1982). Fragrance or aroma chemicals - Microbial synthesis and enzymatic transformation - a review. *Process Biochem* 17(5):2-8.
- Seitz EW (1990). Microbial and enzyme-induced flavors in dairy foods. *J Dairy Sci* 73:3664-3691.
- Sharpell FH (1983). Microbial flavors and fragrances. En: Moo-Young M, ed. *Comprehensive Biotechnology*. Toronto: Pergamon Press Pub 3:965-981.
- Sode K, Karube L, Araki R, Mikami Y (1989). Microbial conversion of  $\beta$ -ionone by immobilized *Aspergillus niger* in the presence of an organic solvent. *Biotechnol Bioeng* 33:1191-1195.
- Welsh FW, Murray WD, Williams RE (1989). Microbiological and enzymatic production of flavor and fragrance chemicals. *Crit Rev Biotechnol* 9(2):105-169.
- Yamaushi H, Akita O, Obata T, Amachi T, Hara S, Yoshisawa K (1989). Production and application of a fruity odor in a solid-state culture of *Neurospora* sp. using pregelatinized polished rice. *Agric Biol Chem* 53(11):2881-2886.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

# Producción de aromas por fermentación en medio sólido

Pierre Christen



© *Tópicos de Investigación y Posgrado*, junio de 1995 Vol. IV No. 2 pp:102-109



UNAM, FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES \*ZARAGOZA\*



Fonds Documentaire ORSTOM  
Cote: B\* 6795 Ex: 1