

FUNDAMENTOS DE BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA

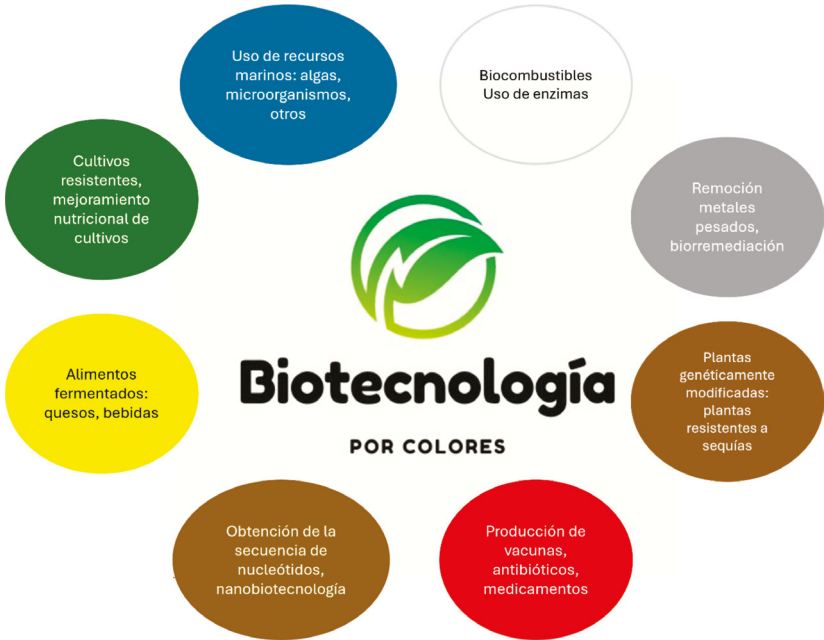
LILIANA LONDOÑO HERNÁNDEZ

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el contexto, la biotecnología puede tener diferentes definiciones, así como también se puede agrupar de acuerdo con sus aplicaciones. Desde el punto de vista tecnológico, la biotecnología se define como el conjunto de herramientas que usa organismos vivos, sus partes o sus componentes para la obtención de productos de valor agregado. Actualmente, de acuerdo con sus aplicaciones, la biotecnología se agrupa en colores, sin embargo, esta agrupación evoluciona con el pasar de los años. Inicialmente se agruparon en cuatro colores: blanco, rojo, verde y azul; y hoy en día se describen nueve colores según su área de estudio (Figura 6.1). En la biotecnología blanca se estudia el desarrollo de productos y procesos industriales; la biotecnología gris está enfocada en procesos de recuperación ambiental, como por ejemplo la biorremediación; la biotecnología violeta se encarga de describir y establecer los protocolos para productos peligrosos; la biotecnología azul está orientada a las aplicaciones de los organismos marinos y sus derivados; la biotecnología verde se enfoca en las aplicaciones agrícolas; la biotecnología amarilla está enfocada a la producción de alimentos; la biotecnología dorada abarca dos áreas adicionales: la bioinformática y la nanobiotecnología; la biotecnología roja está relacionada con las

aplicaciones médicas y, finalmente, la biotecnología café incluye las investigaciones relacionadas con las plantas resistentes a sequías.

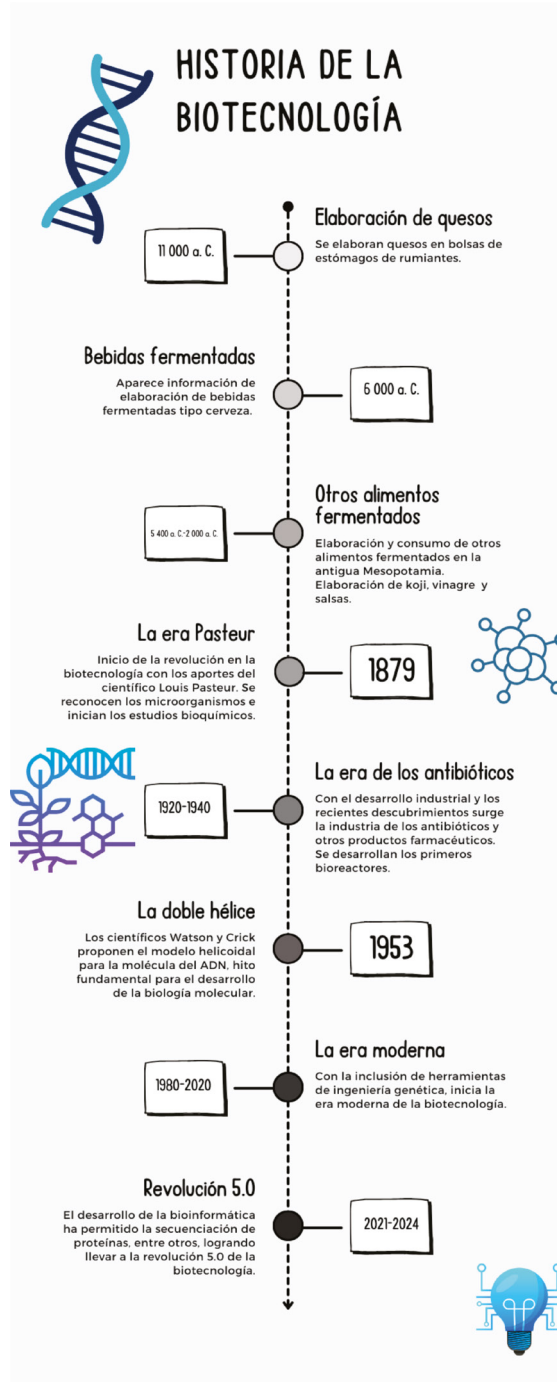
Figura 6.1. Ejemplos de aplicaciones de la biotecnología por colores



Fuente: elaboración propia.

Considerando lo mencionado anteriormente, es posible definir la biotecnología alimentaria como el uso de microorganismos vivos o sus partes a través de herramientas y técnicas, bajo los principios de la biología y la ingeniería, para la producción, procesamiento, conservación y mejora de alimentos. La biotecnología alimentaria se enmarca en la biotecnología amarilla e incluye la aplicación en diversos productos, tales como cárnicos, lácteos, cereales, vegetales, frutas, entre otros.

Durante el presente capítulo se revisarán algunos principios básicos de la biotecnología alimentaria y los procesos de transformación que dan origen a productos de la industria de alimentos.

Figura 6.2. Historia de la biotecnología alimentaria**Fuente:** elaboración propia.

6.1. HISTORIA DE LA BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA

Describir la historia de la biotecnología alimentaria puede llegar a ser complejo, dado que no se cuenta con datos exactos y, por tanto, implica hablar de la historia de la aparición de los productos fermentados, como el queso, la cerveza, el vino o el pan. La historia del queso se remonta hacia el 11 000 a. C., cuando un pastor, quien había guardado la leche en las bolsas hechas con los estómagos de los rumiantes, probó la pasta que se había producido por acción de las enzimas naturales y desde este momento se cree que, poco a poco, se fue desarrollando esta industria (Isique Huaroma, 2014). Hacia el 6000 a. C. se tienen referencias de la elaboración de la cerveza en la antigua Mesopotamia, mientras que algunos datos muestran que en el 5400 a. C. ya se elaboraba vino y pan (Rodríguez, 2022). Sin embargo, la evolución de la biotecnología alimentaria se dio después del siglo XIX, con las investigaciones de la fermentación desarrolladas por el científico Louis Pasteur. Gracias a estos trabajos desarrollados y al conocimiento en las dinámicas biológicas, se ha logrado la tecnificación de diferentes procesos, llegando hoy en día a la biotecnología moderna, la cual incluye el uso de ingeniería genética para mejorar, por ejemplo, microorganismos, obteniendo productos de mejor calidad en menor tiempo (Muñoz de Malajovich, 2012) (Figura 6.2).

6.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA

La biotecnología alimentaria se fundamenta en tres principios básicos: la bioquímica, la microbiología y la ingeniería. Desde la bioquímica se realiza el estudio de las moléculas que componen los alimentos y sus reacciones químicas. Con la microbiología se realiza el estudio de los microorganismos en los alimentos, su impacto en la calidad y seguridad alimentaria. Y desde la ingeniería se realiza el diseño y escalado de los procesos biotecnológicos para la producción de alimentos o materiales alimenticios.

La bioquímica es una disciplina fundamental que proporciona un entendimiento detallado de los procesos metabólicos durante la fermentación, permitiendo una descripción precisa de las transformaciones bioquímicas involucradas. Así mismo, esta ciencia permite describir la estructura compleja de las proteínas y los cambios que estas experimentan durante las diversas interacciones celulares. En el mismo sentido, la bioquímica es esencial para comprender el funcionamiento de la maquinaria enzimática presente en los microorganismos y sus roles específicos en las distintas reacciones. La comprensión de la bioquímica no solo beneficia la investi-

gación científica, sino que también tiene aplicaciones prácticas en la optimización de procesos industriales y la mejora de productos.

La microbiología es una disciplina fundamental para conocer los microorganismos, sus características, comportamiento y requerimientos nutricionales. La microbiología no solo proporciona información sobre los factores que afectan el crecimiento microbiano, tanto intrínsecos como extrínsecos, sino que también es indispensable para identificar y comprender los metabolitos generados durante los procesos de fermentación que se producen durante la fermentación. Esta disciplina no solo se limita a revelar la biología de los microorganismos involucrados, sino que también contribuye a optimizar y controlar los procesos fermentativos, por tanto, su comprensión detallada en la fermentación no solo soporta la investigación científica, sino que también es importante para el desarrollo industrial de los procesos.

La ingeniería es fundamental para el desarrollo y optimización de procesos de fermentación, aportando soluciones técnicas que mejoran la eficiencia y la escalabilidad de la producción. La aplicación de los principios de la ingeniería en la biotecnología alimentaria permite diseñar bioprocesos que cumplan con los requisitos específicos de los microorganismos o las enzimas involucradas, controlando factores como la temperatura, la concentración de nutrientes, la agitación, entre otros. Además, la ingeniería facilita la implementación de tecnologías avanzadas, como la automatización, el monitoreo en tiempo real o la ingeniería genética, logrando mejora en los rendimientos de proceso. La ingeniería impulsa el desarrollo de la biotecnología alimentaria, contribuyendo al avance sostenible y eficiente.

6.3. PROCESOS FERMENTATIVOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La fermentación se puede definir como la transformación de una sustancia en otra utilizable a través de los procesos metabólicos de los microorganismos o por enzimas que catabolizan reacciones de óxido-reducción, las cuales generan la suficiente energía para los procesos metabólicos. Durante el proceso, se acumulan microorganismos o metabolitos de interés. En este sentido, los procesos de fermentación generalmente son llevados a cabo por bacterias, hongos o levaduras. Para llevar a cabo los procesos de fermentación se deben considerar tres elementos claves: el producto que se desea obtener, el microorganismo que se va a utilizar y los factores intrínsecos y extrínsecos del crecimiento del microorganismo.

De acuerdo con la ruta metabólica seguida a los procesos de fermentación se pueden dividir en dos tipos: a) fermentación oxidativa o aeróbica, la cual tiene lugar en presencia de oxígeno; en esta, el piruvato se oxida parcialmente a un compuesto orgánico reducido, tal como etanol, ácido láctico o ácido acético; en esta fermentación el oxígeno es el aceptor final de electrones; b) fermentación anaerobia, producida en ausencia de oxígeno, donde el piruvato no se oxida completamente; en esta fermentación el aceptor final de electrones es un compuesto orgánico, tal como el piruvato, el ácido fórmico o el ácido succínico. Comparativamente, la fermentación oxidativa es un proceso más eficiente, dado que produce más energía representada en moléculas de ATP.

Así mismo, las fermentaciones pueden clasificarse según los productos derivados del metabolismo en:

- a. **Fermentación no alcohólica:** es la fermentación realizada por levaduras, bacterias u hongos, como por ejemplo los productos de panadería o los vegetales fermentados.
- b. **Fermentación alcohólica:** el producto principal de esta fermentación es el alcohol; el proceso es llevado a cabo por diferentes microorganismos, pero más comúnmente por levaduras. A través de esta fermentación se obtiene generalmente cerveza, sidra, algunos destilados, entre otros.
- c. **Fermentación láctica:** es realizada principalmente por bacterias tales como los lactobacilos. El producto principal de la fermentación es el ácido láctico, el cual se usa en la producción de alimentos fermentados como yogur, kumis, queso, kéfir, entre otros.
- d. **Fermentación acética:** el producto principal de esta es el ácido láctico que se utiliza en la producción de vinagre. Generalmente es realizada por bacterias como las acetobacter.
- e. **Fermentación propiónica:** es realizada principalmente por bacterias como las propionibacterias; su producto principal es el ácido propiónico, utilizado en la producción de quesos madurados.

De acuerdo con el medio donde se desarrolla la fermentación, tecnológicamente se puede clasificar en fermentación líquida o sumergida y fermentación sólida (Tabla 6.1). La fermentación líquida se define como el proceso llevado a cabo por los

microorganismos en una solución homogénea de sustrato sólido y agua. En este sentido, el medio está constituido por dos fases: líquida y gaseosa. Este tipo de fermentación es el proceso más empleado en la industria, debido a la facilidad en el control de las variables. La fermentación sólida es el proceso llevado a cabo en un sustrato sólido en ausencia de agua libre, pero con la cantidad suficiente para que el microorganismo pueda llevar a cabo su metabolismo. La fermentación sólida es un sistema de tres fases: gaseosa, líquida y sólida. Cada una de las fermentaciones presenta ventajas y desventajas a nivel tecnológico, sin embargo, su elección dependerá del producto que se va a obtener, el microorganismo que se va a utilizar, y el medio de cultivo.

Tabla 6.1. *Ventajas y desventajas de la fermentación en estado sólido y de la fermentación sumergida*

Fermentación en estado sólido	Fermentación sumergida
No hay agua libre	El agua es el principal componente del cultivo
El sistema de cultivo tiene tres fases (gas, líquido, sólido)	Fase líquida principalmente
Alta velocidad de producción y alto rendimiento	Baja velocidad de producción y bajo rendimiento
Mezcla difícil	Mezcla fácil
Heterogeneidad	Homogeneidad
Proceso de extracción simple y controlable	Extracción compleja
Biorreactores simples	Biorreactores complejos
Bajo costo de la materia prima	Alto costo de la materia prima

Fuente: adaptado de Chen (2013)

6.3.1. Tipos de microorganismos

Los procesos de fermentación generalmente son llevados a cabo por microorganismos tales como bacterias, hongos o levaduras (Figura 6.2), los cuales tienen diferentes características que afectan directamente el proceso tecnológico, por tanto, es importante reconocer cada uno de estos para realizar un control de la operación.

Figura 6.3. Ejemplos de microorganismos utilizados en la industria de alimentos



BACTERIAS

Bacillus sp.; *Lactobacillus sp.*; *Streptococcus sp.*;
Bifidobacterium sp.



HONGOS

Alternaria sp.; *Aspergillus sp.*; *Fusarium sp.*;
Mucor sp.; *Rhizopus sp.*; *Trichoderma sp.*;
Beauveria sp.; *Aspergillus oryzae*; *Rhizopus*
Oligosporus; *Aspergillus niger*; *Pleurotus*
ostreatus; *Penicillium notatum*, *roquefortii*.



LEVADURAS

Endomycopsis burtonii; *Saccharomyces*
cerevisiae; *Schwanniomyces Castellii*;

Fuente: elaboración propia.

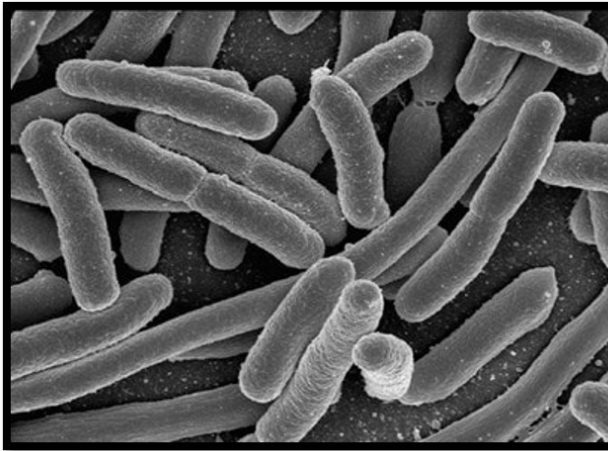
6.3.1.1. Bacterias

Las bacterias son microorganismos unicelulares con un tamaño que oscila entre 0,5 y 10 μm y pueden agruparse según su morfología en: esféricas (cocos), bastoncillo (bacilos) o curva. Su organización varía desde disposiciones solitarias hasta cadenas o tétradas, y su movilidad puede ser un atributo distintivo. Su principal método de reproducción es la división celular que se da mediante fisión binaria y algunos de estos microorganismos pueden desarrollar estructuras especializadas, como flagelos, cápsulas o endosporas.

Por la estructura de la pared celular, las bacterias se pueden clasificar como grampositivas o gramnegativas. Las bacterias gramnegativas tienen una pared celular compleja que incluye una membrana exterior compuesta por lipopolisacáridos, lipoproteínas y fosfolípidos y una membrana media. En contraste, las grampositivas exhiben una pared gruesa, compuesta por múltiples capas de peptidoglucano y ácidos teicoicos. Esta distinción es clave en la técnica de tinción de Gram que no solo influye en la coloración microscópica, sino que también proporciona información relevante sobre su comportamiento en sistemas de producción. La mayoría de los microorganismos patógenos son bacterias gramnegativas, mientras algunas de

las bacterias ácido-lácticas (BAL) son grampositivas. Las bacterias más comúnmente usadas en la biotecnología alimentaria son de los géneros: *Lactobacillus*, *Lactococcus* y *Streptococcus* (Figura 6.3).

Figura 6.4. Fotomicrografía del *Lactobacillus acidophilus* NCFM



Fuente: tomada de <https://url.unad.edu.co/5OuNp>

Conocer las características de las bacterias empleadas es esencial para diseñar estrategias de producción seguras y eficientes, destacando la importancia de elegir cepas bacterianas específicas, según las necesidades de la aplicación biotecnológica en alimentos. Así, la comprensión de la morfología y características distintivas de las bacterias contribuye de manera fundamental a optimizar los procesos y garantizar productos finales de alta calidad en la industria alimentaria.

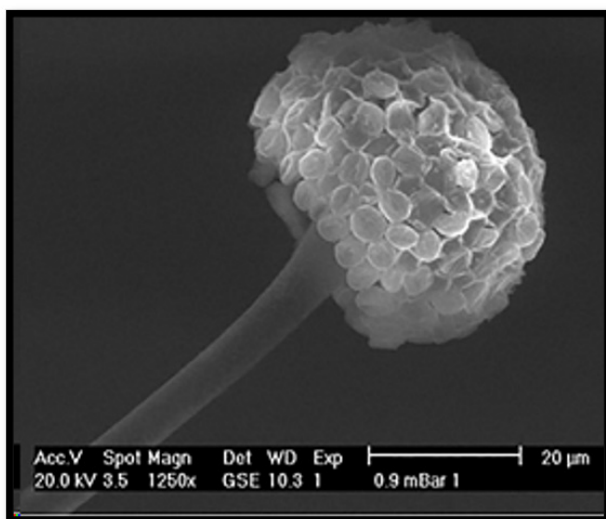
6.3.2.2. Hongos y levaduras

Tanto los hongos como las levaduras son microorganismos eucariotas que desempeñan roles fundamentales en la biotecnología alimentaria, debido a su capacidad para fermentar sustratos y producir compuestos útiles. El tamaño de las células varía entre 20 y 100 μm , tienen paredes celulares rígidas y membranas plasmáticas delgadas. El citoplasma es móvil y contiene organelos que están unidos a la membrana.

Los hongos (Figura 6.1) son microorganismos multicelulares no móviles caracterizados por estructuras ramificadas llamadas hifas. Su pared celular está compuesta

por celulosa, quitina o ambas. La compleja estructura de las hifas fúngicas proporciona resistencia y forma el micelio, base de su organización. La reproducción de hongos puede ser tanto asexual como sexual, con la formación de esporas que varían en forma, tamaño y color, siendo características cruciales para la taxonomía. Las hifas pueden ser o no tabicadas, o tabicadas uninuclear o multinuclear. Así mismo, las hifas pueden ser vegetativas o reproductivas, siendo estas últimas las que se extienden y forman exosporas libres (conidias) o en saco (esporangio). Su papel en la biotecnología alimentaria se evidencia en la producción de enzimas valiosas, como las amilasas y proteasas, utilizadas en la industria alimentaria para la mejora de procesos y la generación de productos especializados (Tortora et al., 2007).

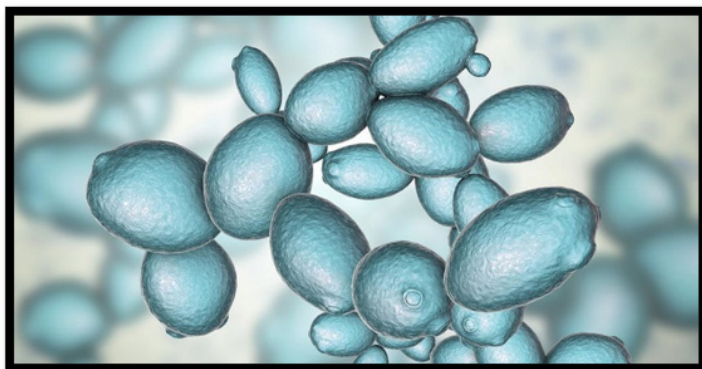
Figura 6.5. Fotomicrografía de *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168)



Fuente: tomada de Londoño-Hernández et al. (2017).

Las levaduras son microorganismos unicelulares cuyas células pueden ser ovales, esféricas o alargadas, con un tamaño entre 2 y 10 μm (figura 6.6). Las levaduras son conocidas por su participación en procesos fermentativos, convirtiendo sustratos como azúcares en productos finales deseados como etanol y dióxido de carbono. Su reproducción, generalmente es por mitosis o asexual, lo cual facilita su adaptación a diversos ambientes y su aplicación en la producción de alimentos. Al igual que los hongos, no son móviles y su pared celular está compuesta de polisacáridos, proteínas y lípidos. Esta pared puede tener algunas cicatrices que indican los sitios de gemación pasada, y brindan información valiosa sobre su historial de crecimiento.

Figura 6.6. Fotomicrografía de *Saccharomyces cerevisiae*



Fuente: tomada de <https://url.unad.edu.co/7hPPJ>

En la biotecnología alimentaria, la versatilidad de las levaduras y hongos se aprovecha para fermentar sustratos, producir enzimas y desarrollar productos innovadores, subrayando su importancia como herramientas clave en la manipulación de procesos alimentarios.

6.3.2. Medios de cultivo

Durante la fermentación es importante establecer las condiciones de cultivo para lograr el máximo rendimiento, por tanto, es vital reconocer los requerimientos nutricionales del microorganismo. En este sentido, el medio de cultivo puede definirse como el sustrato de crecimiento del microorganismo, el cual tiene las concentraciones adecuadas de carbono, nitrógeno y minerales que le permiten llevar a cabo sus funciones metabólicas. En general, el carbono es requerido como fuente de energía de la célula y comúnmente se usa el almidón. Sin embargo, los microorganismos fotosintéticos y autotróficos pueden utilizar como fuente dióxido de carbono. Es importante determinar la vía por la cual los microorganismos heterótrofos metabolizan el carbono, así como cuánto de este es convertido en material celular. Se ha encontrado que, en fermentaciones anaeróbicas, los microorganismos incorporan alrededor del 10 % del carbono en el material celular, mientras que en fermentaciones aeróbicas se incorpora entre el 50 % y el 55 %. Con esta información es posible calcular los requerimientos de carbono del microorganismo para formular el medio de cultivo.

El nitrógeno es utilizado por el microorganismo en la formación de nuevas células o sus productos del metabolismo. En este caso es importante reconocer qué tipo de fuente es requerida por el microorganismo y su concentración. Algunos microorganismos pueden usar nitrógeno inorgánico para su crecimiento, por tanto, los medios de cultivo se pueden suplementar con amonio, sales de amonio o sus derivados. Sin embargo, ciertos microorganismos solo usan nitrógeno orgánico para su crecimiento, el cual puede ir desde aminoácidos simples hasta complejos, así como también purinas y vitaminas, entre otros. Las fuentes de nitrógeno para la suplementación de medios de cultivo suelen ser costosas, por lo cual se han investigado otras fuentes, tales como soya, pescado, malta, extracto de levadura, caseína, entre otros, que pueden ser más económicos. En general, el nitrógeno constituye el 10 % del peso seco de la mayoría de los microorganismos, por lo cual, el medio de cultivo debe ser suplementado según los rendimientos esperados; sin embargo, en cualquiera de los casos, dicha suplementación dependerá del microorganismo, el costo y el propósito de la fermentación.

Los medios de cultivo también deben suplementarse con minerales, los cuales son usados por los microorganismos para acelerar algunas de sus funciones metabólicas. Entre los elementos comúnmente requeridos por los microorganismos se encuentran fósforo, potasio, magnesio, sodio y calcio. Sin embargo, es importante reconocer las concentraciones requeridas por cada uno de los microorganismos para determinar los microelementos que deben usarse en los medios de cultivo.

El nitrógeno es utilizado por el microorganismo en la formación de nuevas células o sus productos del metabolismo. En este caso es importante reconocer qué tipo de fuente es requerida por el microorganismo y su concentración. Algunos microorganismos pueden usar nitrógeno inorgánico para su crecimiento, por tanto, los medios de cultivo se pueden suplementar con amonio, sales de amonio o sus derivados.

6.3.3. Biorreactores

Los biorreactores pueden definirse como el espacio donde se lleva a cabo el proceso de fermentación y, por tanto, se brindan las condiciones para el crecimiento del microorganismo. El biorreactor debe tener algunos requerimientos básicos como: a) facilidad para el manejo del sustrato, b) prevención de la contaminación, c) mantenimiento de la temperatura para la fermentación, d) control del oxígeno en las fermentaciones aeróbicas o garantizar ausencia de oxígeno en las fermentaciones anaeróbicas, e) mantener homogeneidad en el sustrato, f) facilitar la extracción del producto final de la fermentación. En este sentido, para el diseño de un biorreactor deben tenerse en cuenta algunos criterios, dependiendo del tipo de producto, el microorganismo, el sustrato y el tipo de fermentación (Mitchell et al., 2006; Ruiz-Leza et al., 2007):

- a. El recipiente (tanque, bandejas, otros) debe mantener la asepsia durante todo el proceso de fermentación para evitar contaminación.
- b. El biorreactor debe proporcionar un sistema adecuado de aireación, agitación y homogenización para garantizar al microorganismo las condiciones para su crecimiento y metabolismo.
- c. El consumo de energía debe ser bajo.
- d. Debe permitir la entrada de nutrientes, control de pH, control de temperatura, control de oxígeno y control de humedad.
- e. Debido a que generalmente las reacciones de fermentación son procesos exotérmicos, el biorreactor debe facilitar los procesos de transferencia de calor y masa y mantener la temperatura deseada.
- f. Debe permitir mantener el sistema de cultivo puro, posterior a la esterilización y a la inoculación del microorganismo de interés.

En la industria, los biorreactores más desarrollados se encuentran para los procesos de fermentación líquida, mientras que para la fermentación sólida aún son incipientes, sin embargo, en los últimos años se ha avanzado en su desarrollo (Tabla 6.1 y Tabla 6.2).

Tabla 6.1. *Tipos de biorreactores usados en fermentación sumergida*

Tipo de biorreactor	Descripción
Tanque agitado	Los biorreactores de tanque agitado son los más empleados en procesos de fermentación sumergida, tanto a escala de laboratorio como a nivel industrial, ya que permiten controlar la mayoría de las variables del sistema. Estos biorreactores suelen contar con un impulsor que facilita la homogeneización del medio de cultivo y el suministro eficiente de oxígeno a las células microbianas. Su capacidad puede variar desde 15 mL hasta 2000 litros.
Balancín	Son sistemas de un solo uso, que generalmente incluyen una bolsa móvil y hacen un movimiento de balanceo para mantener la homogeneidad de la mezcla. El oxígeno se difunde por el espacio de cabeza a través de la interfaz líquido-gas, ya que estos biorreactores no están equipados con un rociador. El tamaño de estos equipos varía de unos pocos litros hasta máximo 100 litros, por lo cual solo se usan para producción a pequeña escala o para la preparación de preinóculos.
<i>Airlift</i>	Los biorreactores <i>airlift</i> se utilizan con menor frecuencia en la industria, dado que no se conocen muy bien los parámetros de funcionamiento en diferentes procesos de fermentación. Estos biorreactores constan de una columna aireada, lo cual permite la circulación de oxígeno en el medio. Los tipos de circulación de aire pueden ser por elevación de aire, tipo burbujeante o por chorro de aire. No hay un tubo guía del burbujeo en el biorreactor, por lo cual el control del flujo es complejo.
Lecho fijo	Los biorreactores de lecho fijo se utilizan generalmente para inmovilizar los microorganismos en un sustrato y llevar a cabo el proceso de fermentación. El medio de cultivo aireado pasa por el soporte, llevando a cabo la fermentación. El escalamiento del proceso en este tipo de biorreactor es complejo, así como la tecnología, por lo cual su uso en la industria es limitado.



Tabla 6.2. *Tipos de biorreactores usados en fermentación en estado sólido*

Tipo de biorreactor	Descripción
Bandeja	Es uno de los biorreactores más utilizados a nivel mundial para los procesos de fermentación en estado sólido. El equipo consta de bandejas perforadas dispuestas en una cámara con aireación forzada, lo cual permite la transferencia de oxígeno y masa en el sustrato, además de garantizar la humedad relativa del medio.
Columna	Desarrollado y patentado por el grupo del Instituto para la Investigación y Desarrollo (IRD, por sus iniciales en inglés), en Francia, entre 1975 y 1980, consta de columnas de 4 cm de diámetro por 20 cm de altura. En las columnas se dispone el material previamente inoculado y estas se colocan en un soporte de un baño de agua termorregulado. El equipo se conecta a aireación forzada para garantizar el paso de oxígeno. El equipo es sencillo y económico, sin embargo, para la toma de muestras durante la cinética se debe sacrificar el material completo de una de las columnas, por tanto, este equipo solo es conveniente durante las primeras etapas de desarrollo de un bioproceso, pues permite determinar los principales parámetros cinéticos.
Tambor horizontal	El tambor horizontal presenta diferentes diseños, de acuerdo con los requerimientos del sistema, se encuentra como un contenedor rotatorio, perforado o con paletas que permiten la agitación del sustrato. Algunos de estos consisten en un cilindro, con o sin chaqueta de enfriamiento, el cual gira lentamente. Presenta algunas dificultades como el mantenimiento de la temperatura, la humedad y, en muchos casos, produce ruptura del micelio lo cual disminuye la velocidad de reproducción para los hongos.

Tipo de biorreactor	Descripción
Zymotis	Diseñado y desarrollado por el antiguo grupo Orstom, consiste en platos verticales por donde internamente hay transferencia de calor y el aire es introducido por el fondo del sistema. Cada plato es cargado con el medio de cultivo previamente inoculado y se mantiene fijo durante el proceso. Durante la fermentación se presenta generalmente encogimiento del volumen del sustrato, limitando los procesos de transferencia de calor y masa y, por tanto, afectando los tiempos de fermentación.
Lecho fluidizado	Los biorreactores de lecho fluidizado permiten una operación en modo continuo durante tiempos prolongados. Estos biorreactores constan de un cilindro de vidrio con o sin chaqueta de enfriamiento. Para prevenir la compactación de la cama empacada se pueden usar soportes naturales o polímeros sintéticos, que presenten perforaciones de tal manera que hay una eficiente inmovilización de las células en el soporte con el medio de cultivo. El equipo provee agitación y aireación por flujo forzado, incrementando la transferencia de oxígeno en el sustrato.

Fuente: adaptado de Ruiz-Leza et al. (2007)

6.4. APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA

Son diversas las aplicaciones de la biotecnología en la industria alimentaria, entre ellas se destaca la producción de alimentos tales como los productos lácteos, cárnicos, cereales, bebidas, hongos comestibles y micoproteína; y la producción de ingredientes, materias primas y aditivos, como enzimas, péptidos, aromas, colorantes, entre otros.

6.4.1. Alimentos funcionales fermentados

Una de las principales aplicaciones de la biotecnología alimentaria es en el proceso de transformación de alimentos a través de la fermentación. Los alimentos fermentados han acompañado al hombre durante la historia, sin embargo, solo hasta



el conocimiento de las dinámicas microbiológicas y bioquímicas que ocurren en el alimento se ha logrado estandarizar el proceso de producción. Durante la fermentación, por efecto del metabolismo microbiano, se producen cambios en las características fisicoquímicas y sensoriales del alimento. Dichos cambios están relacionados directamente con los compuestos hidrolizados o sintetizados durante la fermentación. En este sentido, los cambios en la composición nutricional, por ejemplo, en productos fermentados con hongos filamentosos, se debe a la generación de micoproteína que incrementa el contenido de nitrógeno total; los cambios en la textura se deben a la transformación en la estructura de algunos carbohidratos y proteínas que usa el microorganismo para su metabolismo; los cambios en el color, sabor y aroma están relacionados con la producción de ácidos orgánicos, algunos ácidos grasos, entre otros. Así mismo, la producción de algunos compuestos como el ácido láctico u otros durante la fermentación favorece el incremento de la vida útil del alimento.

Los productos lácteos son los alimentos fermentados más comúnmente conocidos, pero la aplicación de este proceso sirve para elaborar una amplia gama de productos. Así mismo, hoy en día con el avance en las técnicas analíticas se ha logrado determinar que cerca del 90 % de los alimentos fermentados contienen compuestos bioactivos que tienen una actividad biológica determinada, por lo cual, muchos de estos alimentos son considerados funcionales. Los alimentos funcionales son aquellos que tienen una función, científicamente comprobada, más allá de la nutrición. Este beneficio o función se debe a los compuestos bioactivos presentes en el alimento, de manera natural o añadida, y tienen actividades biológicas como antioxidantes, antimicrobianos, antitumorales, entre otros, que pueden contribuir a la prevención de enfermedades, al fortalecimiento del sistema inmunológico, al mejoramiento de la función digestiva, entre otros. Por tanto, la elaboración de alimentos fermentados se ha constituido como una tecnología innovadora para obtener productos funcionales.

Productos lácteos fermentados

La fermentación de la leche surgió como un proceso para incrementar la vida útil de este producto, además que lograba cambiar de manera favorable su sabor y aroma. Hoy en día hay una gama de derivados lácteos fermentados que se producen en todo el mundo. Entre los productos lácteos fermentados se encuentran principalmente el yogur y el kéfir, entre otros. Durante la fermentación de la leche se logra disminuir la presencia de algunos compuestos como la lactosa, lo cual favorece la digestión, así mismo, la fermentación cambia la estructura de algunos compues-

tos y modifica la composición química. Para el desarrollo de alimentos lácteos fermentados se utiliza tanto leche bovina como leche de búfalas, cabras, ovejas, entre otras. En general, los productos lácteos fermentados se pueden clasificar en leches fermentadas, quesos y natas agrias. El proceso de fermentación es llevado a cabo principalmente por bacterias ácido-lácticas (BAL), sin embargo, en algunos estudios se ha encontrado la presencia de otros microorganismos como levaduras. Los géneros de microorganismos más comúnmente usados para la obtención de productos lácteos fermentados incluyen: *Lactobacillus*, *Lactococcus* y *Streptococcus*, y entre las especies se encuentran: *L. plantarum*, *L. fermentans*, *L. delbrueckii*, *L. casei*, *L. paracasei*, *L. rhamnosus*, *L. helveticus*, *L. bulgaricus*, y *L. acidophilus*. Entre otras de las bacterias que se han encontrado en los productos lácteos fermentados y que pueden influir directamente en las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos obtenidos se encuentran: *Acetobacter*, *Leuconostoc*, *Acinetobacter* y *Pseudomonas*.

Vegetales fermentados

Al igual que los lácteos fermentados, la fermentación de vegetales se originó como una forma de conservar los productos cultivados durante los periodos de invierno o las temporadas de sequía (Hongu et al., 2017). En el mundo se ha desarrollado una variedad de productos fermentados, sin embargo, solo hasta hace algunos años se han reconocido sus propiedades, por lo que las investigaciones enfocadas en el proceso de fermentación de este tipo de productos han ido en aumento. Los vegetales fermentados se reconocen por su valor nutricional y sus características organolépticas, entre las que se destacan el sabor y la textura, por lo cual su consumo en el mundo ha incrementado en los últimos años. Uno de los productos destacados de los vegetales fermentados es el kimchi. El *kimchi* es un producto coreano elaborado con una variedad de verduras como col, pimiento rojo, ajo, jengibre, entre otros. El proceso de fermentación es llevado a cabo principalmente por BAL como *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Weissella*, *Pediococcus* y *Lactococcus* (Song et al., 2021). Otro de los productos reconocidos es el *sauerkraut*, elaborado a partir de la fermentación de la col con BAL (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* y *Lactobacillus sakei*), microorganismos reconocidos por sus beneficios a la salud asociados con el control de patógenos, y la generación de compuestos bioactivos que favorecen el sistema digestivo (Garnås, 2023). En general, los vegetales fermentados pueden considerarse como una fuente potencial de microorganismos probióticos, cuyo consumo puede ayudar a la mejora de la salud.

Cereales y legumbres

Los cereales y las legumbres se caracterizan por su alto valor nutricional en términos de carbohidratos y proteínas, respectivamente. Sin embargo, en muchas ocasiones, también se caracterizan por su alto contenido de compuestos antinutricionales, lo cual limita la asimilación de los macronutrientes. En este sentido, la fermentación juega un papel crucial para el mejoramiento de las características nutricionales y organolépticas de cereales y legumbres, incrementando la biodisponibilidad de los macro y micronutrientes, además, permitiendo la liberación de compuestos bioactivos que contribuyen a la salud del consumidor. Entre este grupo de alimentos, los más reconocidos son el tempeh, el miso y el natton. El tempeh es producto de la fermentación de soya con hongos filamentosos, generalmente *Rhizopus oligosporus* o *Rhizopus oryzae*. Durante la fermentación se incrementa la proteína disponible, además de reducir los compuestos antinutricionales, logrando la mejorada en la biodigestibilidad proteica de la soya. Algunas investigaciones han demostrado que la fermentación de la soya con *Lactobacillus plantarum* reduce la concentración de los factores antinutricionales presentes, como los fitatos, inhibidores de tripsina y oligosacáridos, mejorando la calidad nutricional de esta legumbre (Adeyemo y Onilude, 2013). En la región Andina, la quinua es uno de los pseudocereales más reconocidos por sus beneficios nutricionales; no obstante, al igual que otras leguminosas y cereales, contiene una elevada concentración de compuestos antinutricionales que pueden limitar su consumo. Se ha demostrado que la fermentación de la quinua con BAL es un proceso que ayuda a mejorar el potencial nutricional y biológico de este pseudocereal y además que puede ser un ingrediente utilizado para elaborar alimentos funcionales (Abdelshafy et al., 2024). En este sentido, la fermentación de cereales y pseudocereales es un proceso de interés para la industria de alimentos.

Cárnicos y pescados fermentados

La fermentación de carnes y pescados se da como una alternativa al uso de otras tecnologías de procesamiento, tales como salación o congelación, permitiendo el incremento de la vida útil de estos productos perecederos. A través de fermentación se pueden obtener salsas, pastas, embutidos, entre otros. En Corea se elabora una gran variedad de productos de pescado fermentados, entre los cuales se encuentra el *jeotgal*, elaborado con una variedad de pescados y mariscos con microorganismos como *Lactobacillus*, *Leuconostoc* y *Halobacterium*. El *jeotgal* se reconoce por su contenido de aminoácidos esenciales, y los compuestos con actividad biológica como antioxidante y antimutagénico, convirtiéndolo en un producto funcional

(Koo et al., 2016). Cada uno de los productos cárnicos fermentados es obtenido por diferentes procesos, dependiendo de la materia prima, sin embargo, en general se utilizan las BAL como microorganismos para el proceso dado a los beneficios de las bacteriocinas producidas durante la fermentación, así como a los compuestos bioactivos liberados cuyas actividades biológicas han sido demostradas, siendo un potencial para la producción de alimentos funcionales a partir de cárnicos o pescados.

Bebidas

Una de las aplicaciones más reconocidas a nivel mundial del proceso de fermentación se encuentra en la elaboración de bebidas, tanto alcohólicas como no alcohólicas (bebidas lácteas, jugos, otros). En particular, el proceso de las bebidas alcohólicas es uno de los más antiguos. Su historia data del Neolítico, donde algunos hallazgos sugieren que se hacían jarras para beber. Cada uno de los países cuenta con bebidas autóctonas producidas por fermentación natural que se han utilizado a lo largo de los años en diferentes actividades culturales y religiosas, por lo que su consumo es muy común (Tomar et al., 2023). Sin embargo, algunos productos, como la cerveza o el vino, se han logrado estandarizar, produciéndose a partir de la fermentación controlada con *Saccharomyces cerevisiae*. Algunos estudios han demostrado que la fermentación de las uvas permite la liberación de compuestos antioxidantes y compuestos asociados a la prevención de enfermedades cardiovasculares, por lo cual su consumo moderado es aconsejable.

6.4.2. Péptidos bioactivos

Los péptidos bioactivos son fragmentos de la cadena proteica compuestos de 2 a 20 residuos de aminoácidos, tienen un peso molecular de menos de 6000 Da, son obtenidos durante la proteólisis, presentan propiedades biológicas como antioxidantes, antimicrobianas, antihipertensivas, entre otros, por lo cual son considerados como compuestos terapéuticos que pueden usarse en la prevención y tratamiento de ciertas enfermedades, debido a su alta especificidad, espectro de acción y baja toxicidad (Cruz-Casas et al., 2021; Xiang et al., 2019). Las fuentes para la obtención de péptidos bioactivos por fermentación pueden ser vegetal: soya, proteína de sésamo, quinua, frijol; o animal: lácteos y derivados, huevos, pescados, mariscos, subproductos cárnicos, entre otros. Los péptidos bioactivos pueden ser obtenidos por procesos de fermentación o por hidrólisis enzimática. La fermentación es una de las metodologías más económicas para la obtención de estos compuestos, y se han usado algunos microorganismos, como *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Streptococcus spp.*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus*

acidilactici, *Enterococcus gallinarum*, *Aspergillus oryzae*, entre otros (Colombo et al., 2023; López-Pedrouso et al., 2023; Tadesse y Emire, 2020). Pese a las propiedades biológicas que tienen los péptidos bioactivos se conoce poco acerca de los mecanismos de acción de estos, por lo cual esta área de conocimiento es de gran interés para el desarrollo de alimentos funcionales y productos nutraceuticos.

6.4.3. Enzimas

Las enzimas son catalizadores biológicos que aceleran las reacciones químicas, siendo más eficientes, específicas y menos costosas que los catalizadores químicos. Debido a sus aplicaciones industriales, el mercado de las enzimas ha incrementado en los últimos años, por lo cual las investigaciones acerca de los procesos de obtención para lograr disminuir los costos y mejorar las características de estas también han ido en aumento. Las enzimas son biomoléculas vitales para mantener las funciones de cualquier organismo; de acuerdo con el proceso realizado se pueden clasificar en seis grupos con sus respectivos códigos: 1 = oxidorreductasas, 2 = transferasas, 3 = hidrolasas, 4 = liasas, 5 = isomerasas, y 6 = ligases (Londoño-Hernández et al., 2020; Zhang et al., 2018).

Desde una perspectiva industrial, las enzimas se pueden producir mediante dos métodos principales: la fermentación en estado sólido (FES) y la fermentación sumergida (FS). La elección del proceso depende de factores como el tipo de fuente o material de fermentación, el microorganismo utilizado y la enzima específica que se desea producir. Aunque la FS es uno de los métodos más comúnmente empleados, dada la estandarización de los biorreactores para el control del proceso, la FES ha ganado relevancia entre los investigadores, debido a sus ventajas, como la valorización de residuos agroindustriales para la obtención de una variedad de enzimas.

6.5. NUEVAS TENDENCIAS DE LA BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA

Gracias a los avances en ingeniería genética y a las investigaciones en torno a la manipulación genética de microorganismos para mejorar los parámetros cinéticos o la producción específica de metabolitos, se ha logrado una evolución significativa de la biotecnología alimentaria. Así mismo, se ha progresado en el desarrollo de tecnologías que permiten la identificación de los microorganismos que participan en un proceso, así como la cuantificación rápida de los análisis microbiológicos en la industria, logrando mantener estándares de calidad. Entre las técnicas de mayor

relevancia se destacan la reacción en cadena de la polimerasa (PCR por sus iniciales en inglés) y la tecnología CRISPR-Cas9.

La técnica PCR es esencial en biología molecular y ha permitido la detección y análisis de material genético. En biotecnología alimentaria se utiliza para la identificación y caracterización de microorganismos, tanto patógenos como microorganismos benéficos que participan en los procesos de fermentación para la obtención de alimentos. La identificación de estos microorganismos permite proponer mejoras en los procesos, usar nuevas cepas, garantizar las características fisicoquímicas de los alimentos fermentados, así como controlar las variables para la obtención de dichos alimentos (El Sheikha y Hu, 2020). Así mismo, hoy en día, con la PCR se permite la identificación rápida de contaminantes, lo cual garantiza la seguridad alimentaria y facilita el control de calidad en la industria de alimentos.

La tecnología CRISPR-Cas9, conocida comúnmente como “las tijeras genéticas”, es una herramienta que permite la edición genética de manera precisa. En biotecnología alimentaria es usada para la modificación de genes específicos de los microorganismos utilizados para los procesos de fermentación, con el objetivo de incrementar los rendimientos en la obtención de metabolitos de interés industrial. Utilizando la herramienta de edición del genoma CRISPR-Cas9 es posible obtener cepas para fermentación de alimentos más versátiles, reduciendo los tiempos de proceso. Esta herramienta se ha utilizado para la modificación de los genes de levaduras como por ejemplo *S. cerevisiae*, encontrando que en procesos de elaboración de vinos las cepas modificadas se adaptan mejor a medios de cultivos con alta concentración de nitrógeno, entre otros beneficios (Chai et al., 2022). Esta herramienta no es costosa, por lo cual su uso supone una revolución en la industria de alimentos, al lograr optimizar los procesos de producción y mejorar la eficiencia en la obtención de alimentos fermentados e ingredientes funcionales.

La manipulación genética no solo se ha dado en las cepas utilizadas para la fermentación de alimentos, también ha dado paso para la mejora genética de plantas, incorporando nuevos genes con rasgos deseables como la resistencia a la sequía, resistencia a plagas y enfermedades, mejora de las características nutricionales, entre otras, lo cual mejora el rendimiento. La producción de alimentos genéticamente modificados, también conocidos como organismos modificados genéticamente (OMG), puede contribuir al logro de los objetivos sostenibles, principalmente con la disminución del hambre y los procesos sostenibles, sin embargo, su inclusión en el mercado ha planteado un reto. Actualmente, algunos alimentos genéticamente modificados como el maíz y la soya hacen parte de la cadena alimenticia, pero, al-

gunas preocupaciones éticas y de bioseguridad han llevado a una evaluación del riesgo asociado a su consumo. Es por esto que la transparencia en la etiqueta y la comunicación efectiva con los consumidores y el establecimiento de una normatividad clara son aspectos fundamentales para abordar las preocupaciones y garantizar la aceptación pública de dichos alimentos o subproductos elaborados con estas materias primas (Ghimire et al., 2023).

La manipulación genética no solo se ha dado en las cepas utilizadas para la fermentación de alimentos, también ha dado paso para la mejora genética de plantas, incorporando nuevos genes con rasgos deseables como la resistencia a la sequía, resistencia a plagas y enfermedades, mejora de las características nutricionales, entre otras, lo cual mejora el rendimiento.