

Fernanda Díaz Peña
Universidad Autónoma Metropolitana
Lic. en Ingeniería Biológica
UAM Cuajimalpa
fernanda.diaz.p@cua.uam.mx

Alimentos fermentados basados en plantas como moduladores de la microbiota intestinal

Objetivo

Analizar la evidencia científica sobre cómo los alimentos fermentados vegetales modulan la microbiota intestinal y sus implicaciones para una alimentación basada en plantas sostenible.

Revisar tipos de alimentos fermentados vegetales y procesos de fermentación.

Justificación

La microbiota intestinal desempeña un papel central en el metabolismo de nutrientes, incluyendo aminoácidos y compuestos nitrogenados derivados de la dieta.

La interacción entre proteínas vegetales, sus productos de digestión y la microbiota puede generar metabolitos con efectos fisiológicos relevantes.

Realizar una revisión que sintetice estos hallazgos permite comprender mejor el impacto metabólico, aportando bases científicas para evaluar su papel en la salud intestinal y en el diseño de dietas sostenibles.

Introducción.....	3
1. Alimentos fermentados.....	3
1.1 Historia y cultura.....	3
1.2 Alimentos fermentados vegetales.....	4
1.3 Microorganismos y sustratos.....	6
1.4 Procesos de fermentación.....	7
1.4.1 Fermentación alcohólica.....	7
1.4.1.1 Fermentación del vino.....	7
1.4.2 Fermentación láctica.....	7
1.4.2.1 Fermentación del kimchi.....	8
1.4.3 Fermentación acética.....	8
1.4.3.1 Fermentación de la kombucha.....	8
1.4.4 Fermentación de sustitutos cárnicos.....	9
1.4.4.1 Fermentación del tempe y beneficios.....	9
1.5 Características sensoriales de los alimentos fermentados.....	9
1.5.1 Contribución de los aminoácidos al sabor.....	10
1.5.2 Compuestos volátiles y desarrollo del aroma.....	10
1.5.3 Modificaciones de textura y apariencia.....	10
2. Cambios nutricionales y producción de metabolitos después de la fermentación.....	11
2.1 Transformación de nutrientes.....	11
3. Alimentos funcionales.....	12
4. Probióticos.....	12
4.1 Criterios y mecanismos de acción de los probióticos.....	14
5. Prebióticos.....	14
6. Microbiota intestinal.....	14
6.1 Microbiota intestinal.....	14
6.2 Clasificación de la microbiota.....	15
6.3 Funciones de la microbiota intestinal.....	16
6.4 Relación microbiota–intestino–cerebro.....	16
5.4.1 Salud mental y neurotransmisores.....	16
5.4.2 Salud mental en México.....	17
6. Alimentación como modulador de la microbiota.....	17
7. Alimentación basada en plantas.....	18
8. Modulación de la microbiota por alimentos fermentados vegetales.....	19
9. Fermentación en la actualidad.....	19
10. DISCUSIÓN.....	20
10.1 Alimentación, sociedad y estilos de vida.....	20
10.2 Dimensión social y cultural de los alimentos fermentados.....	20
10.3 Dietas basadas en plantas y decisiones alimentarias.....	21
10.4 Estilos de vida, condiciones socioeconómicas y alimentación.....	22
13. Conclusión.....	22
Bibliografía.....	23

Introducción.

Hoy en día reconocemos cada vez más la conexión entre lo que comemos y cómo nos sentimos. Aunque los beneficios de una buena alimentación se han observado durante siglos, profundizar en el contenido real de nuestros alimentos y en cómo este interactúa con nuestro bienestar abre posibilidades que apenas comenzamos a explorar.

La microbiota intestinal que es el enfoque principal, es un ecosistema complejo que habita en nosotros y que influye en procesos tan diversos como la digestión, el sistema inmunológico y hasta el estado de ánimo. La investigación científica ha demostrado que el consumo de probióticos es clave para mantener este equilibrio interno.

Sin embargo, persiste la idea de que los probióticos solo vienen en cápsulas o requieren prescripción médica. La realidad es más accesible: los alimentos fermentados presentes en muchas culturas desde hace milenios son una fuente natural y cotidiana de estos microorganismos benéficos. Aunque no todos los alimentos contienen probióticos,

En este proyecto se aborda el papel de los alimentos fermentados a base de plantas como una alternativa accesible para el cuidado de la salud intestinal, considerando su integración dentro de una alimentación basada en plantas y una perspectiva ética y sostenible

1. Alimentos fermentados

1.1 Historia y cultura

La fermentación de alimentos constituye una práctica ancestral desarrollada de manera independiente en diferentes regiones del mundo. Las evidencias históricas y arqueológicas indican que los alimentos y bebidas fermentados han formado parte de la alimentación humana desde hace miles de años, inicialmente como una estrategia para conservar materias primas y mejorar sus características sensoriales y nutricionales. El desarrollo de estas prácticas estuvo estrechamente relacionado con la disponibilidad de materias primas, las condiciones ambientales y las tradiciones culturales de cada región.

En Asia, destacan fermentados como el kimchi, elaborado a partir de vegetales, y el tempe y el miso, derivados de la soya. En Europa, la fermentación de uvas y cereales dio origen a productos como el vino y la cerveza. En África, se desarrollaron diversos alimentos y bebidas fermentados a partir de cereales como maíz, sorgo y mijo.

En la cultura mesoamericana, estos alimentos también tuvieron un papel fundamental en la alimentación y conservación de los alimentos.

A través de la observación y la experiencia, estas culturas identificaron que algunos productos experimentaban transformaciones que mejoraban sus características sensoriales como el cacao, la vainilla, el maíz y el pulque. Prolongaban su conservación y enriquecían su valor cultural. Según las fuentes históricas, además de su valor alimentario, estos productos tenían funciones ceremoniales, medicinales, culinarias y comerciales; algunos incluso eran

símbolos de prestigio y poder, utilizados en intercambios entre pueblos y como ofrendas a las deidades.

Un ejemplo de deidades fueron Mayáhuel, diosa del maguey (solía representarse como una joven sentada o de pie sobre un maguey. Fig 1) , y Patécatl, asociado con el descubrimiento del *ocpatli*, una raíz añadida al aguamiel durante el proceso de fermentación utilizada para potenciar sus efectos. Debido a sus efectos embriagantes, el pulque se convirtió en la principal bebida alcohólica de Mesoamérica y adquirió un importante significado religioso. Además, la mitología reconocía a sus hijos, los llamados "400 conejos", un conjunto de deidades que simbolizaban las distintas manifestaciones de la embriaguez, como la alegría, el llanto, el sueño o la agresividad.(Herrera Jiménez, 2025)



Fig 1. La diosa Mayahuel alimentando a sus 400 hijos conejos, alegoría del pulque y los estados de embriaguez.

Conocer sobre la historia de los alimentos fermentados permite comprender cómo las sociedades antiguas desarrollaron, mediante la observación y la experiencia, técnicas que transformaron su alimentación. Y nos lleva a reconocer el valor de los alimentos más allá de su función nutricional, sus dimensiones culturales, sociales e históricas.

1.2 Alimentos fermentados vegetales

En México, en distintas comunidades se ha mantenido la elaboración de alimentos y bebidas fermentadas a partir de recursos vegetales locales.

Estas prácticas están vinculadas con la diversidad cultural del país, ya que diferentes grupos indígenas han desarrollado y preservado técnicas de fermentación adaptadas a las materias primas disponibles en sus regiones. Como resultado, existe una amplia variedad de productos elaborados a partir de ingredientes como maíz, cacao, agave, palma, piña y otros recursos vegetales.

Distintas investigaciones han reportado una amplia diversidad de estos productos (Tabla 1).

Tabla 1. Bebidas fermentadas tradicionales en México¹

<i>Bebida</i>	<i>Materia prima</i>	<i>Región</i>
<i>pulque</i>	Aguamiel (agave)	Altiplano central
<i>tepache</i>	Piña	Nacional
<i>pozol</i>	Maíz	Sureste
<i>tesgüino</i>	Maíz germinado	Norte
<i>colonche</i>	Tuna	Zonas áridas
<i>tejuino</i>	Maíz	Occidente
<i>tuba</i>	Savia de palma	Pacífico
<i>balché</i>	Miel + corteza	Sureste
<i>pox</i>	Maíz	Chiapas
<i>sendecho</i>	Maíz	Centro
<i>atole agrio</i>	Maíz	Sur

¹ Tabla diseñada a partir de la información obtenida en Ulloa & Herrera, 1976.

1.3 Microorganismos y sustratos

En general, las fermentaciones se llevan a cabo de forma espontánea, aprovechando la microbiota natural presente tanto en las materias primas como en el entorno (Ojeda-Linares et al., 2021). Sin embargo, en algunos alimentos se emplean cultivos iniciadores, ya que los microorganismos responsables de la fermentación han sido previamente seleccionados, lo que permite un mayor control del proceso.

Existen distintos tipos de fermentación, los cuales dependen de factores como la materia prima empleada, su composición y los microorganismos involucrados en el proceso. Algunos ejemplos de esta relación entre materia prima, microorganismos y producto final se muestran en la Figura 2.

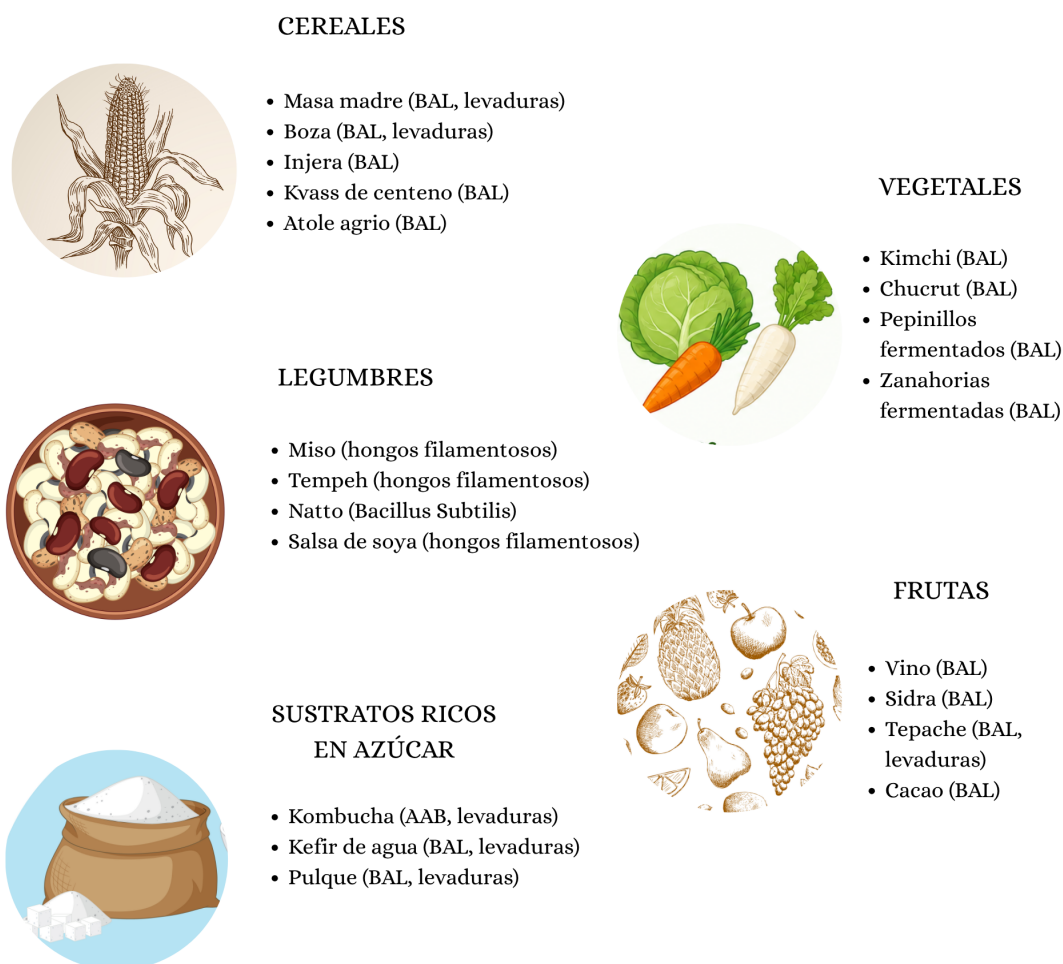


Figura 2. Clasificación de los alimentos fermentados según el sustrato, el producto final y los principales grupos microbianos involucrados en su fermentación. Elaboración propia con base en *Fermenting the Future: Fermented Foods and the Gut Microbiome*(Stanford School of Medicine, 2024).

1.4 Procesos de fermentación

La fermentación es un proceso en el que los microorganismos como bacterias y levaduras transforman los componentes orgánicos de los alimentos, en compuestos más simples con propiedades bioactivas, funcionales y nutritivas. La fermentación de alimentos puede darse con o sin oxígeno.

Existen diversos tipos de fermentación, entre los que destacan la fermentación láctica, alcohólica y acética. Cada una se caracteriza por los microorganismos que participan, la ruta bioquímica que siguen y por los metabolitos finales que producen.

1.4.1 Fermentación alcohólica

En la fermentación alcohólica los azúcares del sustrato, principalmente hexosas como la glucosa y la fructosa, son transformados en etanol y dióxido de carbono. Este proceso, llevado a cabo principalmente por levaduras, también genera una variedad de subproductos que pueden influir en las características del producto final (Buratti & Benedetti, 2016; Epifanio, 2005; Zamora, 2009).

Ejemplos de esta fermentación incluyen productos como el pan, la cerveza y el vino

1.4.1.1 Fermentación del vino

El proceso de fermentación transforma el jugo de uva (mosto) en vino (Fig.3a). Se trata de una reacción química en la que las levaduras interactúan con los azúcares (glucosa y fructosa) presentes en el mosto para producir etanol y dióxido de carbono. Tradicionalmente, los procesos de fermentación para la elaboración de vino se llevan a cabo utilizando cepas de *Saccharomyces cerevisiae*, la levadura más común y disponible comercialmente, junto con algunas bacterias ácido lácticas. (Maicas, 2021)

1.4.2 Fermentación láctica

La fermentación láctica es un proceso mediante el cual los azúcares, especialmente la glucosa, se convierten en ácido láctico con el objetivo de producir energía en ausencia de oxígeno como en el caso del kimchi, chucrut, pepinillos y cereales fermentados

A diferencia de la fermentación alcohólica, este proceso no libera dióxido de carbono, siendo el ácido láctico su principal producto final.

Las bacterias ácido lácticas (BAL) son las principales responsables de este tipo de fermentación

1.4.2.1 Fermentación del kimchi

El kimchi es un alimento fermentado tradicional que se elabora a partir de vegetales, principalmente col, rábano y pepino, los cuales se mezclan con diversos condimentos, como chile en polvo, ajo, jengibre y otros ingredientes (Fig. 3b). Su fermentación es llevada a cabo por bacterias ácido lácticas a bajas temperaturas, lo que favorece una adecuada maduración y conservación del producto. Durante este proceso, estos microorganismos transforman los carbohidratos en ácidos orgánicos, disminuyendo el pH y ayudando a mantener la frescura de los vegetales durante su almacenamiento. Además de los ácidos orgánicos, las BAL producen otros metabolitos, como dióxido de carbono, etanol, manitol, bacteriocinas, ácido γ -aminobutírico (GABA), ornitina, ácidos linoleicos conjugados y oligosacáridos, los cuales contribuyen tanto a las características sensoriales del kimchi como a sus posibles beneficios para la salud. (Lee et al., 2015).

1.4.3 Fermentación acética

En la fermentación acética ciertas bacterias pertenecientes al género *Acetobacter* oxidan el etanol y los azúcares para transformarlos en ácido acético, en presencia de oxígeno, como en el caso de producción de kéfir de agua, kombucha y vinagre.

1.4.3.1 Fermentación de la kombucha

La kombucha es una bebida fermentada elaborada a partir de té endulzado mediante una comunidad simbiótica de bacterias y levaduras conocida como SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast, por sus siglas en inglés) (Fig. 3c). Esta comunidad está compuesta principalmente por bacterias ácido acéticas (AAB) y levaduras, aunque también se ha reportado la presencia de bacterias ácido lácticas. Durante la fermentación, las levaduras transforman la sacarosa en glucosa, fructosa, etanol y dióxido de carbono; posteriormente, las bacterias ácido acéticas oxidan el etanol produciendo ácidos orgánicos como ácido acético, glucónico y glucurónico. Estos metabolitos contribuyen a las características sensoriales y al potencial funcional de la bebida (Wang et al., 2022)

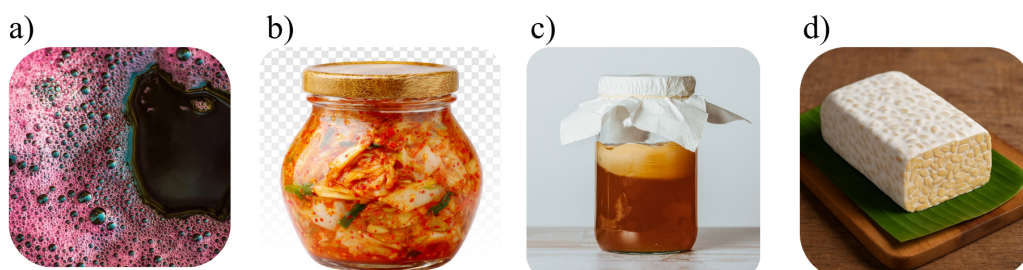


Figura 3. Ejemplos de alimentos y bebidas obtenidos mediante procesos de fermentación. (a) vino; (b) kimchi; (c); kombucha (d) tempe.

1.4.4 Fermentación de sustitutos cárnicos

De acuerdo con Manna et al. (2021), Steinkraus propuso una clasificación de los alimentos y bebidas fermentados en siete categorías, en la que incorporó como categorías independientes los sustitutos cárnicos elaborados a partir de proteína vegetal fermentada, como el tempe; las salsas fermentadas ricas en aminoácidos y péptidos, como las pastas fermentadas, como el miso; y los panes elaborados con levadura y masa madre.

1.4.4.1 Fermentación del tempe y beneficios

El tempe es un alimento tradicional de la cocina indonesia elaborado a partir de soya fermentada, principalmente mediante mohos del género *Rhizopus* (Fig. 3d). Su producción se basa en un proceso de fermentación en estado sólido (FES) bajo condiciones aeróbicas, durante el cual el micelio del moho crece sobre los granos de soya y los une, formando una estructura compacta de color blanco y con características sensoriales distintivas. Durante la fermentación, los microorganismos producen enzimas que participan en la transformación de los nutrientes presentes en la materia prima (Górska et al., 2025).

Entre estas enzimas destacan las proteasas, que hidrolizan las proteínas de la soya en péptidos y aminoácidos libres, favoreciendo su digestibilidad y modificando las propiedades nutricionales del producto. Estas modificaciones, junto con su contenido de proteínas, hacen del tempe una alternativa de origen vegetal a otras fuentes de proteína y favorecen el desarrollo de un alimento con características funcionales y un mayor valor nutricional (Górska et al., 2025).

La fermentación no solo impacta el valor nutricional, sino que también puede prolongar la vida útil de los alimentos, mejorar su seguridad microbiológica y aportar características sensoriales distintivas como aroma, sabor y textura. Asimismo, favorece la generación de compuestos bioactivos y la disminución de sustancias antinutricionales, incrementando así la disponibilidad de ciertos nutrientes. Aunque en algunos productos fermentados los microorganismos permanecen vivos al momento de su consumo, en otros casos los efectos benéficos se deben principalmente a los metabolitos formados durante el proceso, incluso si los microorganismos ya no están presentes (Marco et al., 2017).

1.5 Características sensoriales de los alimentos fermentados

Las características sensoriales de los alimentos fermentados son resultado de los cambios físicoquímicos y bioquímicos que ocurren durante la fermentación. La actividad metabólica de los microorganismos modifica los componentes de las materias primas y genera una amplia variedad de metabolitos, entre ellos aminoácidos, ácidos orgánicos y compuestos volátiles, que contribuyen al sabor, aroma, textura, color y apariencia de los productos. Estas características dependen tanto de la materia prima como de los microorganismos involucrados y de las condiciones bajo las cuales se desarrolla la fermentación.

1.5.1 Contribución de los aminoácidos al sabor

Las características del sabor de los alimentos fermentados, incluidos el sake, el miso, la salsa de soya y el tempe, están relacionadas, entre otros factores, con la presencia de aminoácidos libres liberados a partir de las proteínas durante la fermentación. Estos compuestos contribuyen a las características gustativas de los alimentos y pueden asociarse con diferentes percepciones de sabor. Por ejemplo, la glicina, alanina, serina, treonina y lisina se relacionan con notas dulces; la isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, valina, arginina, histidina, triptófano y tirosina con sabores amargos; mientras que el aspartato, la asparagina y el ácido glutámico pueden contribuir a sabores ácidos. El aspartato y el ácido glutámico también se relacionan con la percepción umami, mientras que el ácido glutámico, la cisteína y la metionina pueden contribuir a notas similares a las de la carne (Prativi et al., 2023).

1.5.2 Compuestos volátiles y desarrollo del aroma

El aroma de los alimentos fermentados se encuentra estrechamente relacionado con la formación de compuestos volátiles durante el metabolismo microbiano. Entre estos compuestos se encuentran alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos orgánicos y compuestos azufrados, cuya presencia y concentración determinan parte del perfil aromático característico de cada alimento.

La producción de estos compuestos depende de la materia prima y de los microorganismos involucrados. Por ejemplo, durante la fermentación alcohólica, las levaduras transforman los azúcares en etanol y otros metabolitos secundarios, entre ellos ésteres y alcoholes superiores que contribuyen al aroma de bebidas como el vino. En otros alimentos, las bacterias ácido-lácticas pueden producir ácidos orgánicos y otros metabolitos que contribuyen a aromas ácidos, lácticos o característicos del producto fermentado.

La combinación y concentración de estos compuestos generan perfiles aromáticos particulares y permiten diferenciar los alimentos fermentados de sus materias primas originales.

1.5.3 Modificaciones de textura y apariencia

La fermentación también puede producir modificaciones en la textura y apariencia de los alimentos. La degradación de proteínas, carbohidratos y otros polímeros puede alterar propiedades como firmeza, viscosidad y cohesividad.

En algunos productos, además, los propios microorganismos participan directamente en la formación de la estructura final. Un ejemplo es el tempe, cuya estructura compacta se desarrolla debido al crecimiento del micelio de *Rhizopus* sobre los granos de soya. En la kombucha, el crecimiento de bacterias y levaduras sobre la superficie del líquido puede dar lugar a la formación del SCOBY, modificando la apariencia y estructura del producto.

En alimentos vegetales fermentados como el kimchi, la actividad microbiana y los cambios en el pH pueden modificar la estructura de los tejidos vegetales y, por tanto, atributos como firmeza y crocancia. De esta manera, la fermentación puede generar características de textura y apariencia que contribuyen a la identidad sensorial del alimento.

2. Cambios nutricionales y producción de metabolitos después de la fermentación

2.1 Transformación de nutrientes

Durante la fermentación de los alimentos, los microorganismos transforman los componentes del sustrato mediante diversas rutas metabólicas, dando lugar a compuestos conocidos como metabolitos. Estos pueden clasificarse en metabolitos primarios y metabolitos secundarios. Los metabolitos primarios, como el ácido láctico y el etanol, se producen durante el crecimiento microbiano y son responsables de la conservación del alimento, además de contribuir a sus características sensoriales y, en algunos casos, a sus propiedades funcionales. Por otro lado, los metabolitos secundarios, entre ellos terpenoides, ésteres y otros compuestos aromáticos, se sintetizan en etapas posteriores del metabolismo y aportan aromas, sabores y otras características distintivas a los alimentos fermentados.

Además de los metabolitos generados durante la elaboración del alimento, la fermentación continúa una vez que estos son consumidos. En el intestino grueso, la microbiota intestinal fermenta los componentes de la dieta que no fueron digeridos en el tracto gastrointestinal superior, produciendo una amplia variedad de metabolitos con efectos sobre la fisiología del huésped.

La fermentación de carbohidratos, especialmente de fibras dietéticas y otros compuestos no digeribles, produce principalmente ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como acetato, propionato y butirato. Estos metabolitos desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la salud intestinal, ya que contribuyen a la integridad de la barrera epitelial, regulan la respuesta inmunitaria y participan en el metabolismo energético del huésped.

En contraste, la fermentación de proteínas genera metabolitos como ácidos grasos de cadena ramificada, aminas, fenoles, tioles, sulfuro de hidrógeno y amoníaco.

Los metabolitos pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los primeros están relacionados con el crecimiento microbiano e incluyen ácidos orgánicos, alcoholes y aminoácidos, como el ácido láctico y el etanol, que contribuyen a la acidificación, conservación y transformación del alimento. Los metabolitos secundarios comprenden compuestos producidos mediante rutas especializadas, algunos de los cuales presentan propiedades bioactivas.

Su producción depende de factores como la materia prima, los microorganismos empleados y las condiciones de fermentación, incluyendo temperatura, pH, oxígeno y tiempo. Por ello, la fermentación no solo transforma los componentes originales, sino que también genera metabolitos capaces de modificar las propiedades y el valor nutricional del alimento.

La fermentación puede favorecer la generación o liberación de diversos compuestos bioactivos, lo que ha incrementado el interés por los alimentos fermentados como posibles alimentos con propiedades funcionales. Estos efectos pueden relacionarse tanto con los microorganismos presentes en el alimento como con los metabolitos producidos durante el proceso de fermentación.

3. Alimentos funcionales

El término “alimento funcional” surgió en Japón durante la década de 1980 y posteriormente se estableció la categoría de alimentos para usos específicos en salud (FOSHU), destinada a productos que contienen componentes con efectos fisiológicos beneficiosos demostrados. En términos generales, un alimento puede considerarse funcional cuando, además de su función nutricional, ejerce efectos favorables sobre una o más funciones del organismo y contribuye a mantener o mejorar la salud o a reducir el riesgo de determinadas enfermedades. A diferencia de los medicamentos, los alimentos funcionales deben consumirse como parte de la dieta habitual (Illanes, 2015).

Los alimentos funcionales pueden ser productos naturales o alimentos cuya composición ha sido modificada mediante la adición, eliminación o modificación de alguno de sus componentes, o mediante cambios en su biodisponibilidad. Entre los componentes de interés se encuentran los probióticos y prebióticos, debido a su relación con la salud intestinal y con el mantenimiento de una microbiota equilibrada (Illanes, 2015).

En este contexto, los alimentos fermentados han adquirido interés como posibles alimentos funcionales, ya que durante la fermentación pueden generarse o liberarse microorganismos, metabolitos y otros compuestos bioactivos con potenciales efectos beneficiosos para la salud.

4. Probióticos

Los probióticos se definen como organismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas (10^6 UFC/g), confieren beneficios para la salud del huésped (FAO/OMS, 2002).

Los probióticos actúan principalmente en el aparato digestivo, donde pueden afectar el microbioma intestinal. Al consumir una cantidad adecuada de probióticos, una persona puede proteger su sistema digestivo de organismos patógenos, mejorar la digestión y la función intestinal, y contribuir a la prevención o el manejo de diversas enfermedades, como la diarrea asociada al uso de antibióticos, infecciones gastrointestinales, el síndrome del intestino irritable y enfermedades inflamatorias intestinales.

Los microorganismos probióticos incluyen principalmente bacterias ácido lácticas (BAL), aunque también pueden encontrarse otras bacterias y levaduras. Además de su importancia en la fermentación, algunas cepas presentan propiedades probióticas asociadas con el mantenimiento del equilibrio de la microbiota intestinal y la protección frente a microorganismos patógenos (Huq et al., 2013).

Los beneficios que generan en la salud podrían atribuirse principalmente a ciertos microorganismos (Tabla 3).

Tabla 3. Microorganismos probióticos identificados con efectos positivos para la salud.

Género	Especie
<i>Lactobacillus</i>	<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Lactobacillus amylovorus</i> <i>Lactobacillus casei</i> <i>Lactobacillus crispatus</i> <i>Lactobacillus delbrueckii</i> <i>Lactobacillus gasseri</i> <i>Lactobacillus paracasei</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Lactobacillus reuteri</i> <i>Lactobacillus rhamnosus</i> <i>Lactobacillus salivarius</i>
<i>Bifidobacterium</i>	<i>Bifidobacterium longum</i> <i>Bifidobacterium infantis</i> <i>Bifidobacterium breve</i> <i>Bifidobacterium thermophilum</i>

Otros microorganismos	<i>Bacillus cereus</i> var. <i>toyoi</i> <i>Escherichia coli</i> cepa Nissle <i>Propionibacterium freudenreichii</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Saccharomyces boulardii</i>
-----------------------	---

4.1 Criterios y mecanismos de acción de los probióticos

Para que un microorganismo pueda considerarse probiótico, debe demostrar efectos beneficiosos para el huésped y presentar características que le permitan sobrevivir y ejercer su función en el tracto gastrointestinal. Entre estas se encuentran la tolerancia a las condiciones ácidas del estómago y a las sales biliares, así como la capacidad de mantenerse viable y establecer interacciones con el entorno intestinal. Estas propiedades pueden variar entre especies y cepas, por lo que no todas las bacterias presentes en alimentos fermentados pueden considerarse probióticas. (Hill et al., 2014; Tuomola et al., 2001).

Los microorganismos probióticos pueden ejercer sus efectos mediante diversos mecanismos. Entre ellos se encuentran la competencia con microorganismos patógenos por nutrientes y sitios de adhesión, la producción de sustancias antimicrobianas y la modificación de las condiciones del entorno intestinal. Asimismo, pueden interactuar con la microbiota residente y participar en la modulación de determinadas respuestas del huésped, incluidas aquellas relacionadas con la función de la barrera intestinal y la respuesta inmunitaria (Hill et al., 2014).

En los alimentos fermentados, los microorganismos con potencial probiótico pueden encontrarse de manera natural o incorporarse mediante cultivos seleccionados. Mientras que un alimento fermentado puede contener microorganismos vivos sin que se haya demostrado un beneficio para la salud, un probiótico requiere evidencia científica que demuestre un efecto beneficioso asociado con una cepa específica (Marco et al., 2021). Por ello, la identificación de microorganismos presentes en los alimentos fermentados debe complementarse con la evaluación de su identidad, seguridad, características funcionales y evidencia de posibles efectos beneficiosos para la salud.

5. Prebióticos

Los prebióticos son compuestos que nuestro organismo no puede digerir, pero que sirven de alimento para los microorganismos beneficiosos de la microbiota intestinal. Al ser utilizados por estas bacterias, ayudan a mantener el equilibrio de la microbiota y contribuyen a la salud del organismo..

6. Microbiota intestinal

6.1 Microbiota intestinal

La microbiota intestinal es una comunidad compleja de microorganismos que habitan en el tracto gastrointestinal humano, incluyendo bacterias, arqueas, virus y hongos.

Se ha demostrado que el cuerpo humano alberga una cantidad de bacterias intestinales superior al número de células propias del organismo (10^{14} frente a 10^{13}) (Garza-Velasco et al., 2021). Estos microorganismos mantienen una relación simbiótica con el huésped y participan en diversos procesos fisiológicos esenciales, contribuyendo al mantenimiento de la homeostasis y a la conservación de la salud.

6.2 Clasificación de la microbiota

La microbiota puede clasificarse de manera general en autóctona o residente y alóctona o transitoria. La microbiota residente está constituida por microorganismos que forman parte de comunidades relativamente estables asociadas al hospedador, aunque su composición y abundancia pueden modificarse ante factores como el uso de antibióticos, la dieta o cambios en el estado fisiológico. Por otro lado, la microbiota alóctona o transitoria comprende microorganismos que colonizan temporalmente al hospedador y cuya presencia puede verse influenciada por factores como la dieta, los hábitos de higiene, la ubicación geográfica, el uso de antibióticos, la edad y el estado inmunológico (Garza-Velasco et al., 2021).

La microbiota intestinal comienza a establecerse desde las primeras etapas de la vida y experimenta modificaciones continuas a lo largo del desarrollo. Durante los primeros años, factores como el tipo de parto, la lactancia materna, la alimentación, el uso de antibióticos y el entorno influyen en su composición. Posteriormente, durante la infancia, adolescencia, adultez y vejez, la microbiota continúa modificándose en respuesta a factores como la dieta, el estilo de vida, la edad, el estado de salud y la exposición a medicamentos. En consecuencia, cada etapa de la vida presenta características particulares en cuanto a la composición y estructura de la comunidad microbiana, como se muestra en la figura 4.

Durante los primeros años de vida, las bifidobacterias pueden representar un grupo predominante, particularmente en lactantes alimentados con leche materna, y su composición evoluciona progresivamente hacia una comunidad intestinal más compleja. (Ottman et al., 2012). En la adultez, la microbiota suele presentar una composición relativamente estable y una elevada complejidad, aunque existe una considerable variabilidad entre individuos. Durante la vejez pueden producirse modificaciones en la composición y diversidad microbiana, asociadas tanto al envejecimiento como a factores relacionados, entre ellos la dieta, el estado de salud, el uso de medicamentos y el estilo de vida.

La dieta constituye uno de los principales factores que influyen en la composición y actividad de la microbiota intestinal, al modificar la disponibilidad de nutrientes y, con ello, la abundancia relativa y actividad metabólica de determinados grupos microbianos.

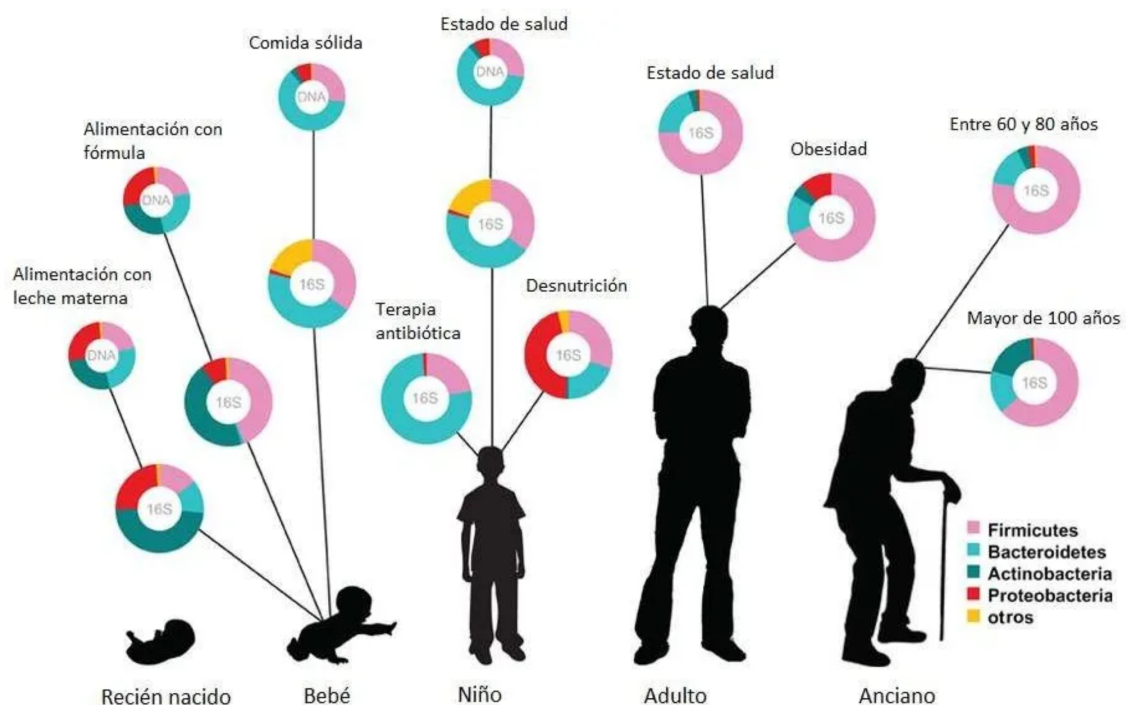


Figura 4. Cambios en la composición de la microbiota intestinal a lo largo de las diferentes etapas de la vida.

Nota. Tomada de Ottman et al. (2012).

6.3 Funciones de la microbiota intestinal

La microbiota intestinal desempeña un papel fundamental en diversos procesos metabólicos, nutricionales, fisiológicos e inmunológicos. Entre sus principales funciones se encuentran la fermentación de carbohidratos complejos no digeribles, la producción de metabolitos bioactivos y la síntesis de determinados micronutrientes. Asimismo, participa en la

regulación de la función y motilidad intestinal y en la modulación del sistema inmunológico, contribuyendo al mantenimiento de la homeostasis² del organismo (Tinahones, 2023).

6.4 Relación microbiota–intestino–cerebro

Los probióticos pueden ejercer efectos más amplios a través del eje intestino-cerebro, un sistema de comunicación bidireccional entre el tracto gastrointestinal y el sistema nervioso central.

La salud mental constituye un componente fundamental del bienestar integral del individuo, ya que influye directamente en los procesos cognitivos, emocionales y conductuales. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2022), esta no solo implica la ausencia de trastornos mentales, sino también la capacidad de afrontar el estrés cotidiano, tomar decisiones y mantener relaciones sociales saludables. Por ello es importante revisar cuál es su relación con la microbiota.

5.4.1 Salud mental y neurotransmisores

La evidencia científica ha demostrado que la disbiosis³ microbiana desempeña un papel fundamental en la aparición de trastornos neurológicos como el autismo, la depresión, la enfermedad de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson (Sherwin et al., 2018).

Álvarez et al. (2021) señalan que en la microbiota intestinal se sintetizan neurotransmisores que influyen directamente en las funciones cerebrales, como la dopamina, el ácido γ -aminobutírico (GABA) y la serotonina, siendo esta última la más abundante. (Tabla 3)

Los neurotransmisores son moléculas responsables de la comunicación entre neuronas mediante un proceso conocido como sinapsis. Estos regulan la actividad biológica relacionada con los procesos emocionales a través de sus receptores (Zhang et al., 2023).

Tabla 3. Ejemplos de neurotransmisores		
Neurotransmisor	Función principal	Síntesis
Serotonina	Regulación del estado de ánimo, ansiedad y conducta social	90–95% se sintetiza en el intestino

² Homeostasis: Capacidad del organismo para mantener condiciones internas relativamente estables frente a cambios del medio externo.

³ Disbiosis: desequilibrio en la composición y función de la microbiota, que puede afectar la salud del organismo.

Tabla 3. Ejemplos de neurotransmisores		
GABA	Inhibición del sistema nervioso	Producido por Lactobacillus y Bifidobacterium
Dopamina	Motivación y recompensa	Influenciada por la microbiota

5.4.2 Salud mental en México

En México, los trastornos neuropsiquiátricos representan una importante causa de discapacidad. De acuerdo con Cerecero-García et al. (2020), tres de las diez principales causas de discapacidad en el país corresponden a condiciones neuropsiquiátricas (Gráfica 1). Asimismo, las personas afectadas por alguno de estos trastornos presentan una pérdida significativa de días productivos debido a la discapacidad asociada.

Desde un enfoque preventivo, es importante considerar el papel de la microbiota intestinal en la salud mental. Cuando todos los microorganismos presentes en la microbiota trabajan de manera adecuada, brindando beneficios tanto para el consorcio como para el huésped, se le conoce como eubiosis (Álvarez et al., 2021). Este equilibrio microbiano se ha asociado con una mejor regulación del eje intestino-cerebro, lo que contribuye al bienestar psicológico. En este sentido, la buena salud mental podría permitir a las personas reconocer sus habilidades, afrontar el estrés cotidiano, trabajar de forma productiva y aportar a su comunidad (OMS).

6. Alimentación como modulador de la microbiota

La alimentación constituye uno de los principales factores que modulan la composición y actividad de la microbiota intestinal. Los nutrientes disponibles en la dieta pueden favorecer el crecimiento y la actividad metabólica de determinados grupos microbianos, modificando tanto su abundancia como los metabolitos producidos. Aunque los alimentos de dietas omnívoras aportan compuestos para la transformación de metabolitos, los patrones dietéticos ricos en alimentos de origen vegetal aportan fibra y otros compuestos que pueden ser utilizados o transformados por la microbiota, favoreciendo la producción de metabolitos asociados con efectos beneficiosos para el organismo.

Por el contrario, cambios en la calidad y composición de la dieta pueden modificar la estructura y actividad de la comunidad microbiana. Por ello, la alimentación constituye un factor relevante para el mantenimiento de la homeostasis intestinal y representa una vía

mediante la cual pueden modularse las interacciones entre la dieta, la microbiota y la salud del huésped.

7. Alimentación basada en plantas

La literatura científica sugiere que la adopción de dietas basadas en plantas incrementa la presencia de bacterias beneficiosas en el intestino, como las pertenecientes al filo *Bacteroidetes*, promoviendo así la salud intestinal y general. (Sidhu et al., 2023)

Diversos metabolitos producidos por la microbiota intestinal generan efectos benéficos para la salud, entre ellos acciones antiinflamatorias, inmunomoduladoras, anti obesogénicas, antihipertensivas, hipocolesterolémicas, antiproliferativas y antioxidantes. Estos efectos dependen tanto de la composición de la microbiota como de los sustratos disponibles para su metabolismo, influyendo en la expresión génica, el metabolismo y la función intestinal.

En comparación con las dietas omnívoras, las dietas veganas suelen aportar mayores cantidades de fibra y menores cantidades de grasas saturadas. Se ha propuesto que el consumo prolongado de alimentos de origen vegetal favorece una mayor diversidad microbiana, además que la elevada ingesta de fibra y polifenoles promueve el crecimiento de bacterias asociadas con un intestino saludable. Estos cambios en la composición de la microbiota contribuyen a la producción de metabolitos beneficiosos y al mantenimiento de un ecosistema intestinal más diverso (Losno et al., 2021).

El procesamiento de los alimentos puede modificar la disponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos, así como generar nuevos metabolitos. Entre estos procesos, la fermentación constituye una estrategia de transformación de alimentos vegetales que puede influir en su interacción con la microbiota intestinal.

8. Modulación de la microbiota por alimentos fermentados vegetales

Los alimentos fermentados de origen vegetal han adquirido interés por su posible capacidad para influir en la composición y actividad de la microbiota intestinal. La evidencia disponible sugiere que su consumo puede asociarse con cambios en determinados grupos microbianos y en la actividad metabólica de la comunidad intestinal. Sin embargo, estos efectos pueden variar según la materia prima, el tipo de fermentación, los microorganismos involucrados y las características individuales del consumidor

En conjunto, estos hallazgos han incrementado el interés por la fermentación como estrategia para desarrollar alimentos con características nutricionales y funcionales, además de impulsar nuevas investigaciones sobre su aplicación en los sistemas alimentarios actuales.

9. Fermentación en la actualidad

La fermentación ha pasado de ser una práctica tradicional de conservación y transformación de alimentos a constituir una herramienta de interés biotecnológico y alimentario. Los avances en el estudio de los microorganismos y metabolitos involucrados han permitido ampliar el conocimiento sobre sus posibles efectos nutricionales, sensoriales y funcionales.

Los avances en las tecnologías de secuenciación de nueva generación (NGS) y en las herramientas ómicas⁴ han permitido caracterizar con mayor precisión las comunidades microbianas presentes en los alimentos fermentados y comprender sus interacciones durante la fermentación. Estos métodos han sustituido en gran medida a las técnicas tradicionales basadas en cultivo, facilitando la optimización de los procesos fermentativos para obtener alimentos más seguros, de mayor calidad y con mejores propiedades. Además, ofrecen la posibilidad de intervenir y modificar la composición de estas comunidades con el fin de optimizar los procesos fermentativos y obtener productos más seguros, de mayor calidad, con propiedades deseadas y una vida útil prolongada. (Figura 5)

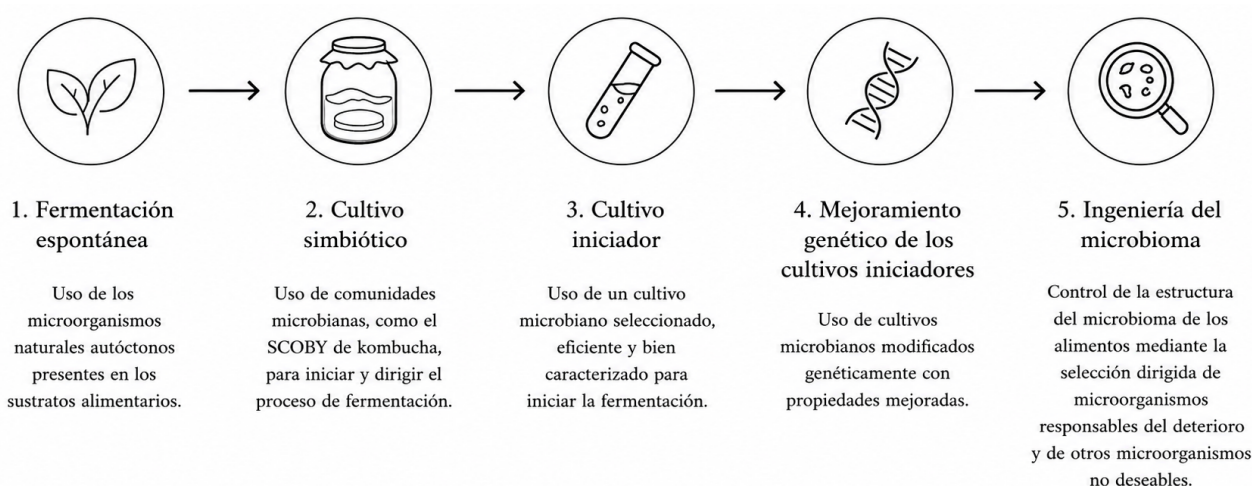


Figura 5. Evolución de las estrategias para dirigir y controlar los procesos de fermentación. Elaboración propia, adaptada de Manna et al. (2021)

La incorporación de alimentos fermentados en los sistemas alimentarios actuales no depende únicamente de sus características biológicas o nutricionales, sino también de factores económicos, culturales, sociales y ambientales.

Su estudio requiere considerar no solo sus posibles beneficios para la salud, sino también el contexto en el que se producen, comercializan y consumen.

⁴ Ciencias ómicas: Conjunto de disciplinas biológicas y tecnologías que analizan la estructura, función y dinámica de las moléculas en los sistemas vivos

10. DISCUSIÓN

10.1 Alimentación, sociedad y estilos de vida

El estilo de vida contemporáneo ha generado transformaciones importantes en los hábitos alimentarios, entre ellas un aumento en el consumo de alimentos procesados y comidas rápidas. Estos cambios se relacionan con diversos problemas de salud, como obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer, cuya distribución también se encuentra condicionada por factores económicos y sociales. En este sentido, la alimentación no puede comprenderse únicamente como una elección individual, ya que se encuentra influida por las condiciones materiales, laborales, ambientales y sociales en las que se desenvuelven las personas (Ezzati et al., 2005).

La alimentación cumple funciones que trascienden la satisfacción de necesidades nutricionales. En las sociedades occidentales, el consumo de alimentos se encuentra estrechamente relacionado con el placer, la convivencia y las preferencias personales, lo que puede generar una tensión entre la búsqueda de gratificación inmediata y el mantenimiento de una alimentación saludable. Por ello, comprender los hábitos alimentarios requiere considerar tanto los factores individuales como aquellos relacionados con el contexto social y económico.

Desde esta perspectiva, han adquirido relevancia los llamados alimentos funcionales, entendidos como aquellos que, además de aportar nutrientes, pueden proporcionar beneficios adicionales para la salud. Dentro de este grupo, los alimentos fermentados han despertado un interés creciente debido a la presencia de microorganismos, metabolitos y otros compuestos generados durante la fermentación, los cuales pueden contribuir a sus características nutricionales y funcionales.

10.2 Dimensión social y cultural de los alimentos fermentados

Además de sus propiedades microbiológicas y funcionales, los alimentos fermentados poseen una importante dimensión social y cultural. Históricamente, la fermentación ha estado vinculada con la conservación y transformación de los alimentos, así como con la transmisión de conocimientos y la construcción de identidades alimentarias dentro de diferentes comunidades. Por lo tanto, estos procesos no representan únicamente una transformación biológica mediada por microorganismos, sino también una interacción entre las prácticas humanas, las tradiciones y el entorno.

Esta dimensión resulta particularmente relevante frente a las características de los sistemas alimentarios contemporáneos, en los que predominan la producción a gran escala, la estandarización y la búsqueda de productos de consumo inmediato. A diferencia de estos procesos, muchas prácticas fermentativas tradicionales requieren tiempo, condiciones específicas y conocimientos transmitidos entre generaciones. De esta manera, la fermentación puede entenderse también como una práctica que conserva formas particulares de relación con los alimentos y con el territorio.

Un ejemplo de esta dimensión colectiva es el *kimjang* en Corea, tradición relacionada con la preparación comunitaria de kimchi, en la que participan familias y comunidades. De manera semejante, en México existen alimentos y bebidas fermentadas como el pulque, y el pozol cuya elaboración y consumo se encuentran vinculados con prácticas culturales y conocimientos transmitidos entre generaciones. Estos ejemplos muestran que la fermentación no puede separarse completamente de los contextos históricos y culturales en los que se desarrolla.

La incorporación de alimentos fermentados dentro de una alimentación saludable también debe analizarse desde una perspectiva de accesibilidad. El acceso a productos artesanales, ingredientes de calidad o alimentos con determinadas características puede estar condicionado por el nivel socioeconómico, la disponibilidad de recursos y el tiempo destinado a la preparación de alimentos. Por ello, la promoción de los alimentos fermentados no debería centrarse exclusivamente en sus posibles beneficios para la salud, sino considerar también las condiciones sociales y económicas que determinan quién puede acceder a ellos y bajo qué circunstancias.

10.3 Dietas basadas en plantas y decisiones alimentarias

De manera paralela, el aumento en el número de personas que adoptan dietas basadas en plantas refleja que las decisiones alimentarias también están relacionadas con factores éticos, sociales y ambientales. Entre las razones que pueden favorecer la adopción de este tipo de alimentación se encuentra una mayor preocupación por el bienestar y los derechos de los animales, por las condiciones de producción de los alimentos de origen animal y por los daños ambientales que trae consigo dicha producción. Los alimentos fermentados de origen vegetal adquieren interés, debido a que pueden incorporarse dentro de patrones de alimentación basados en plantas. Su estudio resulta relevante no solo desde la perspectiva microbiológica, sino también desde el análisis de nuevas formas de alimentación y de las decisiones que las personas toman respecto a su dieta.

10.4 Estilos de vida, condiciones socioeconómicas y alimentación

Las elecciones alimentarias se encuentran, a su vez, condicionadas por el estilo de vida y por las condiciones socioeconómicas en las que se desarrollan los individuos. El estilo de vida no puede considerarse exclusivamente como el resultado de decisiones personales, sino como un fenómeno que también se encuentra condicionado por las estructuras sociales y económicas (Brito Beltre, 2023).

Esta perspectiva resulta relevante para el análisis de la alimentación, debido a que factores como el empleo, los ingresos, el tiempo disponible, las condiciones de vivienda, el acceso a servicios y la educación pueden influir directamente en las posibilidades de adquirir, preparar y consumir determinados alimentos. Espinosa González (2004) señala que el modo y el estilo de vida constituyen determinantes importantes del proceso salud-enfermedad y que se encuentran relacionados con las condiciones materiales y sociales en las que viven las poblaciones.

Dentro de estos determinantes se encuentran hábitos relacionados con la alimentación, además de factores como las condiciones laborales, el estrés, las condiciones materiales de vida y el acceso a los servicios de salud. Por ello, las estrategias de promoción de la salud requieren considerar el contexto en el que se desarrollan las conductas individuales y no únicamente responsabilizar a las personas por sus decisiones alimentarias (Espinosa González, 2004).

13. Conclusión

Hablar de una alimentación más saludable, ética y sostenible implica reconocer que las decisiones alimentarias se encuentran determinadas por una interacción entre factores biológicos, culturales, económicos, ambientales y sociales. Desde esta perspectiva, el consumo de alimentos fermentados de origen vegetal no debería plantearse únicamente como una tendencia alimentaria o como una estrategia para obtener determinados beneficios funcionales, sino como parte de un sistema alimentario más amplio en el que intervienen la disponibilidad de alimentos, las prácticas culturales, los recursos económicos, el conocimiento y las preferencias individuales.

Así, la fermentación constituye un punto de encuentro entre ciencia, alimentación y sociedad. Su estudio permite comprender no solamente los procesos microbiológicos y la generación de metabolitos durante la transformación de los alimentos, sino también la manera en que las prácticas alimentarias se relacionan con la cultura, los estilos de vida, las condiciones socioeconómicas y las nuevas formas de concebir una alimentación saludable y sostenible.

Bibliografía

- Álvarez, J., Fernández Real, J. M., Guarner, F., Gueimonde, M., Rodríguez, J. M., Saenz de Pipaon, M., & Sanz, Y. (2021). Gut microbes and health. *Gastroenterología y Hepatología*, 44(7), 519–535. <https://doi.org/10.1016/j.gastrohep.2021.01.009>
- Buratti, S., & Benedetti, S. (2016). Alcoholic fermentation using electronic nose and electronic tongue. En *Electronic Noses and Tongues in Food Science* (pp. 291–299). Elsevier.
- Campbell-Platt, G. (1994). Fermented foods—A world perspective. *Food Research International*, 27(3), 253–257. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(94\)90093-0](https://doi.org/10.1016/0963-9969(94)90093-0)
- Escalante, A., Giles-Gómez, M., Hernández, G., Córdova-Aguilar, M., López-Munguía, A., Gosset, G., & Bolívar, F. (2021). Research opportunities: Traditional fermented beverages in Mexico. *Food Research International*, 147, 110482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110482>
- Espinosa González, L. (2004). Cambios del modo y estilo de vida; su influencia en el proceso salud-enfermedad. *Revista Cubana de Estomatología*, 41(3).
- Ezzati, M., Vander Hoorn, S., Lawes, C. M. M., Leach, R., James, W. P. T., Lopez, A. D., Rodgers, A., & Murray, C. J. L. (2005). Rethinking the “diseases of affluence” paradigm: Global patterns of nutritional risks in relation to economic development. *PLoS Medicine*, 2(5), e133. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020133>
- Garza-Velasco, R., Garza-Manero, S. P., & Perea-Mejía, L. M. (2021). *Microbiota intestinal: aliada fundamental del organismo humano*. *Educación Química*, 32(1), 10–19. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.1.75734>
- Górska, K., Pejcz, E., & Harasym, J. (2025). *Tempeh and fermentation—Innovative substrates in a classical microbial process*. *Applied Sciences*, 15(16), 8888. <https://doi.org/10.3390/app15168888>
- Herrera Jiménez, M. (2025, 13 de junio). *Alimentos fermentados prehispánicos: Historia, beneficios y usos ancestrales*. Ambrosía Centro Culinario. <https://ambrosiacentroculinario.edu.mx/2025/06/13/alimentos-fermentados-prehispanicos/>
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
- Illanes, A. (2015). Alimentos funcionales y biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 5–8. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50997>

- Lee, M. E., Jang, J. Y., Lee, J. H., Park, H. W., Choi, H. J., & Kim, T. W. (2015). *Starter cultures for kimchi fermentation*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(4), 559–568. <https://doi.org/10.4014/jmb.1501.01019>
- Losno, E. A., Sieferle, K., Perez-Cueto, F. J. A., & Ritz, C. (2021). Vegan Diet and the Gut Microbiota Composition in Healthy Adults. *Nutrients*, 13(7), 2402. <https://doi.org/10.3390/nu13072402>
- Maicas, S. (2021). *Advances in wine fermentation*. *Fermentation*, 7(3), 187. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030187>
- Mannaa, M., Han, G., Seo, Y. S., & Park, I. (2021). *Evolution of food fermentation processes and the use of multi-omics in deciphering the roles of the microbiota*. *Foods*, 10(11), 2861. <https://doi.org/10.3390/foods10112861>
- Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M.-C., Cotter, P. D., De Vuyst, L., Hill, C., Holzapfel, W., Lebeer, S., Merenstein, D. J., Reid, G., & Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(3), 196–208. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5>
- Ojeda-Linares, C., Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J., Islas, L. A., Lappe-Oliveras, P., Nabhan, G. P., Casas, A., & Torres-García, I. (2021). Traditional fermented beverages of Mexico: A biocultural unseen foodscape. *Foods*, 10(10), 2390. <https://doi.org/10.3390/foods10102390>
- Ottman, N., Smidt, H., de Vos, W. M., & Belzer, C. (2012). The function of our microbiota: Who is out there and what do they do? *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2, Article 104. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2012.00104>
- Prativi, M. B. N., Astuti, D. I., Putri, S. P., Laviña, W. A., Fukusaki, E., & Aditiawati, P. (2023). Metabolite changes in Indonesian tempe production from raw soybeans to over-fermented tempe. *Metabolites*, 13(2), 300. <https://doi.org/10.3390/metabo13020300>
- Şanlıer, N., Gökçen, B. B., & Sezgin, A. C. (2019). Health benefits of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 506–527. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1383355>
- Sherwin, E., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2018). Recent developments in understanding the role of the gut microbiota in brain health and disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1420(1), 5–25. <https://doi.org/10.1111/nyas.13416>

Sidhu, S. R. K., Kok, C. W., Kunasegaran, T., & Ramadas, A. (2023). Effect of Plant-Based Diets on Gut Microbiota: A Systematic Review of Interventional Studies. *Nutrients*, 15(6), 1510. <https://doi.org/10.3390/nu15061510>

<https://med.stanford.edu/nutrition/education/Resources/Fermenting-the-Facts/the-science-of-fermented-foods.html>

Tinahones, F. J. (2023). Nutrition and microbiota. *Nutrición Hospitalaria*, 40(spe2), 9–11. <https://doi.org/10.20960/nh.04946>

Tuomola, E., Crittenden, R., Playne, M., Isolauri, E., & Salminen, S. (2001). Quality assurance criteria for probiotic bacteria. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(2 Suppl.), 393S–398S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.393s>

Ulloa, M., & Herrera, T. (1976). *Estado actual del conocimiento sobre la microbiología de bebidas fermentadas indígenas de México: pozol, tesgüino, pulque, colonche y tepache*.

Wang, B., Rutherford-Markwick, K., Zhang, X.-X., & Mutukumira, A. N. (2022). Kombucha: Production and microbiological research. *Foods*, 11(21), Article 3456. <https://doi.org/10.3390/foods11213456>

Wacher-Rodarte, C. (2014). La biotecnología alimentaria antigua: Los alimentos fermentados. *Revista Digital Universitaria*, 15(8), 1–16.

Williams, B. A., Grant, L. J., Gidley, M. J., & Mikkelsen, D. (2017). Gut fermentation of dietary fibres: Physico-chemistry of plant cell walls and implications for health. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2203. <https://doi.org/10.3390/ijms18102203>

Yap, M., Ercolini, D., Álvarez-Ordóñez, A., O'Toole, P. W., O'Sullivan, O., & Cotter, P. D. (2022). Next-generation food research: Use of meta-omic approaches for characterizing microbial communities along the food chain. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13, 361–384. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-010751>

Zhang, M., Liu, L. Y., Xu, Y., et al. (2023). Imbalance of multiple neurotransmitter pathways leading to depression-like behavior and cognitive dysfunction in the triple transgenic mouse model of Alzheimer disease. *Metabolic Brain Disease*, 38, 2465–2476. <https://doi.org/10.1007/s11011-023-01242-2>