

MÁSTER EN SEGURIDAD Y CALIDAD DE LOS ALIMENTOS

CURSO ACADÉMICO 2019/2020

TRABAJO FIN DE MÁSTER

“MICROBIOLOGÍA DE LAS HORTALIZAS FERMENTADAS Y BENEFICIOS DE LA FERMENTACIÓN”



Alumna: Ana Jarixsa Niebla Gutiérrez

Tutora: M^a Victoria de Zárata Machado

Convocatoria: Julio 2020

AUTORIZACIÓN

Dra. M^a Victoria de Zárate Machado, Profesora Titular de Microbiología de la Universidad de La Laguna.

INFORMA:

Que **Dña. Ana Jarixsa Niebla Gutiérrez**, alumna del Máster Universitario en Calidad y Seguridad de los Alimentos de la Universidad de La Laguna, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo Fin de Máster titulado "Microbiología de las hortalizas fermentadas y beneficios de la fermentación".

Revisado el presente trabajo, autorizo su presentación para que proceda a su lectura y defensa pública para optar al título del Máster Universitario en Calidad y Seguridad de Alimentos.

En La Laguna a 3 de junio de 2020

Fdo: M^a Victoria de Zárate Machado

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2613125 Código de verificación: aP3cIX57

Firmado por: Victoria de Zárate Machado
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 03/07/2020 12:15:57

Índice

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	2
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	3
4. FERMENTACIONES EN HORTALIZAS: MICROORGANISMOS..... QUE INTERVIENEN	3
5. VERDURAS FERMENTADAS.....	4
5.1 CHUCRUT O SAUERKRAUT.....	8
5.2 KIMCHI.....	9
6. LEGUMBRES FERMENTADAS.....	11
6.1 SALSA DE SOJA.....	13
6.2 TEMPEH.....	14
7. CONCLUSIONES.....	16
8. BIBLIOGRAFÍA.....	18

RESUMEN

Los alimentos fermentados son el resultado de la acción de microorganismos que causan modificaciones significativas y deseables en la matriz alimentaria. La fermentación se ha utilizado tradicionalmente para preservar productos perecederos y mejorar su valor nutricional, y últimamente también por los beneficios que supone para la salud de los consumidores. Dentro de las verduras fermentadas destacan el chucrut y el kimchi. En ellas, las bacterias del ácido láctico llevan a cabo la fermentación láctica y originan alimentos probióticos, de larga vida útil, con características sensoriales únicas y alto contenido en nutrientes esenciales biodisponibles. Las principales legumbres fermentadas son los derivados de la soja, como la salsa de soja y el tempeh. En este caso ocurre principalmente una fermentación en medio sólido dirigida por hongos, que origina alimentos ricos en nutrientes y aromatizantes, con un alto contenido en proteínas, fácilmente digeribles y sin factores antinutricionales.

Palabras clave: Fermentación, Bacterias ácido lácticas, Hongos, Hortalizas, Verduras, Legumbres.

ABSTRACT

Fermented foods are the result of the action of microorganisms that cause significant and desirable modifications in the food matrix. Fermentation has been traditionally used to preserve perishable products and improve their nutritional value, and lately also for the health benefits of consumers. Among fermented vegetables, sauerkraut and kimchi stand out. In them, lactic acid bacteria carry out lactic fermentation and originate probiotic foods, with a long shelf life, unique sensory characteristics and high content of essential bioavailable nutrients. The main fermented legumes are soy derivatives, such as soy sauce and tempeh. In this case, mainly a fermentation in solid medium directed by fungi occurs, originating foods rich in nutrients and flavorings, with high protein content, easily digestible and without anti-nutritional factors.

Key words: Fermentation, Lactic acid bacteria, Fungi, Vegetables, Greens, Legumes.

1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos fermentados son "alimentos o bebidas producidos a través del crecimiento microbiano controlado y la conversión de componentes alimenticios por la acción enzimática" (Dimidi et al., 2019).

La fermentación se ha utilizado tradicionalmente para preservar productos perecederos y mejorar su valor nutricional (Ziadi et al., 2019), ya que permite inhibir o eliminar microorganismos patógenos y alterantes; desintoxicar alimentos; aumentar la biodisponibilidad de nutrientes; mejorar las propiedades organolépticas (Bourdichon et al., 2012) y agregar propiedades probióticas (Al-Shawi et al., 2019). Además, en países en vías de desarrollo, la fermentación supone una forma natural de reducir la energía requerida para cocinar, minimizando el tiempo de cocinado y disminuyendo la cantidad de materias primas necesarias para la alimentación (Montano et al., 1992; Mulaw y Tesfaye, 2017).

La fermentación es conocida en lácteos, carne, pescado, verduras, cereales, legumbres, frutas y bebidas (Chukeatirote et al., 2018; Dimidi et al., 2019). Las hortalizas fermentadas, a pesar de tener una larga historia de consumo, no son comercialmente tan conocidas como otros alimentos fermentados, ya que no tienen ingredientes estándar y su composición varía según las condiciones geográficas y el clima (Al-Shawi et al., 2019).

2. OBJETIVOS

El presente trabajo pretende hacer una revisión de las fermentaciones en las hortalizas. En primer lugar se describirán los microorganismos que intervienen y los cambios bioquímicos que originan. Seguidamente se detallarán los beneficios que supone la fermentación desde el punto de vista organoléptico, nutricional y de promoción de la salud. Finalmente se estudiarán las verduras y legumbres fermentadas más importantes en base a su consumo y propiedades beneficiosas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la elaboración de esta revisión bibliográfica se han utilizado los buscadores Web of Science, Science Direct, PubMeb y Google Académico, o mediante el acceso directo a las páginas oficiales de revistas científicas y a la bibliografía mencionada por otros artículos. Para filtrar la búsqueda se utilizaron los siguientes términos: “Fermented Food”, “Lactic Acid Bacteria”, “Fungi”, “Vegetables” y “Legumes”.

4. FERMENTACIONES EN HORTALIZAS: MICROORGANISMOS QUE INTERVIENEN

Según el Código Alimentario Español (CAE) se define «Hortaliza» como cualquier planta herbácea hortícola que se puede utilizar como alimento, ya sea cruda o cocinada.

Aunque la mayoría de las hortalizas se consumen sin ningún procesamiento, la fermentación representa una biotecnología significativa para mejorar la seguridad, las propiedades promotoras de la salud y el atractivo general de estos vegetales (Torres et al., 2020).

Los principales microorganismos que intervienen en la fermentación de hortalizas se recogen en la Tabla 1 (Divya et al., 2012; Rezac et al., 2018; Szutowska, 2020). Podemos ver que se encuentran diferentes géneros de bacterias, entre las que destacan las bacterias del ácido láctico (BAL), levaduras y hongos filamentosos.

Tabla 1. Principales microorganismos que participan en la fermentación de hortalizas.

Microorganismo	Género
Bacterias del ácido láctico (BAL)	<i>Aerococcus, Alloiococcus, Bifidobacterium, Carnobacterium, Dolosigranulum, Enterococcus, Globicatella, Lactobacillus, Lactococcus, Leuconostoc, Oenococcus, Pediococcus, Streptococcus, Tetrigenococcus, Vagococcus y Weissella</i>
Otras bacterias	<i>Bacillus</i>
Levaduras	<i>Candida, Pichia, Saccharomyces y Torulaspora</i>
Hongos	<i>Rhizopus y Aspergillus</i>

Las hortalizas fermentadas se pueden obtener mediante fermentación espontánea o fermentación controlada. En la fermentación espontánea interviene la microbiota endógena, presente de forma natural en la materia prima fermentable. En la fermentación controlada participa un cultivo iniciador, que consiste en una especie o combinación de especies microbianas seleccionadas que, una vez adicionado a una matriz alimentaria, origina un proceso fermentativo. Los microorganismos del cultivo iniciador se aíslan de alimentos ya fermentados con éxito y se utilizan principalmente a nivel industrial para garantizar una fermentación constante. Además su uso requiere de un tratamiento térmico previo de las hortalizas para garantizar que sólo los microorganismos del cultivo iniciador estén presentes y en crecimiento (Dimidi et al., 2019; Szutowska, 2020).

En los siguientes apartados describiremos las principales verduras y legumbres fermentadas.

5. VERDURAS FERMENTADAS

Las verduras son las hortalizas en las que la parte comestible está constituida por sus órganos verdes (hojas, tallos, inflorescencias).

En condiciones favorables, la fermentación de las verduras ocurre principalmente por las BAL, que son cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados, no móviles, aerotolerantes, que producen ácido láctico como el único o principal producto de la fermentación de carbohidratos. Para su multiplicación requieren de azúcares como glucosa y lactosa, además de aminoácidos, vitaminas y otros factores de crecimiento. Aunque su pH óptimo se sitúa entre 4 y 4.5, algunas BAL toleran valores de pH tan bajos como 3.2 o tan altos como 9.6, pudiendo sobrevivir naturalmente en medios donde otras bacterias no sobreviven. Las BAL están ampliamente distribuidas en la naturaleza y han sido aisladas de diversos alimentos, así como del tracto digestivo de mamíferos (Ramírez-Ramírez et al., 2011; Szutowska, 2020).

Las fermentaciones que las BAL pueden llevar a cabo en las verduras son la láctica y la maloláctica. Aunque la fermentación maloláctica puede ocurrir de manera excepcional en algunos vegetales (p.ej. pepinos), transformando el ácido málico en ácido láctico y dióxido de carbono (Breidt et al., 2013); es la fermentación láctica la que

determina las características nutricionales y sensoriales de estos alimentos (Das et al., 2016). Además, las verduras son excelentes matrices para la fermentación láctica debido a su alto contenido de carbohidratos, polifenoles, vitaminas, minerales y fibras dietéticas (Swain et al., 2014; Szutowska, 2020). En la fermentación láctica la utilización anaerobia de la glucosa ocurre a través de dos rutas metabólicas diferentes. En la ruta homoláctica se produce ácido láctico como producto mayoritario siguiendo la vía glucolítica Emden-Meyerhof Parnas (EMP), mientras que en la fermentación heteroláctica se producen cantidades prácticamente equimolares de ácido láctico, etanol y dióxido de carbono por la vía 6-fosfogluconato/fosfocetolasa (Figura 1) (Divya et al., 2012; Mora-Adames, 2017).

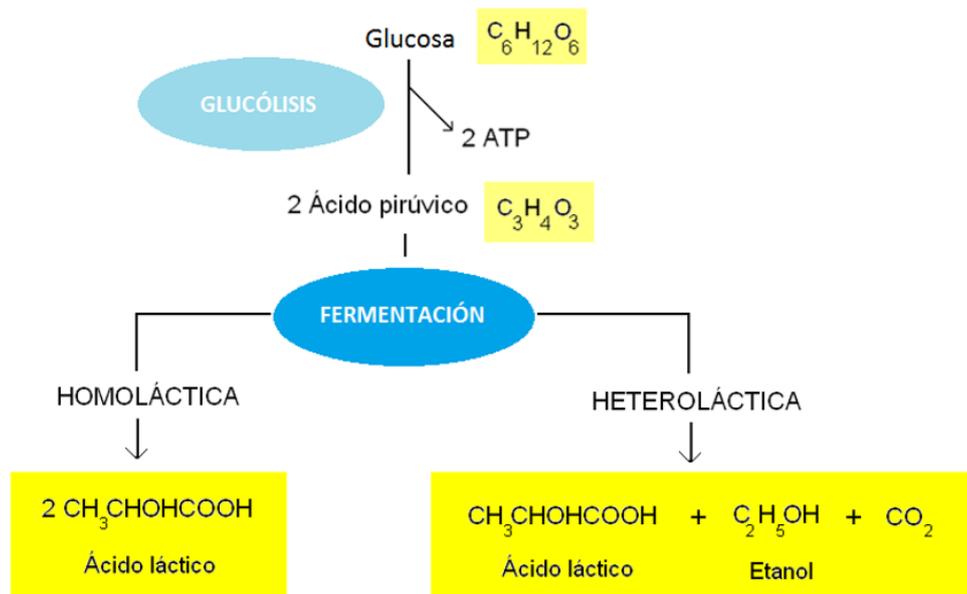


Figura 1. Fermentación homoláctica y heteroláctica (Malajovich, 2012).

Debido a su acción fermentativa, las BAL acidifican el medio y bajan el pH lo suficiente para prevenir el desarrollo de microorganismos patógenos y alterantes sin descomponer la celulosa o las proteínas de las verduras. Además, el ácido láctico puede mejorar considerablemente el sabor de las verduras y la asimilación de calcio, hierro, fósforo y vitamina D. Finalmente, algunas cepas de BAL tienen carácter probiótico debido a que pueden colonizar el intestino y favorecer la digestión, mejorar la función

inmune, controlar los niveles séricos de colesterol, reducir las infecciones intestinales y eliminar sustancias nocivas del organismo (Shirai-Matsumoto y Malpica-Sánchez, 2013; Mulaw y Tesfaye, 2017; Bell et al., 2018).

En la Tabla 2 se recogen las principales verduras fermentadas. Se incluye la materia prima de partida, el país o región de origen y los microorganismos involucrados en la fermentación (Tamang et al., 2005; Hutkins, 2006; Swain et al., 2014; Narzary et al., 2016; Chang, 2018; Zabat et al., 2018). De todas ellas nos vamos a centrar en el chucrut y el kimchi, ya que son dos productos de gran consumo que destacan por su alta calidad nutricional.

Tabla 2. Principales verduras fermentadas y microorganismos que intervienen.

Alimento	Materia prima	Origen	Microorganismos
Chucrut Sauerkraut	·Col	Europa Central	· <i>Leuconostoc mesenteroides</i> · <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lb. plantarum</i> · <i>Enterococcus faecalis</i> · <i>Pediococcus cerevisiae</i> · <i>Weissella</i> spp.
Kimchi	·Col china ·Rábano ·Otros ingredientes	Corea	· <i>Lb. brevis</i> , <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. sakei</i> · <i>Ln. mesenteroides</i> , <i>Ln. pseudomesenteroides</i> , <i>Ln. citreum</i> , <i>Ln. gasicomitatum</i> , <i>Ln. gelidum</i> , <i>Ln. carnosum</i> · <i>W. cibaria</i> , <i>W. koreensis</i> , <i>W. confusa</i> · <i>Lactococcus lactis</i> · <i>P. pentosaceus</i>
Encurtidos	·Pepino ·Cebollas ·Zanahorias ·Nabos ·Coliflor	Mundial	· <i>P. cerevisiae</i> , <i>P. pentosaceus</i> · <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. brevis</i> · <i>Ln. mesenteroides</i>
Gundruk	·“Rayo-sag” ·Mostaza ·Coliflor ·Coles	Nepal, India	· <i>Lb. fermentum</i> , <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. casei</i> , <i>Lb. casei</i> subsp. <i>pseudo plantarum</i> · <i>P. pentosaceus</i>
Sinki	·Rábano	India	· <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. brevis</i> , <i>Lb. fermentum</i> , <i>Lb. casei</i> · <i>Ln. fallax</i> · <i>P. pentosaceus</i>
Khalpi	·Pepino	Nepal	· <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. brevis</i> · <i>Ln. fallax</i> · <i>P. pentosaceus</i>
Jiang-Gua	·Pepino	Taiwán	· <i>W. cibaria</i> , <i>W. hellenica</i> · <i>Lb. plantarum</i> · <i>Ln. lactis</i> · <i>E. casseliflavus</i>
Paocai	·Col ·Apio ·Pepino ·Rábano	China	· <i>Lb. pentosus</i> , <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. brevis</i> , <i>Lb. fermentum</i> , <i>Lb. lactis</i> · <i>Ln. mesenteroides</i>
Yan-Dong-Gua	·Calabaza	Taiwán	· <i>W. cibaria</i> , <i>W. paramesenteroides</i>
Sayur Asin	·Col ·Mostaza	Indonesia	· <i>Ln. mesenteroides</i> · <i>Lb. confusus</i> , <i>Lb. curvatus</i> , <i>Lb. plantarum</i> . · <i>P. pentosaceus</i> · <i>Candida sake</i> , <i>C. guilliermondii</i>
Yan-Tsai-Shin	·Brócoli	Taiwán	· <i>W. paramesenteroides</i> , <i>W. cibaria</i> , <i>W. minor</i> · <i>Ln. mesenteroides</i> · <i>Lb. plantarum</i> · <i>E. sulphurous</i>
Suan-tsai	·Col ·Col china ·Mostaza	Taiwán	· <i>P. pentosaceus</i> · <i>Tetragenococcus halophilus</i>
Dhamuoi	·Col ·Otros vegetales	Vietnam	· <i>Ln. mesenteroides</i> · <i>Lb. plantarum</i>

**Leuconostoc*: Ln; *Lactobacillus*: Lb; *Lactococcus*: Lc; *Weissella*: W; *Pediococcus*: P; *Enterococcus*: E; *Candida*: C

5.1 CHUCRUT O SAUERKRAUT

El chucrut o sauerkraut es un producto fermentado a partir de repollo o col (*Brassica oleracea* var. *capitata*) típico de Europa Central y del Este (Alsacia, Alemania, Holanda, Polonia), aunque también se puede encontrar en Europa Occidental y en EEUU. Históricamente, sirvió como fuente de nutrientes durante los meses de invierno, cuando los alimentos frescos eran escasos, ya que la fermentación conserva el valor nutritivo de la col. Los avances en la ciencia de la fermentación de alimentos y los intereses de los consumidores modernos le han otorgado una renovada popularidad en los últimos años (Zabat et al., 2018).

El proceso de obtención del chucrut se resume en la Figura 2. Comienza con el lavado de la col y continúa con el cortado, salado y prensado de la misma. A continuación se coloca la mezcla en frascos o contenedores, para evitar que quede aire en el interior. En este momento se produce la fermentación, que puede durar varias semanas. Una vez obtenido el producto, este se envasa, se almacena y se distribuye (Touret et al., 2018).

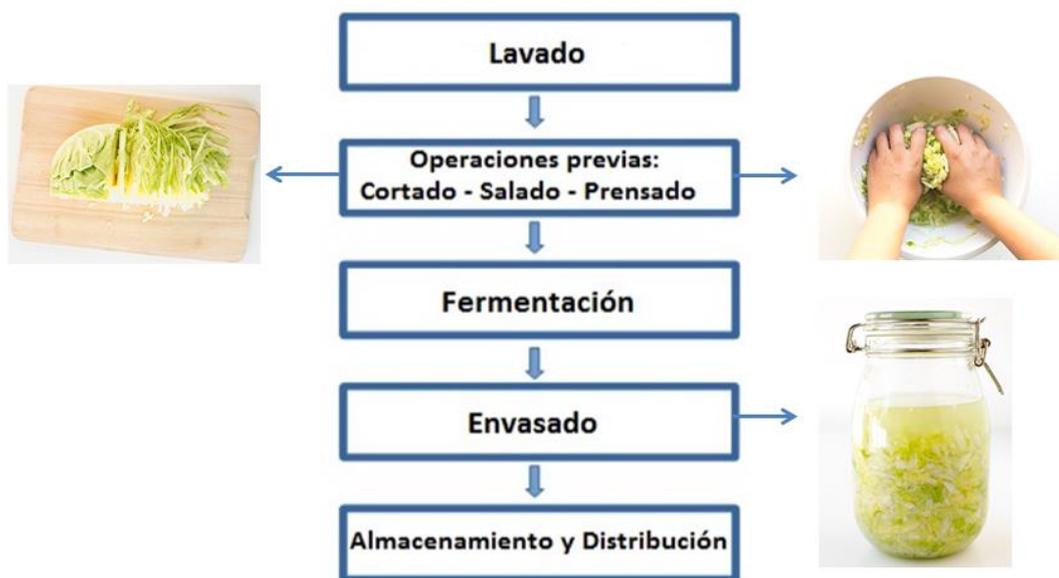


Figura 2. Proceso de elaboración del chucrut (Modificado de Filiberto-Garrido et al., 2016).

Históricamente, las especies importantes en la fermentación de chucrut eran *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus brevis*, aunque estudios recientes también han identificado a los géneros *Weissella*, *Pediococcus* y *Enterococcus* (Zabat et al., 2018; Dimidi et al., 2019). En la fermentación del chucrut las diferentes BAL actúan de forma secuencial. Así, *Ln. mesenteroides* predomina sobre la microbiota natural en las primeras etapas del proceso, produciendo dióxido de carbono y ácido. Esto reduce rápidamente el pH ambiental, inhibiendo el crecimiento de microorganismos indeseables. Además, la acción de *Ln. mesenteroides* cambia el ambiente de fermentación para favorecer la sucesión de otras BAL, como *Lb. brevis* y *Lb. plantarum*. La fermentación se da por finalizada cuando el contenido de ácido láctico es igual o superior al 1.5%. El producto final tiene una textura crujiente, con forma hilada, con un intenso sabor ácido y un pH entre 3.1 y 3.7. Se utiliza como acompañamiento de diferentes platos como carne de cerdo, salchichas y ensaladas (Swain et al., 2014; Filiberto-Garrido et al., 2016; Zabat et al., 2018).

Al chucrut se le considera un superalimento. Por una parte, las BAL producen ácidos orgánicos, bacteriocinas (péptidos antimicrobianos), vitaminas y compuestos de sabor responsables de muchas de sus cualidades sensoriales características (Swain et al., 2014; Zabat et al., 2018). Además, la fermentación hace que los nutrientes sean más biodisponibles que en su forma cruda. Este es el caso de la vitamina C que en el chucrut está unas 20 veces más concentrada y es más fácil de absorber con respecto a la col cruda. Finalmente, es una buena fuente de cepas probióticas, las mismas que participan en su obtención (Orgeron et al., 2016; Zabat et al., 2018).

5.2 KIMCHI

Kimchi es el nombre dado a varias verduras fermentadas de forma tradicional, que son emblemáticas de la cultura coreana. El kimchi se remonta al siglo XII durante el período de los Tres Reinos de la antigua Corea y actualmente hay más de 200 variedades diferentes (Park et al., 2019). El ingrediente principal es la col china (*Brassica pekinensis*) y el rábano, pero también se añaden otros como, ajo, cebolla, jengibre, pimentón, mostaza, perejil, marisco fermentado, zanahoria y sal, dependiendo de la estación del año en la que éstos estén disponibles (Di Cagno et al., 2013).

En la Figura 3 se muestra el proceso productivo del kimchi. Comienza cuando la col china y los otros vegetales se ponen en salmuera y se escurren. Luego se agregan los condimentos y especias, se mezclan y se introducen en frascos o contenedores para eliminar la presencia de oxígeno en el medio. Finalmente, ocurre la fermentación por la microbiota natural (Dimidi et al., 2019).

Por lo general, *Ln. mesenteroides* y *Pediococcus pentosaceus* comienzan la fermentación pero son inhibidos repentinamente por la creciente concentración de ácido láctico. Las especies ácido tolerantes como *Lb. brevis* dominan durante la etapa media. *Lb. brevis* es reemplazado por *Lb. plantarum* durante la fermentación tardía. El sabor óptimo del kimchi se alcanza cuando el pH y la acidez alcanzan aproximadamente 4.0-4.5 y 0.5-0.6, respectivamente. El contenido de vitamina C es máximo en este punto. El producto final suele tener un color rojo conferido por el pimentón; el sabor es salado y picante; y la textura es firme y tierna. Tradicionalmente suele servirse mezclado con arroz o como ingrediente de sopas y guisos (Swain et al., 2014; Patra et al., 2016).

El kimchi ha sido reconocido como un alimento saludable debido a que contiene varios componentes que promueven la salud, incluidos el β -caroteno, la clorofila, la vitamina C y la fibra dietética. Además, la ingesta de BAL como parte del kimchi mejora el movimiento intestinal, fortalece la inmunidad, mejora la hepatitis y disminuye los niveles de colesterol en suero (Kwak et al., 2014; Kim et al., 2018).



Figura 3. Proceso de elaboración tradicional del kimchi (Patra et al., 2016).

6. LEGUMBRES FERMENTADAS

Las legumbres son las semillas secas, limpias, sanas y separadas de la vaina, procedentes de plantas de la familia de las leguminosas, que directa o indirectamente resultan adecuadas para la alimentación.

Al tratarse de granos sólidos y secos, la fermentación de las legumbres ocurre en medio sólido y es dirigida principalmente por hongos, entre los que destacan los géneros *Rhizopus* y *Aspergillus*. La velocidad de desarrollo del micelio del hongo y su actividad metabólica son influenciadas por parámetros ambientales, como la temperatura, el pH, la humedad y la aireación. Durante la fermentación, las proteínas y los lípidos son hidrolizados haciendo mucho más digerible el alimento y algunos factores antinutricionales, como el ácido fítico, disminuyen significativamente (Shirai-Matsumoto y Malpica-Sánchez, 2013). En la Tabla 3 se recogen las principales enzimas fúngicas que intervienen en la fermentación de las legumbres, los sustratos sobre los que actúan, los productos que originan y su efecto sobre el alimento (Sanchez, 1999; García-Marnotes, 2018).

Tabla 3. Principales enzimas fúngicas y características.

ENZIMAS	SUSTRATOS	PRODUCTOS	EFFECTOS
Proteasas	Proteínas	Péptidos, aminoácidos	Calidad, sabor umami (ácido glutámico) y aroma (ésteres)
Lipasas	Triglicéridos	Ácido grasos	Aroma y sabor (ésteres)
Amilasas	Almidón	Glucosa	Sabor dulce

Aunque son numerosas las legumbres que se fermentan a nivel mundial, los derivados de la soja son los de mayor importancia económica y consumo (Tabla 4). Dentro de ellos destacamos la salsa de soja, por ser el condimento líquido más antiguo producido por el hombre y el tempeh, por el aumento de su popularidad en Occidente como sustituto de la carne en la dieta vegetariana.

Tabla 4. Principales derivados de soja fermentada y microorganismos que intervienen.

Alimento	Origen	Microorganismos	Referencias
Salsa de soja	China	· <i>Aspergillus oryzae</i> · <i>Tetragenococcus halophilus</i> · <i>Zygosaccharomyces rouxii</i> · <i>Torulopsis</i>	(Adams y Moss, 1997)
Tempeh	Indonesia	· <i>Rhizopus</i> , <i>R. oligosporus</i> · <i>Mucor</i> · <i>Pichia</i> · <i>Saccharomyces</i> · <i>Candida</i> · <i>Lactobacillus casei</i> · <i>Enterococcus</i> · <i>Streptococcus</i> · <i>Enterobacter</i> · <i>Klebsiella</i>	(Adams y Moss, 1997; Hutkins, 2006; Dimidi et al., 2019)
Miso	Japón	· <i>A. oryzae</i> · <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> · <i>Staphylococcus gallinarum</i> , <i>S. kloosii</i> · <i>Lactococcus</i> sp.	(Dimidi et al., 2019)
Natto	Japón	· <i>B. subtilis</i>	(Dimidi et al., 2019)
Chongkukjang	Corea	· <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> · <i>A. oryzae</i> · <i>R. oryzae</i> , <i>R. oligosporus</i>	(Patra et al., 2016; Chang, 2018)
Doenjang	Corea	· <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> · <i>Aspergillus</i> · <i>Mucor</i> · <i>Rhizopus</i>	(Patra et al., 2016)
Doubanjiang	China	· <i>A.oryzae</i>	(Mani y Ming, 2017)
Douchi	China	· <i>Aspergillus</i> · <i>Mucor</i> · <i>Rhizopus</i>	(Mani y Ming, 2017)
Sufu	China	· <i>Mucor</i>	(Adams y Moss, 1997)
Kinema	India	· <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. cereus</i> , <i>B. circulans</i> , <i>B. thuringensis</i> , <i>B. sphaericus</i> · <i>Enterococcus faecum</i> · <i>Escherichia coli</i>	(Chukeatirote et al., 2018)
Thua Nao	Tailandia	· <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. cereus</i> · <i>Lactobacillus</i> spp.	(Chukeatirote et al., 2018)
Tuong	Vietnam	· <i>B. subtilis</i> · <i>Enterobacter mori</i>	(La Anh, 2015)
Hawaijar	India	· <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. cereus</i> · <i>S. aureus</i> , <i>S. sciuri</i> · <i>Alcaligenes</i> sp. · <i>Providencia rettgeri</i>	(Ayajuddin et al., 2016)
Tauco	Indonesia	· <i>A. oryzae</i>	(Sanchez, 1999)

**Aspergillus*: A; *Rhizopus*: R; *Bacillus*: B; *Staphylococcus*: S.

6.1 SALSA DE SOJA

La salsa de soja es originaria de China, hacia el final de la dinastía Zhou, y se obtiene tras una fermentación en dos fases, dirigida principalmente por hongos (Figura 4).

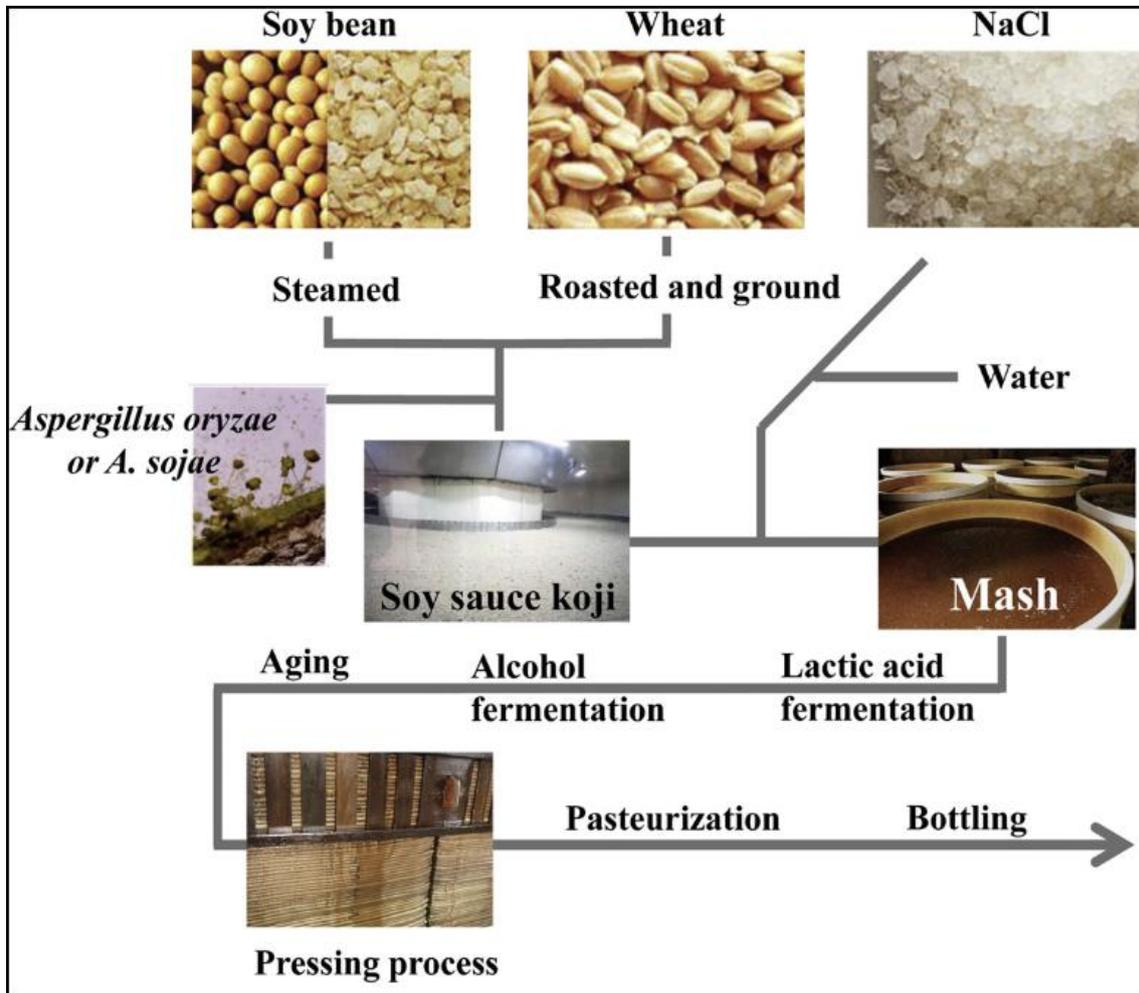


Figura 4. Proceso de la elaboración de la salsa de soja (Tanaka et al., 2012).

Al cultivo iniciador de hongos que se utiliza con frecuencia se le conoce con el nombre de *koji*. En la fase de *koji*, las semillas de soja maceradas y cocidas se mezclan con trigo quebrantado tostado y se inocula la mezcla con el llamado *koji* de semilla. Éste contiene una mezcla de cepas de *Aspergillus oryzae* y/o *Aspergillus sojae*. En la segunda fase de elaboración, fase de amasijo o *Moroni*, se crean condiciones anaerobias para evitar el crecimiento posterior de los mohos y que sean las levaduras y las BAL la microbiota dominante. En esta segunda fermentación se convierte en ácido láctico y en

etanol aproximadamente la mitad de los azúcares solubles y se generan varios componentes del sabor. Como organismos más importantes de esta fase, han sido identificadas la bacteria láctica *Tetragenococcus halophilus* y las levaduras *Zygosaccharomyces rouxii* y *Torulopsis*. Después del proceso de fermentación, la salsa de soja se separa presionando la pasta fermentada y recogiendo el líquido. El producto final presenta un sabor salado muy umami (aroma complejo e intenso) y textura ligera. Se puede usar en crudo o para cocinar y es perfecta para marinar o como aderezo (Adams y Moss, 1997; Mani y Ming, 2017).

La salsa de soja contiene gran variedad de nutrientes y compuestos aromatizantes como proteínas, fibra, antioxidantes, aminoácidos esenciales y lecitina. Varios estudios han demostrado que los derivados de la soja pueden reducir los síntomas de la menopausia, mejorar los síntomas de la artritis, mejorar el rendimiento deportivo, ayudar a bajar de peso y reducir los niveles de colesterol total. La salsa de soja también ayuda a reducir el riesgo de enfermedades del corazón y a mejorar la salud ósea (Mira, 2014; Mani y Ming, 2017).

6.2 TEMPEH

El tempeh es un alimento sólido de soja fermentada, originario de Indonesia que ha ganado popularidad en el mundo, especialmente en las dietas de los vegetarianos y en los países en desarrollo, porque es fácil de preparar y de bajo costo (Mani y Ming, 2017).

En la Figura 5 se muestra el proceso de su elaboración. Las semillas de soja se ponen en maceración en agua, luego se las somete a cocción, se escurren, se añade el cultivo iniciador y se extienden en bateas de bambú. La fermentación es llevada a cabo por un cultivo mixto de mohos, levaduras (*Pichia*, *Saccharomyces* y *Candida*) y bacterias (*Lb. casei*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Enterobacter* y *Klebsiella*). Parece ser que el componente principal es *Rhizopus oligosporus*, si bien con frecuencia se aíslan otras especies del género *Rhizopus* y especies del género *Mucor*. El tempeh recién preparado es una pasta consistente, de aspecto similar al turrón duro, con un agradable olor y sabor suave parecido a frutos secos, legumbres, setas o queso. Puede ser preparado asado, frito, horneado e incluso puede ingerirse desmenuzado en ensaladas (Adams y Moss, 1997; Hutkins, 2006; Mani y Ming, 2017; Dimidi et al., 2019).

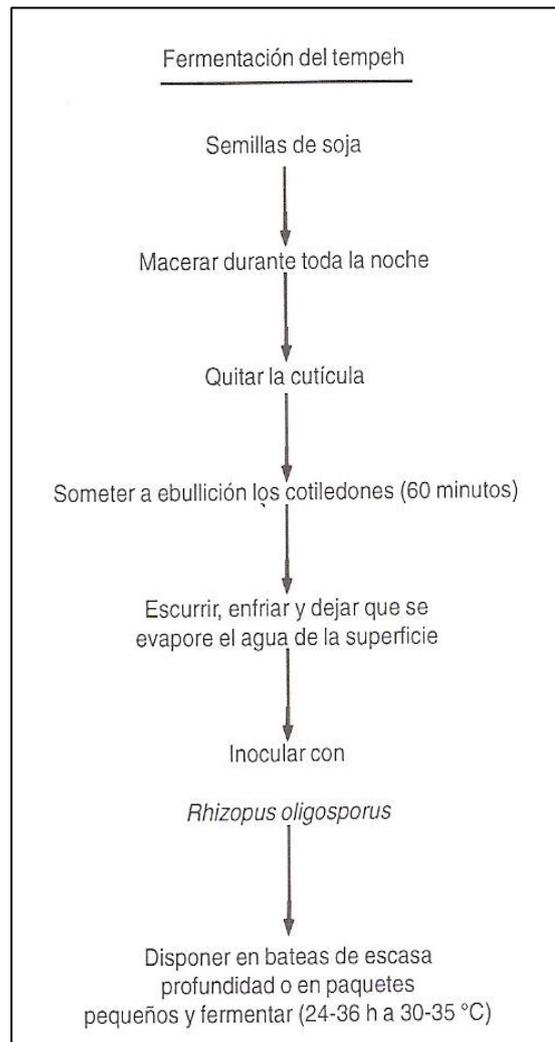


Figura 5. Proceso de elaboración del tempeh (Adams y Moss, 1997).

La fermentación del tempeh mejora la aceptabilidad del producto y la calidad nutritiva de las semillas de soja. Esto es debido en parte a la reducción o a la eliminación de los factores antinutritivos, como los oligosacáridos, por lavado durante la fase de maceración. El tempeh se ha asociado, *in vitro*, con una mayor capacidad de eliminación de radicales libres y superóxidos, que la soja no fermentada. Esto puede estar relacionado con cambios en el contenido de polifenoles y la digestibilidad de la

soja después de la fermentación. En las dietas veganas y vegetarianas es uno de los mejores alimentos suplentes de la carne, debido a su alto contenido proteico. Además es rico en hierro y vitamina B12. Si su elaboración es la adecuada suele ser bajo en sal, lo que también da una buena alternativa para personas con insuficiencias cardíacas (Adams y Moss, 1997; Dimidi et al., 2019).

7. CONCLUSIONES

1. Aunque la fermentación en hortalizas se produce desde la antigüedad, son productos poco conocidos a nivel global, ya que no suelen tener ingredientes estándar y dependen de la zona geográfica y el clima de las regiones donde se obtienen.
2. Las bacterias del ácido láctico (BAL) son los microorganismos más importantes en la fermentación de las verduras. A través de la fermentación láctica, las BAL son capaces de explotar todo el potencial de las verduras, alargando su vida útil y mejorando sus propiedades sensoriales, nutricionales y promotoras de la salud.
3. Las principales verduras fermentadas son el chucrut y el kimchi, que destacan por su sabor, textura y aroma únicos, por su alto contenido en nutrientes esenciales biodisponibles y como fuente de probióticos.
4. La legumbre fermentada más importante es la soja. La fermentación de la soja ocurre en medio sólido e intervienen principalmente los hongos, obteniéndose alimentos con calidad nutricional mejorada y diversas funciones promotoras de la salud.
5. Dentro de los derivados de soja fermentada destacan la salsa de soja, que es un condimento rico en nutrientes y compuestos aromatizantes, y el tempeh, que se usa como sustituto de la carne en dietas vegetarianas debido a su alto contenido proteico.

6. Es previsible que las hortalizas fermentadas vean incrementado su consumo en los próximos años. Esto se debe a que los consumidores demandan cada vez más alimentos de origen vegetal, con sabores y texturas novedosas, que les ayuden en el cuidado de la salud a un coste económico razonable.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M.R. y Moss, M.O.** 1997. *Microbiología de Los Alimentos*. Acribia, Editorial, S.A.
- Al-Shawi, S.G., Swadi, W.A. y Hussein, A.A.** 2019. Production of Probiotic (Turshi) Pickled Vegetables. *J Pure Appl Microbiol*, **13**(4): 2287-2293
- Ayajuddin, M., Modi, P., Achumi, B., Muralidhara, M. y Yeniseti, S.C.** 2016. Plant Products and Fermented Foods as Nutrition and Medicine in Manipur State of Northeast India: Pharmacological Authenticity. *Bioprospecting of Indigenous Bioresources of North-East India*.
- Bell, V., Ferrão, J., Pimentel, L., Pintado, M. y Fernandes, T.** 2018. One Health, Fermented Foods, and Gut Microbiota. *Foods*, **7**(195): 1-17
- Bourdichon, F., Berger, B., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J.C., Gerds, M.L., Hammes, W.P., Harnett, J. Huys, G., Laulund, S., Ouwehand, A., Powell, I.B., Prajapati, J.B., Seto, Y., Ter-Schure, E., Van Boven, A., Vankerckhoven, V., Zgoda, A. y Bech-Hansen, E.** 2012. 1. A Safety Assessment of Microbial Food Cultures with History of Use in Fermented Dairy Products. *Safety Demonstration of Microbial Food Cultures (MFC) in Fermented Food Product*. *Bulletin of the International Dairy Federation* 455/2012.
- Breidt, F., McFeeters, R.F., Perez-Diaz, I. y Lee, C.H.** 2013. Fermented Vegetables. *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*, **33**: 841- 855
- Chang, H.C.** 2018. Healthy and safe Korean traditional fermented foods: kimchi and chongkukjang. *Journal of Ethnic Foods*, **5**(3): 161-166
- Chukeatirote, E., Phongtang, W., Kim, J., Jo, A., Jung, L.S. y Ahn, J.** 2018. Significance of bacteriophages in fermented soybeans: A review. *BioMol Concepts*, **9**: 131-142
- Das, R., Pandey, H., Das, B. y Sarkar, S.** 2016. Fermentation and its Application in Vegetable Preservation: A Review. *Intl. J. Food. Ferment. Technol*, **6**(2): 207-217
- Di Cagno, R., Coda, R., De Angelis, M. y Gobbetti, M.** 2013. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiology*, **33**(1): 1-10
- Dimidi, E., Cox, S.R., Rossi, M. y Whelan, K.** 2019. Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. *Nutrients*, **11**: 1-26
- Divya, J.B., Varsha, K.K., Madhavan, K., Nampoothiri, Ismail, B. y Pandey, A.** 2012. Probiotic fermented foods for health benefits. *Eng. Life Sci.* **12**(4): 377–390
- Filiberto-Garrido, E., Aranda-Alarcón, S., Toledano-Medina, M.A., Morales-Ordóñez, J. y Pérez-Aparicio, J.** 2016. *Elaboración de Col Fermentada (Chucrut)*. Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía.
- García-Marnotes, N.** 2018. *Caracterización bioquímica de una lipasa obtenida a partir de una metagenoteca de aguas termales*. Trabajo de Fin de Máster en Biotecnología Avanzada. Universidad Da Coruña.

- Hutkins, R.W.** 2006. Microbiology and Technology of Fermented Foods. Blackwell Publishing, 12: 436-443
- Kim, M.S., Yang, H.J., Kim, S.H., Lee, H.W. y Lee, M.S.** 2018. Effects of Kimchi on human health. A protocol of systematic review of controlled clinical trials. *Medicine*, **97**(13): 1-3
- Kwak, S.H., Cho, Y.M., Noh, G.M. y Om, A.S.** 2014. Cancer Preventive Potential of Kimchi Lactic Acid Bacteria (*Weissella cibaria*, *Lactobacillus plantarum*). *Journal of Cancer Prevention*, **19**(4): 253-258
- La Anh, N.** 2015. Health-promoting microbes in traditional Vietnamese fermented foods: A review. *Food Science and Human Wellness*, **4**: 147–161
- Malajovich, M.A.** 2012. Guías de actividades Biotecnología: enseñanza y divulgación.
- Mani, V. y Ming, L.C.** 2017. Tempeh and Other Fermented Soybean Products Rich in Isoflavones. *Fermented Foods in Health and Disease Prevention. Traditional Fermented Foods*, **3**(19): 453-474
- Mira, C.** 2014. Beneficios y usos de la salsa de soja. Placer al plato. Disponible en: <https://placeralplato.com/nutricion/beneficios-y-usos-salsa-de-soja#:~:text=Nutrientes,contiene%20amino%20%C3%A1cidos%20esenciales%20y%20lecitina.>
- Montano, A., De Castro, A. y Rejano, L.** 1992. Transformaciones bioquímicas durante la fermentación de productos vegetales. *Grasas y aceites*, **43**(6): 352-360
- Mora-Adames, W.I.** 2017. Aplicación de fermentación láctica en el desarrollo de productos para la generación de valor en polen apícola. Tesis de Investigación. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Mulaw, G. y Tesfaye, A.** 2017. Technology and microbiology of traditionally fermented food and beverage products of Ethiopia: A review. *African Journal of Microbiology Research*, **11**(21): 825-844
- Narzary, Y., Brahma, J., Brahma, C. y Das, S.** 2016. A study on indigenous fermented foods and beverages of Kokrajhar, Assam, India. *Journal of Ethnic Foods*, **3**(4): 284-291
- Orgeron, R., Corbin, A. y Scott, B.** 2016. Sauerkraut: A Probiotic Superfood. *Functional Foods in Health and Disease*, **6**(8): 536-543
- Park, Y.K., Lee, J.H. y Mah, J.H.** 2019. Occurrence and Reduction of Biogenic Amines in Kimchi and Korean Fermented Seafood Products. *Foods*, **8**: 1-15
- Patra, J.K., Das, G., Paramithiotis, S. y Shin, H.S.** 2016. Kimchi and Other Widely Consumed Traditional Fermented Foods of Korea: A Review. *Frontiers in Microbiology*, **7**:1-15
- Ramírez-Ramírez, J.C., Rosas-Ulloa, P., Velázquez-González, M.Y., Armando-Ulloa, J. y Arce-Romero, F.** 2011. Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente Año*, **2**(7): 1-16
- Rezac, S., Kok, C.R., Heermann, M. y Hutkins, R.** 2018. Fermented Foods as a Dietary Source of Live Organisms. *Frontiers in Microbiology*, **9**: 1-29

Sanchez, V. E. 1999. Producción de proteasas fúngicas por fermentación en estado sólido para su aplicación en la industria de alimentos. Tesis de Posgrado. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Industrias.

Shirai-Matsumoto, K. Malpica-Sánchez, F.P. 2013. Manual de prácticas de laboratorio. Tecnología de Fermentaciones Alimentarias. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa.

Swain, M.R., Anandharaj, M., Ray, R.C. y Rani, R.P. 2014. Fermented Fruits and Vegetables of Asia: A Potential Source of Probiotic. *Biotechnology Research International*.

Szutowska, J. 2020. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: a systematic literature review. *European Food Research and Technology*, **246**:357–372

Tamang, J.P., Tamang B., Schillinger, U., Franz, C., Gores, M. y Holzapfel, W.H. 2005. Identification of predominant lactic acid bacteria isolated from traditionally fermented vegetable products of the Eastern Himalayas. *International Journal of Food Microbiology*, **105**(3): 347-356

Tanaka, Y., Watanabe, J. y Mogi, Y. 2012. Monitoring of the microbial communities involved in the soy sauce manufacturing process by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis. *Food Microbiology*, **31**(1): 100-106

Torres, S., Verón, H., Contreras, L. e Isla, M.I. 2020. An overview of plant-autochthonous microorganisms and fermented vegetable foods. *Food Science and Human Wellness*.

Touret, T., Oliveira, M. y Semedo-Lemsaddek, T. 2018. Putative probiotic lactic acid bacteria isolated from sauerkraut fermentations. *Plos One*, 1:16

Zabat, M.A., Sano, W.H., Wurster, J.I., Cabral, D.J. y Belenky, P. 2018. Microbial Community Analysis of Sauerkraut Fermentation Reveals a Stable and Rapidly Established Community. *Foods*, **7**(5): 1-8

Ziadi, M., Bouzaiene, T., Lakhal, S., Zaafouri, K., Massoudi, S., Dousset, X. y Hamdi, M. 2019. Screening of lactic starter from Tunisian fermented vegetables and application for the improvement of caper (*Capparis spinosa*) fermentation through an experimental factorial design. *Annals of Microbiology*, **69**:1373–1385