

Alimentos fermentados por mohos

Mold fermented foods



Trabajo de Fin de Grado

Eduardo González Morales

Tutorizado por Victoria de Zárate Machado

Grado en Biología. Septiembre 2020

ÍNDICE

<i>RESUMEN</i>	1
<i>ABSTRACT</i>	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	3
3. ALIMENTOS FERMENTADOS Y MOHOS	3
4. QUESO	5
4.1. Quesos madurados por mohos en superficie	6
4.2. Quesos madurados por mohos en el interior	12
5. ALIMENTOS FERMENTADOS DE LA SOJA	16
5.1. Salsa de soja	16
5.2. Productos sólidos de la soja	20
5.2.1. Tempeh	20
5.2.2. Miso	23
6. CONCLUSIONES	24
7. BIBLIOGRAFÍA	26

RESUMEN

Actualmente, los alimentos fermentados son muy demandados por sus propiedades sensoriales, nutricionales y promotoras de la salud. Entre los microorganismos que fermentan alimentos se encuentran los mohos, que se caracterizan por llevar a cabo una fermentación en estado sólido, y por la producción de numerosas enzimas líticas.

Los principales alimentos fermentados donde intervienen mohos son los quesos y los derivados de la soja. En el queso Camembert y los quesos azules, *Penicillium camemberti* y *P. roqueforti* crecen después de las bacterias lácticas, metabolizando ácido láctico y produciendo enzimas proteolíticas y lipolíticas. Estas reacciones bioquímicas, y el catabolismo posterior de los compuestos obtenidos, determinan las propiedades sensoriales típicas de estos quesos, al tiempo que se pueden producir algunas sustancias beneficiosas para la salud.

En los derivados de soja, *Aspergillus sojae*, *A. oryzae* y *Rhizopus oligosporus* actúan al inicio de la fermentación, degradando proteínas, lípidos y azúcares a compuestos más sencillos, que pueden ser utilizados luego por levaduras y bacterias, rindiendo en conjunto los diferentes componentes del aroma. Además, durante la fermentación se mejora el valor nutricional de la soja y se pueden obtener algunos compuestos con propiedades promotoras de la salud.

Palabras clave: Moho, alimento fermentado, queso madurado por moho, soja fermentada.

ABSTRACT

Currently, fermented foods are highly demanded for their sensory, nutritional and health-promoting properties. Among microorganisms that ferment foods are the molds, which are characterized by carrying out a solid state fermentation and by the production of numerous lytic enzymes.

The main fermented foods involving molds are cheeses and soy derivatives. In Camembert cheese and blue cheeses, *Penicillium camemberti* and *P. roqueforti* grow after lactic acid bacteria, metabolizing lactic acid and producing proteolytic and lipolytic enzymes. These biochemical reactions, and the subsequent catabolism of the compounds obtained, determine the typical sensory properties of these cheeses, while at the same time, some health beneficial substances can be produced.

In soy derivatives, *Aspergillus sojae*, *A. oryzae* and *Rhizopus oligosporus* act at the beginning of fermentation, degrading proteins, lipids and sugars to simpler compounds, which can then be used by yeast and bacteria, yielding together the different components of aroma. In addition, the nutritional value of soybeans is improved during fermentation, and some compounds with health-promoting properties can be obtained.

Key words: Mold, fermented food, mold ripened cheese, fermented soybean

1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos fermentados son aquellos producidos gracias a un crecimiento microbiano controlado y a la transformación de los componentes del alimento a través de reacciones enzimáticas (Dimidi y col., 2019).

Los microorganismos responsables de las fermentaciones alimentarias incluyen bacterias, levaduras y hongos filamentosos o mohos; y las materias primas fermentables pueden ser de origen animal, entre las que destacan la leche, carne y pescado; o vegetal, principalmente cereales y legumbres (Tamang y col., 2019).

Aunque en la antigüedad la fermentación era empleada como un método de conservación, hoy en día, los alimentos fermentados son demandados por sus propiedades organolépticas, nutricionales y beneficiosas para la salud, que no poseen las materias primas de las que proceden (Makwana y Hati 2019; Tamang y col., 2019).

De entre los alimentos fermentados, aquellos en los que participan mohos no son tan conocidos en Occidente. Esto se debe a que se suele asociar el crecimiento de los mohos con la alteración de alimentos, y a que muchos de ellos son originarios de países orientales.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de los alimentos fermentados en los que los mohos juegan un papel fundamental. En cada alimento se comentará el método de producción, los microorganismos que intervienen, los cambios bioquímicos que originan y los beneficios que aporta la fermentación fúngica.

3. ALIMENTOS FERMENTADOS Y MOHOS

La fermentación es uno de los procesos biotecnológicos más antiguos, descubiertos por la humanidad de manera casual al dejar los alimentos a la intemperie sin ningún tipo de conservación (Tamang y col. 2019). Estos episodios debieron de repetirse lo suficiente como para que los seres humanos de la época se dieran cuenta de los beneficios que la fermentación aportaba, entre los que destacan la conservación de excedentes alimentarios perecederos y la obtención de alimentos con propiedades sensoriales nuevas (Hutkins, 2006; Saxena, 2015).

Cada uno de los continentes descubrió la fermentación de forma independiente y más o menos simultánea, utilizando las materias primas alimentarias disponibles en cada uno de ellos. Así, los derivados de la leche se desarrollaron sobre todo en Oriente Medio, Europa e India, mientras que otras regiones de Oriente, como China, Japón y Corea, donde la ganadería estaba más limitada, los sustratos más utilizados fueron el arroz, la soja, y el pescado (Tamang y col. 2019). Desde ese momento y hasta la actualidad, se han desarrollado numerosos alimentos fermentados a partir de diferentes sustratos y con la intervención de distintos microorganismos [**Figura 1**].

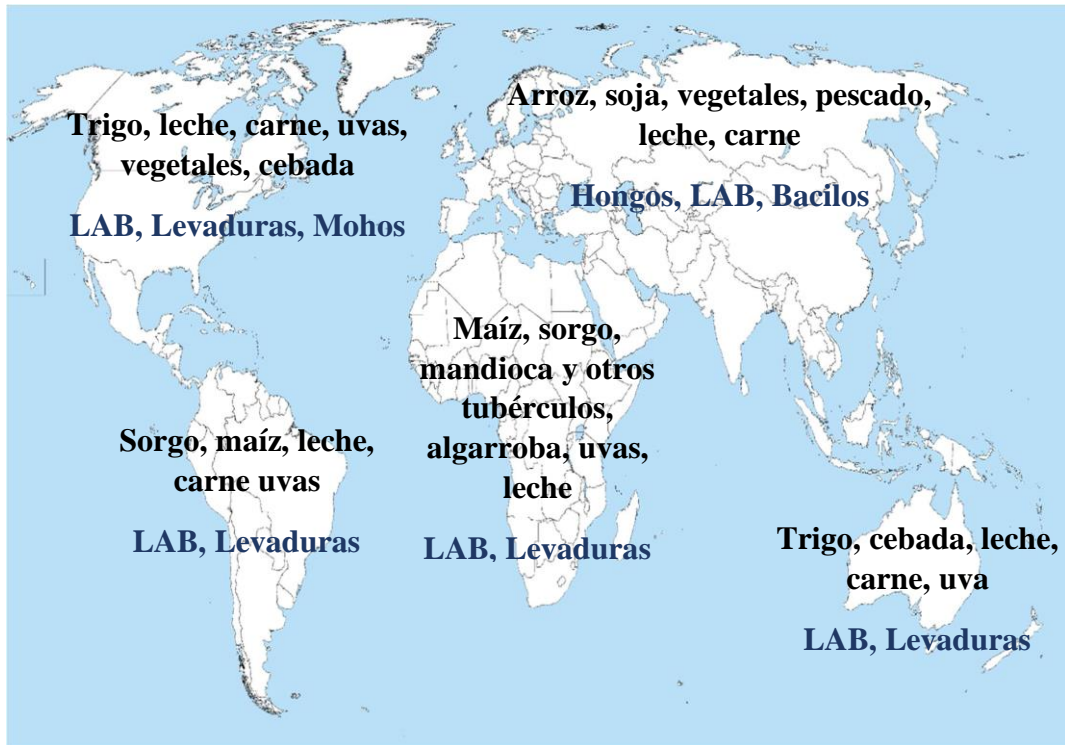


Figura 1. Sustratos y microorganismos que intervienen en las fermentaciones alrededor del mundo. LAB (Lactic Acid Bacteria; bacterias lácticas) (Tamang y col. 2019).

Tradicionalmente, la fermentación ocurría de forma espontánea, gracias a la presencia de los microorganismos en los materiales de partida o mediante la adición de un alimento previamente fermentado a un sustrato fresco (Hutkins, 2006). Sin embargo, a partir del siglo XX, la modernización de las fermentaciones trajo consigo una serie de consideraciones de higiene, seguridad y automatización que promovió la sustitución de la microbiota endógena por “cultivos iniciadores” o “fermentos”. Estos cultivos iniciadores están formados por microorganismos seleccionados y conocidos que permiten estandarizar el proceso productivo y obtener un producto final con características organolépticas, nutricionales y funcionales determinadas, con costes de producción razonables (Zarzezka y col., 2020).

Los microorganismos responsables de las fermentaciones alimentarias incluyen bacterias, levaduras y hongos filamentosos o mohos. De entre estos últimos, destacan los géneros *Rhizopus*, *Penicillium* y *Aspergillus* (Venturini-Copetti, 2019), que se caracterizan por la secreción de numerosas enzimas proteolíticas, amilolíticas y lipolíticas, entre otras, y por llevar a cabo una fermentación en estado sólido que mimetiza su hábitat natural (Farinas, 2015; Soccol y col., 2017).

En los siguientes apartados describiremos los principales alimentos fermentados en los que los mohos juegan un papel fundamental. Comenzaremos con los de origen animal, donde se encuentran los quesos fermentados por mohos, para luego seguir con los de origen vegetal, donde destacan los derivados de la soja.

4. QUESO

Se define el queso como aquel “producto fresco o madurado obtenido por coagulación y separación del suero de leche, nata, mantequilla o de una mezcla de cualquiera de ellos”. El queso es uno de los alimentos consumidos por el ser humano más antiguo, y aunque no se conoce con exactitud sus orígenes, probablemente haya que remontarse a la región conocida como Media Luna Fértil, entre los ríos Tigris y Éufrates hace 8.000 años, cuando se domesticaron los primeros animales como cabras y ovejas. El primer queso se obtuvo por un proceso accidental en el que algún pastor habría metido leche fresca en un recipiente de piel y no la habría consumido. Con el calor y el movimiento, la leche se habría separado en una cuajada y en el suero. Esta transformación de la leche en un alimento sólido se habría considerado una ventaja en términos de almacenamiento, facilidad de transporte, enriquecimiento de la dieta humana y aumento de vida útil (Fox y col., 2017).

Hoy en día la producción de queso alcanza los 19 millones de toneladas anuales, lo que lo convierte en el alimento fermentado sólido de mayor consumo (Tamang y col., 2019).

Las etapas básicas de la fabricación del queso son las siguientes:

Preparación de la leche. La leche puede someterse a un proceso de pasteurización, que elimina microorganismos patógenos, contaminantes y la mayoría de la microbiota endógena. Ello hace necesario añadir cultivos iniciadores, formados al menos por bacterias lácticas y por otras bacterias, levaduras o mohos, para poder obtener la variedad de queso deseada.

Coagulación. Consiste en la precipitación de las micelas de caseína de la leche por la acción de enzimas proteolíticas del cuajo, como la quimosina.

Desuerado y prensado. Una vez coagulada la leche, se corta y en ocasiones se calienta para favorecer la eliminación del líquido o suero, frente al sólido o cuajada donde quedan retenidos la mayor parte de nutrientes. Con la cuajada se rellenan los moldes que son sometidos a presión para eliminar el suero que aún pudiera quedar.

Salado. La sal contribuye al sabor, mejora la eliminación del suero y ayuda a conservar el queso. Puede aplicarse de forma directa a la cuajada, frotarse sobre la superficie, o por inmersión en salmuera.

Maduración. Consiste en la descomposición lenta y controlada de los hidratos de carbono, las proteínas y la grasa de la cuajada a través de una serie de eventos bioquímicos responsables del desarrollo de las propiedades organolépticas finales. Las enzimas que intervienen en la maduración proceden de la leche, del cuajo y sobre todo de los microorganismos presentes (Khattab y col., 2019).

Existen unas 2000 variedades de queso que varían en función del tipo de leche, cuajo y microorganismos que intervienen en la maduración. De todas ellas, sólo unas pocas son maduras por mohos y se clasifican en aquellas en las que el moho crece en la superficie y aquellas en las que lo hace en su interior.

4. 1. Quesos madurados por mohos en superficie

Aquí encontramos el queso Camembert y el Brie, originarios de las regiones francesas de Normandía y Brie respectivamente. Estos quesos están hechos a partir de leche de vaca con la intervención del *Penicillium camemberti*. Aunque se asemejan en sabor, textura y proceso de fabricación, se diferencian en el tamaño, siendo el Brie cilíndrico y aplanado con un diámetro mayor que el Camembert (Fox y col., 2017). En la **Figura 2** se muestra el proceso de fabricación del queso Camembert.

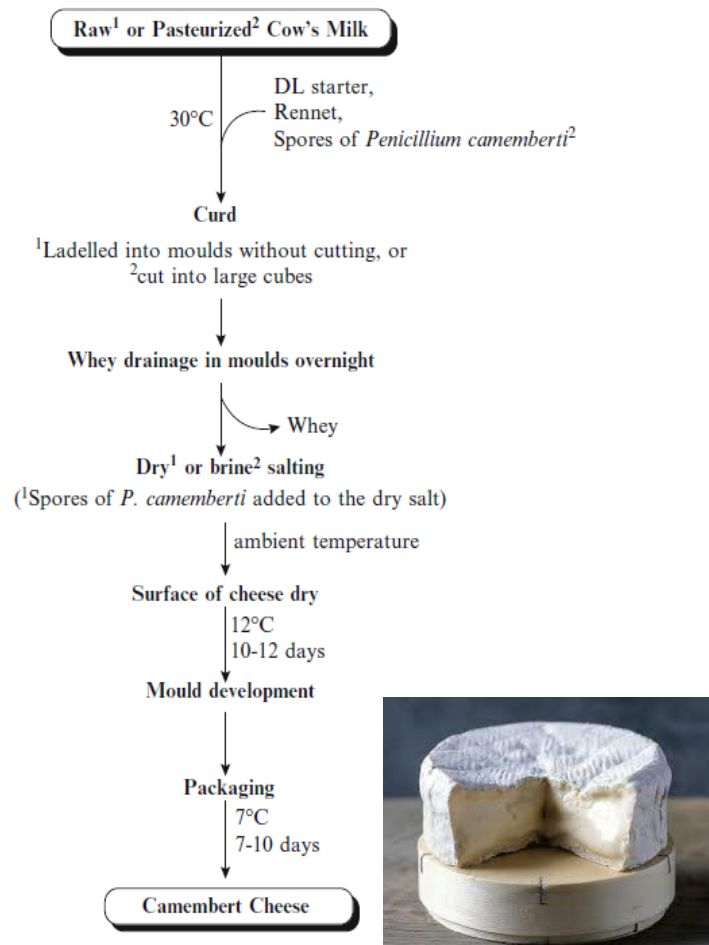


Figura 2. Fabricación del queso Camembert siguiendo el método tradicional (1) o industrial (2) (Fox y col., 2017).

Las esporas del hongo se inoculan en la propia leche (método industrial) o en la cuajada salada (método tradicional). Una vez obtenida la cuajada se deja drenando en el molde durante una noche. Luego se sala el queso, bien aplicando sal sobre la superficie (método tradicional) o sumergiéndolo en salmuera (método industrial), y se deja secar la superficie del queso a temperatura ambiente. Seguidamente, los quesos se almacenan a una temperatura de 12° C durante 10-12 días para que el moho crezca en la superficie. Tras este periodo se envuelven los quesos en papel encerado y se colocan en cajas de madera o de cartón con el fin de que terminen de madurar a una temperatura de 7° C durante 7-10 días.

La biota microbiana que interviene en la fabricación del Camembert y los cambios bioquímicos que originan se recogen en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Microorganismos que intervienen en la fabricación del queso Camembert y cambios bioquímicos que producen (Spinnler, 2017).

MICROORGANISMO	ESPECIE	BIOQUÍMICA
Bacterias Lácticas		
Mesófilas	<i>Lactococcus lactis subsp. lactis</i>	Metabolismo de la lactosa
	<i>Lactococcus lactis subsp. cremoris</i>	Metabolismo del citrato
	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Proteolisis
Termófilas	<i>Streptococcus thermophilus</i>	
	<i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i>	
Otras bacterias		
	<i>Brevibacterium linens</i>	Proteolisis
	<i>Arthrobacter sp.</i>	
	<i>Micrococcus sp.</i>	
	<i>Corynebacterium sp.</i>	
	<i>Brachybacterium sp.</i>	
Hongos		
	<i>Penicillium camemberti</i>	Metabolismo del ácido láctico
		Proteolisis
		Lipolisis
Levaduras		
	<i>Debaryomyces hansenii</i>	Proteolisis
	<i>Geotrichum candidum</i>	Lipolisis
	<i>Kluveromyces marxianus</i>	

Los primeros microorganismos que intervienen son las bacterias lácticas (LAB) que metabolizan la lactosa a ácido láctico, con la consiguiente reducción de pH hasta valores en torno a 4,6 (Bertuzzi y col., 2018). Algunas LAB, como *Lactococcus lactis subsp. lactis* y *Leuconostoc mesenteroides*, además metabolizan el citrato de la leche, originando CO₂ y compuestos aromáticos como el diacetilo y acetoína que otorgan un sabor a mantequilla (Martín y Coton 2016). Las LAB también contribuyen a la proteolisis en etapas tardías de la maduración, cuando sus enzimas proteolíticas intracelulares se liberan tras la lisis (Fox y col., 2017).

Posteriormente, interviene *Penicillium camemberti* y la levadura *Geotrichum candidum* (Boutrou y Guéguen, 2005), que son los microorganismos que más influyen en la maduración por su acción proteolítica y lipolítica (Galli y col., 2016); las levaduras *Debaryomyces hansenii* y *Kluveromyces marxianus* y otras bacterias, destacando entre

ellas *Brevibacterium linens*. Tanto *P. camemberti*, como *G. candidum* y *B. linens* son microorganismos aerobios estrictos (Fox y col., 2017)

Los cambios que ocurren durante la fermentación del Camembert, con especial mención al efecto del *P. camemberti*, se muestran en la **Figura 3** y se describen a continuación.

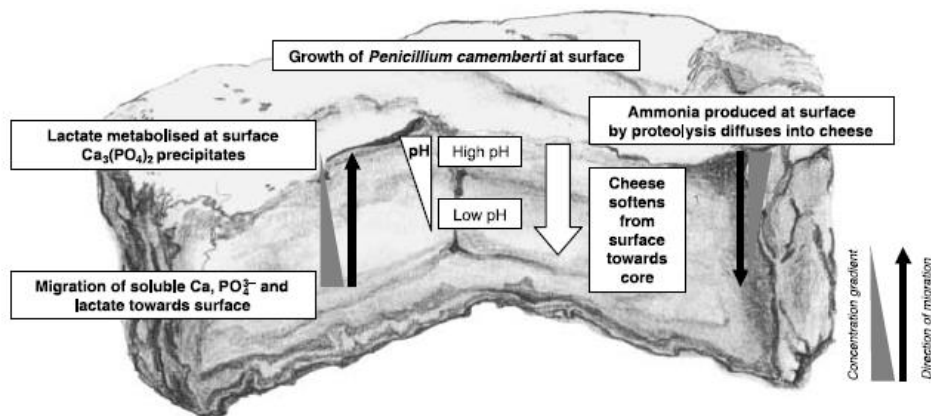


Figura 3. Cambios en el queso Camembert como consecuencia del crecimiento de *P. camemberti* (McSweeney, 2004).

Efecto sobre el pH. *P. camemberti* crece en la superficie del queso, formando una corteza blanca característica. Durante el crecimiento, consume el lactato, produciendo CO_2 y H_2O , lo que eleva el pH hasta valores cercanos a 7. Como consecuencia de ello, la microbiota sensible al ácido puede establecerse en la superficie y contribuir a la maduración. También se favorece la actividad enzimática, porque las enzimas que intervienen en la maduración tienen un pH óptimo cercano al valor neutro. Además, se origina una migración de lactato y de sales de calcio y fósforo desde el interior a la superficie, que acaba formando precipitados de fosfato de calcio. Finalmente, el aumento de pH incrementa la carga neta de las caseínas y modifica las interacciones proteína-proteína y proteína-agua, lo que da lugar al reblandecimiento de la textura, que se extiende desde la corteza al interior. También contribuye al reblandecimiento la quimosina del cuajo (McSweeney 2004; Cooke y McSweeney 2018; Mane y McSweeney 2019).

Proteolisis. Las enzimas proteolíticas pueden venir de la leche, del coagulante o de los microorganismos, principalmente de *P. camemberti* [Tabla 2]. Como consecuencia de su acción se produce un aumento del pH, se reduce la actividad de agua y se liberan

péptidos que contribuyen al sabor o sirven como sustrato de otros procesos que originan otros compuestos aromáticos (Cantor y col., 2004; Mane y McSweeney 2019).

Tabla 2. *Enzimas implicadas en la proteólisis del queso Camembert (Cantor y col., 2004; Savijoki y col., 2006).*

Enzima	Origen	Acción
Plasmina	Leche	Hidroliza α_{S2} -, β - y γ -caseína
Quimosina y otros coagulantes	Cuajo	Hidroliza α_{S1} -caseína
Lactocepina	LAB	Hidroliza péptidos producidos por la plasmina o el cuajo Produce péptidos a partir de α_{S1} -caseína
Peptidasas	LAB	Libera aminoácidos de péptidos pequeños
Peptidasas	NSLAB	Libera aminoácidos
Proteinasas y peptidasas	<i>P. camemberti</i>	Proteólisis
Proteinasas	<i>G. candidum</i>	Proteólisis

LAB: bacterias lácticas del cultivo iniciador; NSLAB: bacterias lácticas espontáneas

Por último, el catabolismo de los aminoácidos, llevado a cabo por bacterias lácticas y *B. linens* (McSweeney y Sousa, 2000), libera aminas, aldehídos, fenoles, indoles y alcoholes que también contribuyen a las características sensoriales del Camembert.

Lipolisis. La degradación intensa de la grasa es una característica común en los quesos madurados por mohos. Al igual que ocurre en la proteólisis, las enzimas lipolíticas provienen de la leche, el cuajo y la microbiota, destacando de nuevo *P. camemberti* (Khattab y col., 2019). El hongo produce gran cantidad de una lipasa extracelular alcalina que logra mantenerse muy activa a la temperatura de maduración. (Galli y col., 2016). Además, la lipolisis no ocurre de forma homogénea en todo el queso, dándose principalmente bajo la corteza, donde crece el mocho por la presencia de oxígeno.

Los ácidos grasos que se liberan a partir de las grasas por sí solos constituyen compuestos aromáticos y pueden ser precursores de un catabolismo posterior que rinde nuevos compuestos aromáticos, como metilcetonas, alcoholes, lactonas y ésteres.

La proteólisis y la lipólisis junto con el catabolismo posterior de los productos obtenidos originan los diferentes compuestos aromáticos que caracterizan al Camembert [Tabla 3] (Galli y col., 2016; Kilcawley 2017). Así por ejemplo las lactonas y metilcetonas aportan tonos afrutados y la propan-2-ona y la butan-2-ona aportan un tono a acetona. (Spinler 2017; Suzuki-Iwashima 2019). Además, la lipólisis la proteólisis y el pH relativamente elevado aportan en conjunto la característica textura blanda del queso (McSweeney y col., 2004).

Tabla 3. Principales compuestos aromáticos del queso Camembert (Kilcawley 2017)

Compuesto	Tipo
Metilcetonas	Nonan-2-ona; Heptan-2-ona;
Alcoholes	1-propanol, 2-heptanol, 2-Honanol, Oct-1-en-3-ol, feniletanol
Lactonas	δ -Decalactona
Ésteres	Etil-fenil-acetato
Aldehídos	3-metilbutanal
Compuestos sulfurados	Metional; Metanotiol; Dimetilsulfito; Dimetildisulfito; Dimetiltrisulfito
Cetonas	1-octan-3-ona; 2-undecanona; 2-nonanona; 2-pentanona; 2-heptanona
Ácidos Grasos	Acético

De lo expuesto anteriormente, queda patente la importancia de *P. camemberti* para el desarrollo de las características organolépticas típicas del Camembert. Aparte, *P. camemberti* puede jugar un papel promotor de la salud, ya que durante la proteólisis produce péptidos inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (ECA), lo que propicia un efecto hipotensor, reduciendo el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Sieber y col., 2009).

4.2. Quesos madurados por mohos en el interior

Dentro de esta categoría se encuentran los quesos azules, caracterizados por el crecimiento de *Penicillium roqueforti*. Aunque originarios de la región francesa de Roquefort, hoy en día varios países europeos producen quesos azules con características únicas resultado del proceso de fabricación y del tipo de leche usada [Tabla 4].

Tabla 4. Principales quesos azules europeos (Fernández-Salguero, 2004)

Variedad	País	Tipo de leche	Humedad (%)	Grasa (%)	Proteínas (%)	NaCl (%)
Cabrales	España	Vaca o mezcla con oveja o cabra	35-42	34-38	20,4-23,6	1,8-3,4
Danablu	Dinamarca	Vaca	43-47	29-31	19-24	3-4
Gorgonzola	Italia	Vaca	42-49	30-31	19-23	2-3
Roquefort	Francia	Oveja	42-44	29	20	4,1
Stilton	Reino Unido	Vaca	37-42	32-35	21-29	2-3

Tradicionalmente, se fabricaban a pequeña escala utilizando leche cruda. En algunas variedades, como el Roquefort, la maduración tenía lugar en cuevas (Martín y Coton, 2016), donde el hongo *Penicillium roqueforti* estaría presente de forma natural y colonizaría la cuajada allí almacenada (Fernández-Salguero, 2004). A nivel industrial, la leche se trata térmicamente y la adición del cultivo iniciador láctico y de *P. roqueforti* ocurre junto con la adición del cuajo [Figura 4]. El corte de la cuajada tiene especial importancia puesto que, cuanto más grandes sean los trozos, mayor cantidad de humedad contendrá. Tras el salado superficial, se pueden utilizar agujas de gran diámetro para perforar el queso para que el oxígeno alcance el interior y propiciar el crecimiento de *P. roqueforti* (Cantor y col., 2004).

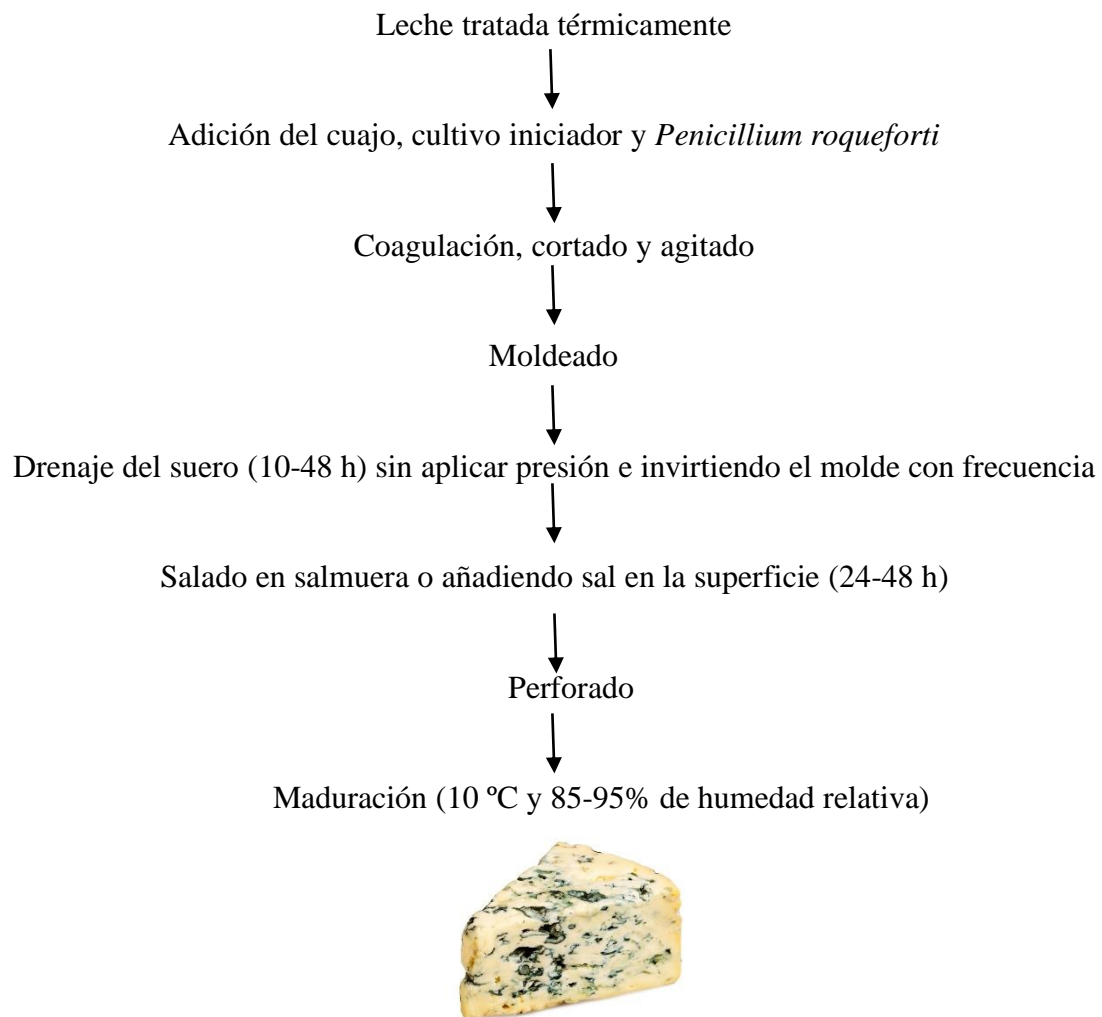


Figura 4. *Fabricación del queso azul a nivel industrial (Cantor y col., 2004).*

Durante la maduración, que dura de unas pocas semanas a varios meses, se produce la germinación, crecimiento y esporulación del moho. Ello conlleva al desarrollo de unas vetas azul verdosas muy representativas, que siguen las líneas de las agujas donde el oxígeno estaba presente, y que son debidas a las melaninas de los conidios. La maduración ha de seguir una regulación estricta. En el Roquefort, *P. roqueforti* crece en primer lugar durante 15 días en bodegas ventiladas. Luego los quesos se envuelven con un plástico, para crear un ambiente limitante de oxígeno, y así retrasar el crecimiento del hongo y su actividad metabólica, además de prevenir el crecimiento de microorganismos contaminantes, y se almacenan a 10 ° C durante 3 meses (Martín y Coton, 2016).

La biota microbiana que interviene en la maduración de los quesos azules y los cambios bioquímicos que originan se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5. *Microorganismos que intervienen en la fabricación de los quesos azules y cambios bioquímicos que producen (Cantor y col., 2004).*

MICROORGANISMO	ESPECIE	BIOQUÍMICA	
LAB	Mesófilas	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	Metabolismo de la lactosa
		<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i>	Metabolismo del citrato
		<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Proteolisis
	Termófilas	<i>Streptococcus thermophilus</i>	
		<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	
NSLAB	<i>Lactibacillus fermentum</i>	Proteolisis	
	<i>Lactibacillus brevis</i>		
	<i>Pediococcus</i> sp.		
	<i>Leuconostoc</i> sp.		
Hongos	<i>Penicillium roqueforti</i>	Metabolismo del ácido láctico	
		Proteolisis	
		Lipolisis	
Levaduras	<i>Debaryomyces hansenii</i>	Proteolisis	
	<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Lipolisis	
	<i>Yarrowia lipolytica</i>		
	<i>Pichia</i> sp.		
	<i>Cryptococcus laurentii</i>		
	<i>Candida caterulata</i> , <i>C. colliculosa</i> , <i>C. lambica</i>		
	<i>Geotrichum candidum</i>		
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>		

LAB: bacterias lácticas del cultivo iniciador; NSLAB: bacterias lácticas espontáneas

Las bacterias lácticas homo-fermentativas y termófilas producen ácido láctico a partir de la lactosa, mientras que las hetero-fermentativas, además, producen CO₂ que abre la estructura del queso favoreciendo la entrada de aire y el desarrollo del moho. Algunas LAB utilizan el citrato y contribuyen a la proteolisis en etapas más tardías de la maduración. También podemos encontrar levaduras entre la microbiota típica (Price y col., 2014) aunque no se añaden deliberadamente, sino que surgen como contaminantes naturales. Estas levaduras influyen en las propiedades del queso a través de la actividad

proteolítica y lipolítica, la fermentación de la lactosa residual, la utilización del ácido láctico y su autólisis (Fox y col., 2017).

De todos los microorganismos que intervienen en la maduración de los quesos azules, *Penicillium roqueforti* es el que más va a definir el aroma y sabor (Mioso y col., 2014) debido a su contribución a la proteólisis y la lipólisis. La proteólisis en esta variedad es prácticamente igual a la descrita en el queso Camembert. La lipólisis es muy intensa y llevada a cabo principalmente por *P. roqueforti* y en menor medida por otras enzimas presentes en la leche, las levaduras y las bacterias lácticas [Tabla 6].

Tabla 6. Enzimas implicadas en la lipólisis del queso Roquefort (Fox y col., 2107).

Enzimas	Origen	Acción
Lipasa	Leche	Hidroliza triglicéridos
Lipasa	<i>Lc. lactis subsp. Lactis</i> <i>Lc. lactis subsp. cremoris</i>	Libera ácidos grasos
Esterasa	<i>Lc. lactis subsp lactis</i> <i>Lc. lactis subsp. cremoris</i>	Libera ácidos grasos
Esterasa	<i>S. thermophilus</i>	Hidroliza ésteres de p-nitrofenilo
Lipasas	<i>P. roqueforti</i>	Hidroliza triglicéridos
Esterasas	Levaduras	Hidroliza ácidos grasos

La lipólisis va a rendir ácidos grasos libres y los productos de su catabolismo posterior (Mioso y col., 2014), que se acumulan en el interior del queso, donde es más abundante el *P. roqueforti* (Martín y Coton 2016). De entre los compuestos de aroma del queso azul destacan las metil-cetonas, seguidos de los alcoholes y en menor medida los ésteres, las lactonas y los aldehídos. El alto contenido en ácidos grasos libres y la presencia de metil cetonas como 2-heptanonas, 2-nonanonas, 2-pentanona y 2-decanona, aportan los tonos afrutados, florales y mohosos característicos (Martín y Coton 2016).

Aparte del papel crucial de *P. roqueforti* para obtener un queso azul con características sensoriales típicas, el moho puede producir metabolitos secundarios con efectos beneficiosos para la salud, como las andrastinas y el ácido micofenólico. Las andrastinas inhiben a la farnesil transferasa ras, una proteína oncogénica (Rojas-Aedo y

col., 2018); mientras que el ácido micofenólico presenta actividad antibacteriana frente a *Bacillus anthracis* y acción inmunodepresora (García-Estrada y Martín 2016).

5. ALIMENTOS FERMENTADOS DE LA SOJA

Los derivados fermentados de la soja son originarios de Oriente y desde allí se ha extendido su consumo a los países occidentales. En la fermentación intervienen principalmente mohos y los alimentos se pueden presentar en forma líquida, como la salsa de soja; o en forma sólida, como es el caso del tempeh y el miso (Chen 2012).

5.1. Salsa de soja

La salsa de soja es un condimento líquido de color pardo, originario de China hará unos 2.500 años. Se fabrica en dos etapas de fermentación, denominadas fase koji y moromi (Zhu y Tramper 2013), en las que intervienen distintos tipos de microorganismos [Tabla 7].

Tabla 7. *Microorganismos que intervienen en la producción de salsa de soja (Devanathi y Gkatzionis, 2019)*

Fase	Bacterias	Levaduras	Hongos
Koji	<i>Lactobacillus casei</i>	<i>Pichia burtonii</i>	<i>Aspergillus sojae</i>
	<i>Streptococcus faecium</i>	<i>Candida diddensiae</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	<i>Rhodotorula rubra</i>	
	<i>Streptococcus dysgalactiae</i>		
	<i>Klebsiella ozaenae</i>		
	<i>Enterobacter cloaceae</i>		
	<i>Enterobacter agglomerans</i>		
	<i>Citrobacter diddensiae</i>		
	<i>Bacillus brevis</i>		
Moromi	<i>Tetragenococcus halophilus</i>	<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	
		<i>Torulopsis sp.</i>	

El proceso de producción de la salsa de soja se muestra en la **Figura 5**, aunque puede haber variaciones, así, la salsa china se elabora normalmente utilizando solo soja, mientras que la japonesa utiliza la misma cantidad de soja que de trigo.

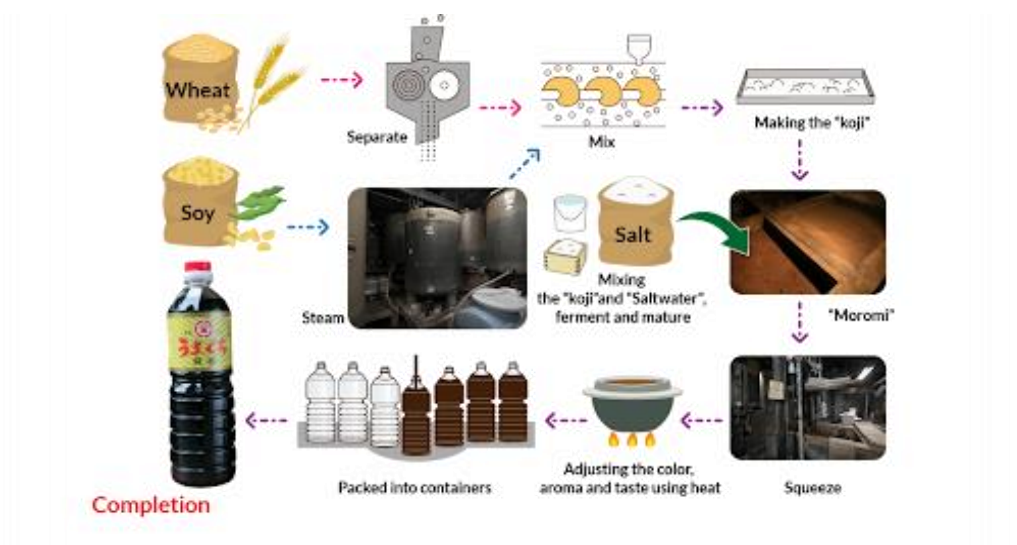


Figura 5. Fabricación de la salsa de soja (Kamada Shoyury n.d.)

La soja se macera en agua y posteriormente se cocina con vapor a presión. Durante el humedecimiento de las habas, puede darse una pre-fermentación por bacterias lácticas que provoca una bajada de pH, impidiendo el crecimiento de microorganismos contaminantes y/o patógenos. Al mismo tiempo, el trigo se tuesta y se muele, obteniéndose una harina que se mezcla con la soja preparada. La masa resultante se inocula con *A. oryzae* y/o *A. sojae* dando lugar al koji, el cual se coloca en bandejas y se incuba a 25-35 °C durante unas 72 h (Santhirasegaram y col., 2016).

Fermentación del koji. Durante esta etapa, los mohos producen las enzimas que degradan las proteínas y azúcares de la mezcla, liberando compuestos más sencillos que sirven de sustrato para las levaduras y bacterias. La producción de estas enzimas está influenciada por la temperatura, la cepa y el sustrato (Devanthi y Gkatzionis., 2019).

Fermentación del moromi. Una vez finaliza la fermentación del koji, se sumerge en salmuera, originando una nueva mezcla que se conoce como moromi cuya fermentación puede durar meses (Zhu y Tramper 2013). Debido a la alta concentración de sal, los mohos mueren y son diferentes especies halotolerantes de levaduras y bacterias las que crecen en este ambiente. Durante esta fase se generan componentes del sabor por la

acción de bacterias lácticas que además producen ácido láctico y reducen el pH, mientras que las levaduras producen etanol y otros compuestos del sabor a través de la fermentación alcohólica (Harada y col., 2018).

Cuando la fermentación finaliza y el moromi ha envejecido lo suficiente, la parte soluble de la salsa de soja se separa de la parte sólida utilizando prensas de filtro hidráulico. Esta etapa puede durar unos cuantos días y la presión empleada puede ascender de forma escalonada hasta 100 kg/cm². Terminado el filtrado, el producto se refina, se esteriliza a una temperatura de 115 ° C o superior durante un corto periodo de tiempo, inactivándose enzimas y microorganismos, lo que aumenta su vida útil. Estos tratamientos además promueven color típico de la salsa y concentran compuestos que contribuyen al sabor o que tienen actividad antimicrobiana (Devanthi y Gkatzionis., 2019).

Los principales cambios bioquímicos que ocurren durante la obtención de la salsa de soja se detallan a continuación.

Proteolisis. Se da, sobre todo, durante la etapa koji, cuando los mohos crecen y secretan numerosas enzimas proteolíticas halotolerantes, que se mantienen activas incluso durante la etapa moromi. Los péptidos generados son luego hidrolizados gracias a la acción de varias peptidasas, liberando aminoácidos que sufren una posterior degradación dando lugar a compuestos del sabor como aldehídos (2-metil-propanal, 2-metil-butanal y 3-metil-butanal), alcoholes (2-metil-butanol, 3-metil-butanol) o ácidos (ácidos 2-metilbutanoico y 3-metilbutanoico) (Devanthi y Glatzionis 2019). De entre las enzimas proteolíticas destacan las glutaminasas producidas por *A. oryzae* (Lioe y col., 2010) que convierten la glutamina del trigo y la soja en ácido L-glutámico que es el principal responsable del sabor umami, característico de la salsa de soja (Zhu y Tamper., 2013).

Degradación del almidón. Se debe principalmente a α - y β -amilasas fúngicas, capaces de convertir el almidón en azúcares simples como la glucosa, maltosa, xilosa, galactosa y arabinosa. La mayoría de los azúcares son liberados al sustrato, unos pocos son utilizados por los mohos para sustentar su crecimiento y el resto van a servir como sustrato para la formación de nuevos compuestos aromáticos, como los alcoholes, por la acción de la levadura *Zygosaccharomyces rouxii* (Devanthi y Gkatzionis 2019).

Otras enzimas. Incluyen celulasas, pectinasas y hemicelulasas que en conjunto mejoran la extracción de sustratos de las legumbres de soja y los granos de trigo, incrementando el rendimiento y la disponibilidad de nutrientes (Devanthi y Gkatzionis., 2019).

En resumen, durante la fermentación del koji, los mohos sintetizan proteinasas y amilasas que degradan azúcares y proteínas en compuestos más sencillos, además de generar algunos componentes del sabor como ácidos, aldehídos y alcoholes. Los compuestos sencillos obtenidos durante esta fase sirven luego como sustrato para el crecimiento de los microorganismos que fermentan el moromi. Luego las dos fermentaciones son las que permiten el desarrollo del sabor y aroma de este producto [Tabla 8] (Feng y col., 2013; Devanthi y Gkatzionis 2019).

Tabla 8. Principales compuestos aromáticos de la salsa de soja (Feng y col., 2013; Devanthi y Glaztionis, 2019).

Fase	Compuestos aromáticos
Koji	Aldehídos: acetaldehídos, 3-metilbutanal, benzaldehído, benzenacetaldehído, (E)-2-octenal Alcoholes: 1-octen-3-ol, etanol, 3-metil-1-butanol, 2-metil-1-butanol Cetonas: 1-octen-3-ona, acetona, 5-metil-3-heptanona Ésteres: etil acetato Ácidos: ácido 2-metil-butanoico, L-glutámico
Moromi	Aldehídos: benzaldehído, acetaldehído Alcoholes: etanol, 2,3-metilbutanol, 1-butanol Cetonas: 2-hidroxi-3-metil-2-ciclopenten-1-ona Ésteres: metil acetato, etil-2-hidroxiopropionato, 2-hidroxiopropionato Ácidos: fórmico

En cuanto a los efectos sobre la salud, la fermentación reduce la cantidad de compuestos anti-nutricionales presentes en las legumbres de soja (Vagadia y col., 2017). Entre estos compuestos destacan los inhibidores de la tripsina, que impiden la acción de enzimas proteolíticas en el tracto gastrointestinal, reduciendo la digestibilidad

de las proteínas; los fitatos, que puede interferir con el uso de minerales esenciales como el calcio, magnesio, hierro y zinc; y los oligosacáridos indigeribles, que causan flatulencia y diarrea. Durante la fermentación también se producen compuestos antioxidantes como la melanoidina y se generan péptidos inhibidores de la ECA (Sanjukta y Rai, 2016; Cao y col., 2019).

5.2. Productos sólidos de la soja

A partir de la soja, también es posible obtener diferentes productos sólidos fermentados. De entre ellos, vamos a abordar el tempeh y el miso que destacan por su popularidad, sus ventajas nutricionales y propiedades promotoras de la salud.

5.2.1. Tempeh

El tempeh es un alimento tradicional de Indonesia, consistente en una masa compacta de habas de soja entremezcladas con el micelio del moho que interviene en la fermentación.

En la **Figura 6** se recoge su proceso de obtención que comienza con el pelado de la legumbre de soja y su maceración en agua. A continuación, se cuece en agua, se escurre, se añade el cultivo iniciador, compuesto por *Rhizopus oligosporus*, se envuelve en bolsas de plástico u hojas de platanera, y se incuba durante 48 h para que tenga lugar la fermentación (Nout y Kiers, 2005). 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, y normalmente se fríe u hornea antes de su consumo.

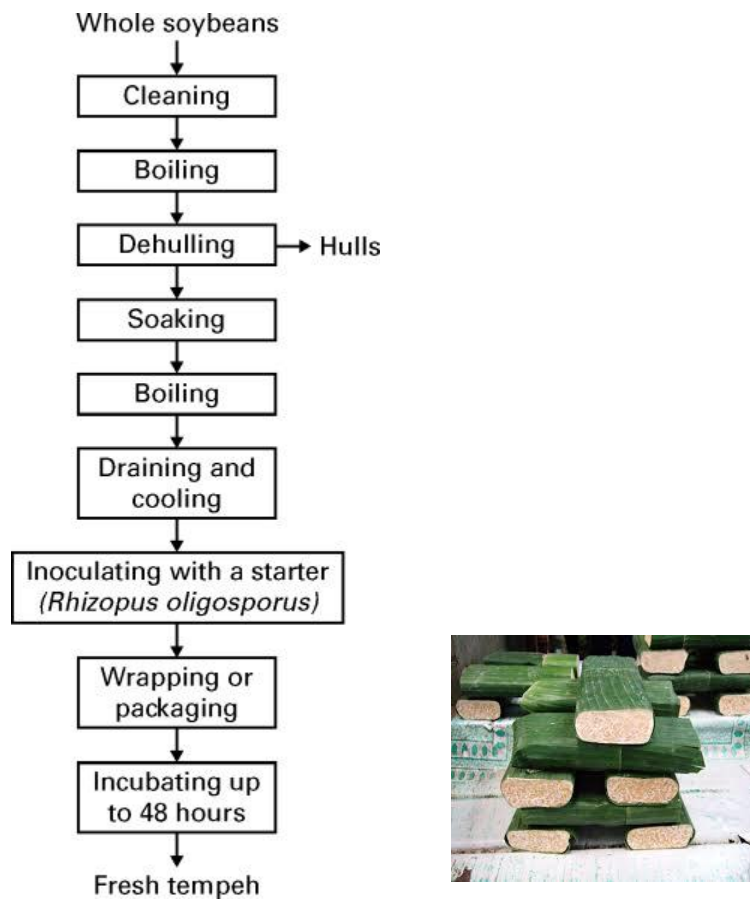


Figura 6. Elaboración del tempeh (Liu, 2008)

La microbiota responsable de la fermentación del tempeh está formada principalmente por *Rhizopus oligosporus*, y en menor medida por bacterias lácticas [Tabla 9].

Tabla 9. Principales microorganismos involucrados en la fermentación del tempeh (Mulyowidarso y col., 2007).

Tipo de Microorganismo	Especie
LAB	<i>Enterococcus faecium</i>
	<i>Lactobacillus acidophilus</i>
	<i>Lactobacillus casei</i>
	<i>L. plantarum</i>
	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
Hongos	<i>Rhizopus oligosporus</i>

Las LAB van a actuar en primer lugar, sobre las legumbres humedecidas, llevando a cabo una pre-fermentación en la que el contenido en ácidos orgánicos aumenta, lo que acidifica el ambiente e impide el crecimiento de microorganismos patógenos o contaminantes (Nout y Kiers, 2005). Posteriormente, interviene *Rhizopus oligosporus* que es el responsable de la mayoría de los procesos metabólicos que ocurren durante la fermentación produciendo una gran variedad de enzimas con actividad endocelulasa, proteasa, lipasa y fitasa (Rehms y Barz., 1995; Nout y Kiers, 2005), que liberan compuestos que contribuyen al aroma y sabor [Tabla 10].

Tabla 10. Principales compuestos aromáticos del tempeh (Jelen y col., 2013).

Naturaleza	Compuesto	Aroma
Aldehídos	2-metilpropanal	Rancio
	2-metil butanal	Malta
	3-metil butanal	Malta
	Hexanal	Hierba
	(z)-4-heptanal	Rancio
	Fenilacetaldehído	Mantequilla Miel
Cetonas	1-octen-3-ona	Champiñón
	(Z)-1,5-octadienona	Geranio
Compuestos sulfurados	Dimetilsufuro	Col
Alcoholes	2-butanol	Estropeado
	3-metil butanol	Rancio
	2-metoxi fenol	Humo

La fermentación también mejora el valor nutricional, por la eliminación de factores anti-nutricionales presentes en la soja (Cao y col., 2019). Por todo ello, el tempeh suele utilizarse como un sustituyente de la carne en dietas veganas y vegetarianas, al poseer un gran valor proteico, ser fácil de digerir, y tener un sabor agradable (Nout y Kiers, 2005). Además, posee propiedades promotoras de la salud por la presencia de péptidos inhibidores de la ECA y de isoflavonas antioxidantes, como la genisteína, daidzeína y gliciteína (Kuligowski y col., 2016; Cao y col., 2019), activas frente al cáncer de mama y próstata (Jayachandran y Xu. 2019). También ha sido empleado para tratar casos de diarrea y de pacientes con el tejido intestinal dañado, ya que promueve la regeneración y proliferación de dicho tejido. (Nout y Kiers, 2005).

5.2.2. Miso

Ingrediente tradicional de origen japonés, que es utilizado como condimento en la elaboración de diferentes comidas, como por ejemplo sopa, en Japón, China y Corea. El miso japonés se fabrica a partir de legumbres de soja y arroz [Figura 7].

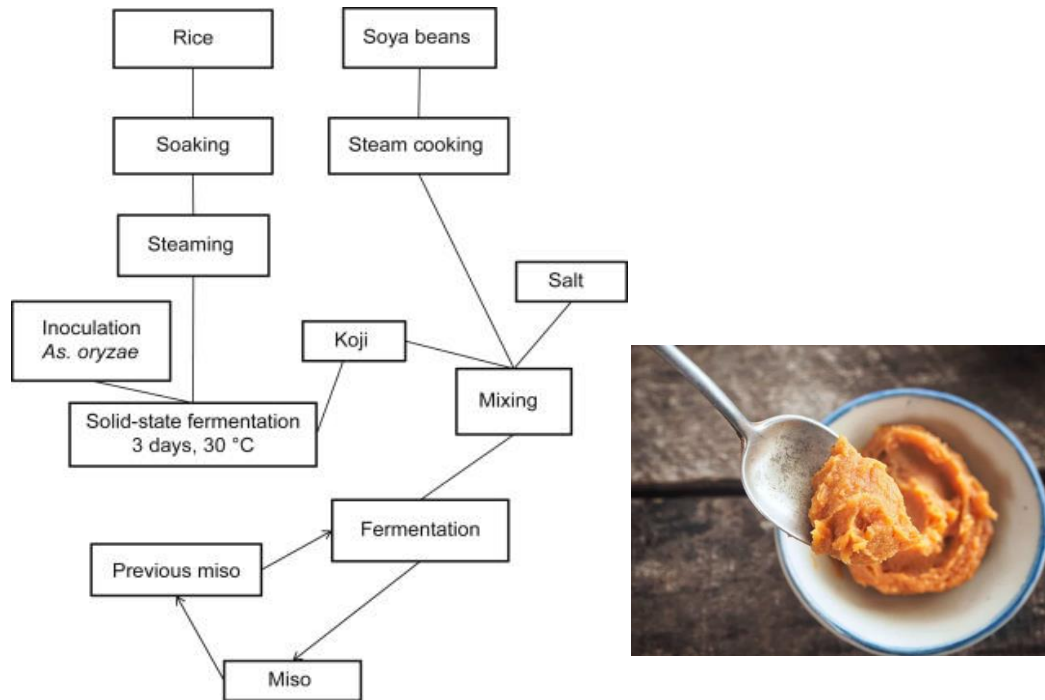


Figura 7. Fabricación del miso (Nout, 2015)

Por un lado, se lavan, pelan y cocinan las habas de la soja, mientras que, por otro, el arroz es humedecido, cocinado y fermentado por el moho *Aspergillus oryzae*, para obtener el koji. El koji y la soja se mezclan junto con sal para iniciar una fermentación por parte de levaduras (*Zygosaccharomyces rouxii*, *Candida versatilis*) y bacterias lácticas (*Tetragenococcus halophilus*) que también son inoculados a la mezcla (Steinkraus, 2004; Sanjukta y Rai, 2016). El proceso de fabricación y la bioquímica implicada recuerda a los de la salsa de soja, ya que durante la fase de koji se producen las enzimas fúngicas responsables de degradar proteínas, lípidos y azúcares en compuestos más sencillos que son utilizados posteriormente por levaduras y bacterias lácticas halófilas, rindiendo diferentes compuestos del sabor y aroma [Tabla 11] (Inoue y col., 2016).

Tabla 11. Principales compuestos aromáticos del miso (Inoue y col., 2016).

Naturaleza	Compuesto del sabor	Aroma
Ácidos orgánicos	Acético	Ácido
	Propanoico	Queso
Alcoholes	2-etil 1-hexanol	Menta
Aldehídos	2-metilbutanal; 3-metilbutanal	Malta
	Octanal	Cítrico
Cetonas	3-octanona	Metálico
	1-octen-3-ona	Champiñón
Ésteres	Etil 2-metilpropanoato	Fruta
	3-metilbutilacetato	Fruta
	Etil acetato	Dulce
Fenoles	2-metoxifenol	Humo
Pirazinas	2,5-dimetilpirazina	Asado
	Etilpirazina	Dulce
	2,3,5-trimetilpirazina	Nueces
Compuestos sulfurados	Metional	Patata
	Dimetil sulfuro	Azufre

Aparte de su valor gastronómico, el miso ha ganado interés por su efecto promotor de la salud, debido a sus propiedades antihipertensivas y porque en animales de experimentación ha mostrado propiedades antitumorales (Watanabe, 2013). Por otro lado, el consumo de miso también se ha asociado al alivio de enfermedades intestinales inflamatorias (Sasaki y col., 2020).

6. CONCLUSIONES

1. Los mohos intervienen en la fermentación de numerosos alimentos, donde no suelen actuar solos, sino acompañados de otros microorganismos, como bacterias y levaduras, contribuyendo en conjunto a la obtención del producto final.

2. En el queso Camembert, *Penicillium camemberti* crece en la superficie, originando una corteza blanquecina; mientras que en los quesos azules *P. roqueforti* lo hace en el interior, formando vetas azul verdosas. En ambos, el moho metaboliza el ácido láctico y produce numerosas enzimas proteolíticas y lipolíticas. Estas reacciones bioquímicas y su catabolismo posterior reblandecen la textura y originan los compuestos aromáticos característicos de estos quesos.
3. Durante la fermentación, se pueden producir péptidos inhibidores de la ECA por *P. camemberti* y algunos metabolitos secundarios, como las andrastinas y el ácido micofenólico, por parte de *P. roqueforti*; todos ellos con efectos beneficiosos para la salud.
4. En derivados de la soja como el tempeh, *Rhizopus oligosporus* es el principal responsable de la fermentación. En otros, como la salsa de soja y en el miso, *Aspergillus oryzae* y/o *A. sojae* degradan las proteínas, lípidos y azúcares a compuestos más sencillos que son utilizados por levaduras y bacterias lácticas, rindiendo en conjunto los diferentes componentes del aroma.
5. En general, durante la fermentación fúngica se eliminan sustancias anti-nutritivas presentes de forma natural en la soja, mejorando su valor nutricional. Además, se pueden producir compuestos beneficiosos para la salud con efecto antihipertensivo, antitumoral, antioxidante y promotor de la salud intestinal.

CONCLUSIONS

1. Molds are involved in the fermentation of numerous foods, where they do not usually act alone, but accompanied by other microorganisms, such as bacteria and yeasts, contributing together to obtain the final product.
2. In Camembert cheese, *Penicillium camemberti* grows on the surface originating a white rind, while *P. roqueforti* grows on the inside of blue cheeses originating blue-greenish veins. In both, the mold metabolizes acid lactic and produces numerous proteolytic and lipolytic enzymes. These biochemical reactions and

their subsequent catabolism soften the texture and originate the aromatic compounds that characterize these cheeses.

3. During fermentation, ACE inhibitor peptides can be produced by *P. camemberti* and some secondary metabolites, such as andrastines and mycophenolic acid, by *P. roqueforti*; all of them with beneficial effects on health.
4. In soy derivatives such as tempeh, *Rhizopus oligosporus* is the main responsible for fermentation. In others, such as soy sauce or miso, *Aspergillus oryzae* and/or *A. sojae* degrade proteins, lipids and sugars to simpler compounds that are used by yeast and lactic acid bacteria, yielding together the different components of aroma.
5. In general, during mold fermentation, anti-nutritive substances naturally present in soybeans are eliminated, improving its nutritional value. In addition, beneficial health compounds with antihypertensive, antitumor, antioxidant and intestinal health promoting effect can be produced.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bertuzzi, A., McSweeney, P., Rea, M., y Kilcawley, K.** 2018. Detection of Volatile Compounds of Cheese and Their Contribution to the Flavor Profile of Surface-Ripened Cheese. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 17(2), 371-390. doi: 10.1111/1541-4337.12332
- Boutrou, R., y Guéguen, M.** 2005. Interests in *Geotrichum candidum* for cheese technology. *International Journal Of Food Microbiology*, 102(1), 1-20. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.12.028
- Cantor, M., Van den Tempel, T., Hansen, T. y Ardö, Y.,** 2004. Blue Cheese. In: P. Fox, P. McSweeney, T. Cogan and T. Guinee, ed., *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 3rd ed. [online] pp.175-198. Available at: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/cheese-chemistry-physics-and-microbiology/vol/2/suppl/C>.
- Cao, Z., Green-Johnson, J., Buckley, N. y Lin, Q.,** 2019. Bioactivity of soy-based fermented foods: A review. *Biotechnology Advances*, 37(1), pp.223-238.
- Chen, K., Erh, M., Su, N., Liu, W., Chou, C. y Cheng, K.,** 2012. Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(1), pp.9-22.
- Cooke, D., y McSweeney, P.** (2018). From Micelle to Met: the influence of Calcium on Physico-chemical Properties of Cheese. In P. Papademas & T. Bintsis, *Global cheesemaking Technology* (1st ed.). Chichester: Wiley.

- Devanathi, P., y Gkatzionis, K.** 2019. Soy sauce fermentation: Microorganisms, aroma formation, and process modification. *Food Research International*, 120, 364-374. doi: 10.1016/j.foodres.2019.03.010
- Dimidi, E., Cox, S., 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(8), p.1806.
- Farinas, C.,** 2015. Developments in solid-state fermentation for the production of biomass-degrading enzymes for the bioenergy sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, pp.179-188.
- Feng, Y., Cui, C., Zhao, H., Gao, X., Zhao, M., y Sun, W.** 2012. Effect of koji fermentation on generation of volatile compounds in soy sauce production. *International Journal Of Food Science & Technology*, 48(3), 609-619. doi: 10.1111/ijfs.12006
- Fernandez-Salguero, J.** (2004). Internal mould - Ripened cheeses: Characteristics, composition and proteolysis of the main European blue vein varieties. *Italian Journal of Food Science*. 16. 437-445.
- Fox, P., Guinee, T., Cogan, T. y McSweeney, P.,** 2017. *Fundamentals Of Cheese Science*. Boston, MA: Springer US.
- Galli, B., Martin, J., da Silva, P., Porto, E., y Spoto, M.** 2016. Sensory quality of Camembert-type cheese: Relationship between starter cultures and ripening molds. *International Journal Of Food Microbiology*, 234, 71-75. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.025
- García-Estrada, C. and Martín, J.,** 2016. Biosynthetic gene clusters for relevant secondary metabolites produced by *Penicillium roqueforti* in blue cheeses. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(19), pp.8303-8313.
- Harada, R., Yuzuki, M., Ito, K., Shiga, K., Bamba, T., y Fukusaki, E.** 2018. Microbe participation in aroma production during soy sauce fermentation. *Journal Of Bioscience And Bioengineering*, 125(6), 688-694. doi: 10.1016/j.jbiosc.2017.12.004
- Hutkins, R.** 2006. *Microbiology and technology of fermented foods*. 1st ed. Iowa: Balackwell Publishing.
- Inoue, Y., Kato, S., Saikusa, M., Suzuki, C., Otsubo, Y., Tanaka, Y. et al.** 2016. Analysis of the cooked aroma and odorants that contribute to umami aftertaste of soy miso (Japanese soybean paste). *Food Chemistry*, 213, 521-528. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.06.106
- Jayachandran, M., y Xu, B.** 2019. An insight into the health benefits of fermented soy products. *Food Chemistry*, 271, 362-371. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.158
- Jeleń, H., Majcher, M., Ginja, A., y Kuligowski, M.** 2013. Determination of compounds responsible for tempeh aroma. *Food Chemistry*, 141(1), 459-465. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.03.047
- Kamada Shoyury. Factory Tour | Miso & Soy Sauce Kamada Jozoyo Co. Ltd. [Official] Factory Tour** [Image]. Retrieved from <http://www.marukama.co.jp/en/factory/index.html>
- Khattab, A., Guirguis, H., Tawfik, S. y Farag, M.,** 2019. Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. *Trends in Food Science & Technology*, 88, pp.343-360.
- Kilcawley W. N.** 2017 *Cheese Flavour En: Fox, P., Guinee, T., Cogan, T. and McSweeney, P. (eds), Fundamentals of Cheese Science Boston, MA: Springer US*

- Kuligowski, M., Pawłowska, K., Jasińska-Kuligowska, I., y Nowak, J.** 2016. Isoflavone composition, polyphenols content and antioxidative activity of soybean seeds during tempeh fermentation. *Cyta - Journal Of Food*, 1-7. doi: 10.1080/19476337.2016.1197316
- Lioe, H., Selamat, J., y Yasuda, M.** 2010. Soy Sauce and Its Umami Taste: A Link from the Past to Current Situation. *Journal Of Food Science*, 75(3), R71-R76. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01529.x
- Liu, K.** 2008. Food Use of Whole Soybeans. In L. A. Johnson, P. J. White & R. Galloway, *Soybeans: Chemistry, Production, Processing and Utilization* (1st ed.). Illinois: American Oil Chemist's Society.
- Makwana, M. y Hati, S.**, 2019. Fermented Beverages and Their Health Benefits. In: A. Mihai Grumezescu and A. Maria Holban, ed., *Fermented Beverages.*, pp.1-129. Available at: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02379-0>.
- Mane, A., y McSweeney, P.** 2019. Proteolysis in Irish farmhouse Camembert cheese during ripening. *Journal Of Food Biochemistry*, 44(1). doi: 10.1111/jfbc.13101
- Martín JF, Coton M** 2016 Blue cheese: microbiota and fungal metabolites. In: Frias J, Martínez-Villaluenga C, Peñas E (eds) *Fermented foods in health and disease prevention*. Elsevier, New York IN PRESS
- McSweeney, P. y Sousa, M.**, 2000. Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Le Lait*, 80(3), pp.293-324.
- McSweeney, P., Ottogalli, G. y Fox, P.**, 2004. Diversity of Cheese Varieties: An Overview. In: P. Fox, P. McSweeney, T. Cogan and T. Guinee, ed., *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 3rd ed. [online] Elsevier, pp.1-23. Available at: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/cheese-chemistry-physics-and-microbiology/vol/2/suppl/C>.
- McSweeney, P.L.H.** 2004, Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 57: 127-144. doi:10.1111/j.1471-0307.2004.00147.x
- Mioso, R., Toledo Marante, F. y Herrera Bravo de Laguna, I.**, 2014. *Penicillium roqueforti*: a multifunctional cell factory of high value-added molecules. *Journal of Applied Microbiology*, 118(4), pp.781-791.
- Mulyowidarso, R., Feet, G., y Buckle, K.** 2007. Changes in the concentration of organic acids during the soaking of soybeans for tempe production. *International Journal Of Food Science & Technology*, 26(6), 607-614. doi: 10.1111/j.1365-2621.1991.tb02006.x
- Nout, M. y Kiers, J.**, 2005. Tempe fermentation, innovation and functionality: update into the third millenium. *Journal of Applied Microbiology*, 98(4), pp.789-805.
- Nout, R.** 2015. Quality, safety, biofunctionality and fermentation control in soya. In W. Holzapfel, *Advances in Fermented Food and Beverages* (1st ed., pp. 409-434). Wilhelm Holzapfel. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/book/9781782420156/advances-in-fermented-foods-and-beverages#book-info>
- Price, E., Linforth, R., Dodd, C., Phillips, C., Hewson, L., et al.** 2014. Study of the influence of yeast inoculum concentration (*Yarrowia lipolytica* and *Kluyveromyces lactis*) on blue cheese aroma development using microbiological models. *Food Chemistry*, 145, 464-472. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.08.081

- Rehms H y Barz W.** 1995. Degradation of stachyose, raffinose, melibiose and sucrose by different temperature-producing *Rhizopus* fungi. *Appl Microbiol Biotechnol.*;44(1-2):47-52. doi:10.1007/BF00164479
- Rojas-Aedo, J., Gil-Durán, C., Del-Cid, A., Valdés, N., Álamos, P., Vaca, I. et al.** 2017. The Biosynthetic Gene Cluster for Andrastin A in *Penicillium roqueforti*. *Frontiers In Microbiology*, vol. 8,813 doi: 10.3389/fmicb.2017.00813
- Sanjukta, S. y Rai, A.,** 2016. Production of bioactive peptides during soybean fermentation and their potential health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 50, pp.1-10.]
- Santhirasegaram, V., George, D., Anthony, K., Singh, H., Saruan, N., Razali, Z., y Somasundram, C.** 2016. Effects of Soybean Processing and Packaging on the Quality of Commonly Consumed Local Delicacy Tempe. *Journal Of Food Quality*, 39(6), 675-684. doi: 10.1111/jfq.12252
- Savijoki K, Ingmer H, Varmanen P.** 2006. Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol.*;71(4):394-406. doi:10.1007/s00253-006-0427-1
- Saxena, S.,** 2015. *Applied Microbiology*. New Delhi: Springer.
- Sieber, R., Bütikofer, U., Egger, C., Portmann, R., Walther, B., y Wechsler, D.** 2009. ACE-inhibitory activity and ACE-inhibiting peptides in different cheese varieties. *Dairy Science & Technology*, 90(1), 47-73. doi: 10.1051/dst/2009049
- Socol, C., Costa, E., Letti, L., Karp, S., Woiciechowski, A. y Vandenberghe, L.,** 2017. Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), pp.52-71.
- Spinnler, H. E.** 2017. Surface mold-ripened cheeses. In P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter, & D. W. Everett (eds.), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology* (4th ed., Vol. 2, pp. 911–928). San Diego, CA: *Academic Press*.
- Steinkraus, K.** 2004. *Industrialization of Indigenous Fermented Foods*. Hoboken: Marcel Dekker Inc.
- Suzuki-Iwashima, A., Matsuura, H., Iwasawa, A., y Shiota, M.** 2020. Metabolomics analyses of the combined effects of lactic acid bacteria and *Penicillium camemberti* on the generation of volatile compounds in model mold-surface-ripened cheeses. *Journal Of Bioscience And Bioengineering*, 129(3), 333-347. doi: 10.1016/j.jbiosc.2019.09.005
- Tamang, J., Cotter, P., Endo, A., Han, N., Kort, R., et al.** 2019. Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), pp.184-217.
- Vagadia, B., Vanga, S. y Raghavan, V.,** 2017. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 64, pp.115-125.
- Venturini Copetti, M.** (2019). Yeasts and molds in fermented food production: an ancient bioprocess. *Current Opinion In Food Science*, 25, 57-61. doi: 10.1016/j.cofs.2019.02.014
- Watanabe, H.** 2013. Beneficial Biological Effects of Miso with Reference to Radiation Injury, Cancer and Hypertension. *Journal Of Toxicologic Pathology*, 26(2), 91-103. doi: 10.1293/tox.26.91
- Zarzecka, U., Zadernowska, A. y Chajęcka-Wierzchowska, W.,** 2020. Starter cultures as a reservoir of antibiotic resistant microorganisms. *LWT*, 127, 109424. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109424
- Zhu, Y. y Tramper, J.,** 2013. Koji – where East meets West in fermentation. *Biotechnology Advances*, 31(8), pp.1448-1457.