

# FERMENTACIÓN: UNA CIENCIA MILENARIA

## INTRODUCCIÓN

La utilización de microorganismos en la elaboración de los alimentos se remonta a épocas prehistóricas, tan pronto como el hombre comenzó a cultivar sus granos y aprendió a triturarlos, mezclarlos con agua y cocerlos al fuego. En ese entonces los microorganismos que participaban en esos procesos eran las bacterias, levaduras y hongos que se encontraban naturalmente en los granos.

6.000 años atrás, los sumerios elaboraban pan gracias a las levaduras presentes en los granos triturados y en el agua, pero lo más interesante es el hecho de que la principal finalidad de mezclar granos con agua fue iniciar la fermentación de los granos para obtener una bebida, predecesora de la actual cerveza.

En el Antiguo Egipto la leche de cabra recién ordeñada contenía los microorganismos de la piel del animal, las manos del ordeñador y del contenedor donde se la guardaba, todos esos microorganismos se encontraron repentinamente rodeados de un medio desconocido conteniendo lactosa, la que comenzaron a utilizar eficientemente y producir leche coagulada.

El proceso de fermentación de los alimentos es un camino complejo y misterioso en el cual seres vivos, tan pequeños que no podemos ver a simple vista, transforman mediante proteínas especializadas denominadas enzimas moléculas propias del alimento en moléculas que le otorgan sabores y aromas (flavors) particulares. El proceso ocurre gracias a un conjunto de reacciones químicas que trabajan perfectamente coordinadas, este proceso libera energía y como resultado hay aumento de temperatura.

## **EN OTRAS PALABRAS, LA FERMENTACIÓN ES UN CAMINO METABÓLICO QUE UTILIZAN LOS MICROORGANISMOS CUANDO SE ENCUENTRAN EN AUSENCIA DE OXÍGENO (ANAEROBIOSIS)**

La fermentación participa en la producción de diferentes clases de alimentos en todo el mundo, cada cultura utiliza sus propias fuentes de alimentación para preparar sus alimentos fermentados y así nace un enorme abanico de posibilidades que origina gran variedad de alimentos transformados. Por ejemplo, los alimentos fermentados más tradicionales de los países asiáticos se obtienen a partir del arroz mientras que, en gran parte de Occidente el trigo es uno de los cereales más utilizados.

El proceso de fermentación contribuye a conservar los alimentos, a desarrollar nuevos aromas y sabores, a modificar su textura y a mejorar su valor nutricional.

Los alimentos en conjunto con los microorganismos constituyen la materia prima para la obtención de los alimentos fermentados, los microorganismos son los verdaderos elaboradores del alimento. Los microorganismos son seres vivos que crecen y se reproducen en el alimento y a través de su metabolismo originan una serie de compuestos que modifican la composición inicial del alimento generando cambios en sus características organolépticas, su composición intrínseca y su valor nutritivo.

## **LA FERMENTACIÓN FRECUENTEMENTE COMPRENDE COMUNIDADES COMPLEJAS DE MICROORGANISMOS QUE CONTIENEN DIFERENTES ESPECIES MICROBIANAS**

Los microorganismos encargados de llevar a cabo esta transformación de los alimentos son las bacterias, hongos, levaduras o en la mayoría de los casos una combinación de ellos. Estos seres vivos han sido quienes, desde épocas prehistóricas, han contribuido a la obtención de alimentos fermentados tales como el pan, queso, vino y cerveza.

La clave para una fermentación exitosa es crear un entorno que favorezca el desarrollo de los microorganismos que van a llevar adelante el proceso deseado lo que en algunos casos se logra adicionando sal al inicio del proceso.

Entre los años 10.000 y 4.000 a.C. el hombre pasó de una economía depredadora a una productiva, la construcción de instrumentos de caza dio lugar a la fabricación de herramientas agrícolas, comenzó la producción de granos y otros vegetales, la cría de animales y la fabricación de vasijas de cerámica para guardar los alimentos. Al incrementarse la producción de alimentos surgió la necesidad de conservarlos y es allí donde esta ciencia de la vida, la fermentación, ocupa su lugar en la historia de la humanidad.

Existen muchas pruebas del consumo de productos fermentados. En China se encontraron vasijas de cerámica de 9.000 años de antigüedad pertenecientes al Neolítico, período que marca el final de la Edad de Piedra y el comienzo de la revolución agrícola. En esos recipientes se identificaron restos de un aguamiel elaborada con arroz, miel y frutas.

Una de las primeras evidencias procede de un sitio arqueológico del sur de Suecia donde, en 2016, investigadores reportaron el hallazgo de 200 espinas de pescado que asociaron a pescado fermentado de más de 9.000 años atrás.

También existen indicios de elaboración de pan en el Antiguo Egipto y kimchi en Asia desde hace 4.000 años.

La prueba de elaboración de queso más antigua descubierta hasta la fecha procede de una tumba egipcia de 3.200 años de antigüedad.

El hombre ha elaborado alimentos fermentados durante milenios desconociendo qué estaba ocurriendo en el proceso, recién a mediados del siglo XVII fue posible comenzar a explicar los procesos que ocurren durante la fermentación, visualizar e identificar los microorganismos responsables de esas transformaciones.

En esa época, en la ciudad de Delft en los Países Bajos vivía Antonie van Leeuwenhoek, un curioso comerciante textil que buscaba una forma de evaluar la calidad de las telas que adquiría y vendía. Para ello aprendió el oficio de pulir lentes y logró producir lentes esféricas que le permitieron aumentos nunca antes logrados por el hombre, al colocarlas sobre monturas metálicas muy rudimentarias inventó el **PRIMER MICROSCOPIO**. Para su asombro, logró observar diferentes formas diminutas, notablemente numerosas que a falta de una palabra más apropiada denominó “animalitos” imposibles de ver a simple vista.

A pesar de ese gran aporte, recién a mediados del siglo XIX el científico francés, Louis Pasteur, aborda un verdadero estudio de los procesos catalizados por los seres vivos más pequeñas del planeta comenzando a investigar la producción de vino. Su objetivo era explicar las razones por las cuales se deterioraba el vino. En ese tiempo, muchas personas sostenían que el proceso de transformación de la uva en vino ocurría espontáneamente, hipótesis sobre el origen de la vida conocida como generación espontánea de la vida, que Pasteur desacreditó científicamente.

Pasteur comprobó que calentando ciertos líquidos era posible matar los microorganismos presentes, lo que actualmente se conoce como esterilización. Trabajó con medios de cultivo estériles que le permitieron estudiar los microorganismos y sus propiedades. El científico tenía gran interés en las transformaciones de la materia, entre ellas la conversión del jugo de uva en vino. En aquel tiempo, ya se sabía que los azúcares presentes en el jugo se convertían en dióxido de carbono y etanol pero no cómo ocurría el proceso.

### **LOUIS PASTEUR DEMOSTRÓ QUE INOCULANDO JUGO DE UVA ESTÉRIL CON UN MICROORGANISMO SE OBTENÍA EL VINO Y QUE OTROS MICROORGANISMOS QUE CONTAMINABAN EL JUGO LO ALTERABAN CONVIRTIÉNDOLO EN VINAGRE**

Mientras que Pasteur realizaba sus investigaciones sobre la elaboración y alteración del vino, un médico alemán llamado Robert Koch investigaba los microbios enfocado en demostrar que podían ser los causantes de enfermedades infecciosas. Estudió una enfermedad denominada “ántrax” que a finales del 1800 fue responsable de la muerte de ganado, fue capaz de aislar la bacteria del cuerpo de las vacas muertas, infectó con dicha bacteria a ganado sano y reprodujo la enfermedad. Su trabajo significó una revolución en el campo de las enfermedades infecciosas.

### **A PARTIR DE SUS INVESTIGACIONES PUDIERON IDENTIFICARSE MUCHAS ENFERMEDADES QUE ASOLABAN A LA HUMANIDAD A PRINCIPIOS DEL SIGLO XX**

#### **METABOLISMO Y CRECIMIENTO MICROBIANO**

La cocción de los alimentos, gracias al descubrimiento del fuego otra verdadera revolución para la humanidad, rompe parte de las moléculas que se encuentran en los alimentos haciéndolos más digeribles y facilitando el aprovechamiento de los nutrientes presentes en ellos. La fermentación utiliza a los microorganismos para hacer esa tarea obteniéndose así alimentos que se encuentran parcialmente digeridos.

Los microorganismos, al igual que los seres humanos, necesitan energía para poder vivir y desarrollarse y para eso utilizan nutrientes y los transforman en otros productos, muchos de esos productos son los responsables del aroma, sabor y textura particulares de los alimentos fermentados.

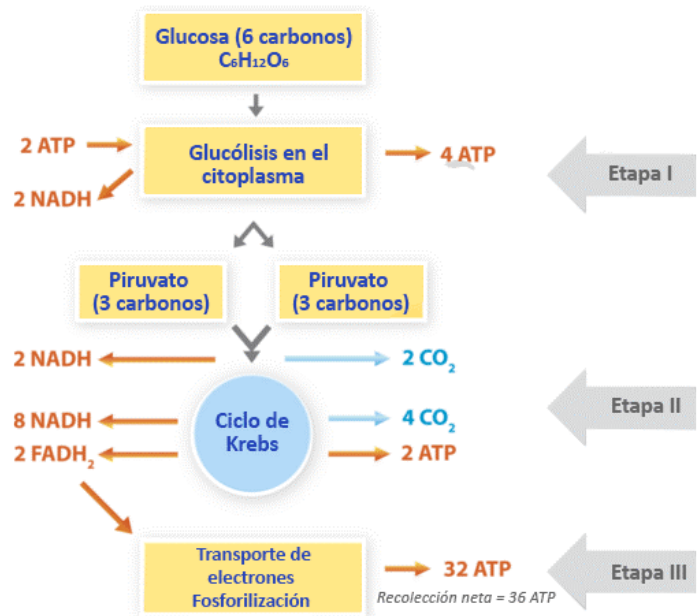
En el inicio del proceso de fermentación, por ejemplo, en la elaboración del pan o del vino, los microorganismos transforman la glucosa y otros nutrientes de la harina o la uva en dióxido de carbono, agua y energía. Estos procesos que ocurren en presencia de oxígeno son los mismos que se desarrollan en nuestras células, inhalamos oxígeno que las células necesitan para el proceso de descomposición de los alimentos y obtención de energía y exhalamos dióxido de carbono como producto de ese proceso.

Este proceso se denomina **RESPIRACIÓN AERÓBICA**.

En la figura se pueden observar las diferentes etapas en las cuales se lleva a cabo la respiración celular.

El proceso comienza con una molécula de glucosa, la cual posee seis átomos de carbono, luego se escinde en 2 moléculas de piruvato.

La glucosa es la fuente de energía de la célula, mediante el camino denominado glucólisis una molécula de glucosa produce 36 moléculas de ATP que es la forma en la cual se almacena la energía en la célula.

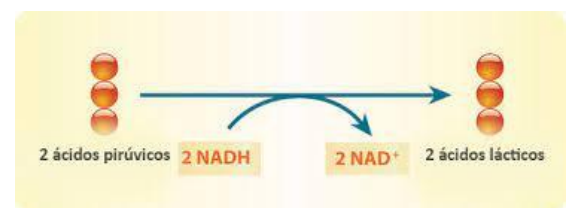


Fuente de la imagen: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-biologia/section/2.26/primary/lesson/respiracion-celular/>

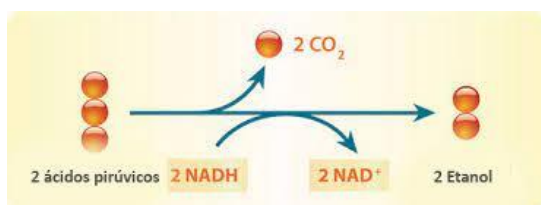
Lo extraordinario de los microorganismos es que, a diferencia de los seres humanos, muchos de ellos son capaces de vivir en ausencia de oxígeno simplemente cambiando a otra forma de metabolismo. Este modo de metabolismo anaeróbico (ausencia de oxígeno) se denomina **FERMENTACIÓN**, los microorganismos metabolizan los nutrientes produciendo dióxido de carbono y etanol y moléculas adicionales que van a ser las responsables del flavor, del cambio de textura y de la conservación de los alimentos fermentados. Esta ruta alternativa produce menor cantidad de energía que en condiciones aerobias.

La fermentación puede tomar dos caminos: **FERMENTACIÓN LÁCTICA**, fundamento de la obtención de productos lácteos fermentados como el yogurt y el queso y vegetales fermentados como las aceitunas y el chucrut en la cual se produce fundamentalmente **ácido láctico**.

La fermentación láctica produce ácido láctico y NAD+. Los ciclos de NAD+ se devuelven para permitir que la glucólisis continúe y se genere más ATP. Cada círculo representa un átomo de carbono.



Coenzima NAD+ (Nicotinamida adenina dinucleótido)



O **FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA** mediante la cual se produce dióxido de carbono y etanol como ocurre en elaboración del pan y del vino. Ambos procesos generan diferentes subproductos y la energía que las bacterias o levaduras utilizarán para crecer y reproducirse.

La fermentación alcohólica produce etanol, dióxido de carbono y NAD+. Al igual que en el caso anterior la NAD+ permite que la glucólisis continúe produciendo ATP.

Fuentes de las imágenes: [https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3A212534367688bb8262036fe82051f7f9fdc0ac4dcbcc398276ccaaf%2BIMAGE\\_TINY%2BIMAGE\\_TINY.1](https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3A212534367688bb8262036fe82051f7f9fdc0ac4dcbcc398276ccaaf%2BIMAGE_TINY%2BIMAGE_TINY.1)

La fermentación alcohólica es un camino metabólico que pueden llevar a cabo las levaduras y algunas bacterias, a diferencia de la fermentación láctica realizada fundamentalmente por bacterias.

### **¿COMEMOS MICROORGANISMOS?**

La respuesta a esta pregunta es un rotundo sí. Los alimentos fermentados contienen microorganismos vivos, es una de sus principales características y debido a ellos es que se asocian con diferentes beneficios para la salud. El consumo de un alimento con microorganismos vivos como el yogurt se vinculó, a principios del siglo XX, con la longevidad de los centenarios del Cáucaso y se desarrolló la hipótesis de que los microorganismos capaces de transformar la leche también podían ayudar al equilibrio de la flora intestinal y ser la clave para agregar años a la vida.

Durante mucho tiempo los microorganismos fueron asociados a enfermedades o deterioro de alimentos sin imaginar que muchos de ellos eran beneficiosos para la salud, son aquellos que viven de manera simbiótica en el organismo desempeñando importantes funciones. Estos microorganismos forman parte de un grupo actualmente denominado probióticos. Los géneros más utilizados como ingrediente de los alimentos pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus* y *Saccharomyces*.

Estos alimentos los podemos clasificar en función del principal tipo de microorganismos que llevan a cabo el proceso de fermentación y el componente fundamental del alimento que utilizan como sustrato, así tendremos:

- Alimentos fermentados por bacterias.
- Alimentos fermentados por levaduras.
- Alimentos fermentados por hongos.
- Alimentos fermentados por bacterias y hongos.
- Alimentos fermentados por enzimas propias del alimento y bacterias.
- Alimentos fermentados por una compleja sucesión de microorganismos.

En la siguiente tabla se resumen los principales grupos microorganismos, los alimentos que utilizan como materia prima y los sustratos a partir de los cuales llevan adelante el proceso:

<b>MICROORGANISMOS</b>	<b>ALIMENTOS</b>	<b>SUSTRATOS</b>
Bacterias	Vegetales (hortalizas y frutas)	Lactosa
	Leche	
	Vino, sidra	
Bacterias y hongos	Quesos frescos	Proteínas, lípidos y lactosa remanente
Levaduras	Frutas (uva y otras), miel	Glucosa
	Granos de cereal	Glucosa
Bacterias y levaduras	Leche/Agua + gránulos de Kefir	Lactosa/Glucosa
Hongos	Arroz o porotos de soja	Polisacáridos y Proteínas
Hongos y bacterias	Salsa de soja	Etanol
Enzimas propias del alimento y de microorganismos	Carnes y pescados	Proteínas y lípidos

## **ALIMENTOS FERMENTADOS POR BACTERIAS - FERMENTACIÓN LÁCTICA**

Entre los alimentos fermentados por este camino se pueden mencionar el yogurt, el queso y los pickles, su sabor particular se debe a la presencia de ácidos. Los azúcares presentes en la leche y en los pepinos son usados por las bacterias para crecer y generar energía.

La acidez de estos alimentos ayuda a su conservación porque restringe el crecimiento de otros microorganismos que los pueden alterar o contaminar. Este es un método de conservación de alimentos que fue utilizado por el hombre probablemente desde hace 10.000 años, desde la transición de la caza y recolección de alimentos a los inicios de la agricultura, como así también a partir de la domesticación de los animales y la obtención de la leche.

Las bacterias que intervienen en este proceso se denominan bacterias ácido lácticas, tales como *Lactobacillus casei*, *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, son bacterias que poseen enzimas capaces de romper la molécula de lactosa produciendo ácido láctico como principal metabolito.

### **- ALIMENTOS VEGETALES FERMENTADOS**

En muchos casos la fermentación se realiza de manera espontánea con la participación de distintas especies de bacterias ácido lácticas que contribuyen a un sabor levemente agrio y a la prevención del crecimiento de microorganismos que pudieran contaminar el alimento. Son bacterias productoras de ácido láctico. Todos estos productos suelen contener comunidades de microorganismos viables bastante complejas y difíciles de identificar. Entre los alimentos vegetales fermentados se pueden mencionar:

#### **KIMCHI**

El kimchi se elabora con una especie particular de repollo como principal ingrediente, el repollo chino, y otros vegetales tales como rábano, zanahoria y cebolla comúnmente especiado con ajo, pimienta roja, cebolla verde, jengibre y salsas fermentadas como salsa de pescado o miso. La producción comprende una etapa de fermentación espontánea llevada a cabo por un conjunto de microorganismos del género *Lactobacillus*, *Leuconostoc* y *Weissella*.

#### **CHUTNEY**

El chutney es un condimento agridulce típico de la India. Es un encurtido fermentado elaborado con diversas hortalizas y frutas, al cual se le adiciona una salsa elaborada a partir de vinagre de malta o de vino, manzanas ácidas, azúcares, jengibre y mostaza.

#### **CHUCRUT**

La preparación de chucrut está considerada una de las más sencillas y elegantes fermentaciones, sólo se requiere repollo, sal y tiempo, es una preparación culinaria originaria de países de Europa Central. A diferencia del kimchi, el chucrut se elabora con hojas picadas de diferentes variedades de repollo blanco o repollo rojo y agregado de sal, puede estar condimentado con bayas de enebro, semillas de alcaravea, eneldo y semillas de apio.

#### **PEPINOS Y PICKLES**

Los pepinos y otros vegetales (aceitunas, hojas de parra, cebollas, zanahorias y otras hortalizas y frutas frescas) rallados o cortados en trozos, con agregado de sal y agua se fermentan gracias a pequeñas cantidades de bacterias ácido lácticas presentes en ellos.

### **- ALIMENTOS LÁCTEOS FERMENTADOS**

Para la obtención de leches fermentadas se siembran en la leche bacterias ácido lácticas que van a transformar la lactosa (azúcar presente en la leche) fundamentalmente en ácido láctico. Las proteínas de la leche denominadas caseínas se desnaturalizan por acción del ácido generado por fermentación y se depositan formando el coágulo. El tipo de bacterias ácido lácticas que se utilicen determinará las características organolépticas de la leche fermentada y su denominación.

Los microorganismos probióticos se agregan durante el proceso de obtención en cantidades determinadas, no participan en el proceso de fermentación pero aportan beneficios para la salud que deben ser demostrados mediante evidencia científica.

Para obtener beneficios para la salud con el consumo de probióticos se ha demostrado científicamente que el alimento debe contener una carga de células viables comprendida entre  $10^6$  y  $10^9$  UFC/g durante su

período de duración mínima donde UFC significa “Unidades Formadoras de Colonia”, forma en la cual se expresa la cantidad de células viables que contiene el producto.

Las leches fermentadas que se pueden comercializar en Argentina, dependiendo del tipo y combinación de bacterias ácido lácticas que se empleen en su producción son: yogurt, leche cultivada, leche acidófila, kefir, kumys y cuajada.

## YOGURT

En nuestros días, el yogurt es el principal representante de las prácticas ancestrales de la fermentación ya que la base de su elaboración sigue siendo prácticamente la misma. El yogurt se elabora a partir de leche inoculada con cepas de *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. La textura y flavor de los distintos tipos de yogurt van a depender de la temperatura y tiempo de fermentación, del proceso tecnológico y de la combinación con otras bacterias ácido lácticas.

## QUESO

En la producción de quesos intervienen multitud de microorganismos que juegan un papel primordial en el desarrollo de la enorme diversidad de quesos que se elaboran en todo el mundo. Es sorprendente la variedad de quesos que se pueden crear a partir de un ingrediente como la leche.

El primer paso en la elaboración del queso fresco es la inoculación de la leche con bacterias ácido lácticas que desnaturalizará y coagulará las caseínas de la leche por acción del ácido láctico producido. El queso se obtiene por separación del líquido (suero de queso) luego de la coagulación.

Hace miles de años se descubrió esta transformación cuando la leche se transportaba en estómagos de terneros, corderos y cabritos, las enzimas y bacterias ácido lácticas presentes en el estómago eran las responsables de la coagulación de la leche. Actualmente muchos quesos se obtienen utilizando enzimas tales como el cuajo y bacterias productoras de ácido láctico que disminuyen el pH y crean un entorno más favorable para el proceso de coagulación.

## QUESO MADURADO

El queso puede consumirse tal cual o madurarse, los microorganismos que se encargan de la maduración utilizarán como sustrato las proteínas y los lípidos que quedan en la masa del queso y que no se perdieron en el suero de queso. Bacterias y hongos metabolizan esos nutrientes generando compuestos responsables de los aromas y sabores típicos de los quesos.

El queso que va a ser madurado se sala previamente para limitar la actividad microbiana, en algunos casos luego del salado se inocula la superficie de las hormas con microorganismos específicos cuya actividad metabólica le proporcionará las características particulares a cada queso. Durante la maduración, los microorganismos degradan lentamente las proteínas, los lípidos y la lactosa remanente desarrollando complejas texturas, aromas y sabores.

Dependiendo de lo que realice el quesero durante este tiempo, que puede extenderse por varios meses e incluso años, el resultado final será un queso completamente diferente:

- Gruyere, Manchego y Parmesano se utilizan solamente bacterias ácido lácticas. Las diferencias entre esos quesos dependen del origen de la leche de partida, del proceso de obtención y del tiempo de maduración.
- Roquefort, Gorgonzola, Stilton y otros quesos azules, se inocula la masa del queso con el hongo *Penicillium roqueforti* que se desarrolla internamente y le otorga el sabor fuerte y característico de los quesos azules.
- Camembert y Brie se inocula por spray la superficie del queso con células de *Penicillium camemberti*, hongo que va a degradar lípidos y proteínas. El interior del queso se ablanda porque la mayoría de las proteínas y grasas se van hidrolizando, aparecen compuestos nitrogenados que les otorgan su flavor tan particular.

## ALIMENTOS FERMENTADOS POR LEVADURAS - FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

### - ALIMENTOS FARINÁCEOS FERMENTADOS

#### MASA MADRE Y PAN

En el proceso de elaboración del pan es la levadura agregada a la masa quien lleva a cabo una respiración aerobia mientras los ingredientes de la masa estén expuestos al aire. En un principio las levaduras utilizan los azúcares y el oxígeno para obtener energía (metabolismo de la glucosa denominado glucólisis) produciendo

etanol y dióxido de carbono responsable de que la masa aumente de volumen, así comienza el levado de la masa ya que el dióxido de carbono queda atrapado en ella en una redcilla formada por las proteínas de la harina (gliadinas y gluteninas). Cuando las levaduras consumieron el oxígeno presente en la masa, para poder continuar con la producción de energía para vivir, pasan a una respiración anaeróbica y continúa la producción de dióxido de carbono.

En la antigüedad las levaduras que llevaban a cabo la fermentación eran una comunidad microbiana formada por levaduras y bacterias ácido lácticas que provenían de las manos del panadero, de los granos y del ambiente, actualmente en la elaboración del pan se utilizan cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. La levadura es necesaria para aumentar el volumen de la masa y darle textura elástica y las bacterias para contribuir al sabor característico de la masa.

La masa madre se guarda y a lo largo de los días, tanto las levaduras como las bacterias lácticas crecen hasta alcanzar una población estable, lo mismo ocurre con el pH que va disminuyendo por la producción de ácido láctico.

El pan es el alimento fermentado a base de cereal más popular, sin embargo, muchos otros alimentos indígenas fermentados a base de granos se preparan en todo el mundo. Las masas de harina fermentadas se utilizan para elaborar otros alimentos farináceos como masa para pizza, pan dulce y distintos productos de bollería.

#### - BEBIDAS FERMENTADAS A PARTIR DE FRUTAS

Se pueden obtener diferentes bebidas fermentadas a partir de todo ingrediente que sea fuente de hidratos de carbono fermentescibles para que las levaduras dispongan de la glucosa necesaria para llevar a cabo la fermentación, por ejemplo, la sidra a partir de la manzana y las que se detallan a continuación:

##### VINO

El vino se obtiene a partir de la fermentación de jugo de uva. La uva fue domesticada en el sudeste de Asia 8.000 años atrás, durante el período Neolítico. En coincidencia con este hecho los primeros pobladores comenzaron a hacer vasijas de cerámica con capacidad de 300 litros para guardar el vino, esto se comprobó por la presencia de restos de ácido tartárico, un ácido característico de la uva que no se encontraba en otros alimentos del área.

El proceso de obtención del vino es simple y suele durar alrededor de dos semanas, el jugo de uva es fermentado por levaduras provenientes de la uva, fundamentalmente *Saccharomyces cerevisiae*, que convierte los azúcares en alcohol. Lo importante en este caso es que las levaduras pueden sobrevivir en un medio con concentraciones de alcohol de 10% a 15%, concentraciones en las cuales la mayoría de los microorganismos no pueden vivir lo que ayuda a su conservación. La concentración final de alcohol dependerá de la cantidad de azúcar inicial de la uva y del tiempo que dure la fermentación, manejando estos parámetros se pueden obtener distintos tipos de vino. En la elaboración intervienen otros microorganismos cuya actividad es muy importante para obtener vinos con características específicas que, a lo largo del camino de fermentación producen muchas moléculas que le confieren aromas y sabores al vino.

En la actualidad se elimina la flora normal de las uvas (levaduras vírgenes) por sulfitado con dióxido de azufre o pasteurización del mosto. El sulfitado actúa como conservante y ayuda a conservar el color del vino.

Una vez obtenido el vino, el que en realidad podría denominarse jugo de uva fermentado, puede consumirse como tal o someterse al proceso de añejado, esta etapa envuelve actividad microbiana y principalmente reacciones químicas que van a predominar si el envejecimiento del vino se realiza en barriles de madera u otros materiales como acero inoxidable o cemento.

##### AGUA MIEL O HIDROMIEL

En la elaboración de aguamiel se agregan levaduras seleccionadas a una solución de miel y agua, la miel es rica en glucosa y fructosa, azúcares fermentescibles que las levaduras transforman en alcohol cuando metabolizan el azúcar.

#### - ALIMENTOS FERMENTADOS A PARTIR DE CEREALES

##### CERVEZA

Todos los registros arqueológicos indican que la cerveza comenzó a elaborarse y consumirse en la Mesopotamia alrededor de 6.000 años atrás. La cerveza es la tercera bebida más consumida en el mundo,

después del agua y el té. La producción anual es de aproximadamente 200 billones de litros, es decir 25 litros por ser humano del planeta. No todos los países consumen la misma cantidad promedio, por ejemplo, la República Checa posee un consumo anual de 150 litros per cápita.

En el caso de esta bebida fermentada la fuente de azúcares son los granos de cereal: cebada, centeno, avena, trigo, maíz o arroz. Los azúcares están almacenados como almidón (polímero de glucosa) en el endosperma del grano y para obtenerlos hay que acceder a esas reservas y obtener la glucosa necesaria para la fermentación por eso el paso previo a la fermentación es la germinación del grano con el objeto de activar las enzimas apropiadas para cortar la larga cadena hidrocarbonada del almidón y liberar la glucosa que las levaduras utilizarán para obtener energía. Este proceso se denomina malteado, paso esencial previo a la fermentación alcohólica que provee de alimento a las levaduras. Previamente a la siembra de la levadura, *Saccharomyces cerevisiae*, el mosto de cebada malteada es sometido un proceso de cocción, adicionado de flores de lúpulo.

Una de las razones por las cuales bebidas como la cerveza e hidromiel han sido consumidas durante miles de años se debe a que el alcohol de la cerveza, aunque se encuentra en cantidades bajas, previene el crecimiento de otros microorganismos, incluyendo algunos potencialmente patógenos.

## **ALIMENTOS FERMENTADOS A PARTIR DE BEBIDAS FERMENTADAS – FERMENTACIÓN ACÉTICA**

### **VINAGRE**

Especies de *Acetobacter* y *Gluconobacter* pueden utilizar el etanol como sustrato para obtener energía en presencia de oxígeno y eso es lo que ocurre en la transformación de vino en vinagre. Durante el proceso de metabolización del etanol estas bacterias producen ácido acético, principal ácido del vinagre.

## **ALIMENTOS FERMENTADOS POR BACTERIAS Y LEVADURAS**

Esta clase de alimentos fermentados, a diferencia de otros productos fermentados, son producidos por una microbiota compleja inmovilizada en una matriz que durante el proceso de fermentación sintetiza los componentes de la matriz y genera una nueva biomasa de gránulos o película, siendo la síntesis de los componentes de la matriz esencial para seguir manteniendo el fermento.

### **KEFIR Y KUMYS**

El kefir y el kumys son dos alimentos en los cuales se combina la fermentación láctica con la fermentación alcohólica.

El kefir, originario de las montañas del Cáucaso, es una bebida fermentada glutinosa, de sabor ácido y levemente efervescente, con bajo contenido de alcohol, que se produce artesanalmente a partir de la fermentación de la leche con gránulos de kefir. Los gránulos han sido transmitidos de generación en generación desde hace más de 4.000 años.

Los gránulos poseen una textura gelatinosa debido a la presencia de polisacáridos (largas cadenas de carbohidratos) producidos por microorganismos presentes, se han identificado más de 100 especies de microorganismos entre bacterias ácido lácticas, *Streptococcus*, *Acetobacter* y levaduras. Esos microorganismos viven en comunidad, se alimentan del azúcar de la leche y producen una serie de compuestos tales como ácido láctico, ácido acético, etanol, dióxido de carbono, vitaminas y moléculas responsables del aroma.

El kefir se obtiene por agregado de los gránulos de kefir a la leche a diferencia de otras leches fermentadas donde el inóculo son los microorganismos.

El kumys, cuya composición y características organolépticas son similares al kefir, es un alimento cuya fermentación se realiza con cultivos de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Kluyveromyces marxianus*.

### **KEFIR DE AGUA**

El kefir de agua es una bebida de sabor ácido y frutal, levemente efervescente y de bajo contenido alcohólico, que se obtiene por fermentación de agua azucarada o jugo de frutas mediante gránulos de kefir de agua. Los gránulos, al igual que en el kefir constituyen un sistema microbiológico complejo simbiótico conformado por bacterias ácido lácticas, levaduras y bacterias ácido acéticas. Como consecuencia de la fermentación la

bebida contiene ácido láctico, etanol, dióxido de carbono y ácido acético, sumados a otros compuestos responsables de su flavor característico.

## KOMBUCHA

Es un producto de la misma familia que el kefir de agua elaborado a partir de té negro, azúcar y agregado de SCOBY (sus siglas en inglés Symbiotic Colony Of Bateria and Yeast) pero en este caso no está en forma de gránulos sino es del tamaño de un plato, algo gelatinoso y que flota en la superficie.

Al igual que el kefir, el SCOBY contiene un gran número de microorganismos diferentes. Las principales bacterias son especies de *Acetobacter* y *Gluconobacter*, los cuales producen ácido acético responsable del sabor ácido, y celulosa que forma parte del material que constituye el SCOBY. Acompañan a estas especies otras bacterias incluyendo bacterias ácido lácticas y levaduras. La principal especie de levadura es *Zygosaccharomyces* de la misma familia del *Saccharomyces cerevisiae*, pero a diferencia de ella es capaz de sobrevivir a altas concentraciones de ácido acético, azúcar y etanol.

## ALIMENTOS FERMENTADOS POR HONGOS

Este camino de producción de alimentos es completamente diferente de los anteriores. Hace 3.000 años en el este de Asia se comenzaron a producir estos alimentos y poco después esta metodología llegó a Japón donde comenzó la producción de bebidas alcohólicas que, a diferencia de las bebidas alcohólicas occidentales, cultivos de *Aspergillus* en forma de moho llevaban adelante la fermentación.

Hasta ahora hemos analizado procesos de fermentación que utilizan como sustrato carbohidratos. La fermentación por hongos es una clase especial dentro de la fermentación de los alimentos y desde el punto de vista científico solo es el inicio de su comprensión. *Aspergillus oryzae* (koji) es un hongo único capaz de fermentar alimentos ricos en carbohidratos y en proteínas dando lugar a preparados dulces y salados y bebidas alcohólicas. No es el hongo por sí mismo quien se encarga de la fermentación sino una batería de enzimas que excreta el microorganismo. El hongo posee filamentos que le permiten crecer en el interior de los alimentos donde obtiene los nutrientes necesarios para crecer, cuando esos nutrientes se agotan se prepara para reproducirse formando esporas.

A diferencia de las levaduras, estos hongos filamentosos pueden crecer en granos sin germinar porque son capaces de liberar enzimas para degradar grandes moléculas como las de los polisacáridos y proteínas en moléculas más pequeñas (respectivamente glucosa y aminoácidos) que pueden utilizar para su crecimiento. Dependiendo del sustrato donde crezcan y de las enzimas que sean capaces de generar los resultados van a ser diferentes, lo que dará lugar a una gama de alimentos con diferente textura, aroma y sabor entre los que se encuentran el sake, la salsa de soja y el miso.

## KOJI

Koji es arroz que fue inoculado con *Aspergillus oryzae*, a partir de él se obtienen una gran variedad de bebidas y condimentos fermentados. El koji se prepara remojando el arroz, cociéndolo al vapor y luego de enfriarlo agregando las esporas de *Aspergillus*. Se puede obtener a partir de otros ingredientes como trigo, cebada o porotos de soja. El hongo se va desarrollando durante varios días a temperaturas de 30 °C y 70 % de humedad.

## SAKE

El sake es una bebida alcohólica japonesa elaborada a partir de arroz cocido al vapor e inoculado con *Aspergillus oryzae*, el arroz con el moho desarrollado es el koji. Una vez que se formó el moho, se agrega la levadura que llevará a cabo la fermentación alcohólica y el proceso se desarrolla en varias semanas a temperaturas entre 10 y 15 °C.

La producción de sake comenzó con un proceso parecido al de la cerveza con la diferencia de que no es necesario germinar el arroz porque son las carbohidrasas presentes en el koji las que realizan la tarea de romper el almidón en azúcares fermentescibles. Otra diferencia destacable es que en este caso se utiliza el grano de arroz descascarado para evitar la generación de flavors indeseables.

## AMASAKE

Es una bebida ligeramente alcohólica y dulce. Se agrega el koji a arroz cocido al vapor, se mezcla y se deja durante varias horas o toda la noche a alrededor de 30 °C. Luego de unas horas el arroz se vuelve dulce porque las enzimas comienzan a degradar el almidón liberando azúcares (glucosa y maltosa).

## MISO Y SALSA DE SOJA

Además de producir carbohidrasas para romper el almidón, el *Aspergillus oryzae* secreta enzimas que pueden degradar proteínas y lípidos. La pasta de miso y la salsa de soja se preparan a partir de porotos de soja mediante un proceso diferente del de fermentación a partir de cebada o arroz porque a diferencia de ellos, la soja es rica en proteínas. Esto representa una gran diferencia en cuanto a las características de los productos finales porque los productos de fermentación de microorganismos que degradan proteínas son muy diferentes de los productos de la fermentación con bacterias ácido lácticas.

Este tipo de fermentación debe ser cuidadosamente controlada para prevenir el crecimiento de microorganismos que producen sabores y olores desagradables y en algunos casos compuestos tóxicos. Estos condimentos suelen ser muy salados porque una de las formas de controlar ese crecimiento es el uso de importantes cantidades de sal.

Durante el metabolismo de las proteínas se produce glutamato de sodio, la sal sódica del ácido glutámico, que le otorga al alimento un sabor muy particular denominado sabor umami.

## MISO

El miso es una pasta de porotos de soja cuya obtención comienza con la preparación de koji mezclado con sal, agua y porotos de soja cocidos al vapor y prensados. La fermentación la lleva adelante la levadura *Zygosaccharomyces rouxii* durante varios meses juntamente con otros microorganismos presentes en los ingredientes. El miso es un condimento que se consume en la sopa de miso o como saborizante en carnes, pescados y vegetales.

Responsables del sabor del miso son, entre un gran número de compuestos, el glutamato de sodio y pequeños fragmentos de proteínas de dos a cuatro aminoácidos, denominados péptidos, a quienes se les adjudica un sabor muy particular que algunos plantean como “el sexto sabor” denominado kokumi.

## SOSHU (Salsa de soja)

Tamari y salsa de soja son dos salsas saladas color marrón oscuro siempre presentes en la cocina asiática con ligeras diferencias en cuanto a sus ingredientes y método de producción lo que conlleva a diferencias de flavor. La salsa de soja se prepara a partir de porotos de soja y trigo cocinados al vapor y mezclados con koji, preparado con *Aspergillus sojae* o *Aspergillus oryzae*, sal y agua los que se dejan fermentar durante varios meses. Al igual que en el miso, se inocula con levaduras que producen compuestos que le otorgan el sabor característico. La salsa es el producto fermentado que se prensa para obtener el jugo, se somete a tratamiento térmico y luego se filtra.

Entre esta clase de alimentos fermentados se destaca el kurosu, un vinagre de arroz que se prepara de igual forma que el soshu pero una vez llevada a cabo la fermentación alcohólica el alcohol obtenido se transforma en ácido acético gracias a la acción del *Acetobacter pasteurianus*. Todo el proceso se realiza en vasijas de barro que se dejan a la intemperie.

## TEMPEH

Es un alimento fermentado tradicionalmente preparado con porotos de soja envueltos en hojas de hibiscus en el cual se desarrollan hongos naturalmente presentes en las hojas (*Rhizopus oligosporus* y *Rhizopus oryzae*). Actualmente los porotos se inoculan con esos microorganismos en lugar utilizar las hojas. Luego de sumergirlos en agua se les quita la cascarilla para que los hongos que se van a sembrar puedan acceder fácilmente a los nutrientes del grano y se hierven o someten a la acción de vapor. Dado que los hongos no producen ni alcohol ni ácido láctico que puedan actuar como conservantes evitando la proliferación de microorganismos indeseables es necesario el agregado de vinagre para disminuir el pH a 3,5, medio desfavorable para el desarrollo de dichos microorganismos. Luego de inocular con las esporas se deja un tiempo a temperatura ambiente y en condiciones aerobias para que ocurra la fermentación, los hongos producirán amilasas y proteasas que degradarán los almidones y las proteínas respectivamente. El tempeh posee un olor característico a nuez y champiñones.

## TOFU

El Tofu no es un producto fermentado, se obtiene mediante la coagulación de una emulsión preparada con porotos de soja y agua con la ayuda de sales coagulantes y separación del suero resultante, es un proceso parecido al de elaboración de queso con cuajo o renina como agentes coagulantes. Las sales actúan desestabilizando las proteínas que se encuentran en suspensión y causando su precipitación.

Si bien el tofu no es un producto fermentado, una delicia de la comida callejera china conocido como “tofu maloliente” por su infame aroma acre es tofu fermentado que se marina en leche fermentada y caldo de vegetales.

### **ALIMENTOS CÁRNICOS FERMENTADOS**

La elaboración de carnes o pescados fermentados se basa fundamentalmente en la acción de enzimas propias del alimento en lugar de las producidas por microorganismos. Los sustratos son proteínas y grasas en lugar de carbohidratos y los productos de la fermentación no actúan como conservantes, como resultado hay mayor riesgo de producción de compuestos tóxicos y proliferación de microorganismos indeseables o incluso patógenos. En estos alimentos se busca el desarrollo de sabores particulares más que de un medio de conservación.

Los productos cárnicos fermentados y curados también han formado parte de la alimentación del hombre durante milenios y para su conservación es clave la utilización de una combinación de diferentes métodos: secado, salado, curado y ahumado.

El secado o deshidratación de las carnes evita la proliferación de microorganismos ya que éstos necesitan agua para crecer, al limitar por **secado** el contenido de agua disponible microorganismos dañinos para la salud no pueden desarrollarse como por ejemplo *Clostridium botulinum* que produce una potente neurotoxina que puede ser letal para el hombre.

El **salado** es un método de conservación que deshidrata la carne y aumenta su presión osmótica, el alimento se somete a la acción de la sal lo que origina la pérdida de agua de sus tejidos por ósmosis mientras que la sal va penetrando en ellos. Cuando se alcanza el equilibrio osmótico los líquidos internos quedan como soluciones salinas concentradas en las cuales el desarrollo microbiano se ve muy comprometido.

El **curado** actúa de forma similar al salado, la carne se pone en contacto con sal y nitrato o nitrito de sodio que ayudan a su conservación al igual que en las carnes saladas con la diferencia que la presencia de nitratos o nitritos pueden ser más tóxicos que la sal para ciertos microorganismos, incluyendo *Clostridium botulinum*.

El último método, el **ahumado**, consiste en someter al alimento salado a la acción de humos recién formados, procedentes de la combustión incompleta y controlada de maderas duras de primer uso, mezcladas o no con plantas aromáticas. El formaldehído, el ácido acético y los fenoles son compuestos procedentes de la combustión de la lignina, celulosa y hemicelulosa presentes en la madera que actúan como conservantes. Durante el ahumado se originan otros compuestos volátiles que si bien, no actúan preservando el alimento son responsables del flavor característico de los alimentos ahumados.

Las características organolépticas de las carnes y pescados fermentados como flavor y textura se deben a un conjunto de reacciones físico-químicas y bioquímicas que ocurren durante la fermentación y la maduración. Como se destacó anteriormente, uno de los sustratos de este proceso son las proteínas que se hidrolizan gracias a la acción de enzimas propias de la carne y de los microorganismos, generando péptidos y amino ácidos.

Los embutidos son chacinados (productos elaborados fundamentalmente con carne, sangre, vísceras u otros subproductos animales introducidos a presión en fracciones de intestino u otras membranas naturales o artificiales, fermentados y curados. Dado que son productos que se elaboran por picado de carne, la probabilidad de introducir microorganismos dañinos para la salud es alta, especialmente *Clostridium botulinum* por eso es muy importante la presencia de nitritos o nitratos.

La diversidad de embutidos cárnicos fermentados es muy extensa y depende de cada país, su microbiota natural deriva principalmente de la carne, del medio ambiente y del tratamiento de superficie que se aplique (con o sin mohos).

### **SALAME Y SALCHICHAS**

El salame y las salchichas se elaboran mezclando carne picada con sal, agentes de curado y especias, en algunos casos se agrega azúcar, arroz u otras fuentes de carbohidratos, y cultivos de bacterias específicas. Se deja en maduración a temperaturas de alrededor de los 15 °C con 80 % a 85 % de humedad.

El agregado de azúcar u otros hidratos de carbono es fuente de alimento para las bacterias ácido lácticas que crecen en ese medio anaerobio, con alto contenido de sal y producen ácidos que contribuyen a la conservación de los embutidos y a su flavor particular. Pueden crecer hongos como *Penicillium*, *Aspergillus*, y *Cladosporium* capaces de hidrolizar proteínas.

## PESCADO FERMENTADO

Si bien es posible fermentar el pescado entero los alimentos de pescado fermentado más consumidos son las salsas de pescado que se agregan en sopas o guisos. Los romanos consumían una salsa de pescado fermentado que usaban como condimento denominada "garum" elaborada con pequeños peces del Mediterráneo como caballa, sardinas o anchoas.

Estos alimentos se preparan con el pescado entero o sus partes incluyendo los intestinos porque ellos contienen las enzimas y bacterias que van a ayudar a hidrolizar las proteínas de la carne, se agrega sal y se deja en barriles durante meses o incluso años. Con el transcurso del tiempo el pescado se licúa completamente, llegan a desintegrarse las espinas y el resultado es un líquido de aroma y sabor muy intensos.

## OTROS ALIMENTOS FERMENTADOS

### CHOCOLATE

Podemos decir que hay algo casi mágico sobre el chocolate y una historia fascinante detrás. Saborear un trozo de chocolate que inmediatamente comienza a fundirse es una experiencia sensorial acompañada de un cambio de textura, una explosión de sabores y una la formación de una fina película en la lengua que muy pocos alimentos pueden igualar.

El chocolate se produce a partir de las semillas de la planta del cacao *Theobroma cacao*, "Theobroma" en griego significa "alimento de los dioses". La domesticación de esta planta tiene sus orígenes en el nuevo mundo, los Olmecas que vivían a lo largo de la costa del Golfo de México fueron los primeros en cultivarla hace unos 4.000 años. Lo transmitieron a los mayas, que a su vez lo transfirieron a los aztecas. Los aztecas tostaban y molían las semillas de cacao y preparaban una bebida aromatizada con flores, vainilla, chile y miel que se servía en ceremonias religiosas, las semillas de cacao se utilizaban como moneda. En 1502, el chocolate llegó a Europa cuando Colón llevó semillas de cacao a España, las bebidas preparadas a base de chocolate se extendieron a Francia, Italia e Inglaterra. Con el paso del tiempo las semillas de cacao comenzaron a prensarse y extraerse su grasa, la manteca de cacao, que en un principio se consideró un subproducto. Cuando la manteca comenzó a agregarse a una pasta tradicional de granos de cacao en polvo originó el nacimiento del chocolate como lo conocemos hoy en día.

El chocolate es otro alimento fermentado en cuya obtención participan poblaciones que constituyen una compleja sucesión de microorganismos que van cambiando a lo largo del tiempo de proceso, desempeñan un papel muy importante desde la cosecha hasta el tostado de los granos. Las semillas recién extraídas de las vainas son extremadamente amargas, ya en la antigüedad los Olmecas procesaban los granos antes de consumirlos dejándolos en reposo en lugares cálidos y húmedos.

El rol de los microorganismos comienza a partir de la cosecha y apertura de las vainas, las semillas que están cubiertas de mucílago se dejan en contenedores alrededor de una semana moviéndolos alternativamente para airearlos. Durante esa etapa los granos fermentan y luego son secados al sol para frenar la actividad microbiana y conseguir un drástico cambio de apariencia. Durante la fermentación hay un ir y venir de hongos productores de etanol seguido de bacterias ácido lácticas y de bacterias productoras de ácido acético, bacterias esporuladas y hongos filamentosos cuyos productos son esenciales para el desarrollo del flavor característico.

### CAFÉ

El café comparte con el cacao varias similitudes, además de ser un producto fermentado con aroma muy intenso y particular, crece en zonas tropicales. Arribó a Europa en el siglo XVI.

La fermentación de los granos dura unos pocos días y al igual que en el cacao es llevada a cabo por poblaciones de microorganismos presentes naturalmente en el grano. Al igual que en el caso del cacao estos microorganismos aún no han sido completamente caracterizados.

Se recogen las bayas que contienen cada una dos semillas cubiertas por una fina capa de pulpa rodeada de una piel y se extienden al sol durante un mes (fermentación seca). El proceso más común es la fermentación húmeda en la cual se remueve la piel de las semillas con máquinas especiales y aún con la pulpa se dejan reposar en montones o en grandes contenedores, luego se dejan secar al sol y se tuestan.

En este caso la población microbiana está compuesta por bacterias ácido lácticas, levaduras, bacterias productoras de ácido acético y hongos filamentosos.

Durante el tostado de los granos tienen lugar reacciones químicas que contribuyen a los diferentes aromas, los precursores de estas reacciones son los productos generados durante la fermentación. El grado de tostado es muy importante para determinar el flavor final.

## **REFERENCIAS**

1. Sörensen, P. and Kolter, R. (2021). Harvard's Science & Cooking Public Lecture Series. Food Fermentation: The Science of Cooking with Microbes.
2. Ferrari, A., Vinderola, G. y Weill, R. (2020). Alimentos Fermentados: microbiología, nutrición, salud y cultura. Recuperado de: [https://www.danoneinstitute.org/wp-content/uploads/2020/12/Book-Fermented-Food-2020\\_sp.pdf](https://www.danoneinstitute.org/wp-content/uploads/2020/12/Book-Fermented-Food-2020_sp.pdf)
3. 2.3. Fermentación. Recuperado de: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-biologia/section/2.30/primary/lesson/fermentaci%C3%B3n/>
4. Weill, R. (2017). El Yogur, un alimento milenario a la luz del siglo XXI. Asociación Civil Danone para la Nutrición, la Salud y la Calidad de Vida. 1° Edición. Buenos Aires.
5. Código Alimentario Argentino. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>

NOTA: Se han hecho todos los esfuerzos por identificar y dar crédito a todas las imágenes y citas utilizadas en el texto, tanto las propias como las reproducidas de otros medios. El editor se disculpa si se hubiera incurrido en algún error u omisión.