

CAPÍTULO V

FASE III. MADURACIÓN DE QUESOS

PHASE III. CHEESE MATURATION

RESUMEN	127
ABSTRACT	128
INTRODUCCIÓN	129
MADURACIÓN DE QUESOS. DEFINICIÓN	129
PRINCIPIO DE LA MADURACIÓN DE QUESOS	129
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MADURACIÓN	130
TIPOS DE MADURACIÓN	130
CONTROL BIOQUÍMICO EL CURSO DE LA MADURACIÓN DE QUESOS	131
Metabolismo de la lactosa	131
Metabolismo de los lactatos	132
Metabolismo de los citratos	133
Proteólisis	134
Lipólisis	136
FACTORES EXTERNO QUE CONTROLAN EL CURSO DE LA MADURACIÓN	
QUESO DEL QUESO (CONTROL FÍSICO)	138
Temperatura de la cava	139
Humedad relativa	140
RESUMEN DE LOS FACTORES EXTERNO E INTERNO QUE CONTROLAN	
EL CURSO DE LA MADURACIÓN DE LOS QUESOS	142
CONCLUSIONES	142
CUESTIONARIO	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

RESUMEN

La maduración, es una de las principales etapas del proceso de la elaboración de los quesos. En cierta forma, todos los quesos al finalizar el proceso de elaboración son muy parecidos, sin embargo, la diferenciación entre ellos se logra en la etapa de maduración a nivel de cava. El objetivo de este capítulo es analizar la etapa de maduración de los quesos, principios, características, tipos y el control físico y bioquímico en el curso de la maduración en los quesos. La principal contribución de este capítulo es realizar un cuadro resumen de los parámetros operacionales que afectan el control bioquímico y físico en el transcurso de la maduración en quesos representativos (queso Camembert, Gouda y Pecorino). La maduración de los quesos, se inicia en la premaduración de la leche antes de la etapa de coagulación de la leche. Luego, continúa en la etapa de cheddarización y prosigue en la cava de maduración. El control de la maduración se realiza en función del control bioquímico y control físico y, en ambos casos, va a depender del tiempo de maduración. El control bioquímico depende de la actividad de las BAL (Bacterias ácido lácticas) y el control físico dependen del control de la humedad relativa y temperatura. La maduración a nivel de cava, se realiza con la finalidad de crear las condiciones de humedad relativa y temperatura necesarias para el ajuste de la humedad final en el queso, estimular los cambios bioquímicos en el queso como la acidificación, metabolismo de los citratos y lactatos, proteólisis de las proteínas y lipólisis de las grasas con el fin último de lograr las características, físico-químicas, microbiológicas, sensoriales y nutricionales que van a caracterizar a cada uno de los quesos que existen en el mundo.

Palabras clave. Maduración, control físico, control bioquímico, metabolismo.

ABSTRACT

Aging is one of the main stages of the cheesemaking process. In some ways, all the cheeses at the end of the cheesemaking process are very similar; however, the differentiation among them is achieved in the ripening process at the cave level. The goal of this chapter is to study the stage of maturation of cheeses, principles, characteristics, and types, as well as the physical and biochemical control of the course of the aging process. The main contribution of this chapter is to make a summary table of the operational parameters that affect the biochemical and physical control in representative cheeses such as Camembert, Gouda, and Pecorino cheese. The maturation of cheeses begins at the pre-ripening of milk before the milk coagulation stage. Then, it continues with the cheddaring stage and, after that, the maturation cellar. The ripening control is carried out according to the biochemical and physical control, and, in both cases, it will depend on the maturation time. Biochemical control depends on lactic acid bacteria (LAB) activity, whereas physical control is based on relative humidity and temperature control of the inner cellar. The maturation at the cava level is aimed at creating the conditions of relative humidity and temperature required to adjust the end moisture in the cheese; thus setting the conditions for biochemical changes of the cheese. Some changes, such as acidification, metabolism of citrates and lactates, proteolysis of proteins, and lipolysis of fats, are formed at this stage. This will allow for achieving the physical-chemical, microbiological, sensory, and nutritional features characterizing each cheese marketed worldwide.

Key words. Aging, physical control, biochemical control, metabolism.

INTRODUCCIÓN

El queso es un producto lácteo que puede ser clasificado como queso fresco o queso madurado. Un queso fresco, es aquel que puede ser consumido una vez fabricados o elaborados. Mientras que, cuando se habla de quesos madurados, es aquel queso que una vez elaborado, debe ser sometido a factores físicos a nivel de cava que estimulen los cambios bioquímicos por un determinado tiempo y que le permita alcanzar las características de textura, sabor y olor deseadas en el producto final (Fox *et al.*, 1999).

Luego de obtenida la cuajada acondicionada mediante calentamiento, desuerado, lavado, cheddarización, salado y prensado, según sea la variedad de queso, estos deben someterse a maduración. La maduración es la etapa del proceso de elaboración del queso durante la cual la cuajada fresca se transforma en una masa homogénea y se desarrollan las características organolépticas típicas del queso como el aspecto, textura, sabor y olor (Tunick, 2014)).

Los agentes responsables de la maduración en los quesos son las enzimas que pueden provenir de la leche, del cuajo, de los cultivos lácticos iniciadores o secundarios o simplemente por adición directa a la leche de enzimas purificadas (Novikova y Ciprova, 2009).

El objetivo de este capítulo fue analizar la etapa de maduración de los quesos, principios, características, tipos y el control físico y bioquímico en el curso de la maduración en los quesos.

Al final del capítulo, se proponen un cuestionario de preguntas para fijar los conocimientos relacionados a la Fase III de la etapa de maduración en quesos. Así, el lector, junto con la práctica que pueda realizar en la quesera, tendrá la capacidad para realizar los ajustes en los parámetros requeridos para la maduración de quesos blandos, semiduros y duros.

MADURACIÓN DE QUESOS. DEFINICIÓN

Comprende un período de tiempo en el cual, el queso permanece almacenado bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad relativa según el tipo de queso, con el fin de permitir la deshidratación y formación de corteza, el desarrollo de compuestos químicos provenientes del metabolismo de las grasas, proteínas y azúcares, por la acción de enzimas microbianas, naturales o añadidas, y que le confieren al producto final la textura, el sabor y aroma característicos (Mazzeo *et al.*, 2009).

PRINCIPIO DE LA MADURACIÓN DE QUESOS

Durante la maduración o afinado, las diferentes variedades de quesos adquieren su sabor, textura, aroma y apariencia que los caracterizan. Existe por lo tanto, una complejidad de cambios bioquímicos (reacciones glicolíticas, proteolíticas y lipolíticas) (Hassan *et al.*, 2012) y físico-químicos que son controlados por condiciones ambientales (como temperatura, humedad relativa (Muñoz *et al.*, 2010), presencia de microflora, aireación de la cava así como el tiempo de maduración) y manipulación física (frotamiento, volteado, raspado, lavado) (Chandan y Kapoor, 2011).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MADURACIÓN

Cuando se habla de maduración en la cava, se refiere al control de la humedad y actividades bioquímicas de las enzimas generadas por las bacterias ácido lácticas (BAL) incorporadas en la leche. En esta etapa del proceso, permite el control final de la humedad en el interior del queso.

Durante la maduración, las proteínas se descomponen en péptidos, aminoácidos, aminor, ácido, tioles y tioésteres, las grasas se degradan en menor medida, llegando a ácidos grasos libres, metil cetonas, lactonas y esteroides. La lactosa es fermentada por los cultivos lácticos iniciadores o *Starters* a ácido láctico, ácido acético, ácido propiónico, ésteres y alcoholes. También se produce gas en forma de dióxido de carbono el cual son los responsables de los ojos característicos en los quesos holandeses y suizos (Fox y McSweeney, 1997).

El propósito de la maduración es permitir que las bacterias benéficas (bacterias ácido lácticas) y enzimas transformen la cuajada fresca en un queso de textura, sabor y apariencia específica. La maduración requiere semanas, meses o años dependiendo del tipo de queso (Kindsted, 2014). Además, los mayores constituyentes del queso (proteínas y grasas), así como los productos metabólicos de las bacterias ácido lácticas son degradadas para formar el típico *flavor* y textura de los quesos (Chandan y Kapoor, 2011).

Según Sánchez-Ponte (2003), los agentes responsables de estos cambios son principalmente enzimas provenientes de varias fuentes como:

- Agente coagulante. Cantidades residuales de la renina quedan atrapadas en la cuajada.
- Cultivos iniciadores y otros tipos (mohos) que crecen en el interior del queso y en la superficie del queso.
- Cultivos secundarios que dominan la microflora bacteriana luego de un tiempo de maduración (aproximadamente entre 60 y 90 días de maduración).
- Enzimas propias de la leche (plasmina, fosfatasa ácida y xantina oxidasa).

TIPOS DE MADURACIÓN

Existen dos tipos de maduración de acuerdo a la ubicación en donde se inicie el proceso de hidrólisis en el queso, si el cambio bioquímico se inicia en la superficie (Maduración por superficie) o en el interior de la matriz del queso (maduración interna) (Tunick, 2014):

➤ **Maduración por superficie (desde la superficie hacia el interior)**

- Es específicos para quesos blandos.
- Al inicio las BAL producen suficiente ácido láctico (0,1-0,2%), para reducir el pH de la leche de 6,6 a 6,4 (Chandan y Kapoor, 2011).
- Sobre la superficie del queso Camembert (Figura 1 y 2) y Brie, el moho de color blanquecino del *Penicillium camembert* o *candidum*, degradan los lactatos a CO₂ y H₂O, esto incrementa el pH del medio y favorece a la hidrólisis de las caseína con formación de NH₃.

Al incrementar el pH debido a la reacción del amonio con el agua y en presencia de oxígeno, favorece así el crecimiento del moho y la producción de enzimas proteolíticas que degradan la α 1-caseína y β -caseína. Luego, estas enzimas se difunden al interior del queso, el fosfato cálcico de la superficie precipita creando un segundo gradiente de iones de calcio, lo cual migra desde el interior hacia la superficie, ambas reacciones (proteólisis de las caseínas y precipitación del calcio) ocasionan que la textura interna del queso sea muy suave (Noomen, 1983; Karahadian y Lindsay, 1987).



Figura 1. Queso Camembert. Cortesía Ing. Juan Valentini. Empresa Lactuarios Maracay.



Figura 2. Corte interior del queso Camembert. Cortesía Ing. Juan Valentini. Empresa Lactuarios Maracay.

➤ **Maduración interna (desde interior hacia la superficie)**

- Es específicos para quesos semiduros y duros.

- Las enzimas de las BAL, así como las provenientes de la leche y la quimosina residual del cuajo usado en la etapa de coagulación de la leche, inician la maduración interna de estos tipos de queso a través del control bioquímico que se realiza a nivel del metabolismo de la lactosa, citratos, lactato, proteínas (proteólisis) y las grasas (lipólisis) presentes en la matriz interna de la cuajada y que va a permitir conferirle las características finales propias del queso madurado (Kindstedt, 2011).

CONTROL BIOQUÍMICO EL CURSO DE LA MADURACIÓN DE QUESOS

Se refiere a la actividad bioquímica de las enzimas generadas por las bacterias incorporadas sobre los componentes de la leche. Es aquí donde se va a diferenciar un queso de otro de acuerdo al tipo de bacteria y la concentración. La degradación o metabolismo de hidratos de carbono (lactosa), lactatos, citratos, proteínas y grasas son los responsables de los cambios en la textura, el sabor y aroma del queso.

Metabolismo de la lactosa

Es esencial en la producción de todas las variedades de quesos. La lactosa presente en

la leche (5%) y en la cuajada (0,5-2%) puede ser metabolizada por las BAL. Las BAL usan la fosforilación a nivel de sustrato para la obtención de su energía a partir de una fuente de carbono (glucosa) seguido de la formación de ácido láctico. El primer paso es transportar el carbohidrato a través de la membrana y acumulación en el citoplasma (Hassan *et al.*, 2012).

El sistema fosfoenol/piruvato-fosfotransferasa dependiente, es usado por los *Lactococcus* para transportar la lactosa en queso Cheddar, Gouda y Cottage hacia el citoplasma y luego degradado a glucosa y galactosa por la enzima lactasa en un proceso de degradación del tipo homofermentativa. El sistema lactosa/permeasa es usada por *Lactobacillus* y *Streptococcus* termofílicos en Yogurt, Queso Suizo y Mozzarella (McSweeney y Sousa, 2000)

Luego el segundo paso hidroliza la lactosa a través de dos vías: la homofermentativa y la heterofermentativa. El proceso es homofermentativo cuando a partir de una molécula de lactosa producen cuatro de ácido láctico como único producto final. La ruta metabólica es heterofermentativa cuando a partir de una molécula de lactosa se producen dos moléculas de glucosa y otros productos como etanol, CO₂, acetatos y aldehídos. La glucosa es degradada por la vía glicolítica y la galactosa por la ruta tagatosa. Los *Streptococcus* y *Lactobacillus* no son capaces de hidrolizar la galactosa. Solamente los *Lactobacillus* galactosa (+) como el *Lactobacillus helveticus*. Es por eso que en el caso del queso Mozzarella, que lleva cocción para la elaboración de pizza, es importante hidrolizar la galactosa para evitar la reacción de pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard entre la galactosa y los aminoácidos presentes en el queso (Parra-Huertas, 2010).

Normalmente la lactosa, es metabolizada a ácido L-láctico por las bacterias lácticas iniciadoras como el *Lactococcus* o *Streptococcus salivarius* spp *thermophilus* y *Lactobacillus* spp. Luego las BAL-No iniciadoras se encargan de racemizar el ácido láctico a DL-Lactato, una pequeña parte es oxidada produciendo ácido acético y acetoínas que contribuyen al sabor y aroma en los quesos (Fox y McSweeney, 1998).

Según Ordoñez (1987), el ácido láctico que se genera a partir del metabolismo de la lactosa cumple las siguientes funciones:

- Es capaz de coagular la leche por disminución del pH isoeléctrico de la caseína.
- Favorece la acción del cuajo y la expulsión del suero, ya que retrae el coagulo en presencia de calor.
- Contribuye al sabor de algunas variedades de queso fresco.
- La acidez generada, ayuda a prevenir el crecimiento de bacterias patógenas y el de otros microorganismos no deseables.

Metabolismo de los lactatos

Las bacterias mesofílicas *starters* metabolizan la lactosa a ácido láctico como producto final en el proceso de elaboración del queso. En los quesos Suizos o alpinos como el Emmental y Gruyere, primero se almacenan los quesos a temperaturas entre 10 °C durante las dos primeras semanas. Esto es con la finalidad de que las bacterias ácido lácticas mesofílicas iniciadoras,

puedan metabolizar la lactosa a ácido láctico. Luego, se incrementan la temperatura entre 20 y 23 °C, por dos a cuatro semanas más a una humedad relativa de 85%, con la finalidad de crear las condiciones adecuadas de temperatura que permitan el crecimiento de las bacterias propiónicas y la formación de ojos características en estos tipos de quesos (Chandan y Kapoor, 2011).

Las bacterias propiónicas utilizan los lactatos como sustrato de crecimiento. El *propionibacterium freuderi* o el *P. shermanii* se adiciona a la leche en una proporción de 5 a 8 g/1000 litros de leche, como fermento iniciador secundario. Los productos metabólicos finales son: el ácido propiónico, ácido acético y CO₂. El gas en forma de CO₂, se difunde a través de la matriz del queso y la presión interna forma burbujas quedando marcado en lo que se denominan “ojos” (Figura 3), que son característicos en la textura de este tipo de quesos llamados quesos alpinos (Gauna, 2005).



Figura 3. Queso Suizo Gruyere. Foto cortesía de Harvest Moon Farm LLC.

En los quesos madurados por superficie como es el caso de Camember y Brie, las bacterias mesofílicas producen aproximadamente el 1% de ácido láctico, la cual es metabolizada por hongos y levaduras a CO₂ y agua. Una vez que el pH incremente y todo el lactato ha sido consumido, el *Penicillium camemberti*, crece y comienza a metabolizar los aminoácidos liberados de la caseína con producción de amoníaco (Gripon, 1993).

Metabolismo de los citratos

El citrato está presente en forma natural en la leche una proporción entre 0,2 a 0,5% quedando retenidos en la cuajada durante el proceso de elaboración de los quesos. Los microorganismos involucrados en el metabolismo de los citratos son *Lactococcus lactis* subsp *lactis* biovar. *diacetylactis* y *Leuconostoc sp*, en donde a partir de los citratos producen componentes que contribuyen al sabor y aroma como diacetilos, acetoinas y 2,3 butanodiol, así como la producción de CO₂, los cuales generan pequeños “ojos” en el queso Gouda Holandés (Figura 4). El diacetilo formado también es importante en los quesos Cottage y Quards (Dimos *et al.*, 1996).



Figura 4. Queso Gouda. Foto cortesía de Harvest Home Dairy, LLC.

Proteólisis

Constituye uno de los principales procesos en la maduración de los quesos. En la proteólisis se produce la degradación de la caseína y cambios en la textura de la cuajada del queso así como la producción de componentes de sabor y aroma. En la primera etapa de la proteólisis, la hidrólisis de la caseína es llevada a cabo por agentes proteolíticos provenientes del cuajo (quimosina, pepsinas y proteinasas de origen microbiano o vegetal), de la leche (plasminio, catepsina D y células somáticas), proteinasas y peptidasas de los cultivos *starters* primarios y secundarios usados en la elaboración de quesos (McSweeney y Fox, 1997).

El producto de la hidrólisis que son péptidos y aminoácidos libres, participan directamente en el aroma y sabor del queso. Una segunda etapa de la proteólisis es la conversión de los compuestos resultantes (aminas, α -cetoácidos y aminoácidos) a aldehídos debido a la desaminación de las aminas. La última etapa es la conversión de los aldehídos a alcoholes o su oxidación a ácidos. En el caso de los aminoácidos azufrados puede experimentar una conversión que conduce a formar compuestos como metanotiol (Fox y Wallace, 1997).

La reacción de *Strecker*, que es la reacción entre los dicarbonilos y aminoácidos, a partir de una reacciones de tipo transaminación, forman aldehídos que contribuyen al sabor a nuez y a malta en queso Cheddar cuando es madurado entre 4 y 9 meses (Avsar *et al.*, 2004).

Sistema proteolítico de bacterias. El sistema proteolítico de las BAL tiene tres fases: 1.- Proteólisis de la caseína a péptidos, 2.- transporte de los péptidos hacia el interior de la célula y 3.- los péptidos son hidrolizados por las peptidasas a aminoácidos (McSweeney y Sousa, 2000).

Las bacterias *Streptococcus lactis* y *cremori* está formada por proteínas y peptidasas extracelulares (ligadas a la pared de la membrana celular) e intracelular, capaces de degradar completamente la caseína a aminoácidos. Estas BAL mesofílicas, usan la caseína como fuente de nitrógeno para la producción de aminoácidos requeridos para su crecimiento. Su incorporación es obligatoria en quesos semiduros (Kindstedt, 2014).

La simbiosis entre el *Streptococcus salivarius* subsp *thermophilus* con *Lactobacillus delbreuekii* subsp *bulgaricus*, es un ejemplo de aplicación de este sistema, y se basa en que el primero (*Streptococcus*) producen aminoácidos requeridos para su propio crecimiento y el crecimiento de los *Lactobacillus*, el cual este último le proporciona ácido málico, ácido cítrico y ácido fumárico, que son necesarios para el crecimiento de los *Streptococcus* (Johnson, 2014).

La bacteria *Brevibacterium linens* es importante en la maduración por superficie en ciertos tipos de quesos como Muster, Tilsit y Brick. Producen varias proteinasas y peptidasas intracelular y extracelular. Su metabolismo libera aminoácidos, hidrogeno sulfurado y metanotiol, que le confiere un fuerte *flavor* a los quesos (McSweeney y Sousa, 2000; Carrol, 2002).

El sistema de transporte está conformado por di y tripeptidos, oligopeptidos y péptidos hidrofóbicos, y una vez que los péptidos están en el interior de la célula, entran en acción las endopeptidasas, di-tripeptidasas y aminopeptidasas. Los péptidos de bajo peso molecular y aminoácidos generados producen el sabor a nuez y dulce característico en los quesos holandeses como el Edam y el italiano como el Parmesano. Una vez alcanzada cierta densidad poblacional de cocos (10^9 - 10^{10} UFC/g) las enzimas, endopeptidasas producto de la lisis celular, contribuyen al proceso de proteólisis en los quesos (McSweeney y Sousa, 2000).

Sistema proteolíticos en mohos. Otro ejemplo de los sistemas proteolíticos, es el empleado en queso Camembert. Los mohos que se desarrollan en la superficie del queso Brie o en el Camembert, y pertenecen a la especie *Penicillium camemberti*, además producen proteinasas extracelulares que participan en la hidrólisis de las caseínas α_1 y β -caseína. El sistema proteolítico del *Penicillium camemberti* y roqueforti es similar, ambos sintetizan una carboxipeptidasa ácida y aminopeptidasa alcalina. A medida que crecen degradan las proteínas hasta NH_3 incrementando de esta forma el pH en la superficie y creando las condiciones ambientales para su crecimiento. Hay además una disminución de la actividad de agua causada por la unión de moléculas de agua con grupos carboxilos y aminoácidos liberados (Sousa *et al.*, 2001).

Extensión de la proteólisis. La extensión de la proteólisis es limitada en quesos duro (queso Parmesano, Emmental, Romano), hasta muy extensa (quesos azules, queso camembert). La plasticidad del queso semiduro la proporciona el proceso de proteólisis. Esta plasticidad permite a estos tipos de quesos cortarse en rebanadas. A mayor grado de proteólisis mayor es el grado de plasticidad.

El sabor amargo en los quesos, es atribuido según Biede y Hammond (1979), a la existencia de péptidos de tamaño medio (entre 3 y 6 aminoácidos), resultante de la hidrólisis extrema de las caseínas. Las proteinasas de los fermentos originan péptidos amargos mediante la acción fundamentalmente sobre la β -caseína, mientras que la quimosina puede producir péptidos amargos a partir de todos los componentes de la caseína.

Índice de maduración (IM) en los quesos. El índice de maduración expresado como porcentaje, mide de manera indirecta el grado de proteólisis o de maduración en los quesos. Se puede calcular el IM (%), a partir de la Ecuación 1. Esta ecuación mide la maduración de los quesos por proteólisis en función a la cantidad de proteínas solubles, que representa a la caseína fraccionada debido a la acción de las enzimas proteolíticas con respecto al total de proteínas presentes en el queso.

$$\text{Indice de maduración (\%)} = \frac{\text{Proteína soluble (\%)}}{\text{Proteína total (\%)}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Una proteólisis intermedia es posible en el queso Gouda, en donde la fracción de nitrógeno soluble se encuentra entre 21 a 27% en quesos madurado por 30 días a una temperatura de 18°C y una humedad relativa de 70-75% (Sciancalepore, 1978). Por su parte, Muños *et al.* (2010), obtuvieron 20% de proteólisis a las cinco semanas de maduración en queso Gouda, cuando las condiciones de la cava fueron de 13 °C y humedad relativa del 90%.

Para el queso Gruyere y Emmental, la proteólisis es reducida a valores entre 15 a 20% entre la quinta y octava semana de maduración, porque en el caso de estos quesos duros, debido a una reducción drástica de la humedad presentan menor velocidad de degradación de las proteínas (Mazzeo *et al.*, 2009).

Mientras que una proteólisis extrema es observada en el queso Camembert con un índice de maduración del 30% en la octava semana de maduración (Mazzeo *et al.*, 2009).

Existen condiciones no adecuadas al proceso de proteólisis en los quesos, como alto contenido de sal y medio ácido como el formado a un pH de 5,5. Hay otras condiciones que favorecen la proteólisis como bajo contenido de grasa, alto contenido de humedad y temperaturas más elevadas (Alais, 1985).

En conclusión, la proteólisis contribuye a la maduración de los quesos en cuatro formas:

1. Contribuye a generar sabor vía formación de aminoácidos, péptidos o de manera indirecta vía catabolismo de los aminoácidos, aminos, aldehídos, ácido, tioles y éster.
2. Mejora la palatabilidad de los componentes del queso durante la masticación.
3. Cambios en el pH vía formación de NH₃.
4. Cambios en la textura a partir de la degradación de la red de proteínas, incrementando el pH, mayor absorción de agua por los grupos aminos y carbohidratos formados.

Lipólisis

La lipólisis consiste en la hidrólisis de los triglicéridos en glicéridos parciales y ácidos grasos libres (AGL). Los ácidos grasos libre, no afectan la textura, pero si juegan un papel muy importante en el sabor y aroma de muchos quesos duros italianos como el Parmesano (Figura 5), Pecorino y en quesos madurado por hongos como el Camembert y el queso Azul. También juega un papel moderado en el sabor y aroma de los quesos semiduros holandeses como el Edam y Gouda (Bosset y Gauch, 1993; Rychlik *et al.*, 1997). El sabor es la propiedad de los quesos que determinan su identidad, calidad y aceptabilidad (Sanchez-Ponte, 2004).

Enzimas lipolíticas. Las lipasas y esterases provienen de la leche (lipasa lipoproteína

asociada a la micela de caseína), de los *starters* primarios y secundarios, de la renina y de las células somáticas, siendo las enzimas microbianas la principal fuente y cuyo producto final son los ácidos grasos libres (Fox *et al.*, 1995).



Figura 5. Queso Parmesano. Foto cortesía de Thinklink.com/nuevamujer.

La incorporación de la lipasa pregástrica exógenas de cordero (esterasas pregástrica), que se añaden a la leche de forma purificada permiten desarrollar las características de flavor de algunos quesos en las variedades italianas (tales como el Parmesano y Romano), desde un inicio del proceso. En queso Provolone se emplean la lipasa de cabrito, mientras que en el queso Pecorino se emplea la lipasa proveniente de ovejos. Las esterases pregástrica tienen una alta especificidad hacia los ácidos grasos de cadenas corta esterificados en la posición 3. La liberación de grandes cantidades de estos compuestos son los responsables de las propiedades picantes y sabor característico en estos tipos de quesos. Se agrega desde un inicio en forma exógena a la leche para que actúen en una fase temprana su acción hidrolítica, ya que la difusión de la sal frena el proceso de lipólisis en la fase de maduración en los quesos de consistencia dura (Fox y Stepaniak, 1993). Dependiendo de la intensidad del sabor que se desee, las lipasas pueden adicionarse en cantidades que oscilan desde 5 g/100 L leche (sabor suave), hasta 20 g/100 L leche (sabor fuerte y pronunciado).

Sistema lipolítico en microorganismos. El sistema lipasa/esterasa de *Lactococcus* sp., es débilmente lipolítico, pero cuando su población de microorganismos crece la maduración por lipólisis se extiende (Fox y Wallace, 1997).

Los lactobacilos homofermentativos obligados, usados como *Starters* (*Lb. helveticus*, *Lb. delbruekii* subsp. *bulgaricus* y *Lb. delbruekii* subsp. *lactis*), también producen esterases (Khalid y Marth, 1990). Los lactobacilos heterofermentativos facultativos como *Lb. casei*, *Lb. paracasei* and *Lb. plantarum*, son débilmente lipolíticos (Bhowmi y Marth, 1990).

En el caso de los mohos como el *Penicillium* sp. produce una potente lipasa extracelular la cual son responsables de la lipólisis extensiva en quesos madurados por hongos, siendo las metilcetonas el subproducto de la hidrólisis que domina el flavor en el queso azul (Gripon, 1993).

Metabolismo de los lípidos. Los ácidos grasos de cadena corta son los precursores del sabor y aroma en los quesos. La importancia de los ácido libres se debe a que estos no solo

son compuestos aromáticos por sí mismo, sino que también actúan como precursores de una serie de reacciones catabólicas que participan en la formación de otros compuestos aromáticos como la, metilcetonas, lactonas, ésteres, ácidos, hidrocarburos aromáticos, alcanos, aldehídos y alcoholes secundarios. La degradación oxidativa de los ácidos grasos libres por β -oxidación y posterior descarboxilación es la responsable de la formación de las metilcetonas (McSweeney y Sousa, 2000).

Las metilcetonas son producidas a partir de los ácidos grasos liberados por lipólisis, luego su metabolismo continua por β -oxidación y posterior descarboxilación. Las metilcetonas se pueden reducir a alcoholes secundarios, los cuales contribuyen al sabor en los quesos madurados por mohos (Molimard y Spinnler, 1996).

Las lactonas son ésteres cíclicos que se originan como resultado de la esterificación intramolecular de un hidroxiaácido para formar una estructura cíclica con la pérdida de agua. Las lactonas aportan notas afrutadas y a fermentados cremosos dulces (Dufosse *et al.*, 1994).

Los ésteres se forman a partir de la esterificación de los ácidos grasos de cadena media y corta con los alcoholes proporcionan notas de aroma afrutado en los quesos (Curioni y Bosset, 2002).

Entre los productos de la lipólisis encontrados en el queso Gouda están, el ácido butírico, butanol, hexanal, y pentanal. En el queso Cheddar predomina el ácido butírico, acético, 1-Octen-3-ona y butanona. En el queso Provolone es el ácido y, en quesos Camembert predomina el 1-octen-3-ol, butírico, 1-octen-3-one, 2-undecalactona, γ -decalactona (Smith *et al.*, 2005).

Extensión de la lipólisis. En los quesos duros como el Gruyere o Cheddar, el grado de lipólisis es limitado y no supera el 2% de los triglicéridos. Sin embargo, en los quesos blandos madurados por superficie como el Camembert, el grado de lipólisis puede alcanzar hasta un 10%, y en quesos azules pueden estar libre los ácidos grasos hasta un 25% (Poveda, 2001).

FACTORES EXTERNO QUE CONTROLAN EL CURSO DE LA MADURACIÓN DEL QUESO (CONTROL FÍSICO)

El control de la humedad final, textura, sabor y olor en los quesos, no se inicia en la cava de maduración, obligatoriamente tiene que haber una correlación entre la cantidad de fermento a utilizar, tipo de fermento, temperatura de premaduración de la leche, el control de la sinéresis del gel, acidez de la cuajada, temperatura de cocción y la presión de prensado en los pasos del esquema tecnológico.

En las cavas de maduración (Figura 6), el control físico de la humedad final en los quesos, generalmente se lleva a cabo mediante el control de 3 variables, la temperatura en toda la cámara, la humedad relativa del ambiente y la velocidad del aire en circulación (Muños y Rosero, 2010). Por otra parte, algunos quesos presentan un periodo de maduración, en unas condiciones determinada, como el caso de la maduración del queso semiduro holandés Gouda, algunos distinguen dos fases como el queso blando Camembert, mientras que en algunas variedades tienen tres o más fases (queso Gruyere) (Madrid, 1999; Muñoz *et al.*, 2010). En este capítulo solo se hará referencia a las variables temperatura y humedad relativa, ya que por lo general, se mantiene la variable velocidad del aire constante.



Figura 6. Maduración del queso Gouda Foto cortesía de Harvest Home Dairy LLC.

Temperatura de la cava

La temperatura permite controlar básicamente el crecimiento de los cultivos estérter secundario, así como la actividad de las enzimas proteolíticas o lipolíticas. Por lo general, los quesos semiduros se maduran en cámaras a aproximadamente 12 °C; los duros, de 12 a 16-18 °C; y en quesos con mohos las temperaturas oscilan entre 8-14 °C.

Para un queso blando las temperaturas de la cava debe ser baja (8 -10 °C) y los tiempos de maduración deben ser en cortos periodos (2-3 semanas). De esta manera se evita que el queso pierda humedad y que la actividad de los cultivos lácticos mesofílicos se reduzca, sobre todo en quesos con alto contenido de lactosa residual. Ej. Camembert: 7 °C y 15 días (Muñoz *et al.*, 2010).

Para un queso duro (Parmesano) la temperatura de la cava en los primeros tres meses de la maduración es entre 16 a 18 °C, luego se ajusta la temperatura a 10 °C. Altas temperaturas facilita la rápida expulsión de agua en los primeros meses de almacenamiento antes de formarse la costra natural o cubierta. Requiere de mucho tiempo para ir gradualmente exudando el agua hasta llegar al punto de interés que va a depender de la humedad final en el queso y grado de lipólisis obtenida. El tiempo de envejecimiento mínimo es entre 10 a 12 meses.

En los quesos con ojos, al inicio entre 10 a 12 °C por 3 semanas (metabolismo de los citratos para la formación de gas y ojos en los quesos Holandeses como el Edam y Gouda) y luego 21-22 °C por cuatro semanas (metabolismo de los lactatos por bacterias propiónicas para la formación de ojos, característicos en quesos suizos como el Gruyere y Emmental) para luego reducir la temperatura y frenar la producción de gas a 7-8 °C, el tiempo que resta de maduración (Gauna, 2005).

Para un queso semiduro, la temperatura de la cava debe estar entre 12 a 14 °C (54 a 57 °F) y el período de maduración se encuentra entre 5 a 8 semanas. Este rango de temperaturas es la adecuada para el crecimiento de cultivos secundarios que metabolizan el citrato residual.

El tiempo de maduración va a depender del grado y la velocidad de proteólisis y lipólisis que se desea lograr en un queso específico. Los tiempos anteriores son tiempos promedios en donde se logran obtener las características organolépticas de acuerdo a cada tipo de queso. En función a lo que se desea lograr, habrá quesos de corto o largo tiempo de maduración. Por ejemplo en el caso del cheddar, cuyo tiempo de maduración es de 3 meses, se les llama “Baby” Cheddar, cuando su tiempo de maduración es entre 3 a 6 meses son conocidos como Mild Cheddar, y por ultimo, Old Cheddar cuando su tiempo de maduración es de 9 meses.

Humedad relativa

La humedad relativa está asociada tanto con la formación de la costra en los quesos que suele formarse entre los 3 y 5 días de almacenamiento con volteo cada 24 horas y con el crecimiento de microorganismos.

En general, para evitar que la pérdida de humedad sea excesiva, en los quesos, las cavas deben tener una humedad relativa alta comprendida entre 75 - 95 % (Figura 7). Por debajo del 70% se evita el crecimiento de hongos, es por ello que en el caso del queso Camembert, se recomienda un rango de humedad entre 90 a 95 %. Por debajo del 85 % la superficie del queso queda reseca y el moho *Penicillium candidum* no puede desarrollarse, mientras que por encima de 95% puede crecer mohos de otras especies como las del género *Mucor* (Nicolau, 2012).



Figura 7. Medición de la temperatura y Humedad relativa de la cava. Foto cortesía de Harvest Home Dairy LLC.

En el caso de los quesos duros, el rango del porcentaje de humedad puede variar entre 75 a 85%, como el caso del queso Manchego (Madrid, 1999). Baja humedad relativa combinada con una alta temperatura favorece la pérdida de peso por humedad y la formación de una corteza dura que suele formarse con un grosor de 1 cm de espesor. La corteza, se forma como una barrera natural en el queso por acumulación de minerales como calcio, fosfatos y citratos, las cuales evita el intercambio de gas y humedad hacia el interior de los quesos.

La humedad relativa en la cava de maduración para quesos semiduros se encuentra en un rango entre 85 a 90%. Fabricaciones realizadas por Mazzeo *et al.* (2009), lograron obtener las

mayores preferencias en queso Gouda semiduro, almacenados a 13 °C y una humedad relativa del 90%. Para lograr los rangos de humedad esperados en quesos semiduro, es necesario trabajar en rangos de temperatura que oscilen entre 10 a 14 °C.

El control de la humedad relativa en cavas de maduración, se emplean sistemas de condensación llamados deshumidificadores (Figura 8) o sistemas de ventilación. En queseras pequeñas, se controla mediante métodos artesanales como uso de mecheros o antorchas (Muñoz *et al.*, 2010). Es posible además, controlar la temperatura y humedad relativa con el uso de calentadores portátiles (Figura 9).



Figura 8. Control de la humedad relativa empleando un deshumidificador. Foto cortesía de Harvest Home Dairy LLC.



Figura 9. Control de la temperatura con termostato y calentador portátil en cámara de incubación. Foto cortesía de Harvest Home Dairy LLC.

RESUMEN DE LOS FACTORES EXTERNOS E INTERNOS QUE CONTROLAN EL CURSO DE LA MADURACIÓN DE LOS QUESOS

En el Cuadro 1, se muestran en forma resumida, las características del control bioquímico y físico en algunos quesos representativos, en base a su consistencia. Como se puede apreciar en dicho cuadro, el control bioquímico y físico actúa en forma relacionada y va a depender de la consistencia, y por supuesto, del tipo de queso a ser elaborado.

Los quesos de consistencia blanda como el Camembert, Brie y Queso Azul, la maduración es por superficie, en donde emplean una primera fase de 2 semanas a temperatura entre 10-14 °C y una humedad relativa del 90-95%, para favorecer el metabolismo de los lactatos.

Esto crea las condiciones para desarrollarse los mohos, las cuales se encargaran de producir las enzimas necesarias y estimular la proteólisis y lipólisis de los quesos en una segunda fase que dura entre 1 a 8 semanas a 4 °C y humedad relativa del 90-95%.

En el caso de los quesos de consistencia semidura como el Gouda, cuya humedad oscila entre 41 a 45%, la maduración es interna con el uso de BAL y en donde, se someten los quesos a una primera fase de maduración a 17 °C y 85% de humedad relativa por 3 semanas. Esto permite crear las condiciones ideales para el metabolismo de los citratos y generar los ojos característicos que poseen estos tipos de quesos. Una vez formado los ojos, se reduce la temperatura a 10 °C y humedad se incrementa a 88% por 6 a 12 semanas en una segunda fase de maduración. Aunque la proteólisis y lipólisis ocurren en los quesos semiduros, la proteólisis es el metabolismo que predomina, ya que contribuye junto con la humedad, en la textura semidura característica de estos quesos.

Por su parte, en quesos de consistencia dura como el Pecorino, Parmesano Cheddar y que presentan baja humedad, la maduración es interna debido al uso de BAL. Solamente presenta una fase de maduración a una temperatura promedio de 12 °C, que es la temperatura universal de maduración, y una humedad relativa baja, con al menos 60 días de maduración el cual va a depender del peso del queso (por lo general 30 días/kg queso Pecorino). Al igual que en los quesos semiduros y blando, en los quesos duros ocurre la lipólisis y la proteólisis, sin embargo, la lipólisis predomina en este tipo de quesos sobre la proteólisis, ya que, en este tipo de quesos se desea más el desarrollo del olor y sabor debido a la liberación de los ácidos grasos de cadena corta por la presencia de la enzima lipasa que son incorporadas a la leche y comienzan a actuar al inicio en la etapa de premaduración. Se inicia tempranamente la hidrólisis de las grasas, porque la reducción de la humedad en los quesos duros, detiene la actividad de las enzimas y de las BAL. Igualmente, la proteólisis es reducida a cero para poder mantener la consistencia dura. Proteólisis extrema solo se observa en quesos blandos y semiduros, sobre todo en quesos blandos como el camembert, pero es altamente prohibitiva en quesos duros, por las razones anteriormente expuestas.

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta lo presentado en el presente capítulo V, y de acuerdo a los objetivos planteados, se llegaron a las siguientes conclusiones:

La maduración de los quesos es un proceso específico en los quesos semiduros y duros. Sin

Cuadro 1. Resumen de las características de control bioquímico y físico en quesos de acuerdo a su consistencia

TIPO DE QUESO	CONTROL BIOQUÍMICO				CONTROL FÍSICO			FASES
	CONSISTENCIA	HUMEDAD (%)	TIPO DE MADURACIÓN	CONDICIONES DE LA CAVA	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	TIEMPO DE MADURACIÓN	
Camembert ¹	Blanda	52-56	Maduración por superficie. Metabolismo de los lactatos. /Proteólisis/Lipólisis	10-14	90-95	2 semanas	1	
Gouda ^{2,3,4}	Semi-dura	41-45	Maduración interna. Metabolismo de los citratos /Proteólisis/lipólisis.	17	85	3 semanas	1	
Pecorino ⁵	Dura	38,5	Maduración interna. /Lipólisis/Proteólisis	10	88	6-12 Semanas	2	
				12±1	73-75	60 días	1	

¹Mazzeo *et al.*, 2009; ²CODEX (2013); ³Mendez y Ramírez (2018); ⁴Chandan y Kapoor (2011) ⁵Mughetti *et al.*, 2012.

embargo, es posible realizar la maduración de los quesos blandos siempre y cuando el tipo de maduración sea por superficie, como el caso del queso Camembert y Brie.

Las condiciones ambientales en la cava de maduración, como la humedad relativa y la temperatura, condicionan los diferentes cambios bioquímicos en el queso. Humedad relativa superiores a 95% y temperatura intermedia de 14 °C, favorecen el desarrollo de los hongos en quesos blandos como el Camembert. Humedades relativa por debajo de 90 % y temperaturas altas (alrededor de 22 °C) favorecen el crecimiento de las BAL mesofílicas en queso semiduro como el Gouda. Humedades relativas menores a 85 °C y temperaturas entre 26 a 30 °C, producen mayor salida de humedad y favorecen la actividad de BAL termofílicas en quesos duros.

La producción de ácido láctico en la etapa primaria de los quesos, es debido a la transformación de la lactosa en ácido láctico por la actividad de las BAL iniciadoras, lo cual conduce a una reducción del pH, mejora la acción del cuajo y contribuye al sabor y aroma en los quesos.

La formación de ojos en los quesos semiduros como el Gouda y Edam, es debido la formación de CO₂ por la degradación de los citratos. Otros metabolitos son formados como diacetilo, acetoínas y 2,3 butanodiol que producen sabor y aroma.

La formación de ojos en los quesos duros como el Gruyere y Emmental, se debe al CO₂ generado en la degradación de los lactatos. Otros metabolitos son formados como el ácido propiónico y el ácido acético.

El sabor y aroma en los quesos duros, especialmente en quesos duros italianos como el Pecorino y Parmesano, es debido a la degradación de los lípidos (lipólisis) en ácidos grasos libres, que posteriormente son degradados en otros metabolitos como metilcetonas, lactonas, ésteres, ácidos, hidrocarburos aromáticos, alcanos, aldehídos y alcoholes secundarios.

En quesos semiduros y duros, el sabor y aroma es debido a la degradación de las proteínas (proteólisis) a péptidos de cadenas corta y aminoácidos libres, y esta s u vez se transforman en aminas, aldehídos, ácidos, tioles y ésteres. A mayor grado de proteólisis, se incrementa el pH, hay mayor absorción de agua y el queso es más blando.

CUESTIONARIO

1. Actividades iniciales

1. Nombre un tipo de queso en la cual requiere cambios bioquímicos a nivel de cava de maduración: _____.

2. Señale tres cambios bioquímicos en los quesos cuando se maduran

a. _____; b. _____; c. _____

3. Nombre tres productos de la degradación de las grasas por las enzimas lipolíticas.

a. _____; b. _____; c. _____

4. Indique tres atributos sensoriales que son desarrollados en la maduración de los quesos:

a. _____ b. _____ c. _____

5. Señale tres productos obtenidos de la degradación de la lactosa:

a. _____; b. _____; c. _____

2. Preguntas relevantes

6. ¿Cuáles son los tres productos de la proteólisis de la caseína?:

a. _____; b. _____; c. _____

7. ¿Qué tipo de queso se puede consumir una vez que ha sido elaborado?: _____.

8. ¿Para qué tipo de queso es específico la maduración por superficie?

a. Queso blando

b. Queso semiduro

c. Queso fresco

9. ¿Cuál es el tipo de maduración que se desarrolla en el queso Gouda

a. Maduración por superficie

b. Maduración interna.

10. El *Brevibacterium linens* es importante en la maduración por superficie del queso:

a. Camembert

b. Tilsit

c. Parmesano

3. Estudio de casos

11.- Señale los controles de temperatura y humedad relativa para el queso Pecorino.

a. _____; b. _____; c. _____

12.- Señale los controles de temperatura y humedad relativa para el queso Camembert.

a. _____; b. _____;

13.- Señale los controles de temperatura y humedad relativa para el queso Gouda.

a. _____; b. _____;

4. Actividades finales

14. ¿La lipólisis es importante en el queso Parmesano? __Verdadero __Falso

15. ¿La Proteólisis es importante en el queso Camembert? __Verdadero __Falso

16. ¿La extensión de la lipólisis en el queso Parmesano puede llegar hasta el 30%?

__Verdadero __Falso

17. ¿Es verdad que los quesos blandos no pueden ser madurados?

__Verdadero __Falso

18. ¿La formación de la costra en el queso depende de la temperatura? __Verdadero __Falso

19. ¿Se incorpora la lipasa de cordero para la elaboración del queso Provolone? __Verdadero __Falso.

20. ¿La generación de los ojos en el queso Gouda es debida al metabolismo de los lactatos?

__Verdadero __Falso

5. Historia

Andres Besnier, fabricante de batidoras de mantequilla, se inició en el mundo de la producción de leche y quesos en Laval, Mayenne, noreste de Francia en donde fundó una pequeña empresa de fabricación de quesos Camembert con la marca llamada "President" en el año 1933. Su primera producción de quesos fue con 34 litros de leche que transformo en 17 quesos Camembert con el nombre de "Le Petit Lavallois". Hoy en día, es la más grande productora de productos lácteos en el mundo con el nombre de empresa multinacional "Lactalis".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alais, C. 1985. Ciencia de la leche. Principios de técnica lechera. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. 873 p.

Avsar, Y; Y. Karagul-Yuceer; M. Drake; T. Singh; Y. Yoon; K. Cadwalloder. 2004. Characterization of Nutty flavor in Cheddar cheese. Journal of Dairy Science. 87(7): 1999-2010.

Biede, S.L.; E.G. Hammond. 1979. Swiss cheese flavor: II. Organoleptic Analysis. Journal of Dairy Science. 62(2): 238-248.

Bosset, J.; R. Gauch. 1993. Comparison of volatile flavours compounds of six European "AOC" cheeses by using a new dynamic headspace GS-MS method. Int. Dairy J. 3: 359-377.

-
- Bhownik, T.; E. Marth. 1990. Esterase of micrococcus and pediococcus species in cheese ripening: a review. . Dairy Sci. 73: 879-886.
- Chandan, R.; R. Kapoor. 2011. Principles of Cheese Technology. *In*: Chandan, R., A. Kilara (Eds). Dairy Ingredients for Food Processing. Blackwell publishing Ltd. 592 p.
- CODEX. 2013. Codex Alimentarius. Norma del Codex para el Gouda. CODEX STAN 266-1966. 5 p.
- Dimos, A.; G. Urbach; A. Miller. 1996. Changes in flavour and volatiles of full-fat and low-fat cheese during maturation. *Int. Dairy J.* 6: 981-995.
- Duffose, L.; A. Lutrosse; H. Sprinnler. 1994. Importance of lactones in Food Flavours: Structure, distribution, sensory properties and biosynthesis. *Science de Aliments.* 14: 17-50.
- Fox, P.; Stepaniak, L. 1993. Enzyme in: Cheese Technology. *International Dairy Journal.* 3:609.
- Fox, P.F.; T.K. Singh; P.L. McSweeney. 1995. Biogenesis of flavour compounds in cheese. *In*: Malin E. L; M.H. Tunick (Eds.). Chemistry of Structure / Function relationship in Cheese. New York. pp 59-98.
- Fox, P.; J. Wallace. 1997. Formation of Flavor Compound in Cheese. *Advance in Applied Microbiology*, 45: 17-85.
- Fox, P.; P. McSweeney. 1998. Dairy chemistry and biochemistry. Blackie Academic and professional. London, U. 478 p.
- Fox, F.; J. Law; P. McSweeney; J. Wallace. 1999. Biochemistry of cheese ripening. *In* Fox, F. (Ed). Cheese: chemistry, physics and microbiology. General aspects. 2^{da}. Ed. Vol. 1. Norwell: Kluwer Academic Publisher. 389 p.
- Gauna, A. 2005. Elaboración de quesos de pasta semidura con ojos. Cuaderno tecnológico N^o3. Inti-Ve. 104 p.
- Gripon, J. 1993. Mould-ripend cheese in: Fox, P. (Ed). Cheese chemistry, Physics and Microiology. Chapman and Hall. London. UK. Vol 2, pp. 111-136.
- Hassan, F.; M. Abd El-Gawad; A. Enab. 2012. Flavour compounds in cheese. (Review). *International Journal of Academic Research.* 4(5): 169-181.
- Johnson, M. 2014. Mesophilic and thermophilic cultures used in traditional cheesemaking. *In*: Donnelly, C. (Ed). Cheese and Microbes. ASM PRESS. Washington, D.C. United States. 346 p.
- Karahadian, C.; R. Lindsay. 1987. Integrated roles of lactate, ammonia, and Calcium in Texture development of mold surface ripened cheese. *Journal of Dairy Science.* 70: 909-918.
- Khalid, N.; E. Marth. 1990. Lactobacilli-Their enzymes and role in ripening and spoilage of cheese: a review. . Dairy Sci. 73: 2669-2684.
-

- Kindstedt, P. 2014. The Basic of Cheesemaking. *In*: Donnelly, C. (Ed.). Cheese and microbes. ASMpress. Washington, D.C. United State. 333 p.
- Madrid, V. 1999. Tecnología quesera. Camaras de almacenamiento y maduración. Ediciones Mundiprensa. 2ª ed.
- Mazzeo, M.; F. Díaz; L. Pérez; L. Agatón; L. León; A. Castaño; A. Jaramillo. 2009. Desarrollo de procesos productivos de quesos madurados en tres municipios del departamento de Caldas. *Revista Ingeniería e Investigación*. 29(3): 42-47.
- McSweeney, P.; P. Fox. 1997. Chemical methods for the characterization of proteolysis in cheese during ripening. *Le Lait, INRA*. 77(1): 41-76.
- McSweeney, P.; M. Sousa. 2000. Biochemical pathways for the production of flavor compound in cheese during ripening: a review. *Le Lait*, 80: 293-324.
- Mendez, A.; E. Ramirez. 2018. Elaboration of Gouda type cheese at experimental level. *Ventana Científica*. 9(15): 36-50.
- Molimard, P.; H. Spinaler. 1996. Review: Compound involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: origins and properties. *Journal of Dairy Science*. 86: 3102-3109.
- Mughetti, L.; F. Sinesio; G. Acuti; C. Antonini; E. Moneta; M. Preparation. 2012. Integration of extruded linseed into dairy sheep diets: Effects on milk composition and quality and sensorial properties of Pecorino cheese. *Animal Feed Science and Technology*. 178(2012):27-39.
- Muñoz, D.; J. Rosero; G. Cabrera. 2010. Rangos de control de humedad relativa y temperatura en cavas de maduración en quesos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. (1): Enero-Julio.
- Noomen, A. 1983. The role of surface flora in the softening of cheese with a low initial pH. *Netherland Milk and Dairy Journal*. 37: 229-232.
- Novikova, A.; I. Ciprovica. 2009. Effect of ripening conditions on Latvian semi-hard cheese quality. *Cheminé tecnologija* 3(52).
- Nicolau, M. 2012. Desarrollo del proceso para la fabricación del queso Camembert en la región de San José de Pinula, Guatemala. Tesis de grado. Universidad Galileo. Escuela de Ciencias de la salud. 69 p.
- Ordoñez, J. 1987. Aspectos microbiológicos y bioquímicos de la maduración del queso. *Industrias lácteas españolas*. 106(12): 48-51.
- Poveda, J. 2001. Efecto de la utilización de distintos cultivos iniciadores en la proteólisis del queso Manchego. Otros aspectos de la maduración. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Química Analítica y Tecnología de Alimentos. Ciudad Real. 290 p.

-
- Richlik, M.; O. Bosset. 2001. Flavour and off-flavour compounds of Swiss Gruyere cheese. Evaluation of Potent Odorants. *Int. Dairy J.*, 11: 895-901.
- Sanchez-Ponte, M. D. 2003. Maduración acelerada de queso con bacterias lácticas atenuadas térmicamente. En: *Revista Científica, FCV – LUZ*, 13(4): 299-306.
- Sanchez-Ponte, M. 2014. Estudio sobre los ácidos grasos libres en queso blanco venezolano. *Revista de la Facultad de Farmacia*, 46(2): 29-32.
- Sciancalepore, V. 1997. E queso Gouda: Modificación de la técnica tradicional de fabricación. Composición química. Nota Preliminar. *Agronomía Tropical*, 28(3): 283-290.
- Smit, G.; B. Smit, W. Engels. 2005. Flavour Formation by lactic acid bacteria and biochemical flavor profiling of cheese products. *FEMS Microbiology Reviews*, 29: 591-610.
- Sousa, M.; Y. Ardo; P. McSweeney. 2001. Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. *International Dairy Journal*, 11: 327-345.
- Tunick, M. 2014. *The science of cheese*. Oxford. University Press. New York. 273 p.
-