

Resumen

La AP es una técnica con mucho futuro como método para preservar los alimentos e incluso modificar la funcionalidad y mejorar sus propiedades reológicas y sensoriales. Lo más importante de este proceso es que permite la inactivación de microorganismos y enzimas con una máxima retención de vitaminas y de los componentes responsables del sabor, el color y el aroma, cosa que hace que el alimento sea de más calidad. También se tienen evidencias de que esta técnica es efectiva en la inactivación de células vegetativas, y en el caso de las esporas, induce la germinación de éstas con su posterior inactivación.

Existen estudios de aplicación de las altas presiones a quesos elaborados a partir de leche de cabra. Dentro de estos estudios se pueden encontrar, aquellos en los que la alta presión se aplica sobre los quesos, y aquellos en que la alta presión se aplica sobre la leche:

- a) Presurización de la leche, utilizando presiones de 500 MPa durante 15 minutos a 20°C, como sustituto al proceso de pasteurización.
- b) Presurización del queso antes de su etapa de madurado a 400 MPa durante 5 minutos a 14°C. El presente proyecto se ha centrado en esta última opción.

En los estudios realizados sobre presurización en los quesos se ha conseguido respecto a los quesos no presurizados:

- Reducir la carga microbiana.
- Acelerar el proceso de maduración y salado, consiguiendo por tanto, una reducción del tiempo necesario para ambas operaciones.
- Aumentar el porcentaje de agua en el queso.
- Aumentar el pH.

La integración de la alta presión en la elaboración de queso de cabra, genera unos ahorros en los costes de stock de producto acabado, y en la adquisición de materias primas. Pero por otra parte su implantación representa una inversión inicial elevada, así como unos gastos anuales de mantenimiento, superficie utilizada y consumo de electricidad y agua.



Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. INTRODUCCIÓN	7
2. TRATAMIENTO POR ALTAS PRESIONES	9
2.1.1. Definición del proceso.....	9
2.1.2. Campo de aplicación.....	9
2.2. Aplicación de las altas presiones con sistemas combinados.....	10
2.3. Tendencias actuales	10
3. EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES SOBRE LOS ALIMENTOS	13
3.1. Efecto sobre los microorganismos	13
3.1.1. Probables mecanismos de inactivación de células vegetativas.....	13
3.1.2. Factores que afectan a la destrucción de células vegetativas.....	14
3.1.3. Probables mecanismos de inactivación de esporas	18
3.1.4. Factores que afectan a la destrucción de esporas	19
3.1.5. Efecto de la presión sobre virus y parásitos	21
3.2. Efecto sobre los componentes de los alimentos.....	21
3.2.1. Efectos sobre el agua	21
3.2.2. Efecto sobre los lípidos.....	21
3.2.3. Efecto sobre los hidratos de carbono	22
3.2.4. Efecto sobre las proteínas	23
3.2.5. Efecto sobre los enzimas	24
3.2.6. Efecto sobre las vitaminas	26
3.2.7. Efecto sobre la calidad sensorial del alimento	27
4. EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES EN EL QUESO	29
4.1. Aplicación de la alta presión en quesos	30
4.2. Efecto de las altas presiones en la aceleración del proceso de madurado del queso de cabra	30
4.2.1. Maduración del queso elaborado con leche tratada por altas presiones.....	32



4.2.2.	Maduración del queso tratado por altas presiones antes de la maduración ...	33
4.3.	Efecto de las altas presiones en la reología del queso, su microestructura y características sensoriales.....	39
4.3.1.	Estudio de la reología, microestructura y características sensoriales en queso tratado por altas presiones antes de la maduración.....	41
4.4.	Efecto de las altas presiones en la inactivación de los microorganismos del queso.	44
4.4.1.	Inactivación de la carga microbiana del queso elaborado con leche tratada por altas presiones	45
4.4.2.	Inactivación de la carga microbiana en queso tratado por altas presiones antes de la maduración	46
4.5.	Otras ventajas de la utilización de altas presiones en quesos.....	46
5.	FABRICACIÓN DE QUESO _____	47
5.1.	El queso	47
5.1.1.	Clasificación de los quesos	47
5.2.	Mercado	48
5.3.	Elaboración.....	50
5.3.1.	Materias Primas.....	52
	Leche	52
	Fermentos.....	52
	Cloruro cálcico.....	53
	Cuajo	53
5.3.2.	Almacenamiento de la leche.....	53
5.3.3.	Pasterización	54
5.3.4.	Adición de los aditivos	55
5.3.5.	Coagulación mixta y corte de la cuajada.....	56
5.3.6.	Desuerado.....	57
5.3.7.	Moldeado.....	57
5.3.8.	Prensado.....	58
5.3.9.	Salado	58
5.3.10.	Presurización.....	59
5.3.11.	Maduración.....	60
5.3.12.	Almacenamiento	60



6. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA DE ALTA PRESIÓN	61
6.1. La cámara de alta presión.....	63
6.2. Sistemas de cierre de la cámara de alta presión con productos envasados	69
7. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS DE LA INSTALACIÓN	71
7.1. Coste de un a instalación de alta presión.....	71
7.2. Estudio económico de la inversión.....	72
7.2.1. Estudio de los beneficios obtenidos tras la instalación de la maquinaria de alta presión	76
7.2.2. Estudio de los gastos obtenidos tras la instalación de la maquinaria.....	81
7.2.3. Evaluación económica	83
CONCLUSIONES	85
AGRADECIMIENTOS	87
BIBLIOGRAFIA	89
Referències bibliogràfiques.....	89
Bibliografia complementària.....	90



1. Introducción

Los estudios realizados sobre la implantación de la tecnología de la Alta presión en los procesos de fabricación de queso hasta la fecha, han mostrado diferentes ventajas respecto a los procesos tradicionales.

Los estudios comparativos entre la fabricación de quesos a partir de leche presurizada o a partir de leche pasteurizada, han mostrado que ambos procesos llegan a la misma reducción de la carga microbiana. Esto nos llevaría a poder producir quesos con el sabor de los desarrollados a partir de leche cruda, pero con la garantía de seguridad de los quesos fabricados a partir de la leche pasterizada, ya que la presurización no es tan agresiva con los componentes responsables del sabor y el aroma de la leche, como lo puede ser la pasterización.

Por otra parte los estudios realizados con quesos presurizados antes de la etapa de maduración han mostrado una reducción importante en los tiempos necesarios para dicha operación y un aumento en el rendimiento. Ambas cosas nos llevan a un ahorro en los costes de producción de los quesos.



2. Tratamiento por altas presiones

El potencial de la alta presión (AP) para conservar alimentos se conoce desde finales del siglo XIX. Su utilidad en este campo fue señalada por el equipo de investigadores de Bert H.Hite, a partir de los estudios iniciados el año 1899 sobre los efectos de las altas presiones en la conservación de la leche, la carne y los zumos de frutas. Durante mucho tiempo, los problemas tecnológicos derivados de la manipulación a presiones elevadas supusieron un freno para el desarrollo de esta técnica, pero gracias a los avances en la utilización de técnicas de alta presión realizados por la industria cerámica y metalúrgica durante los años setenta y ochenta del siglo XX, se ha hecho posible tratar alimentos por este método a escala industrial.

2.1.1. Definición del proceso

Se entiende por alta presión la tecnología con que son tratados los materiales a presiones entre los 100 y 1.000 MPa. El medio más utilizado para transmitir la presión acostumbra a ser agua, es por esto, que el tratamiento de altas presiones también se denomina alta presión hidrostática (APH).

2.1.2. Campo de aplicación

Cuando un alimento es sometido a AP se observan principalmente los siguientes efectos, que se muestran en la tabla 2.1:

Presión (MPa)	Efectos
> 200 MPa	Influencia sobre la cinética enzimática Modificación de las propiedades físicas de las proteínas Alteración de la membrana de los microorganismos
> 300 MPa	Inactivación enzimática irreversible Muerte de los microorganismos
> 400 MPa	Gelificación de los almidones Desnaturalización de las proteínas
> 500 MPa	Muerte de las esporas bacterianas Inactivación de los enzimas

Tabla 2.1



2.2. Aplicación de las altas presiones con sistemas combinados

La aplicación de alta presión se puede realizar juntamente con otros tratamientos de forma combinada, tal es el caso de la irradiación, gases comprimidos, ultrasonidos, campos eléctricos pulsantes de alta intensidad de campo, bactericidas o aditivos. La combinación de estos tratamientos conjuntamente con la alta presión puede hacer más efectiva la inactivación de células vegetativas y esporas, y permitir el uso de presiones, temperaturas y tiempos de tratamiento más bajos.

También se puede realizar la aplicación de la alta presión en combinación con el tratamiento de escaldada de los alimentos, para obtener una mejora en los procesos de congelación y descongelación de alimentos, y el almacenamiento de productos.

2.3. Tendencias actuales

La AP es una técnica con mucho futuro como método para preservar los alimentos e incluso modificar la funcionalidad y mejorar sus propiedades reológicas y sensoriales. Lo más importante de este proceso es que permite la inactivación de microorganismos y enzimas con una máxima retención de vitaminas y de los componentes responsables del sabor, el color y el aroma, cosa que hace que el alimento sea de más calidad. También se tienen evidencias de que esta técnica es efectiva en la inactivación de células vegetativas, y en el caso de las esporas, induce la germinación de éstas con su posterior inactivación.

A pesar de todas las ventajas mencionadas, existen todavía aspectos de esta técnica que deben ser estudiados, como por ejemplo su efecto sobre algunas esporas que sobreviven a altas presiones, cosa que constituye un riesgo durante el almacenamiento de los alimentos procesados mediante esta tecnología. Por ello, es necesario seguir investigando para poder explicar la condición fisiológica latente que adoptan algunas esporas cuando se aplican bajas presiones, y así poder llegar a una eliminación completa de las mismas. Las investigaciones de la acción de AP sobre los enzimas también se tendrían que ampliar, atendiendo al comportamiento complejo que presentan cuando están sometidos a este tratamiento.

Por otra parte, para una total implantación de la tecnología de alta presión serían necesarias



también más investigaciones respecto a los cambios que se pueden presentar durante la vida útil de los alimentos tratados por AP, y de sus efectos sobre los nutrientes.

Por último, se ha de mencionar que aparte de todo lo mencionado, el problema principal que la tecnología de AP plantea es la inversión asociada a su implantación en la industria, cosa que repercute en un precio elevado de los productos en el mercado en comparación a los que son procesados por métodos tradicionales como el tratamiento térmico. Es poco probable que los consumidores estén dispuestos a pagar un precio más elevado por alimentos habituales que siguen un método de producción diferente, si no es porqué la calidad del producto sea substancialmente superior. Por este motivo, es posible que los esfuerzos en la investigación se dirijan hacia dos objetivos:

- a) Hacia el desarrollo de nuevos alimentos, aprovechando la capacidad de este proceso para producir cambios en la textura de los alimentos.
- b) Hacia la mejora de la maquinaria existente, con la finalidad de superar dificultades técnicas y abaratar costes. La adopción de la AP por parte de la industria alimentaria se verá muy favorecida cuando se desarrollen los equipos continuos.



3. Efecto de las altas presiones sobre los alimentos

3.1. Efecto sobre los microorganismos

Existen numerosos estudios relativos al efecto de la presión sobre la microestructura, el metabolismo y el mecanismo genético de los microorganismos. Sin embargo, las causas de la inactivación microbiana, cuya cinética es significativamente diferente a la del tratamiento térmico, todavía no se comprenden del todo.

En los siguientes apartados se estudiará el efecto de las altas presiones sobre células vegetativas, esporas, parásitos y virus, todos ellos presentes en los alimentos.

3.1.1. Probables mecanismos de inactivación de células vegetativas

Las altas presiones inducen cambios en la membrana y la pared celular del microorganismo, y en los enzimas responsables de su crecimiento y reproducción. Estos cambios son de tres tipos:

- 1.- Morfológico (alargamiento, aparición de poros en la membrana del núcleo....).
- 2.- Bioquímico (desnaturalización de proteínas y enzimas, con la consecuente inactivación de las moléculas clave para la supervivencia de los microorganismos).
- 3.- Genético (alteraciones en el ADN, y enzimas encargados de reparar problemas en ADN y ARN).

La mayoría de bacterias son capaces de crecer a presiones de hasta 20-30 MPa. Pero según su resistencia a las distintas presiones podemos distinguir las siguientes especies:

- Barófilos: microorganismos que son capaces de crecer a presiones tan altas como 40-50 MPa.
- Barofóbos: microorganismos que crecen difícilmente o no crecen a presiones superiores a 30-40 MPa.
- Eurobáricos: microorganismos que pueden crecer en el intervalo 0.1-50 MPa.



- Barbodúricos: microorganismos que sobreviven a presiones de 50-200 MPa, pero no pueden crecer.

3.1.2. Factores que afectan a la destrucción de células vegetativas

El alcance de la destrucción de las células vegetativas depende de varios factores, entre los cuales se encuentra la magnitud y duración de la presión, la especie microbiológica, la temperatura de procesado y el substrato. Estos factores se han de tener en cuenta a la hora de poder garantizar la seguridad microbiológica y la calidad del alimento (Ledward, D.A. citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).

Magnitud y duración de la presión.

En la destrucción de microorganismos, generalmente se ha encontrado que incrementando la presión, se incrementa el efecto letal sobre los microorganismos.

En cambio, un aumento en la duración del tratamiento de AP no incrementa necesariamente el efecto letal, ya que el tratamiento es más efectivo en los 20 primeros minutos de tratamiento, y una vez pasado este tiempo el efecto del tiempo cada vez es menor.

Presurización por ciclos.

La destrucción conseguida mediante tratamientos cíclicos es superior a la conseguida mediante un proceso continuo en una sola etapa. Este hecho se puede explicar como consecuencia del estrés causado, tanto en la membrana como en los órganos internos del microorganismo, para los repetidos procesos de presurización y despresurización que tienen lugar en los ciclos.

A todo lo anterior se une el hecho de que durante la presurización por ciclos los componentes del alimento pueden resultar menos alterados.

Los efectos causados por la alta presión serían los siguientes:

- Cambios en la permeabilidad, más concretamente, en el ámbito de osmosis.
- Cristalización de fosfolípidos.
- Desnaturalización de proteínas.



Variación de especies y sensibilidad a la presión.

En un primer lugar, si tenemos en cuenta el estado en el que se encuentran las células a la hora de ser expuestas a la presión, independientemente de la especie que se trate, las células en fase exponencial de crecimiento son más sensibles a la presión que las que se encuentran en fase estacionaria.

Por otra parte si hacemos una primera diferenciación entre los distintos tipos de especies que podemos encontrar, una clasificación general nos llevaría a distinguir entre las Gram negativas y las Gram positivas. Según esta clasificación, encontramos que las células Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas. Este fenómeno puede ser debido al hecho de que la estructura de la membrana celular de las bacterias Gram negativas es más compleja, cosa que las hace más susceptibles a los cambios inducidos por el tratamiento de AP (cheftel, J.C. citado por Merce Raventós Santamaría/2003).

Para una mayor especificación sobre los efectos de la alta presión sobre distintas especies, en la tabla 3.1 que se muestra a continuación se resume la información disponible en la inactivación de patógenos vegetativos sometidos a distintas condiciones de tratamiento.



Microorganismo	Substrato	Condiciones de tratamiento			Nivel de reducción	Comentarios
		Presión (MPa)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)		
Vibrio parahaemolyticus	Tampón fosfato (100 mM) + 3% NaCl (pH 7)	170	30	23	10 ⁶	D ¹ = 5,1 min
	Zumo de almejas enlatado	170	10	23	> 10 ⁵	D = 4,0 min
	Tampón fosfato (2mM) (pH 7)	300	20	20	> 10 ⁸	
	Tampón fosfato (2 mM) (pH7)	200	20	- 20	> 10 ⁸	
Yersinia enterocolitica	Cerdo	300	10	25	10 ⁶	Utilización de medio selectivo
	Tampón fosfato salino (10 M) (pH 7)	325	10	20	10 ⁶	
Campylobacter jejuni	Cerdo	300	10	25	10 ⁶	Utilización de medio selectivo
Salmonella typhimurium	Cerdo	300	10	25	10 ⁶	Ut. Medio selec. D = 7,4 min D = 7,63 min
	Tampón fosfato (63 mM) + 0,85% NaCl (pH 7)	340	10	23	< 10 ²	
	Alimento infantil de pollo	340	10	23	>10 ²	
Salmonella senftenberg 775W	Tampón fosfato salino (10 M) (pH 7)	378	8	20	10 ⁶	D = 4,2 min D = 7,13 min
	Tampón fosfato (63 mM) + 0,85% NaCl (pH 7)	340	10	23	10 ⁴	
Salmonella enteritidis	Alimento infantil de pollo	340	10	23	< 10 ³	D = 4,2 min D = 7,13 min
	Tampón fosfato salino (10 mM) (pH 7)	500	15	20	10 ⁶	
Salmonella bareilly	Tampón fosfato (2mM) (pH 7)	300	20	20	> 10 ⁸	
	Tampón fosfato (2mM) (pH 7)	200	20	-20	> 10 ⁸	
Escherichia coli 0157:H7	Tampón fosfato salino (10 m) (pH 7)	700	13	20	10 ⁶	Sin inactivación superior a la misma presión cuando se trató durante 30 min
	Leche UHT	800	10	20	< 10 ²	
Listeria monocytogenes	Carne de ave	700	10	20	10 ⁵	D = 2,9 min D = 13,2 min D = 9,3 min Utilización de medio selectivo
	Tampón fosfato salino (100 mM) (pH 7)	340	20	23	> 10 ⁶	
	Leche UHT	340	80	23	10 ⁶	
Staphylococcus aureus	Leche cruda	340	60	23	10 ⁶	Mismo resultado que tratamiento a - 20°C Utilización de medio selectivo
	Tampón fosfato salino (10 mM) (pH 7)	450	15	20	10 ⁵	
	Tampón fosfato salino (10 mM) (pH 7)	375	15	20	10 ⁴	
	Sérum albúmina de bovino	375	30	20	< 10 ²	
	Tampón fosfato (2 mM) (pH 7)	400	20	20	> 10 ⁸	
Staphylococcus aureus	Carne de cerdo trinchada	600	10	25	10 ⁶	Utilización de medio selectivo
	Carne de ave	600	30	20	10 ⁴	
	Leche UHT	600	30	20	10 ²	

¹Valor D = tiempo (min) para conseguir la reducción de una unidad logarítmica.

Tabla 3.1 (Ledward, D.A. citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).



Hay que tener en cuenta que estos resultados se obtuvieron utilizando una única cepa del organismo, se sabe que en la mayoría de microorganismos pueden existir variaciones considerables en la sensibilidad a la presión entre diferentes cepas.

Por ultimo, a parte de los microorganismos ya mencionados, en los alimentos también podemos encontrar otras especies como pueden ser los hongos y las levaduras. Para estos dos casos, tanto los hongos como las levaduras se presentan como microorganismos menos baroresistentes.

Efecto de la temperatura.

La temperatura aplicada durante la presurización puede tener un efecto muy significativo en la inactivación celular. Estudios realizados demuestran que las bacterias son más sensibles a la presurización entre 20 y 30°C pero que se vuelven extremadamente sensibles por encima de los 35°C a causa de los cambios de fase de los lípidos de membrana.

Efecto de la composición del medio.

Tanto la composición química del medio (lípidos, proteínas, aminoácidos,...), como el pH o la actividad de agua, pueden afectar significativamente la respuesta de los microorganismos a la presión.

En el caso de la composición química del medio, se cree que un medio enriquecido es más protector porque los aminoácidos esenciales y las vitaminas son accesibles en las células dañadas.

Si hacemos una distinción entre algunos de los componentes del medio químico, encontramos que determinados constituyentes del alimento, como proteínas o carbohidratos, pueden ejercer un efecto baroprotector en la inactivación microbiana. También los azúcares o las sales actúan como baroprotectores. Pero en cambio, según estudios realizados, parece que el contenido en lípidos del alimento no permite prevenir la inactivación microbiana, aunque cabe decir que los posibles efectos baroprotectores de los lípidos todavía no han sido determinados con precisión.

Independientemente del efecto que tienen algunos componentes por separado, se cree que la baroprotección que pueden ofrecer algunos alimentos no viene determinada por un componente específico, sino más bien por la inactivación de todos ellos (proteínas, grasa y



azúcares) formando una matriz compleja (Ponce, E. Citado por Merce Raventós Santamaría/2003).

En el caso de la influencia del pH del medio. Esta influencia se ve reflejada en el hecho de que en un substrato ácido las bacterias son más sensibles al tratamiento de AP. Un ejemplo claro de esta influencia es el caso de la *Listeria monocytogenes* que en medio de cultivo se inactiva en 14 minutos a 500 MPa a pH 7, en 2 minutos a pH 6 y en menos de 1 minuto a pH 5 y 4,5.

Por último, en lo referente a la actividad de agua, en todos los microorganismos estudiados se ha observado una eficacia menor del tratamiento con la disminución de la actividad de agua.

Efecto de la densidad de la población inicial.

En los experimentos que evalúan la resistencia al calor de los microorganismos hay que tener siempre en cuenta el efecto de la densidad de la población inicial en la medida del grado de destrucción conseguido, por causa de la agrupación de las células y la protección producida por el contacto célula a célula.

3.1.3. Probables mecanismos de inactivación de esporas

Una de las operaciones más difíciles en la conservación de alimentos es la inactivación de esporas de los microorganismos.

Las formas esporuladas son más resistentes a la presión que las células vegetativas, las cuales se inactivan a presiones moderadas, siendo las células vegetativas ya procedentes de esporas germinadas mucho más sensibles a la presión y/o calor. Esto es debido a que el efecto letal de la AP sobre las células vegetativas es provocado por la precipitación de proteínas, mientras que en las esporas la proteínas se encuentran protegidas por el ácido dipicolínico, que impide la solvatación, la ionización excesiva y precipitación consiguiente de las proteínas. Por esta razón, la aplicación de AP únicamente a veces puede no ser suficiente par inactivar estas esporas.

La inactivación de esporas de los microorganismos parece que actúa mediante dos fases:

- 1.- En una primera etapa a baja presión (del orden de 50-200 MPa) se consigue la germinación de la espora.

La germinación inducida por presión viene provocada probablemente por la ionización de



los constituyentes de la espora y se caracteriza por el hecho de no necesitar ninguna sustancia extraña para conseguir la germinación, produciéndose en un breve periodo de tiempo. Algunos de los factores que pueden influir modificando de manera sustancial el grado de germinación conseguido son:

- Tipo de microorganismo-espora y sus características fisiológicas y morfológicas.
- Presión, tiempo y temperatura utilizadas en el proceso de presurización.
- PH.
- Presencia de nutrientes en el medio.

Aún así, se encuentra una proporción significativa de esporas iniciales que pueden permanecer en una latencia extrema y que no germinan.

2.- En la segunda etapa, si la presión y/o la temperatura es suficientemente alta, se puede inactivar la espora germinada, ahora sensible a la presión.

3.1.4. Factores que afectan a la destrucción de esporas

Al igual que en el caso de las células vegetativas, el alcance de la destrucción de las esporas depende de varios factores, entre los cuales se encuentra el tipo de esporas presentes, la temperatura o la composición del medio.

Resistencia a la presión de diferentes tipos de esporas.

Existen diferencias marcadas en la resistencia a la AP entre las esporas bacterianas y las esporas de hongos y levaduras. Además, la resistencia al tratamiento es muy variable según la especie y la cepa tratada, como también el tipo de sustrato en qué se encuentre.

Atendiendo a sí las esporas son bacterianas, de hongos o de levaduras, encontramos que las esporas de hongos y levaduras se pueden inactivar fácilmente a presiones de 300 - 400 MPa a temperatura ambiente. En cambio las esporas bacterianas son las formas más resistentes al tratamiento por presiones ($P > 1.000$ MPa), de forma que la aplicación de presión es insuficiente para su inactivación y requieren tratamientos combinados de presión-temperatura (Cheftel, J.C. citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).



Influencia de la temperatura en la inactivación de esporas.

La tecnología de altas presiones es efectiva para reducir el recuento de esporas siempre que estén combinadas con temperatura. De hecho, no se pueden obtener inactivaciones significativas de algunas esporas bacterianas (como *Bacillus subtilis* o *Clostridium sporogenes*) aplicando únicamente presión (Cheftel, J.C. citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).

Un claro ejemplo de que ambos parámetros combinados son más efectivos es el hecho de que un pretratamiento térmico sensibiliza considerablemente las esporas bacterianas al tratamiento sucesivo con presión, como también que esporas sometidas a presión son más sensibles al tratamiento térmico posterior (Rovere, P. Citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).

Por último, hay que decir que temperatura y presión trabajan sinérgicamente sobre la inactivación, es decir, para obtener el mismo resultado, la disminución de uno de los dos parámetros requiere un aumento de la otra (Cheftel, J.C. citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).

Presurización por ciclos.

Un estudio realizado por Hayawaka (Mercé Raventós Santamaría/2003) sugiere que en la inactivación de esporas la presurización por ciclos y oscilando es más efectiva que la presurización continua.

Efecto de la composición del medio.

- Influencia de la actividad de agua (a_w).

Igual que sucede con las células vegetativas, los alimentos con baja actividad de agua requieren un aumento de las condiciones del tratamiento para poder inactivar las esporas.

- Influencia del pH.

Una disminución del pH del substrato aumenta el efecto inactivante de la presión sobre las esporas (Rovere, P. Citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).



3.1.5. Efecto de la presión sobre virus y parásitos

Son pocas las referencias bibliográficas que se pueden encontrar sobre el comportamiento de virus y parásitos sometidos a AP.

Algunos virus encapsulados son inactivados a 300 MPa y 25°C durante 10 minutos. A 400 MPa, el poder de inactivación de estos virus se reduce en 7 o 4 ciclos logarítmicos. La presión daña la cápsula viral y previene la adhesión de las partículas víricas a las células. Esto sugiere que el procesado por AP en muestras biológicas contaminadas por virus podría ser factible.

3.2. Efecto sobre los componentes de los alimentos

El comportamiento de los sistemas bioquímicos bajo presión se rige por el principio de Le Chatelier, que postula que cualquier fenómeno (cambio de fase, cambios en la configuración molecular, reacciones químicas) acompañado de una reducción de volumen se ve incrementada por la presión (y viceversa). Es decir, la presión favorece aquellos cambios que van acompañados de cambios de volumen negativos, que pueden aparecer por la formación de enlaces covalentes, por interacciones electrostáticas o hidrofóbicas, o por la formación de puentes de hidrógeno.

3.2.1. Efectos sobre el agua

Algunas de las propiedades del agua se ven modificadas cuando se lleva a cabo la presurización. Tal es el caso de la disociación iónica del agua (y de distintos ácidos débiles), que se ve aumentada por la presión, con un descenso correspondiente del pH que puede provocar la desnaturalización de proteínas y la inactivación microbiana en los alimentos.

3.2.2. Efecto sobre los lípidos

En el caso de los lípidos, la presurización puede provocar cambios en su temperatura de fusión, ya que la temperatura de fusión de los lípidos (triglicéridos) se incrementa, de forma reversible, en más de 10°C por cada 100 MPa.

Este aumento de la temperatura de fusión de los lípidos puede provocar que, aquellos que se encuentren en estado líquido a temperatura ambiente puedan cristalizar bajo presión y a su vez, se refuerce la formación de cristales más densos y estables (con menor nivel de energía a



más temperatura de fusión). Esta cristalización puede llevar a una inactivación de los microorganismos debido a los cambios en la estructura y permeabilidad de la membrana celular causados por la cristalización de los fosfolípidos.

Por otra parte, de una forma indirecta, el tratamiento de AP puede producir un aumento en la oxidación de los lípidos insaturados del alimento. Se cree que este aumento de la oxidación puede estar relacionado con la desnaturalización de las proteínas causada por presión, quedando libres iones metálicos que catalizan la oxidación lipídica (Mor-Mur citado por Mercé Raventos Santamaría/2003).

3.2.3. Efecto sobre los hidratos de carbono

La alta presión puede afectar tanto a los hidratos de carbono presentes en el alimento, como en las reacciones en las que están involucrados, tal es el caso de la reacción de Maillard.

En lo referente a los efectos sobre los hidratos de carbono presentes, a pesar de la escasa bibliografía existente sobre los efectos de la AP sobre hidratos de carbono, todos los autores coinciden en afirmar que los hidratos de carbono de bajo peso molecular (azúcares simples) no resultan afectados por este tratamiento.

En cambio, en el caso del almidón, se conoce que el tratamiento con presión modifica la estructura del grano de almidón y afecta a su susceptibilidad al ataque de la amilasa. Los cambios observados dependen de la cantidad de agua presente. El almidón se puede gelatinizar con AP o con calor(favoreciéndose al aumentar la temperatura de presurización), debido a que se produce una estabilización de puentes de hidrógeno, que mantienen el grano de almidón en su estado originario (Barbosa, G.V. Citado por Merce Raventos Santamaría/2003).

Por ultimo, como se ha comentado, la alta presión también afecta a las reacciones en las que se encuentran involucrados los hidratos de carbono. Tal es el caso de las reacciones de condensación de Maillard, que son inhibidas con la aplicación de AP en el rango de 50 -200 MPa. En consecuencia, el desarrollo del sabor y el color típicos de esta reacción no se produce. Este efecto, dependiendo del caso, puede ser una ventaja o un inconveniente de la aplicación de la presión en el procesado de alimentos (Sangronis, E. Citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).



3.2.4. Efecto sobre las proteínas

Generalmente, las proteínas primarias no son compactas, ya que tienen una organización espacial y un volumen determinados por la presencia de enlaces no covalentes entre los aminoácidos cercanos a la misma cadena (estructura secundaria), de interacciones entre aminoácidos no cercanos a la misma cadena (estructura terciaria) y de interacciones entre aminoácidos situados en cadenas diferentes (estructura cuaternaria). A esta estructura se oponen con diferente intensidad todas aquellas interacciones electrostáticas entre grupos de la misma cadena y la electrostricción inducida por el solvente.

Según lo descrito anteriormente, se puede decir que la estructura espacial y la funcionalidad de una proteína se puede considerar el resultado del equilibrio conseguido entre una gran serie de fuerzas interactuantes.

Por otra parte, si tenemos en cuenta el principio de Le Chatelier, la deformación de la estructura nativa de la proteína se puede producir, teóricamente, por efecto de la presión ya que los enlaces implicados en esta disposición tridimensional producen una variación de volumen positiva ($\Delta V > 0$) por el sistema, opuesto al efecto inducido por la presión. Es decir, la AP aplicada a un sistema en que se encuentre presente una proteína implica el desplazamiento del equilibrio entre la forma nativa de la proteína (N) (generalmente la más común en condiciones normales) y las formas denominadas unfolded (U), ya que este desplazamiento del equilibrio provoca una disminución de volumen favorecida por la alta presión (Le chatelier). Este proceso de desnaturalización dependerá también de la hidrofobicidad o la hidrofiliidad de las moléculas (Arroyo, G. citado por Mercé Raventós Santamaría/2003).

Según la presión ejercida, el proceso de deformación, ruptura y formación continua de nuevas interacciones condicionantes de la disposición espacial afecta de diferente manera a la estructura proteica dependiendo de si son de estructura cuaternaria, secundaria o terciaria:

- Cuaternaria: Son suficientes presiones moderadamente reducidas (hasta 200 MPa) para obtener modificaciones de la estructura.
- Terciaria: Son necesarias presiones más elevadas (cerca de 500 MPa) para obtener variaciones de la estructura.
- Secundaria: Son necesarias presiones superiores a 800 MPa para modificar la estructura .



De esta forma, los cambios producidos mediante el tratamiento bórico comportan un desequilibrio entre la estructura primaria y la estructura secundaria que, si todas las otras condiciones son iguales, viene determinado por la presión aplicada.

Una vez el sistema ha sido despresurizado, las proteínas tienden a reorganizarse en una estructura que ya no depende del efecto de la presión. La posibilidad de que la estructura en más grande concentración después del tratamiento de AP sea la misma que la inicial también está muy relacionada con el nivel de presión aplicada.

Si el tratamiento ha comportado la ruptura o la modificación de un número elevado de enlaces y, por tanto, ha afectado de forma importante a la estructura secundaria, en la descompresión la molécula proteica presentará un número mayor de posibles recombinaciones estructurales estables en condiciones normales.

Por último, también hay que decir que el proceso de formación de geles es la consecuencia macromolecular de la desnaturalización (a escala molecular) de la proteína (Ledward, D.A. citado por Mercé Raventos Santamaría/2003). La estructura nativa se ve transformada por la desnaturalización. Este estado desnaturalizado forma un gel o un precipitado según las condiciones químicas y físicas.

3.2.5. Efecto sobre los enzimas

Las altas presiones pueden modificar tanto la estructura de los enzimas (produciendo cambios de conformación como proteínas que son) y, por tanto influyendo sobre su actividad, pudiéndose clasificar de la siguiente manera (A. Maggi citado por Merce Raventos Santamaría/2003):

1. Activadas.
2. Inactivadas:
 - 2.1 Inactivadas completamente y de forma irreversible.
 - 2.2 Inactivadas completamente de forma reversible.
 - 2.3 Inactivadas de forma incompleta e irreversible.
 - 2.4 Inactivadas de forma incompleta y reversible.



Es importante decir que, tanto la activación como la inactivación de enzimas inducidas por presión son importantes en la calidad de los alimentos.

Para poder ver mejor la influencia de la presión sobre la actividad enzimática, sería interesante mostrar algunas de las modificaciones inducidas por la presión sobre un sistema en el que se produce una reacción enzimática (P.Rovere citado por Mercé Raventós Santamaría/2003):

Sustrato + enzima \rightarrow complejo enzima - sustrato \rightarrow enzima + productos

- Sobre el sustrato:

- La modificación estructural inducida por la presión sobre el sustrato produce una accesibilidad diferente a los enlaces implicados por la actividad del enzima, con la variación consecuente de la actividad y la selectividad de esta última (por ejemplo, la modificación de la actividad de algunas proteasas).
- La estabilización o la desestabilización de los enlaces modificados por el enzima y la variación consecuente de la actividad (por ejemplo, el incremento de la actividad de algunas proteasas).

- Sobre el enzima:

- Tratándose de una proteína, la presión, como ya se ha comentado anteriormente, puede modificar la estructura y variar las posibles interacciones con el sustrato y, por tanto, su afinidad.
- La variación en la actividad y la interacción con eventuales cofactores enzimáticos.

- Sobre el complejo enzima - sustrato:

- La estabilización o la desestabilización de los complejos activados enzima - sustrato según su ΔV específico y su diferente solvatación (por ejemplo, el incremento de la actividad de amilasa y invertasa injustificado por el ΔV positivo de la reacción).
- La acción sobre el complejo enzima - producto y, por tanto, sobre la disponibilidad del enzima libre.



- Sobre el producto:

- La modificación de la concentración de los productos de reacción con relación a la variación de volumen dada al sistema por su presencia, con el desplazamiento consiguiente del equilibrio de la reacción (por ejemplo, la actividad proteolítica de la termolisina implica un ΔV final negativo y un incremento de la actividad de 15 veces para un incremento de presión de 100 MPa).

Si consideramos individualmente estos factores, podemos suponer que desplazamiento del equilibrio de una reacción enzimática sometida a presión hacia el sustrato se consideraría inhibición de la activación enzimática, y hacia el producto se consideraría activación de la activación enzimática. Sin embargo, esta suposición es contraria a lo que después sucede experimentalmente. Por este motivo, es fundamental, en la determinación del efecto final, tener en cuenta la interacción de todos estos factores.

Además de los cambios de conformación, la activación de los enzimas se puede ver incrementada por la descompartimentación. En los tejidos intactos, generalmente los enzimas y el sustrato se encuentran separados por compartimentos, los cuales pueden ser destruidos por la aplicación de presión. Los daños producidos en las membranas por la presión y la liberación consiguiente de enzimas y sustrato producen el contacto entre estos dos. Al mismo tiempo, la reacción enzimática que resulta de este contacto se puede ver acelerada o desacelerada por la presión, dependiendo de la reacción catalizada por el enzima.

En lo referente a la presión de inactivación, parece que hay un mínimo de presión por debajo de la cual no se produce la inactivación del enzima o, si se produce, lo hace de forma muy débil. Cuando la presión excede este valor, la inactivación del enzima (para un intervalo de tiempo específico) incrementa, hasta que es inactivada completamente a una presión determinada. Este rango de inactivación por presión varía enormemente según el tipo de enzima, el pH, la composición del medio, la temperatura, la aplicación de ciclos, etc. Incluso en algunos equipos de presión específicas, se pueden llevar a cabo y controlar algunas reacciones enzimáticas y mejorar notablemente los rendimientos.

3.2.6. Efecto sobre las vitaminas

En general, se afirma que las vitaminas no son afectadas por el tratamiento de AP, aunque resulta difícil encontrar estudios que confirmen este dato.



Sierra realizó un trabajo (Mercé Raventós Santamaría/2003) sobre el efecto de la AP en el contenido de las vitaminas B₁ y B₆ en la leche de vaca. Estas dos vitaminas son frecuentemente degradadas por los medios convencionales de procesado de la leche. Por este motivo, es muy interesante examinar la estabilidad de estas vitaminas con la presión. Para conseguirlo se aplicó un tratamiento de 400 MP durante 30 minutos a temperatura ambiente. Los resultados mostraron que este tratamiento no produce variaciones significativas en el contenido de estas vitaminas (100% de retención). Se considera que el tratamiento de AP es más suave que el resto de métodos convencionales usados para alargar la vida útil de la leche.

3.2.7. Efecto sobre la calidad sensorial del alimento

Una de las ventajas más grandes de la aplicación de AP es que se consigue la retención de sabores, olores y colores, a diferencia de lo que sucede con los métodos térmicos.

Si, por una parte, la posibilidad de emplear las altas presiones como principal tratamiento estabilizante está relacionada con la destrucción parcial o total de la flora microbiana presente, por otra parte, está vinculada al bloqueo total o, como mínimo, a una reducción drástica de las actividades responsables del deterioro de las características organolépticas y nutricionales de los productos.

Pero esta inhibición del deterioro de los alimentos resulta más problemática de lo que en un principio se había pronosticado. Además, en algunos casos, tratamientos de altas presiones a baja temperatura producen el efecto contrario y favorecen o aceleran la actividad enzimática, generalmente inhibida por el calor, cosa que modifica las características organolépticas de los productos tratados.

La no - alteración del sabor del alimento puede ser causada por el hecho que la AP no ataca a los enlaces covalentes, los cuales son típicos del sabor, pero los enlaces no covalentes, como el de la estructura terciaria de las proteínas, se ven afectados notablemente. Los cambios sensoriales producidos en los alimentos procesados por altas presiones están básicamente asociados a modificaciones de la textura y esto también es ocasionado por cambios reológicos, que afectan a las propiedades funcionales del alimento.



4. Efecto de las altas presiones en el queso

Las investigaciones realizadas sobre los efectos de la AP en quesos han demostrado que esta tecnología puede tener un gran potencial en este campo. Algunas de las ventajas más importantes que ofrece esta técnica son:

- Alargar la vida útil del producto.
- Conseguir quesos con mejores características organolépticas.
- Reducir de forma considerable del tiempo de maduración.

Pero, a parte de estas ventajas, es interesante estudiar como se pueden disminuir los costes de producción con la aplicación de altas presiones en el proceso de fabricación de queso. Esto se puede lograr modificando alguna de sus operaciones para lograr reducir costes en ellas. Una de las operaciones sobre las que mediante el tratamiento se puede conseguir una disminución de los costes en el proceso de producción es la maduración, como ya se ha comentado.

Por otra parte, también es importante no modificar con este tipo de tratamientos las propiedades organolépticas de los productos, que son en definitiva las más valoradas por el consumidor. Desde este punto de vista también es importante el papel de la pasteurización de la leche para la producción de queso, ya que los quesos realizados a partir de leche cruda son más valorados en este campo.

Por todo lo comentado, las aplicaciones de la alta presión dentro de la industria alimentaria dedicada a la fabricación del queso que tienen más interés son:

1. Efecto de las altas presiones en la aceleración del proceso de madurado del queso.
2. Efecto de las altas presiones en la reología del queso, su microestructura y características sensoriales.
3. Efecto de las altas presiones en la inactivación de los microorganismos del queso.



Estos efectos sobre el queso han sido estudiados para la obtención de quesos de cabra. En los siguientes apartados se explicarán detenidamente las conclusiones que se han sacado de los distintos estudios realizados en este tipo de queso, tanto sus ventajas y sus desventajas para su implantación en los procesos de fabricación de queso de cabra.

4.1. Aplicación de la alta presión en quesos

Las investigaciones realizadas sobre los efectos de la alta presión en quesos se han realizado aplicando dicha técnica:

- a) En la leche cruda, como sustituto de la pasteurización.
- b) En el queso, como una operación más en el proceso de fabricación del queso, que puede tener lugar justo antes de la maduración o durante ésta.

4.2. Efecto de las altas presiones en la aceleración del proceso de madurado del queso de cabra

Los dos aspectos importantes a tener en cuenta en el proceso de madurado es:

1. El efecto de las altas presiones sobre las características organolépticas del queso, ya que, los componentes responsables del sabor y textura se desarrollan durante esta etapa.
2. La aceleración de la etapa de maduración en la producción de queso, que es un área de interés tanto científico como comercial. Esto es debido a que una aceleración de este proceso permite:
 - Reducción del espacio de la planta de producción dedicado al almacenamiento en esta etapa.
 - Reducción de tiempo dedicado al madurado de quesos.
 - Disminución de las mermas producidas por el almacenamiento de los quesos durante el madurado.

Como consecuencia de estas ventajas en el madurado, se obtiene una reducción de



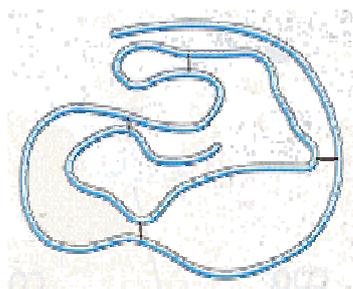
costes en esta etapa del proceso. Pero todas estas cuestiones se tratarán en el apartado destinado a la evaluación económica de la implantación de las altas presiones en el proceso de producción de queso de cabra.

Para la realización del estudio de la influencia de la técnica de alta presión en la etapa de maduración, es necesario el estudio de la proteólisis del queso.

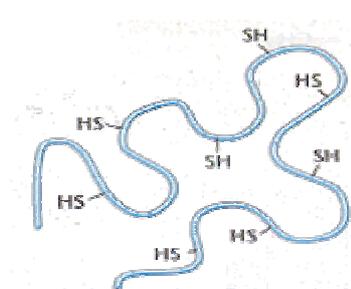
Proteólisis

La proteólisis es el proceso más complejo e importante que ocurre durante la maduración del queso.

Durante la maduración, la paracaseína comienza a degradarse, dando en primer lugar albumosas, a continuación se degrada a péptidos y finalmente a aminoácidos:



Desnaturalización



Esto da lugar a que en la maduración se observe un aumento del contenido en aminoácidos y de productos intermedios más complejos. Por otro lado, a la vez que se producen aminoácidos también tiene lugar un proceso de desaminación, por el que los aminoácidos se transforman en ácidos y amoníaco. También se producen descarboxilaciones dando origen a la aparición de anhídrido carbónico, entre otros productos.

En resumen, se podría decir que este proceso consiste en la rotura de las cadenas de proteína. Esta rotura de las cadenas de proteína tiene dos consecuencias importantes para la elaboración del queso:

1. Producción de aminoácidos. La cantidad de aminoácidos en el queso durante la etapa de madurado es un indicador del grado de maduración en el que se encuentra el queso. Es decir, cuantos más aminoácidos haya presentes, más maduro se encontrará el queso.
2. Acumulación excesiva de péptidos hidrofóbicos. La proteólisis es la transformación



principal y la que produce los cambios más importantes de textura y gusto en el queso. Por este motivo, si la proteólisis no se realiza de forma equilibrada, se puede producir una acumulación excesiva de péptidos hidrofóbicos, que imparten al queso un sabor amargo.

Una descripción del proceso de proteólisis, sería la transformación del paracaseinato cálcico en sustancias de peso molecular más pequeño. La secuencia de transformación es la siguiente:

Proteína → Péptidos grandes → Péptidos pequeños → aminoácidos → amoníaco

Los principales enzimas responsables son las proteínas de la leche y los enzimas coagulantes.

4.2.1. Maduración del queso elaborado con leche tratada por altas presiones

Los quesos elaborados a partir de leche cruda tienden a desarrollar sabores y aromas más fuertes y a madurar más rápidamente que los quesos elaborados con leche pasteurizada. Pero a pesar de estas ventajas, la mayoría de los quesos se elaboran a partir de leche pasteurizada para eliminar los microorganismos patógenos.

Si comparamos los efectos que tiene la pasteurización de leche cruda sobre la elaboración de queso, con los efectos que tiene la presurización de la leche para la elaboración del queso obtenemos que:

1. La pasteurización (72 °C, 15 s) antes de la elaboración del queso tiene influencia tanto en el alcance como en las características de la proteólisis durante la maduración, ya que produce una ligera desnaturalización de las proteínas del sérum y su interacción con las caseínas puede llegar a inactivar las proteasas nativas de la leche y algunas bacterias acidolácticas que afectan a la proteólisis.
2. El tratamiento con altas presiones induce muchos cambios en la leche que son de interés para la elaboración de quesos. Como consecuencia de la ruptura de las micelas debido a la presión, los constituyentes minerales y proteicos de las caseínas se solubilizan en el sérum. Además, el tratamiento de la leche a presiones superiores a 100 MPa incrementa progresivamente la desnaturalización de las proteínas del sérum, especialmente la β -lactoglobulina. Las modificaciones en el balance proteico y mineral entre la micela y el sérum debidas a la alta presión alteran las propiedades de coagulación de la leche, el drenaje de la cuajada y el rendimiento quesero.



Existen estudios realizados con quesos obtenidos a partir de leche presurizada a 500 MPa, durante 15 minutos a 20°C (Martín N. Bufo/1999). Estos estudios consistieron en la comparación de quesos obtenidos a partir de leche cruda, leche pasteurizada y leche presurizada. En ellos se observó:

1. Proteólisis más acentuada en los quesos elaborados con leche presurizada, que en quesos realizados con leche cruda y con leche pasteurizada. Este fenómeno podría ser únicamente atribuido a las alteraciones fisicoquímicas de la leche producidas por el tratamiento de altas presiones.
2. Valores mayores de humedad y sal en los quesos elaborados con leche presurizada, respecto a los obtenidos en quesos de leche cruda o pasteurizada. Estos valores son el resultado de las alteraciones fisicoquímicas producidas en la leche. Estos cambios en la humedad y sal podrían afectar a las actividades proteolíticas endógenas de la leche.

4.2.2. Maduración del queso tratado por altas presiones antes de la maduración

Los estudios sobre el efecto de las altas presiones en la /maduración del queso de cabra (J.Saldo, P.L.H. Mcsweeney, E.Sendra, A.L.Kelly, B.Guamis/2002) se realizaron comparando tres muestras:

- Muestra 1: Sometida a 50 MPa durante 72 horas, a una temperatura de 14°C.
- Muestra 2: Sometida a 400 MPa durante 5 minutos, a una temperatura de 14°C.
- Muestra control: sometida a 0,1 MPa, a una temperatura de 14°C.

Para evaluar y poder comparar las distintas muestras se realizaron análisis a lo largo del proceso de maduración, los días 1, 4, 14 y 28.

De entre los análisis realizados son interesantes para ver el efecto de la alta presión en la etapa de maduración, el estudio de la composición de las muestras (humedad, pH, contenido en sal) y de los productos obtenidos de la proteólisis.

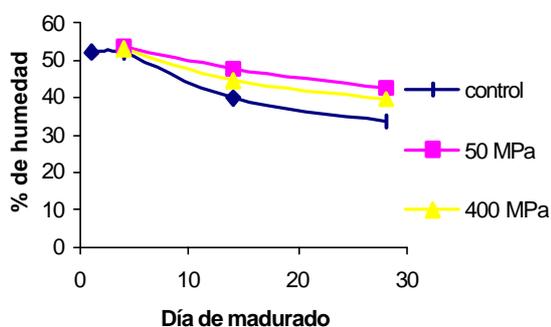
1. Respecto a los datos obtenidos de la composición de las distintas muestras, se obtuvo:
 - a) Respecto a la humedad se observaron los siguientes valores, que se muestran en la



tabla y en la gráfica siguientes:

Día de madurado	Control	50 MPa	400 MPa
1	52,3	---	---
4	52,0	53,7	53,2
14	39,9	47,8	44,7
28	33,6	42,7	39,7

Tabla 4.1



Gráfica 4.1

Como se puede observar en el gráfico, en los tres casos, el porcentaje de humedad disminuye a lo largo de la etapa de madurado. Pero en el análisis realizado el día 4, el contenido de agua (humedad) en los quesos tratados con altas presiones era superior al de la muestra control, y estas diferencias en el contenido de agua en las muestras aumentó a lo largo de la maduración. Quedando finalmente, como se muestra en el análisis realizado el día 28, un contenido en agua del queso control de 33,6 %, mientras que en la muestra tratada a 400 MPa el contenido es de 39,7%.

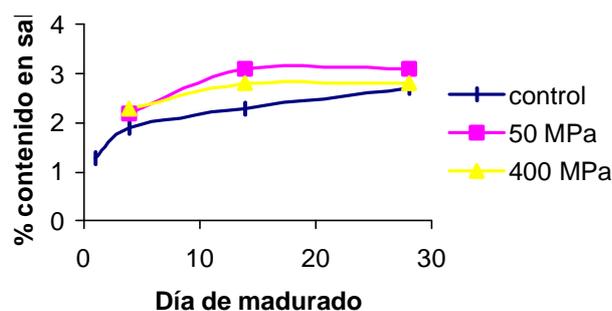
A partir de los resultados obtenidos se puede decir que los quesos tratados tienen una elevada habilidad para retener agua. Esto provoca un aumento en el rendimiento en la producción de quesos del 6%, que se pueden traducir en un aumento de las ganancias. Pero también hay que tener en cuenta que el porcentaje de agua en los alimentos está limitado por ley. Pero este aumento en el contenido de agua de los quesos también se puede traducir en una nueva textura de los quesos, que puede ser más atractiva para el consumidor.



- b) Respecto al porcentaje en contenido de sal se observó los siguientes valores, que se muestran en la tabla y en la gráfica siguientes:

Día de madurado	Control	50 MPa	400 MPa
1	1,3	---	---
4	1,9	2,2	2,3
14	2,3	3,1	2,8
28	2,7	3,1	2,8

Tabla 4.2



Gráfica 4.2

Como se puede observar en la gráfica, los valores de contenido en sal, tienden en los tres casos a un valor aproximado de 2,8%. Según lo anterior, los datos obtenidos del porcentaje de sal en las muestras revela que en los quesos tratados por altas presiones la difusión de la sal en el queso se produce de una forma más rápida que en el queso control. Mientras que en el queso tratado a altas presiones, el contenido de sal es constante a partir del día 14, (2,8), en el queso control el contenido de sal no llega a este porcentaje hasta el día 28 de madurado.

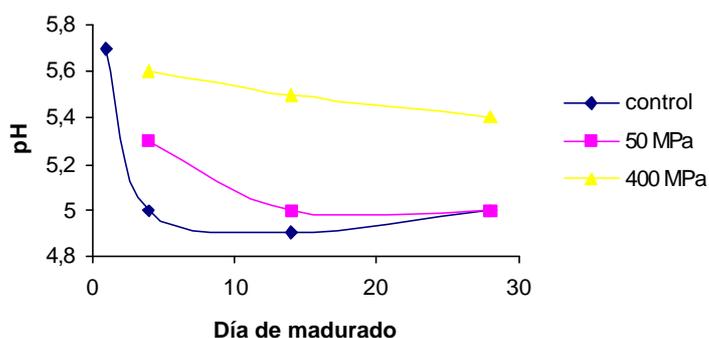
A partir de estos resultados se puede suponer que el tiempo de salado puede ser también acelerado mediante esta técnica, por ello también existen estudios realizados para saber el efecto de esta técnica en el acelerado de la etapa de salado en la producción de queso. Pero estos estudios no han tenido mucho éxito.



c) Respecto al pH medido se observaron los siguientes valores, que se muestran en la tabla y en la gráfica siguientes:

Día de madurado	Control	50 MPa	400 MPa
1	5,7	---	---
4	5,0	5,3	5,6
14	4,9	5,0	5,5
28	5,0	5,0	5,4

Tabla 4.3



Gráfica 4.3

Como se puede observar en la gráfica, se produce un descenso del pH en los tres casos, pareciendo que en el caso de los quesos control y el tratado a 50 MPa, ambos valores tienen a ser el mismo 5,0. Sin embargo, en el caso de los quesos tratados a 400 MPa (5,4) el valor de pH obtenido es superior al del queso control (5).

El incremento del pH tratado a 400 MPa fue irreversible y se mantuvo durante todo el proceso de maduración. Estudios realizados sobre el incremento del pH en quesos tras ser tratados por altas presiones explican que estos incrementos instantáneos de pH dependen del tipo de queso y del tipo de tratamiento de alta presión aplicado, y se encuentra entre 0,1 y 0,5 unidades de pH, como ocurre en este caso, posiblemente debido a la reducción de la actividad de acidificar de la bacteria del ácido láctico tras el



tratamiento de alta presión.

Como conclusión al estudio realizado acerca de la composición de los quesos de cabra tratados por altas presiones a 400 MPa, se puede decir que este tratamiento se traduce:

- a) Una distribución uniforme del contenido de sal en el queso más rápida.
 - b) Un elevado contenido en humedad.
 - c) Un incremento del pH, que contribuirán, junto con el elevado contenido de humedad, a favorecer la aceleración de la maduración del queso.
2. Respecto al análisis de los productos de la proteólisis, este tipo de análisis es el que más nos ayuda a ver el efecto de las altas presiones en la aceleración de la maduración de los quesos.

Un estudio de la proteólisis del queso que consiste en la realización de las siguientes determinaciones (Martín, N.Bufa/1999):

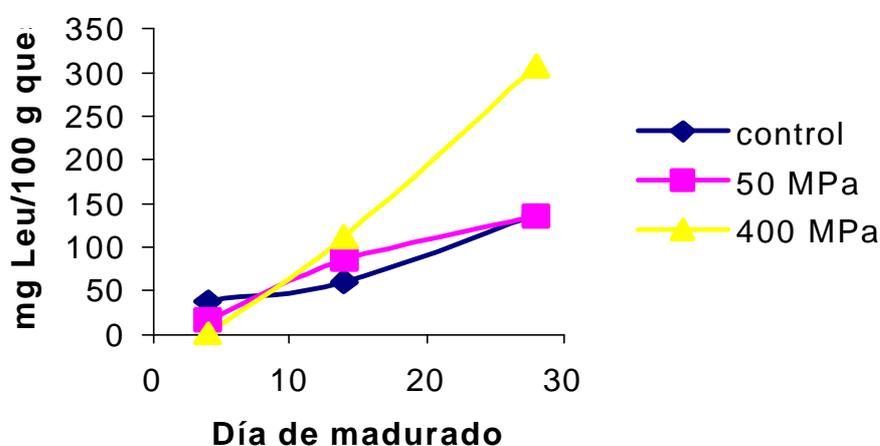
- Nitrógeno soluble a pH 4,6 (NS): se realiza la extracción del nitrógeno soluble en agua siguiendo el método de Kuchroo y Fox (1982), ajustando posteriormente el pH a 4,6 con un tampón acético - acetato. Finalmente se cuantifica por el método Kjeldhal.
- Nitrógeno soluble en ácido tricloroacético al 12% (NNP): se realiza la determinación a partir de la fracción soluble en agua por adición de ácido tricloroacético al 12%. Finalmente se cuantifica por el método Kjeldhal.
- Aminoácidos libres totales (FAA): se realiza la determinación en la fracción soluble en agua por un método espectrofotométrico, mediante el uso de cadmio - nihidrina (Folketsma y Fox, 1992 citado por Martín, N.Bufa/1999).

De estas determinaciones nos centramos en el análisis de los aminoácidos libres totales que se obtuvieron durante la maduración del queso, porque son una indicación del estado de madurado del queso, cuantos más aminoácidos presentes más maduro se encuentra el queso. Se obtuvieron los valores que se muestran en la tabla y gráfica siguientes:



Día de madurado	Control	50 MPa	400 MPa
4	38,1	16,2	0,8
14	60,0	85,4	110,9
28	136,1	135,2	307,2

Tabla 4.4



Gráfica 4.4. (Leu = leucina, aminoácido esencial de la leche y el queso)

Como se puede observar en la gráfica, el efecto más importante de la aceleración de la maduración que se obtuvo de los quesos tratados en los productos de proteólisis se observó en el análisis del total de aminoácidos libres en las muestras. Dichos análisis revelaron que en el queso tratado a 400 MPa se produjo un incremento lento al principio del madurado respecto al queso control. Pero a partir del día 14 de madurado en el queso tratado a 400 MPa se encontró una cantidad de aminoácidos libres de 110,9 mg Leu/100 g queso, y esta cantidad aumentó al final de la maduración obteniéndose el día 28 de madurado 307,2 mg Leu/100 g de queso. Estas cantidades son prácticamente el doble a las obtenidas en el queso control, 60,2 mg Leu/100 g queso el día 14 y 136,1 mg Leu/100 g de queso el día 28 de madurado.

Como la cantidad de aminoácidos libres en el queso es un indicador del grado de



maduración del queso, según los resultados obtenidos en este estudio, el tiempo de maduración de los quesos tratados a 400 MPa se ha reducido prácticamente en un 50% el día 14 de madurado, y en más del 50% el día 28 de madurado.

Estas diferencias en el comportamiento del queso tratado a 400 MPa, se manifiestan en el alto índice de hidrofobicidad del queso tratado respecto al queso control. La elevada cantidad de Péptidos hidrofóbicos de alto peso molecular encontrada en el queso tratado a 400 MPa se traduce en un sabor amargo en el queso, como ya se ha comentado anteriormente, pero este efecto se estudiará en el siguiente apartado más detenidamente a través de estudios realizados al respecto.

4.3. Efecto de las altas presiones en la reología del queso, su microestructura y características sensoriales.

Como se ha comentado en el apartado dedicado al efecto de las altas presiones en la aceleración de la etapa de madurado del queso, un efecto derivado de dicha aceleración es la aparición de productos que pueden dar un sabor más amargo al queso.

Para poder concretar un poco más el efecto que este tratamiento tiene las características organolépticas del queso se han realizado estudios mediante la exposición de queso de cabra (Jordi Saldo, Avelina Fernández, Esther Sendra, Peter Butz, Bernhard Tauscher, Buenaventura Guamis/2003), al igual que en el apartado anterior a 400 MPa, durante 5 minutos, y a una temperatura de 14°C. Las medidas respectivas para este estudio se realizar el día 21 y el día 60 de madurado.

Como se ha comentado en el apartado anterior el madurado del queso se ve determinado por la porteólisis, pero el proceso de lipólisis y glucilisis también se ven modificados por este tipo de tratamientos. Estos dos últimos procesos son de gran importancia para el sabor y la textura del queso, y son estas propiedades, junto con el aroma las más apreciadas por los consumidores. De aquí la importancia de realizar un estudio acerca de cómo un tratamiento para la aceleración del madurado afecta a los distintos procesos involucrados en la obtención final del sabor, textura y aroma del queso.

Por otra parte, tanto las características del aroma como del sabor queso se atribuyen a una compleja combinación de componentes aromáticos, volátiles y no volátiles, que están



relacionados con la lipólisis.

Lipólisis

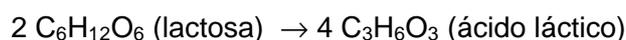
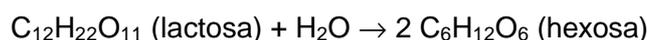
La lipólisis es la transformación de la grasa de la leche, debida a la hidrólisis de los triglicéridos en ácidos grasos y glicerol, monoglicéridos y diglicéridos. La grasa de la leche contiene altas concentraciones de ácidos grasos de cadena corta que contribuyen directamente en el gusto y el aroma de los quesos. A partir de los ácidos grasos, se forman otros compuestos más pequeños como aldehidos, cetonas y metil cetonas responsables del gusto y el aroma.

La extensión de la lipólisis es muy variable y está en función del tipo de quesos. Los principales enzimas responsables son la lipasa de la leche y las lipasas microbinas.

Glucólisis

La glucólisis consiste en la transformación de la lactosa en ácido láctico por las bacterias lácticas presentes en el queso, ya sean del cultivo iniciador o bacterias presentes en la leche.

La leche que se destina a la elaboración de queso sufre una preparación previa mediante la adición de fermentos, como ya se ha explicado anteriormente, provocando la fermentación de la lactosa y generando finalmente ácido láctico (aunque también pueden producirse compuestos secundarios):



Esta transformación en ácido láctico se ha producido durante la formación de la cuajada, el moldeo y el prensado. En el momento de iniciarse la maduración la cantidad de ácido láctico en el queso es ya considerable y en los primeros siete días de maduración acaba de fermentar toda su lactosa.

Por otra parte el ácido láctico formado reacciona con la paracaseína formada durante la coagulación, de forma que ésta última cede el calcio transformándose en paracaseinato libre de calcio, y forman dos compuestos, el monolactato y el bilactato de paracaseína, ambos capaces de ligar y retener agua. Esta capacidad que adquieren estos dos compuestos influye decisivamente en la consistencia del queso.



4.3.1. Estudio de la reología, microestructura y características sensoriales en queso tratado por altas presiones antes de la maduración

El estudio realizado se basó en el análisis del contenido de la muestra tratada a 400 MPa en los siguientes volátiles:

1. Ácidos grasos libres, esenciales en el aroma y el sabor de los quesos. Las diferencias en los ratios de ácidos grasos son las responsables de las distintas características de aroma y sabor de las distintas variedades de queso.
2. Metil cetonas, que se producen a partir de los ácidos grasos libres. Existen distintas metil-cetonas que son responsables del sabor de los quesos, heptan-2-ona da el sabor al queso azul, Nonan-2-ona tiene sabor frutal y floral, o undecan-2-ona que da un sabor asociado a los cítricos o rosas.
3. Lactonas, producidas también a partir de los ácidos grasos. Las lactonas son conocidas por contribuir a dar un carácter mantecoso al queso.
4. Esteres, la reacción de los ácidos grasos libres con alcoholes produce esterres con sabores frutales.
5. Aldehidos, producto de β -oxidación de ácidos grasos insaturados normalmente asociado a aromas herbáceos.
6. Alcohol, producto de la reducción de las metil-cetonas por la acción de reductores.

De todos los análisis realizados, se obtuvieron resultados sobre los componentes volátiles en los quesos, que se muestran en la siguiente tabla:



	Queso control		Queso presurizado a 400 MPa	
	Día 21 de madurado	Día 60 de madurado	Día 21 de madurado	Día 60 de madurado
Ácidos grasos:				
- Ácido butanoico	2505	2142	1453	428
- Ácido hexanoico	18,138	15,151	10,21	6554
- Ácido octanoico	18,943	17,686	11,395	9926
- Ácido decanoico	27,160	18,78	17,26	14,103
- Ácido dodecanoico	45,36	2373	2233	24,26
- Ácido tetradecanoico	781	318	274	613
Metil-cetonas:				
- Heptan-2-ona	1686	1875	1815	2297
- Nonan-2-ona	2307	1107	2243	3055
- Undecan-2-ona	598	594	665	721
- Tridecan-2-ona	930	857	858	905
- Pentadecan-2-ona	873	752	820	751
Lactonas:				
- γ -Dodecalactona	535	377	350	345
- δ -Dodecalactona	348	261	231	276
- δ -Tetradecalactona	108	99	70	69
Aldehídos:				
- Tetradecanal	88	70	75	75
- Hexadecanal	1379	1132	1084	1154

Tabla 4.5 (thousands of MS units)

Como se puede observar en la tabla:

1. Ácidos grasos:

- Si nos fijamos en la evolución de los ácidos grasos durante la maduración, y comparamos la evolución de éstos en el queso control con su evolución en el queso presurizado vemos que todos siguen una evolución contraria (si aumenta en el queso control, el mismo ácido en el queso presurizado aumenta) . Excepto en el caso del ácido decanoico, que en ambos quesos sufre una disminución.
- Si nos fijamos en los porcentajes finales que quedan de cada uno de los ácidos grasos al final de la maduración (día 60), se puede observar, que el que es mayoritario en uno, no lo es en el otro. Es decir, la proporción de cada uno es distinta en ambos quesos, excepto, en el caso del ácido tetradecanoico, que ocuparía en ambos casos el tercer puesto como mayoritario.
- Por último, si nos fijamos en la cantidad final que hay de cada uno, vemos que



ninguna cantidad es parecida, excepto en el caso del ácido decanoico.

2. Metil-cetonas:

- Si nos fijamos en la evolución de las metil-cetonas durante la maduración, y comparamos la evolución de éstas en el queso control con su evolución en el queso presurizado vemos que las únicas que siguen la misma evolución en ambos tipos de queso son Heptan-2-ona y Pentadecan-2-ona. En el resto, la evolución seguida en uno u otro queso es contraria.
- Si nos fijamos en los porcentajes finales que quedan de cada una de las metil-cetonas al final de la maduración (día 60), ordenándolas de mayoritaria a minoritaria, se puede observar, que el orden correlativo es el mismo en ambos casos.
- Por último, si nos fijamos en la cantidad final que hay de cada una, vemos que las cantidades que hay en un queso y otro son del mismo orden, aunque no son idénticas las cantidades.

3. Lactonas: la composición de ambos quesos respecto a las lactonas se puede decir que es bastante similar, si bien, las cantidades que hay de cada una en cada queso no son idénticas.

4. Aldehídos: al igual que en el caso de las lactonas, la composición y cantidad de cada aldehído tanto en el caso control como en el queso presurizado son similares, pero no idénticas.

De estos estudios se deriva como conclusión, que no se detectaron nuevos productos como consecuencia del tratamiento de altas presiones, y que las diferencias que se observaron en las fracciones de volátiles de los quesos tratados se consideraron escasas y sólo en los quesos de más de 60 días de maduración. De forma que se podría decir que la calidad sustancial de los quesos tratados y no tratados es equivalente, y el tratamiento por presiones puede considerarse una tecnología segura que no genera componentes extraños en el queso.

Aunque, los cambios en la intensidad del proceso de lipólisis pueden llevar a defectos en el sabor del queso, estos cambios no se detectaron en el caso particular del queso sobre el que se hizo el estudio (queso Garrotxa).



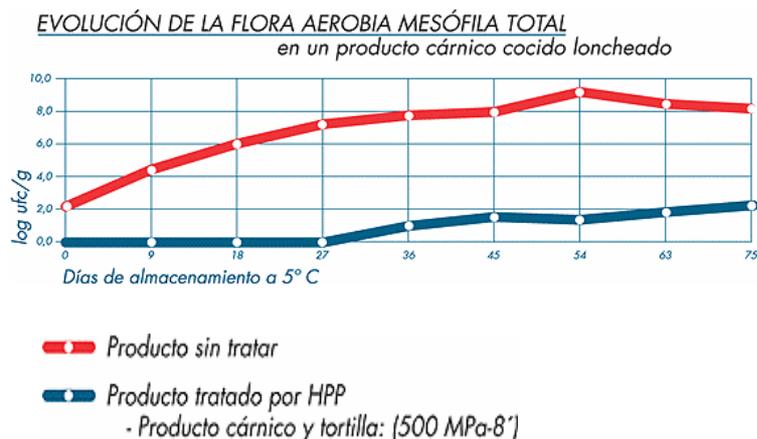
Por todo esto se puede decir que el tratamiento a 400 MPa se puede utilizar para la aceleración del proceso de madurado, aunque aumente la lipólisis, ya que, aunque este proceso puede causar sabores rancios, este efecto es de muy poca intensidad. En cambio, los ácidos grasos asociados con el típico sabor de los quesos de cabra también se encontraron en los quesos tratados por altas presiones, es decir, no se vio modificado el sabor característico de este tipo de quesos por el tratamiento de altas presiones. Pero los quesos tratados por altas presiones son diferentes de los quesos del mismo tipo pero que no han sido tratados, ya que el porcentaje de los ácidos grasos al final de la maduración fue diferente, pudiéndose obtener una nueva variedad de estos quesos.

4.4. Efecto de las altas presiones en la inactivación de los microorganismos del queso.

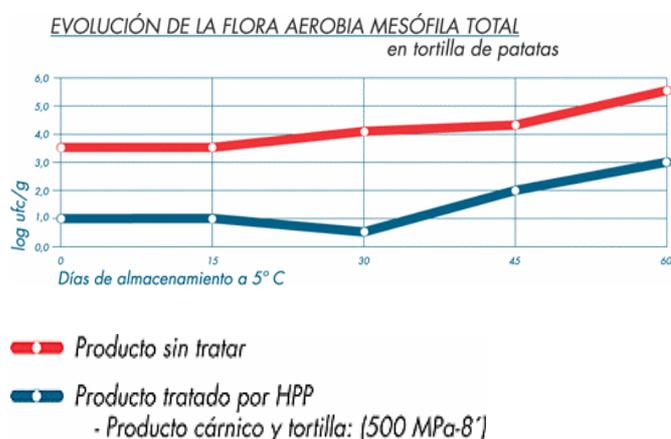
El tratamiento de altas presiones está creando un interés creciente como alternativa a los métodos actuales de conservación de los alimentos, porque permite la inactivación de microorganismos a una moderada temperatura, de forma que se puede alargar la conservación de los alimentos, conservando a su vez durante más tiempo, las características del alimento en el proceso de almacenado, y después de su comercialización. Tal es el caso por ejemplo del mató (queso fresco de leche de cabra), para el cual existen estudios que han demostrado que su conservación se alarga de 1 a más de 8 semanas en condiciones de refrigeración (Marta Capellas Puig/1998). Pero, además, esta inactivación de los microorganismos se consigue sin alterar la calidad sensorial del alimento.

También existen ejemplos de otros productos envasados como puede ser un producto cárnico cocido o una tortilla de patatas. Para ambos alimentos existen gráficas (gráfica 4.5, gráfica 4.6) de la evolución de la flora aerobia mesófila total (indicador de la presencia de microorganismos patógenos en el alimento) en un producto tratado y en un mismo producto sin tratar por presurización.





Gráfica 4.5



Gráfica 4.6

La resistencia de los microorganismos a la alta presión es muy variable, como ya se ha comentado en apartados anteriores.

4.4.1. Incactivación de la carga microbiana del queso elaborado con leche tratada por altas presiones

El tratamiento con presiones de 400 MPa puede producir leche cruda con una vida útil similar a la de la leche pasteurizada. La capacidad del tratamiento de altas presiones para reducir la población microbiana de la leche, sin efectos negativos, podría favorecer la producción de quesos con leche cruda.

Por otra parte, también existen estudios (Martín, N.Bufa/1999) que indican que un tratamiento por altas presiones a 500 MPa durante 15 minutos y a una temperatura de 20°C reduce la



microbiota natural de la leche cruda de cabra con una eficacia similar a un tratamiento convencional de pasteurización (72°C) durante 15 segundos.

4.4.2. Inactivación de la carga microbiana en queso tratado por altas presiones antes de la maduración

Estudios realizados en queso de oveja (Bibiana Juan Godoy) tratada a 400 MPa durante 10 minutos a una temperatura de 12°C demostraron que los tratamientos de alta presión provocan una disminución de la carga microbiana de los quesos claramente visible a partir de 400 MPa.

4.5. Otras ventajas de la utilización de altas presiones en quesos

Algunos de los cambios originados por la presión en los alimentos son similares a los producidos por el calor; en cambio, otros son significativamente diferentes.

En el caso de la transferencia de calor, se producen diferencias entre el interior y el exterior en los alimentos sólidos o entre la capa en contacto con la fuente de calor y el resto de la masa en los líquidos, a causa de la necesidad de transferencia de calor por conducción. Es por ello que a menudo, las zonas exteriores del alimento tienen que ser sobrecocinadas para poder garantizar una cocción adecuada en el interior.

A diferencia de esto, los cambios en la presión siguen el principio de la isostática, cosa que hace que sean prácticamente instantáneos y uniformes en todo el sistema biológico (independientemente de que la muestra se encuentre en contacto con el medio de presurización o colocada en un envase flexible que transmita la presión) y, por tanto, el proceso es independiente del volumen y la geometría de la muestra.

Además, en el tratamiento térmico encontramos que el tiempo de calentamiento y enfriamiento son largos y existen pérdidas de energía durante el proceso, mientras que en el tratamiento de AP, una vez el sistema se encuentra bajo presión, al no haber pérdidas de energía, no existen requerimientos energéticos adicionales.



5. Fabricación de queso

5.1. El queso

El queso es el producto sólido o semisólido, madurado o fresco en el que el valor de la relación seroproteínas/caseína no supera al de la leche, y que es obtenido por:

- Coagulación (total o parcial) de las siguientes materias primas: leche, leche desnatada, leche parcialmente desnatada, nata, nata de suero, o mazada, por medio de la acción del cuajo o de otros agentes coagulantes adecuados, y con un escurrido parcial del lactosuero resultante de esta coagulación.
- Técnicas de proceso que implican la coagulación de la leche y/o productos derivados de la leche que dan un producto final que tiene unas características físicas, químicas y organolépticas similares al producto englobado en la "Clasificación de quesos".

5.1.1. Clasificación de los quesos

Se llama queso curado o madurado al queso que no está listo para su consumo inmediatamente después de su fabricación, ya que se debe mantener durante un cierto tiempo, a una determinada temperatura, y bajo determinadas condiciones, para que se consiga obtener los cambios físicos y bioquímicos que caracterizan al queso.

Se llama queso madurado o curado con mohos al queso en el que el curado se realiza principalmente por medio del desarrollo de mohos característicos que crecen en el interior y/o en superficie del queso.

Por último, se llama queso no curado, no madurado, o queso fresco, al queso que está listo para su consumo inmediatamente después de su elaboración.

En la siguiente tabla 5.1, se muestra la clasificación ya mencionada entre queso madurado, madurado con mohos y no madurado, y una clasificación según el contenido de humedad, y según el contenido de grasa:

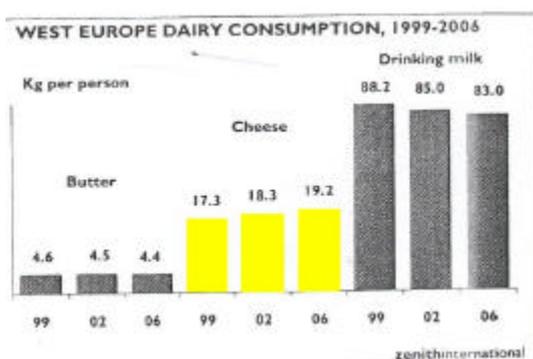


Contenido de humedad sobre base libre de grasa	Primera fase en la designación	Contenido de grasa sobre base seca	Segunda fase en la designación	Designación acorde con las características principales del curado
< 41	Extra duro	> 60	Muy Graso	1. Curado o madurado
49 - 56	Duro	45 - 60	Graso	a) sobre todo en superficie
54 - 63	Semiduro	25 - 45	Graso medio	b) sobre todo en el interior
61 - 69	Semiblando	10 - 25	Bajo en grasa	2. Curado con mohos o madurado
>67	Blando	< 10	Sin grasa	a) sobretodo en superficie
				b) sobre todo en el interior
				3. No curado o no madurado

Tabla 5.1

5.2. Mercado

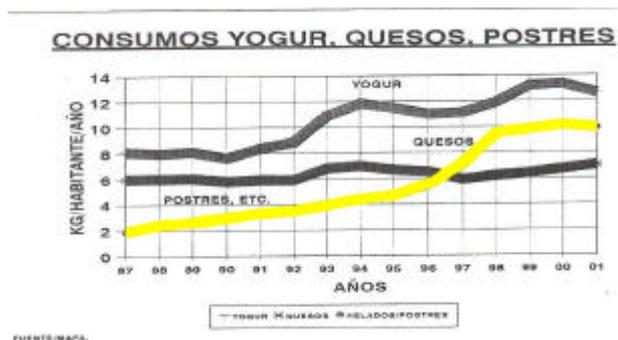
Aunque los principales mercados lácteos ya están maduros, las innovaciones y los cambios estructurales están colocando al sector lácteo europeo en una posición más segura, según se desprende del último informe sobre los Mercados Lácteos de Europa Occidental publicado por Zenith International, consultora líder en materia alimentaria y de bebidas (Anuario Lácteo 2002-2003). En dicho estudio, las cifras provisionales para el 2002 indican que el consumo de queso se incrementó en 2,6%, y ascendió a 7,18 millones de toneladas. El consumo por capita fue de 18,3 Kgs, y se espera que aumente un 1,5% anual, situándose en 19,2 kg en 2006.



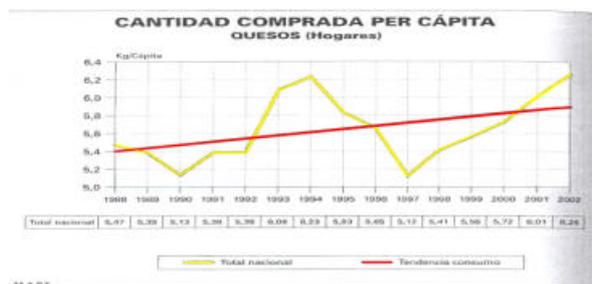
Gráfica 5.1 Anuario Lácteo 2002-2003

En el caso del consumo de queso en España, este se situó en 1998, según el MAPA, en 6,2 Kg/habitante y año, de los que 2,2 kg corresponden a quesos curados y semicurados; 1,7 a frescos y 2,3 a otros tipos (anuario lácteo 2001 - 2002). En las siguientes gráficas se muestra la evolución del consumo de queso en España:





Gráfica 5.2. Anuario lácteo 2002-2003



Gráfica 5.3. (Mapya 2004)

Si nos fijamos en el caso del consumo de los quesos de cabra, es destacable indicar el constatado aumento en la demanda de estos quesos en la UE y en los Estados Unidos. El queso de cabra ha incrementado sus ventas a expensas de otros tipos de quesos, particularmente los de mezcla de cabra y vaca, beneficiándose además de unos precios relativamente bajos. Por ejemplo, en Francia entre 1986 y 1996 el consumo aumentó un 35%, siendo el tipo de queso que más incrementó su producción, muy por encima de los quesos de vaca y oveja. Esto se debe a la percepción del consumidor de que son quesos naturales y ecológicos (Anuario Lácteo 2001 - 2002).

Por último, según el último informe publicado en 2002 por el Mapya, en el año 2004 se producirán 298.000 toneladas de queso en España (ALIMENTARIA 2004 BARCELONA/2004). Más concretamente, la producción de queso de cabra en el año 2003 en España fue de 13.100 toneladas (FENIL- FEDERACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIAS LÁCTEAS/2004). Teniendo en cuenta que el consumo de queso aumentará un 1.5% anual, supondremos que las producciones aumentarán el mismo porcentaje, obteniendo unas posibles ventas anuales de queso de cabra (Tabla 5.1)



2005	2006	2007	2008	2009
13.496 Ton	13.698 Ton	13.904 Ton	14.112 Ton	14.324 Ton

Tabla 5.1

5.3. Elaboración

Para el proceso de elaboración de queso a partir de leche de cabra, se ha tomado como referencia el proceso de producción de un queso conocido, el queso artesanal Manchego pero a partir de leche de cabra. El proceso se muestra en la figura 5.1y 5.2 .

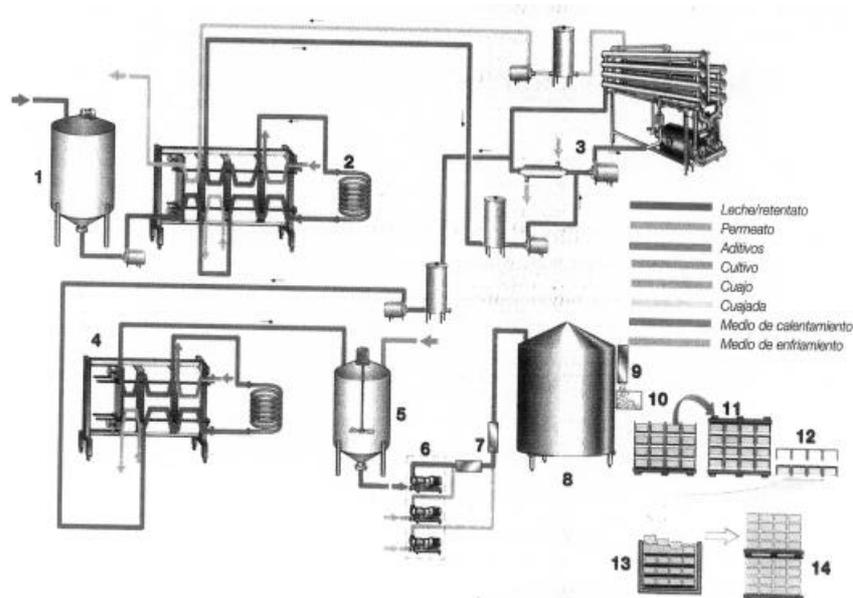


Figura 5.1



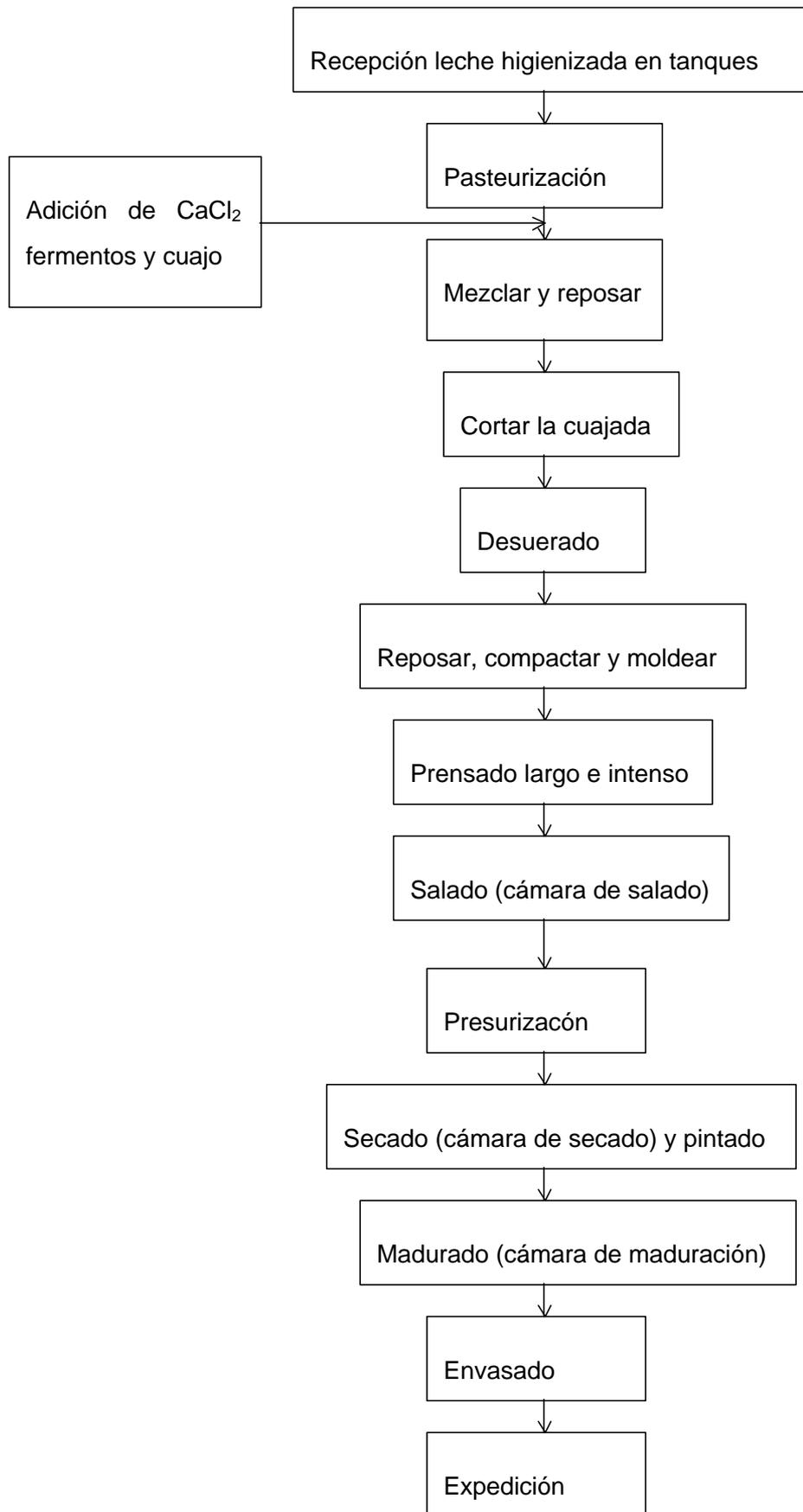


Figura 5.2



5.3.1. Materias Primas

Leche

Dentro de los distintos tipos de leche existentes, los tres más utilizados como materia prima en la fabricación de queso son la leche de vaca, oveja y cabra. En la tabla 5.2 se muestra la composición media de la leche de cabra, vaca y oveja:

	Agua (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Lactosa (%)	Cenizas (%)
Vaca	88,1	3,3	3,5	4,7	0,7
Oveja	81,5	5,4	7,4	4,8	0,9
Cabra	87,3	3,5	4,1	4,2	0,8

Tabla 5.2

Los parámetros de composición mencionados en la tabla anterior pueden variar por la influencia de diferentes factores, como por ejemplo aquellos ligados al animal (raza, estado de lactación, etc.) a la zona geográfica o a la alimentación.

Los aditivos esenciales que se añaden a la leche en el proceso de fabricación de queso son los fermentos y el cuajo. En ciertas condiciones puede ser también necesario suministrar otros componentes tales como el cloruro cálcico y nitratos. Dichos aditivos se explican en los apartados siguientes.

Fermentos

El cultivo iniciador o fermento es un factor muy importante en la fabricación de queso por tres motivos:

- Su habilidad de producir ácido láctico, sobretodo durante la cuajada.
- Su habilidad de degradar las proteínas.
- Su habilidad de producir anhídrido carbónico.

Los principales tipos de cultivo que se encuentran en la fabricación de queso son, cultivos



mesófilos con una temperatura óptima comprendida entre 20 y 40°C, y cultivos termófilos que se desarrollan a temperaturas hasta 45°C. Los cultivos más frecuentes son a base de mezclas de cepas, en los que se tiene en simbiosis dos o más cepas de bacterias mesófilas y termófilas, obteniendo un beneficio mutuo.

Cloruro cálcico

Si la leche utilizada es de pobre aptitud para la fabricación de queso, el coágulo formado será blando. Ello da lugar a grandes pérdidas de finos (partículas de caseína), así como de grasa, además de una sinéresis (suerado) inadecuada durante el proceso de fabricación de queso.

Para poder mejorar la aptitud de la leche para la fabricación del queso y obtener una firmeza suficiente del coágulo, es necesario adicionar cloruro cálcico (5 -20 gramos / 100 Kg de leche), cosa que también hará que el tiempo de coagulación sea constante. Pero también se ha de tener en cuenta que una adición excesiva de cloruro cálcico puede hacer que el coágulo sea tan duro que sea difícil de cortarlo.

Cuajo

Excepto en los tipos de queso fresco tales como el queso cottage y quarg, en los que la leche se coagula principalmente mediante ácido láctico, en el resto de quesos la coagulación de la leche depende de la formación de la cuajada por acción del cuajo o enzimas similares.

La coagulación de la caseína es el proceso fundamental en la fabricación de queso. Se hace generalmente con cuajo, cuyo principio activo es un enzima denominada quimosina, pero se pueden utilizar otros enzimas proteolíticos.

5.3.2. Almacenamiento de la leche

La leche en fresco se descarga diariamente de los camiones cisterna en silos de almacenamiento que mantienen la leche a unos 4°C.

El objetivo principal de la refrigeración es evitar la proliferación de microorganismos durante el tiempo de espera previo a la fabricación, por ello la temperatura que se recomienda es < 4°C, evitando la congelación de la leche, que produciría un efecto muy negativo sobre sus características físico-químicas.



La temperatura óptima de almacenamiento sería la de 4°C como se puede observar en la tabla 5.3, donde se muestra la población bacteriana de una leche limpia de granja almacenada durante 24 horas a diversas temperaturas.

Temperatura de almacenamiento		Recuento a las 24 horas
C	F	
0.5	33	7.200
2	36	7.300
4	39	7.500
5.5	42	7.800
7	45	9.000
9	48	15.100
10.5	51	25.000
12	54	56.000

Tabla 5.3

Además de la temperatura, la adecuada agitación de los tanques de almacenamiento es importante, ya que de lo contrario el trasvase de esta leche a tanques secundarios podría provocar diferencias en su composición.

5.3.3. Pasterización

El objetivo de la pasteurización, o de cualquier tratamiento térmico, de la leche de quesería constituye un intento de estandarización de su calidad biológica mediante la destrucción de los microorganismos y enzimas no deseados.

El tratamiento térmico mínimo de pasteurización de la leche es de 74,7°C durante 15 segundos. Se aconseja en la fabricación de quesos frescos y de quesos madurados durante menos de dos meses, aunque en este último caso puede haber excepciones en la fabricación de determinados quesos tradicionales.

Pero este tipo de tratamientos, tiene una serie de desventajas, ya que, aunque este tipo de métodos sean capaces de eliminar microorganismos, como por ejemplo, los coliformes, que



pueden causar fácilmente el hinchado de los quesos y darle un sabor desagradable, los microorganismos formadores de esporas logran sobrevivir a la pasteurización y pueden causar serios problemas durante el proceso de maduración. Un ejemplo es el *Clostridium tyrobutyricum*, que forma ácido butírico y grandes volúmenes de gas hidrógeno por fermentación del ácido láctico. Este gas destruye completamente la textura del queso, sin contar el hecho de que el ácido butírico tienen un olor desagradable.

Sin embargo, sí logra destruir algunas bacterias útiles para la fabricación del queso, como las bacterias lácticas, así como algunos enzimas como las lipasas, y algunos grupos de bacterias normalmente presentes que proporcionan sistemas enzimáticos activos en la producción del aroma y el bouquet de los quesos, que las bacterias del starter no poseen.

5.3.4. Adición de los aditivos

La adición de aditivos en la leche consiste en sembrar bacterias lácticas y dejarlas desarrollar en la leche durante un tiempo más o menos largo antes de la coagulación. Los objetivos son varios:

1. Restablecer los equilibrios físico-químicos modificados por el almacenamiento de la leche en frío.
2. Hacer que la leche adquiera las máximas cualidades como medio de cultivo para los fermentos lácticos y evitar la implantación de microorganismos perjudiciales, ya sean patógenos o tecnológicamente peligrosos.
3. Provocar la acidificación de la leche previa a la coagulación en los quesos de coagulación mixta.

Para conseguir estos objetivos se adicionan, en el siguiente orden, a la leche los siguientes aditivos:

1.- Como cultivo iniciador: 2% de cultivo iniciador BAL (*Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* y *cremoris*) más un 0,5% de cultivo termófilo (*S:thermophilus*). Se adiciona en primer lugar para dar tiempo a las bacterias a aclimatarse al nuevo medio.

2.- Cloruro cálcico: 25 gramos en solución por 100 litros de leche.

3.- Solución de lipasa: 0,5 g por 100 litros de leche.



4.- Extracto de cuajo: 20 - 25 ml por cada 100 litros de leche.

Todos estos componentes se han de adicionar a temperatura de coagulación (28-32° C) durante 45 a 60 minutos, teniendo en cuenta que el pH no baje de 5,2, que es el pH mínimo de actuación del cuajo, por debajo de él, el cuajo está inhibido.

Tras la dosificación del cuajo, la leche se agita cuidadosamente durante no más de 2 - 3 minutos. Es importante evitar afectar negativamente al proceso de coagulación y causar pérdidas de caseína en el lactosuero.

5.3.5. Coagulación mixta y corte de la cuajada

El proceso de coagulación de la leche comprende dos fases:

1.- Transformación de la caseína en paracaseína (proceso enzimático).

La actividad enzimática del cuajo sobre la caseína consiste en la liberación de grupos guanidínicos de la caseína, desplazando como consecuencia el punto isoeléctrico de la caseína de 4,6 a 5,0 - 5,2, valor característico de la paracaseína (elevada sensibilidad frente al calcio iónico)

2.- Coagulación de la paracaseína.

En esta segunda etapa se forma la cuajada, que es consecuencia de la interacción entre la paracaseína y los iones de calcio. Esta interacción se debe a que los grupos funcionales (-OH) producidos por la acción del cuajo fijan los iones cálcicos, estableciendo "puentes de calcio" entre las moléculas de paracaseína, haciendo que esta gelifique y se forme la cuajada.

El proceso global es gobernado por, entre otros factores, la temperatura, acidez y contenido de calcio de la leche. La temperatura óptima para el cuajo está en la región de los 40°C, aunque normalmente en la práctica se utilizan temperaturas más bajas, básicamente para evitar una dureza excesiva del coágulo.

El tiempo de cuajado o de coagulación es de 35.

Finalmente se lleva a cabo un simple test que consiste en clavar un cuchillo en la superficie de la leche coagulada y sacarlo lentamente cortando hacia la superficie hasta que se consigue



una ruptura limpia. En tal caso, se considera que la cuajada está lista para ser sometida a cortes sucesivos hasta conseguir granos de tamaño de 5 a 10 mm.

Por último, se agita toda la masa y se procede a un recalentamiento durante 30 minutos de la misma hasta alcanzar de modo paulatino una temperatura máxima de 40°C (36 - 40°C).

Inmediatamente después del cortado, los granos de cuajada son muy sensibles al tratamiento mecánico, por lo cual la agitación será suave. Debe ser, sin embargo, suficientemente rápida para mantener los granos suspendidos en el suero. La sedimentación de la cuajada en el fondo del envase provoca la formación de grumos. Esto aumenta el esfuerzo a realizar por el mecanismo de agitación, que debe ser muy resistente.

Dentro de la coagulación se distinguen tres fases, la fase primaria o enzimática, la fase secundaria o de agregación de micelas desestabilizadas y la fase terciaria o de reticulación.

5.3.6. Desuerado

El desuerado consiste en la eliminación, más o menos importante, del lactosuero atrapado entre las mallas de gel formado por la vía enzimática. Esta eliminación del lactosuero se logra mediante la rotura de la cuajada en granos, consiguiendo así la destrucción de la estructura cerrada de la cuajada y su impermeabilidad.

El desuerado comienza en las cubas de coagulación, prosigue en los moldes y posteriormente en el secado.

5.3.7. Moldeado

La cuajada resultante se trabaja en la misma cuba, que está para ello equipada con dispositivos para la rotura y agitación de la cuajada. Una vez acabado el proceso de cuajado se evacua parte del suero por una válvula especial provista de una malla (para retener los granos de cuajada). A continuación se cierra herméticamente la cuba y se crea en su interior un vacío, y por último, se abre una válvula situada en el fondo de la cuba, por donde va saliendo la masa de cuajada hacia un dispositivo de moldeo.

El moldeado consiste pues, en depositar los granos de cuajada desuerada en recipientes agujereados, los moldes, con el objetivo de obtener piezas individuales de queso con una forma determinada.



5.3.8. Prensado

Después del escurrido de los moldes se prensan durante 5 horas aproximadamente en las prensas adecuadas a este fin.

Se podría decir que el prensado tiene cuatro objetivos:

1. Ayudar a que se produzca la expulsión final del suero.
2. Conseguir una determinada textura.
3. Darle forma al queso.
4. Proporcionar una corteza al queso que tendrá un largo periodo de maduración.

Como norma general se recomienda no prensar al principio demasiado intensamente para no fusionar excesivamente los granos y evitar que el suero atrapado entre ellos pueda fluir hasta la superficie del queso, es decir, se recomienda empezar con un prensado suave e ir aumentando progresivamente la intensidad. Las presiones que se suelen utilizar pueden llegar a alcanzar los 24,5 KPa.

5.3.9. Salado

Una vez realizado el prensado de los quesos, se realiza el salado por inmersión en salmuera del 20 - 24% de sal a 12 - 14°C durante un periodo aproximado de 48 horas (nunca superior). El salado consiste en colocar el queso en un envase, tina poco profunda con salmuera

El salado es una etapa esencial en la fabricación de los quesos. La sal es un componente esencial y juega varios papeles en el queso:

1. Completa el desuerado del queso favoreciendo el drenaje de la fase acuosa libre, modifica la hidratación de las proteínas e interviene en la formación de la corteza.
2. Actúa, bien directamente o bien indirectamente, modificando la actividad del agua, sobre el desarrollo de los microorganismos y la actividad enzimática.
3. Aporta el sabor salado y la potenciación o el enmascaramiento de otros sabores que aparecen durante el proceso de maduración.

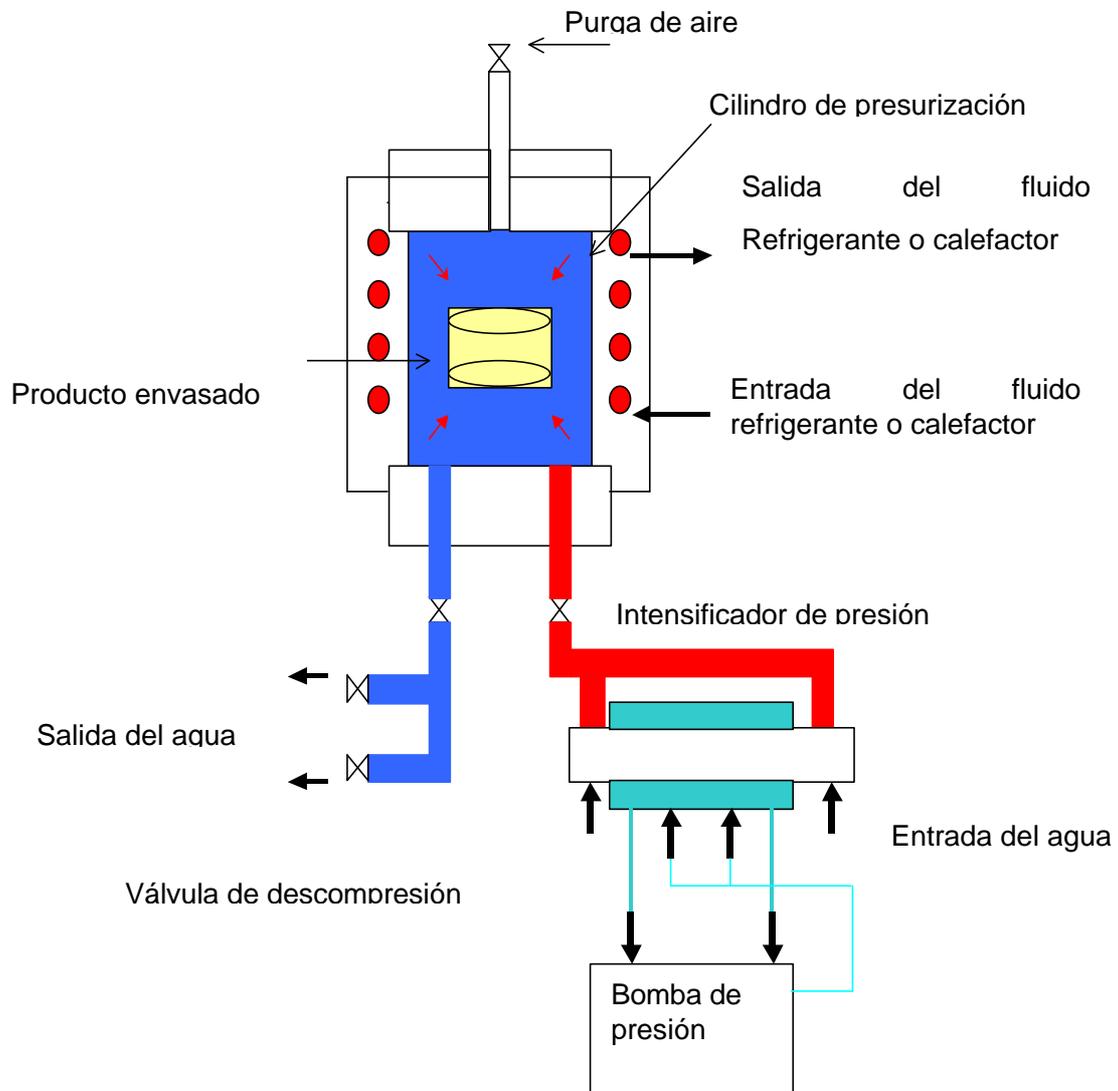


5.3.10. Presurización

El proceso de presurización tiene lugar a 400 MPa durante 5 minutos a una temperatura de 14 °C.

También es importante especificar que los envases que se someten a altas presiones deben ser flexibles y permitir sellados herméticos. Los envases co-extrusionados son los más adecuados para este tipo de tratamiento puesto que no altera su permeabilidad al oxígeno ni el sellado.

Un esquema de este tipo de maquinaria sería el siguiente:



5.3.11. Maduración

El objetivo del madurado es crear las condiciones externas que son necesarias para controlar, en la medida de lo posible, el ciclo de maduración del queso.

Durante la maduración del queso ocurren una serie de cambios en la cuajada, debidos a los procesos de glucólisis, proteólisis y lipólisis, ya descritos anteriormente, que conducen a su transformación en un queso determinado, con una determinada textura, así como la producción de sustancias responsables del gusto y el aroma.

El periodo de maduración tendrá una duración entre 6 y 8 semanas, durante las cuales el queso se voltearán regularmente.

Según el tipo de queso, se debe mantener una combinación específica de temperatura y humedad relativa, en las diferentes cámaras de madurado durante las distintas etapas de maduración. En este caso se mantendrá a 12 - 14°C y 85 - 90% de HR. Las condiciones climáticas son de gran importancia en la velocidad de maduración, pérdidas de peso, formación de corteza y desarrollo de flora microbiana en la superficie.

5.3.12. Almacenamiento

El almacenamiento de los quesos madurados se realizará a 5°C y 70 -75% de HR hasta su comercialización.



6. Descripción de la maquinaria de alta presión

Un equipo industrial de alta presión consta básicamente de una cámara de presión y su sistema de cierre, un sistema de generación de presión, un sistema de control de la temperatura y un sistema de manipulación del producto.

Esta técnica implica la presurización de un número determinado de envases previamente llenados con el alimento que se ha de tratar. La figura 6.1 muestra esquemáticamente el tratamiento de alimento envasados en un equipo de alta presión.

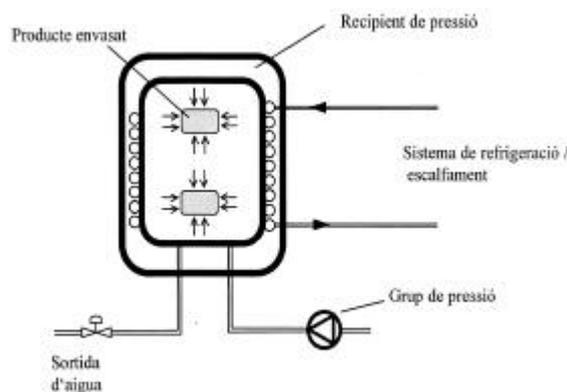


Figura 6.1

La capacidad del equipo de alta presión depende principalmente de las características que se indican a continuación:

- Presión aplicada.

Cuanto más grande sea la presión que se ha de aplicar, más grande ha de ser la capacidad de la bomba para conseguir la presión de operación en el tiempo especificado.

- Envases utilizados en el tratamiento de alta presión.

Los envases con o sin tapa que se someten a altas presiones han de ser flexibles y se han de poder sellar herméticamente. Algunos de los materiales que se pueden utilizar para los recipientes son: el copolímero alcohol vinílico-etileno (EVOH), el



alcohol polivinílico (PVOH), el polietileno de baja intensidad (LDPE), el acetato vinílico-etileno (EVA), el polietileno tereftelato (PET) o el polipropileno (PP).

El llenado de los envases ha de ser óptimo. Es necesario que no contengan aire en su interior, porque la presencia de aire puede incrementar drásticamente el tiempo para completar la presurización, como también el riesgo de ruptura del envase durante el tratamiento.

Por motivos de capacidad de producción, es importante que se puedan tratar el máximo número posible de unidades en cada ciclo de compresión. El diseño del envase es muy importante para conseguir un coeficiente de llenado óptimo y, por tanto, para la viabilidad económica del proceso. El coeficiente de llenado se puede optimizar adaptando la forma y el tamaño del envase a la forma cilíndrica de la cámara y su diámetro interno.

- Tamaño de la cámara de alta presión.

Para una presión de trabajo determinada las dimensiones internas de la cámara tienen un papel importante en la capacidad y en el coste del equipo. El tamaño de la cámara ha de tener en cuenta la capacidad de producción que se requiere y también la capacidad del sistema de bombeo.

- Carga y descarga de la cámara.

El sistema de carga y descarga de la cámara debería ser automático. También debería estar diseñado de tal forma que estas operaciones se puedan hacer de la manera más rápida posible para que no afecten a las necesidades de ciclos cortos de tratamiento.

Las funciones básicas del sistema de manipulación del producto son las siguientes:

1. Un cargador recibe una cantidad determinada de envases individuales sin tratar y los agrupa en cestos cilíndricos.
2. Un sistema de transporte coge una pila cilíndrica de envases sin tratar y la introduce en la cámara de presión.
3. Después del tratamiento de presión el mismo sistema de transporte saca el



producto tratado de la cámara y lo transfiere al descargador.

4. El descargador vuelve a separar los envases apilados tratados y los sitúa en una cinta transportadora hacia su envasado secundario.
5. Las cubetas o los cestos vacíos son transferidos automáticamente del descargador al cargador.

La mayoría de las cámaras de alta presión se instalan de forma vertical, lo cual hace necesario que los productos tratados y sin tratar se encuentren bien separados e identificados para evitar que los alimentos no tratados no sean sometidos al tratamiento por error.

Por este motivo, se han empezado a instalar equipos con la cámara en posición horizontal, que permite acceder fácilmente por los dos extremos. El tiempo de apertura y cierre son del orden de 20 segundos, aproximadamente, cosa que evita mezclar o cruzar el flujo de los productos tratados con los productos no tratados.

6.1. La cámara de alta presión

La cámara de presión es el componente más importante de un equipo de alta presión. En muchos casos, es un cilindro construido con una aleación de aceros. El uso de estas cámaras generalmente está limitado a presiones de trabajo entre los 400 y 600 MPa. En caso que se requieran presiones superiores se utilizan diseños de cámaras construidas con aceros especiales multicapa, de coste significativamente superior al de las cámaras monocapa, debido a que estas últimas son de más fácil fabricación.

Generación de alta presión.

Cuando la cámara se carga con el alimento que se desea tratar, se cierra y se llena con el medio de transmisión de presión. En la mayoría de aplicaciones de presión isostática, el medio transmisor de la presión es simplemente agua potable con un pequeño porcentaje de aceite soluble para lubricar las bombas y evitar la corrosión.

Por este motivo, las partes internas de la cámara, los tubos, las válvulas y el intensificador de presión en contacto con agua, los agentes químicos de limpieza o el alimento mismo han de



estar protegidos de la corrosión, la razón por la cual es necesario utilizar el acero inoxidable.

La alta presión se puede producir por diferentes métodos:

1. Compresión directa, que es generada mediante la presurización de un medio sobre la parte final de un pistón (figura 6.2). El diámetro grande del final del pistón se mueve con una bomba de baja presión. Este método de compresión directa permite una compresión muy rápida, pero las limitaciones del cierre dinámico de alta presión entre el pistón y la superficie interna de la cámara restringen el uso de este método a diámetros pequeños de laboratorio o a sistemas de planta piloto. Generalmente, los sistemas de presurización directa trabajan a presiones más bajas que el método de compresión indirecta.

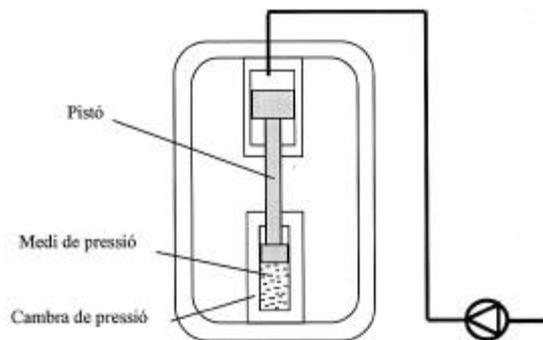


Figura 6.2

2. Compresión indirecta, (figura 6.3) que utiliza un intensificador de alta presión para bombear el medio de presión desde un depósito hasta la cámara de presión cerrada hasta que se consigue la presión deseada. Es decir, se usan bombas externas de alta presión. La mayoría de sistemas industriales de presión isostática utilizan este método de compresión.



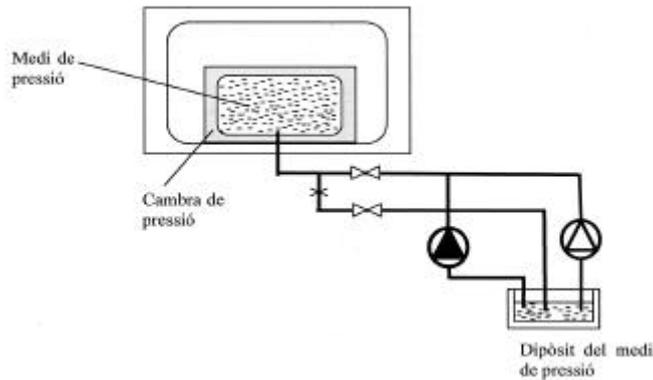


Figura 6.3

3. Calentamiento del medio de presión, que utiliza la expansión del medio de presión mediante un aumento de la temperatura para generar alta presión. Este método no se acostumbra a utilizar en las aplicaciones del tratamiento de AP en la industria alimentaria ya que esta técnica se utiliza precisamente como tratamiento no térmico del alimento.

Regulación de la temperatura del cilindro de la cámara de Alta presión.

La regulación de la temperatura del cilindro se puede llevar a cabo de dos maneras:

1. Calentamiento mediante el uso de la electricidad.
2. Calentamiento/enfriamiento por intercambio de calor fluido/fluido.

Con respecto a la medida de la temperatura, la experiencia ha demostrado que se necesitan diferentes lugares para chequear la homogeneidad de la misma dentro del cilindro, especialmente cuando las posibilidades de convección son limitadas.

Condiciones del tratamiento de AP en alimentos: tiempo, temperatura y presión.

Las investigaciones realizadas han demostrado que la mayoría de las aplicaciones comerciales de la AP que interesan a la industria alimentaria se pueden conseguir por combinaciones de presiones en el rango de los 400 - 600 MPa, a temperaturas de entre 5° y 90 °C y tiempos del orden de los 10 -30 minutos. El desarrollo actual de la tecnología de AP permite alcanzar fácilmente estas condiciones de proceso y también las de los alimentos que previsiblemente se puedan desarrollar en un futuro.



Necesidades de Capacidad.

La tecnología actual para maquinaria de alta presión no permite el paso de los alimentos de la presión atmosférica a una presión de centenares de MPa de forma continua. Como consecuencia, el tratamiento por altas presiones es esencialmente un tratamiento por lotes.

Debido a que se trata de un proceso por lotes, la capacidad de producción de un equipo de alta presión es el producto de tres parámetros: el número de ciclos que puede realizar una cámara por unidad de tiempo, el volumen del lote que admite la cámara y el número de cámaras del sistema.

- Número de ciclos por cámara y por hora.

El número de ciclos por hora que puede realizar una cámara viene determinado por el tiempo que se tarda en realizar un ciclo de tratamiento. Este ciclo de tiempo es la suma del tiempo de manipulación del material (tiempo para cargar y descargar la cámara, incluyendo el tiempo de abrirla y cerrarla en el caso de los alimentos envasados), el tiempo de aplicación de la presión y el tiempo de presurización y despresurización.

El carácter instantáneo de la presión hidrostática ofrece la posibilidad de conseguir tiempos de tratamiento cortos. Al contrario que en el tratamiento térmico, la duración del tratamiento no está influenciada por el fenómeno de transmisión de presión, sino que únicamente viene determinada por las cinéticas de inactivación y las reacciones químicas que tienen lugar a una presión determinada.

La manipulación del alimento varía de forma considerable según el tipo de proceso que se aplique. El tratamiento a granel requiere menos tiempo para reemplazar el producto tratado por AP por un nuevo lote sin tratar que el procesado de alimentos envasados, en el cual se ha de añadir, al tiempo de carga y descarga del alimento, el tiempo de apertura y cierre de la cámara.

Finalmente, el ciclo total de tiempo viene determinado por el tiempo de compresión y descompresión. Para un determinado volumen de la cámara, el tiempo de compresión depende únicamente de la capacidad de la bomba. Desde el punto de vista técnico, se puede conseguir la presurización de una cámara de centenares de litros a 400 MPa en pocos segundos instalando una bomba con una capacidad



adecuada.

La descompresión de la cámara puede conseguirse en un tiempo muy reducido, gracias a la baja compresibilidad de los alimentos.

- Coeficiente de llenado de la cámara.

El volumen del alimento es el producto del volumen interno de la cámara y la eficiencia con que este volumen es utilizado (llenado con alimento). A presiones tan altas como 600 MPa, existe un límite en el tamaño de las cámaras que se pueden producir y, por tanto, en el volumen interno efectivo de la cámara. Aún así, como se muestra en la tabla 6.1, el estado actual de la tecnología permite construir cámaras extremadamente grandes, con un volumen interno muy significativo.

Presión máxima de trabajo (MPa)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Volumen interno (l)
100	1.700	4.000	9.000
200	1.000	4.000	3.150
400	600	4.500	1.250
550	600	1.500	700
690	250	750	37
1.030	100	1.000	8,5
1.380	90	550	3,5

Tabla 6.1

El coeficiente de llenado, expresado como porcentaje de volumen de la cámara que se llena realmente con alimento, es más alto en el procesado de líquidos a granel (hasta el 95%) que en procesado de envasados (entre el 45% y el 75%).

- Número de cámaras del equipo.

La productividad del equipo se puede incrementar multiplicando el número de cámaras del equipo. Las consideraciones sobre los elementos técnicos y el coste de inversión y de la operación determinan la configuración óptima (por ejemplo, el número y la dimensión de cámaras del equipo para una capacidad determinada).



Vida útil de las cámaras.

Un ciclo de presurización corto es esencial para la viabilidad económica del tratamiento de AP en los alimentos, ya que de esta manera se pueden realizar gran cantidad de ciclos, o lo que es lo mismo, se puede presurizar un mayor número de lotes en un tiempo determinado.

A parte de la importancia del tiempo que se tarda en realizar un ciclo de presurización, las consideraciones económicas también implican un uso intensivo de estos equipo. De forma que se puedan realizar miles de ciclos por año y cámara, y poder sacar el máximo rendimiento a este tipo de maquinarias.

Actualmente, gracias a los más de 30 años de experiencia industrial, se pueden construir cámaras de alta presión con una vida útil larga, es decir con un tiempo de vida útil elevado.

Seguridad de la instalación.

Respecto a la seguridad, hay que tener en cuenta dos puntos importantes:

1.- La energía contenida en una cámara de alta presión a varios centenares de MPa, llena de agua o alimento, es muy limitada.

La tabla siguiente muestra energías de compresión contenidas en una cámara de alta presión, según el volumen interno de la cámara ocupado por agua a una presión de 400MPa:

Volumen interno de la cámara (l)	Energía (Kj)
10	193
50	960
100	1.920
250	4.800
1.000	19.200

Tabla 6.2 Merce Raventos Santamaría/2003

Pero toda esta energía se almacena de dos formas:

- a) Como tensión en las paredes de la cámara. Esta energía representa una fracción muy pequeña de la energía total almacenada y, por tanto, se puede despreciar.



Una fórmula aproximada para calcular esta cantidad de energía sería la siguiente (Eq.6.1):

$$\text{Energía} = \frac{2}{5} \cdot c \cdot P \cdot V_0 \quad (\text{Mercé Raventós Santamaría/2003})$$

Eq. 6.1 Donde c representa la compresibilidad del medio de presurización (por ejemplo agua en el caso del procesado de alimentos), P es la presión y V_0 el volumen inicial.

b) Como compresión del medio presurizado.

2.- La tecnología de AP no es una tecnología nueva, ya que este tipo de tecnología se utilizan actualmente de forma habitual en industrias de otros ámbitos (cerámica...). Por este motivo, las reglas de seguridad han sido muy bien definidas para garantizar que las cámaras de alta presión y los principales componentes del equipo sean perfectamente seguros para su utilización constante.

6.2. Sistemas de cierre de la cámara de alta presión con productos envasados

El tipo de cierre de la cámara de alta presión dependerá de si el tiempo de presurización es largo o corto.

Cuando el tiempo de presurización es corto se utilizan cierres de rosca discontinua de apertura y cierres rápidos. De esta forma, el tiempo de apertura y cierre se minimizan y la productividad de la cámara, expresada en número de ciclos por unidad de tiempo o en productos, se maximiza, lo cual es muy importante en vista a la viabilidad económica del tratamiento de AP.

Cuando el tiempo de apertura y cierre de la cámara es negligible por comparación con la duración total del ciclo de proceso se utilizan cierres de rosca continua más baratos.



7. Consideraciones económicas de la instalación

7.1. Coste de un a instalación de alta presión

Que la tecnología de altas presiones sea aplicada ampliamente en la industria, o no, depende en gran parte de la viabilidad económica del proceso; es decir, el coste asociado a la instalación de un equipo comercial de alta presión es una barrera importante para su implantación en la industria alimentaria.

El coste de una cámara de alta presión representa la fracción más importante del equipo y viene determinado por la presión máxima de trabajo y el volumen interno de la cámara. Por esto motivo es importante optimizar las condiciones del proceso (presión, tiempo y temperatura) de forma que la presión de trabajo y el volumen efectivo necesario sean minimizados, todo ello sin dejar de obtener las características que se desea que tenga el alimento. Un ejemplo de la importancia de estos tres parámetros el que el coste de un tratamiento a 400 MPa durante 10 minutos es parecido al coste del procesado a 1.000 MPa con 2 minutos de tratamiento. Por tanto, se ha de evaluar con cuidado la combinación de presión, tiempo y temperatura a la cual se precisa el alimento para poder definir el coste de producción más efectivo (Mercé Raventós Santamaría//2003).

Algunos estudios técnico - económicos sobre el tratamiento a AP muestran que el coste de tratamientos oscila entre 10 y 20 céntimos de euro por Kg, aproximadamente (Merce Raventós Santamaría/2003).

Además de las condiciones de tratamiento, el coeficiente de llenado de la cámara con el alimento también tiene un papel importante en la viabilidad económica del proceso. Los envases utilizados para el tratamiento de AP se deben diseñar con el objetivo de obtener el máximo coeficiente de llenado de la cámara de presión cilíndrica: un coeficiente de llenado más grande significa un volumen interno menor de la cámara para una producción determinada y, consiguientemente, un coste de inversión menor.

Finalmente, una vez se han definido las condiciones de tratamiento y el volumen interno de la cámara necesarios para conseguir una producción determinada, la configuración del equipo de alta presión (número de cámaras, posición de la cámara - horizontal o vertical -, diseño del



sistema de carga y descarga, tipo de cierre, potencia de la bomba, número de bombas) y el grado de automatización han de ser optimizados para minimizar el coste de inversión y de tratamiento del producto.

Si tenemos en cuenta el número de cámaras, el coste por litro de producto producido es menor en una unidad grande que en una unidad compuesta por diferentes cámaras pequeñas conectadas en paralelo. El motivo es simplemente que resulta más barato construir una cámara grande que diferentes cámaras pequeñas con la misma capacidad total.

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios permiten llegar a las conclusiones generales siguientes (Mercé Raventós Santamaría/2003):

1. El uso de equipos de tratamiento de productos líquidos envasados podría ser especialmente útil para industrias con una producción a pequeña escala.
2. Los resultados del coste de producción confirman que la introducción de esta tecnología para el uso comercial no se debería frenar por razón de costes. El coste de tratamiento se ha de considerar conjuntamente con los beneficios que comporta este tratamiento, como: la conservación de las características organolépticas (sabor y aroma), la conservación de las calidades nutricionales (vitaminas) y el incremento de la vida útil de los productos refrigerados.
3. Con una producción de unos 2.000 m³ al año el coste de producción es del orden de 0,15 euros/litro.

Como conclusión se puede decir que los equipos industriales de alta presión ya son capaces de tratar cantidades elevadas de producto, cosa que hace posible su utilización en la industria alimentaria. El precio del tratamiento es admisible en productos con un cierto valor añadido. Hoy en día, la AP puede ser una tecnología provechosa y rentable para grandes industrias y se espera que, en un futuro próximo, se podrá aplicar a industrias más pequeñas.

7.2. Estudio económico de la inversión

Para hacer un estudio de la viabilidad de la inversión en este tipo de maquinaria, se tendrá en cuenta tanto el coste de ésta como sus gastos anuales. Pero también se tendrán en cuenta todos aquellos beneficios que se producen en el proceso de elaboración en queso, y que se



traducen en un ahorro económico, como la disminución del tiempo de madurado, aumento del rendimiento....

La inversión en la maquinaria de alta presión sería de 2.585.000 euros, un esquema de este tipo de maquinaria sería el mostrado en la siguiente figura:

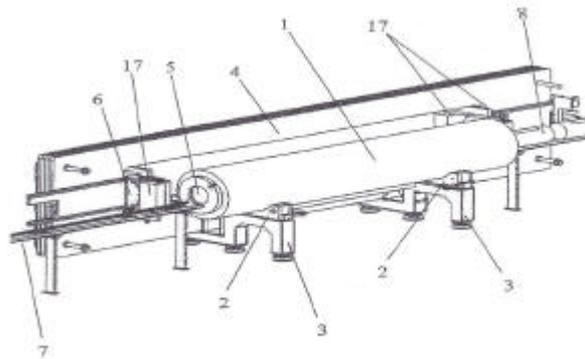


Figura 7.1

Como se puede observar, la cámara está provista de una cámara (1), que adopta una disposición horizontal, apoyada sobre dos pies (2) que se deslizan transversalmente sobre el bastidor (3) con respecto al eje de la cámara, permitiendo así el desplazamiento transversal de dicha cámara con respecto a un yugo (4), que se mantiene estático.

Antes de iniciarse la fase de presurización, la cámara (1) se desplaza al interior del yugo y el cierre de las bocas (5) se efectúa a través de las tapas o tapones (6) previstos en el yugo, con posterior colocación de las cuñas (17) entre los tapones y el yugo para transmitir al yugo los esfuerzos que tienden a abrir dichos tapones debido a la alta presión alcanzada por la cámara.

Tras la fase de presurización, dicha cámara se retira transversalmente del interior del yugo para quedar alineada, tal como muestra la figura 7.1, con la línea de transporte (7) por la que se deslizan los productos (8) a tratar, de manera que dichos productos entran directamente en la cámara por uno de sus extremos, para ser tratados, a la vez que los productos ya tratados salen por la otra boca de la cámara, en el normal desplazamiento de los mismos a lo largo de la línea de transporte.

La maquinaria de alta presión escogida es de la casa NC Hyperbaric. Este tipo de maquinarias trabajan a temperaturas entre 4°C - 40°C, y hasta presiones de 600 MPa. Teniendo en cuenta que para nuestro proceso necesitamos trabajar a 400 MPa y 14°C, este



tipo de maquinaria es ideal.

Dentro de NC Hyperbaric podemos encontrar maquinaria con capacidad de 55 litros, 150 litros, 300 litros y 600 litros (2 vasijas de 300 litros de 0,285 metros de diámetro y 0,840 metros de largo).

En la tabla 7.1 facilitada por la empresa NC Hyperbaric, se puede observar la producción obtenida dependiendo del modelo elegido.

Modelos NC Hyperbaric		6000/55	6000/150	6000/300	6000/300T
Volumen vasijas	litros	55	150	300	600
Coeficiente llenado vasijas	%	50	50	50	50
Presión	MPa	600	600	400	400
Tiempo de proceso	min	3	3	5	5
Tiempo de carga y descarga	min	2,5	2,5	2,5	2,5
Tiempo de presurización	min	3,6	4,9	3,7	2,5
Tiempo total de ciclo	min	9,1	10,4	11,2	10,0
Numero ciclos / hora	ciclos / h	6,6	5,8	5,4	12,0
Producción	Kg/h or L/h	182	433	805	1800

Tabla 7.1 La opción elegida se encuentra marcada en negrita.

En esta tabla se muestran los distintos parámetros necesarios para calcular la producción por hora obtenida:

- Volumen de la vasija: 55, 150, 300 o 600 litros. La capacidad de 600 litros corresponde a 2 vasijas de 300 litros.
- Coeficiente de llenado de las vasijas, se considera como standard el 50%, aunque hay productos, como el guacamole envasado en bolsas, que puede llegar a un



coeficiente de 75%. En nuestro caso debido a la forma y medida de los quesos (quesos de 0,5 kilos: 0,065 metros de diámetro y 0,045 metros de alto) cogen aproximadamente por vasija 156 quesos → 78 kilos/vasija → 156 kilos/ciclo → 1872 kilos/hora

- Tiempo de proceso, es decir, el tiempo durante el cual el alimento está sometido a la presión deseada (5 minutos)
- Tiempo de carga y descarga, siempre es constante, 2,5 minutos,
- Tiempo necesario para llegar a la presión del proceso, que en el modelo elegido se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo} = (((8/425) * \text{Presión}) + 4) * (\text{Volumen} / 235 / 12)$$

- Número de ciclos por hora, en nuestro caso como son dos vasijas de 300 litros, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$n^{\circ} \text{ ciclos} = (60/10) * 2.$$

Como se puede observar, la producción obtenida es de 1.808 Kilos/hora, teniendo en cuenta que se trabajará durante 16 horas/día 280 días al año, se obtiene una producción anual de 8.064 toneladas/año. Esta cantidad corresponde aproximadamente a un 60% de la producción anual de queso de cabra estimada para el año 2005 (13.496 toneladas, tabla 5.1). Aunque el porcentaje de producción respecto a la producción de quesos en España es muy elevado, la maquinaria trabajará a pleno rendimiento desde el primer año para poder amortizar la inversión de dicha maquinaria. Por todo ello, se deberá considerar la exportación de queso de cabra obtenido a la UE y a los Estados Unidos, donde, como ya se ha indicado, hay un gran aumento en la demanda de queso de cabra (en Francia el consumo aumentó un 35%).

Teniendo en cuenta, según las tablas de composición de alimentos, que el contenido de agua en el queso de cabra madurado es de 30,6% (69,4% MS), y el contenido de agua en la leche de cabra es de 87,3% (12,7% MS):

8.064 ton. Queso /año * (0,694 MS/ Kg queso) * (litro leche/ 0,127 MS) → 44.066 ton. leche/año



7.2.1. Estudio de los beneficios obtenidos tras la instalación de la maquinaria de alta presión

En los siguientes apartados se estudiarán los costes que implica la implantación de una maquinaria de alta presión en el proceso de producción de queso, y también los beneficios que aporta.

7.2.1.1. Producto acabado

Para saber el contenido de aminoácidos grasos al final de la maduración de un queso, para un madurado de 8 semanas (56 días), realizamos una regresión lineal a partir de los datos obtenidos en la tabla 4.4 para el queso control:

$$\text{Mg Leu/100gqueso} = 14,12 + 4,170^*(\text{días de madurado})$$

Si sustituimos en la regresión lineal, para 56 días de madurado, obtenemos una cantidad de aminoácidos de aproximadamente 247,64.

Pero este contenido de aminoácidos ya lo hemos obtenido el día 28 de madurado de los quesos presurizados (307,2 tabla 4.4), por lo que el tiempo de duración de esta operación se reduce de 56 días a 28, es decir, 50% aproximadamente. A partir de estos datos, para una producción anual de 8064 ton/año, el inmovilizado para un madurado de 28 días es de 806,4ton/año (1.800 kg/h * 16h/día * 28 días), y el inmovilizado para un madurado de 56 días es de 1.612,8 ton/año. Esto se traduce en una reducción de inmovilizado anual de 808,2 toneladas de queso que dan como resultado una disminución en los costes por stock y por superficie de almacenado.

Costes por stock

El coste por stock, corresponde a un porcentaje, que consideraremos equivalente al porcentaje aplicado en los préstamos, según datos consultados en La Caixa, los intereses para un préstamo oscilan alrededor del 7,9% (LA CAIXA/2004).

Para el cálculo del coste de producción de queso, se han tomado los datos publicados de una planta para la fabricación de queso azul. A continuación se muestran los gastos anuales que conlleva esta instalación, para la obtención anual de 5.440 toneladas/año:



Item	Consumo	Costo \$/año
Leche fresca	95.000 l/día	1.520.000
Vapor	750 kg/h	53.760
Energía de refrigeración	1.000.000Kj/h	32.500
Electricidad	156 kWh	40.000
Agua	24 m ³ /h	30.000
Aire comprimido	17 Nm ³ /h	1.300
Productos químicos		10.000
Repuestos		10.000
Laboratorio		5.000
Varios		5.000
Mano de obra:		
- 22 operarios cualificados		176.000
- 4 mecánicos mantenimiento		48.000
- 2 técnicos control calidad		28.000
- 2 capataces		32.000
- 1 gerente de planta		20.000
Amortización del equipo (5 años)		714.600

Tabla 7.2

Si dividimos los costes anuales necesarios para producir queso, por la cantidad producida de queso, obtenemos el coste de obtención de 1 kilo de queso: 0,5 \$/año.

Pero estos datos son del año 1991, para actualizarlos, nos basaremos en la evolución del Índice de Precios Industriales desde el año 1991 hasta el año 2004, tomando como referencia el valor obtenido en el mes de diciembre de cada año, según datos del Instituto Nacional de Estadística. A continuación, en la tabla 7.3 se muestra el valor de dichos índices y el recalcu- lo del coste de obtención de 1 kilo de queso:



Índice de Precios Industriales (IPRI). Base 2000		
Variación anual. Industria de la alimentación, bebidas y tabaco		
Año	IPRI	Coste de obtención de 1 kg queso (\$/año)
1991		0,5
1992	2,2	0,51
1993	7,8	0,55
1994	4,2	0,57
1995	6,1	0,61
1996	3,3	0,63
1997	0,8	0,63
1998	-1,8	0,62
1999	1,7	0,63
2000	2,3	0,65
2001	4,6	0,68
2002	1,2	0,69
2003	3,1	0,71
2004	2,9	0,73

Tabla 7.3 Fuente, Instituto Nacional de Estadística 2005

Como se puede observar el coste de producción de 1 kilo de queso actualmente es de 0,73\$/año.

Finalmente, se ha de pasar el precio de \$ a euros, teniendo en cuenta que actualmente 1\$



equivale aproximadamente a 0,75 euros. Esto da como resultado un coste de 0,55euros/kilo.

Para este coste de producción, y el interés de 7,9%, los costes para un inmovilizado de 808,2 toneladas, ascienden a:

Coste de stock = 7,9% (0,55) = 0,043 euros/kilo → 34.752,6 euros/año

Coste de alquiler de superficie de madurado

Para calcular el coste de superficie de madurado para las 808,2 toneladas de queso, es necesario explicar, que este madurado - almacenamiento tiene lugar en conjuntos de 10 bastidores. Estos bastidores se sitúan de dos en dos (uno encima del otro), y dejando unos pasillos de 0,8 m de ancho entre unos y otros.

Si cada vestidor tiene unas medidas de 0,8 m x 1 m, y en cada uno podemos disponer de 64 quesos (32 kilos) aproximadamente, necesitaré en total 19.332 bastidores. Si estos están dispuestos de 10 en 10, y colocados de 2 en 2, obtenemos que todos ellos ocupan una superficie de:

$$0,8 \text{ m}^2 * (19.332 \text{ bastidores}) / (10 * 2) = 773,28 \text{ m}^2.$$

A esta superficie le hemos de sumar la superficie ocupada por cada pasillo (0,6m de ancho), 3.780 metros

Teniendo en cuenta que el coste de alquiler de la superficie industrial en Barcelona oscila entre 56 - 85 euros m²/año (www.observatoribarcelona.org):

Coste de alquiler superficie madurado es de 254.983,68 euros/año.

Coste de mermas en madurado

Una disminución del inmovilizado durante la etapa de madurado, hace que sea posible reducir las pérdidas por mermas, en aproximadamente un 1% (40320 kilos), por estos productos. Esto se traduce también en el siguiente importe económico equivalente al precio del 1% de este inmovilizado, cuyo precio será, como se ha visto en apartados anteriores de 0,44 euros/kilo. Esta cantidad corresponde a 17.740,8 euros/año.



7.2.1.2. **Materia Prima**

De los estudios realizados en quesos tratados por altas presiones antes del su madurado explicados en el capítulo 4 del presente proyecto, obtenemos de la tabla 4.1 el porcentaje de humedad de los quesos.

Como se ha comentado en el apartado anterior, el madurado de un queso sometido a alta presión acaba el día 28, que en la tabla 4.1 corresponde a un 39,7% de humedad.

En cambio, según datos de las tablas de composición de alimentos, el contenido de humedad para un queso madurado es de 30,6%.

Teniendo en cuenta los distintos porcentajes de humedad presentes en un queso de cabra madurado sin la aplicación de altas presiones o con la aplicación de altas presiones, y el porcentaje de humedad que contiene la leche de cabra (87,3%, según datos de las tablas de composición de los alimentos), obtenemos una cantidad necesaria de leche distinta en cada caso:

- a) Queso madurado tras la aplicación de altas presiones:

$$8.064 \text{ ton.Queso/año} * (0,603\text{MS/Kgqueso}) * (\text{Lleche}/0,127\text{MS}) \rightarrow 38.290 \text{ ton.leche/año}$$

- b) Queso madurado sin la aplicación de altas presiones:

$$8.064 \text{ ton.Queso/año} * (0,694\text{MS/Kgqueso}) * (\text{Lleche}/0,127\text{MS}) \rightarrow 44.066 \text{ ton.leche/año}$$

Costes por adquisición de materia prima

Si tenemos en cuenta los datos obtenidos en el apartado anterior, se puede decir que mediante la aplicación de altas presiones tengo un aumento del rendimiento quesero de aproximadamente un 13 - 15%.

Este aumento del rendimiento quesero, se traduce en una disminución de la cantidad necesaria de leche para obtener una misma producción de queso, que a su vez da como resultado un ahorro en la adquisición de materia prima.

Teniendo en cuenta que el precio de adquisición de leche es de 0,3 euros/litro (datos del País/2004), la cantidad ahorrada asciende a:



(44.066 – 38.290) toneladas * 0,3 euros/litro → 1.732.800 euros/año.

Coste de mermas en materia prima

Una disminución de la cantidad de leche necesaria, hace que sea posible reducir las pérdidas por mermas, en aproximadamente un 1% (57.760 kilos), por estos productos. Esto se traduce también en el siguiente importe económico equivalente al precio del 1% de este inmovilizado, cuyo precio será aproximadamente de 0,3 euros.

Esta cantidad corresponde a 17.328 euros/año.

7.2.2. Estudio de los gastos obtenidos tras la instalación de la maquinaria

Para una estimación de los costes, gastos, que ocasionará la implantación de este tipo de maquinaria en el proceso de producción de queso nos serviremos de la tabla 7.4 facilitada por la empresa NC Hyperbaric:

Producto		Queso
Parámetros de tratamiento		400 MPa 5 min
CICLO		
	Unidad	
Coefficiente llenado vasija		0,5
Tiempo de carga y descarga	Min	2,5
Tiempo de presurización	Min	2,5
Tiempo de proceso	Min	5
Tiempo total de ciclo	Min	10
EQUIPO		
Volumen vasija(s)	Litros	300
Numero de vasija(s)		2
Numero de bomba(s) de HP		8
TIEMPO OPERATIVO		
Tiempo operativo diario	Horas	16
Tempo operativo anual	Horas	4480
Tiempo operativo anual	Días	280



COSTES Y CONSUMOS		
Coste de inversión	K€	2585
Período de amortización	Años	5
Mantenimiento / h	€	72,0
PRODUCCIÓN		
Número de ciclos / h		12,0
Numero de ciclos / día		192
Numero de ciclos / año		53760
Producción horaria	Tons	1,8
Producción diaria	Tons	28,8
Producción anual	Tons	8064
COSTES OPERATIVOS ANUALES		
Amortización de la inversión	K€	517
Mantenimiento	K€	323
Total	K€	840
COSTE DE TRATAMIENTO POR LITRO O KG		
Amortización de la inversión	€	0,064
Mantenimiento	€	0,040
Total	€	0,104
COSTE DE TRATAMIENTO POR CICLO		
Amortización de la inversión	€	9,62
Mantenimiento	€	6,00
Total	€	15,62

Tabla 7.4

Como se puede ver en la tabla 7.4, el coste de inversión de la maquinaria es de 2.585.000 euros, y los costes de operación anuales (mantenimiento) son de 323.000 euros.



Según información facilitada por la empresa NC Hyperbaric, los costes de instalación se encuentran entre 15.000 y 40.000 euros, dependiendo del tipo de maquinaria y del país de venta. En nuestro caso, estimaremos un valor medio de 27.500 euros.

7.2.3. Evaluación económica

Para poder evaluar si el proyecto es rentable, realizaremos un análisis mediante el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), de la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) y del Periodo de Retorno de la inversión (PAY BACK).

Inicialmente tendremos un flujo negativo debido al desembolso por la compra de la nueva maquinaria, cuyo coste es la suma del coste de la maquinaria junto con el de su instalación en la industria (2.585.000 + 27.500).

De los periodos 1 a 5, tendremos una serie de flujos de caja:

- Un ahorro de costes debido al ahorro en superficie, adquisición de leche.....todos ellos explicados en los apartados anteriores (34.752,6 + 254.983,68 + 17.740,8 + 1.732.800 + 17.328).
- Un pago correspondiente al incremento de impuestos a pagar para este ingreso (35%)
- No tendremos en cuenta la amortización de la nueva maquinaria (amortización lineal a 5 años) en los costes, ya que no se trata de una salida de caja, pero si afecta a la cantidad de impuestos a pagar.

Un resumen de todo lo comentado se puede ver claramente en la siguiente tabla 7.5:

	0	1	2	3	4	5
Compra nueva maquinaria	2.612.500,00					0
FONDOS INVERTIDOS	2.612.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	1	2	3	4	5
+ Reducción de costes	2.057.605,08	2.057.605,08	2.057.605,08	2.057.605,08	2.057.605,08	2.057.605,08



- Aumento de gastos	-323.000,00	-323.000,00	-323.000,00	-323.000,00	-323.000,00	-323.000,00
- Amortizació máquina	-517.000,00	-517.000,00	-517.000,00	-517.000,00	-517.000,00	-517.000,00
= Beneficio antes de impuestos	1.217.605,08	1.217.605,08	1.217.605,08	1.217.605,08	1.217.605,08	1.217.605,08
- Impuesto de sociedades	-426.161,78	-426.161,78	-426.161,78	-426.161,78	-426.161,78	-426.161,78
= Beneficio después de impuestos	791.443,30	791.443,30	791.443,30	791.443,30	791.443,30	791.443,30
+ Amortización	517.000,00	517.000,00	517.000,00	517.000,00	517.000,00	517.000,00
FONDOS GENERADOS	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30
	0	1	2	3	4	5
+ FONDOS GENERADOS	0,00	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30
- FONDOS INVERTIDOS	-2.612.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FLUJO DE CAJA	-2.612.500,00	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30	1.308.443,30
SUMA DE FLUJOS DE CAJA	-2.612.500,00	-1.304.056,70	4.386,60	1.312.829,91	2.621.273,21	3.929.716,51

Tabla 7.5 Todas las cantidades están expresadas en euros

Por último a partir de los datos mostrados en la tabla 7.5, podemos calcular el VAN, TIR y Pay Back. Estos valores se muestran en la tabla 7.6:

VAN (k = 10%)	€ 2.347.529,558
TIR (%)	41%
PAY BACK años	2

Tabla 7.6



Conclusiones

En la actualidad se están desarrollando numerosos estudios acerca de la aplicación de las altas presiones a la industria alimentaria. En el presente proyecto, se ha querido estudiar en concreto la viabilidad de esta tecnología en la industria quesera.

El proyecto se ha basado en estudios existentes sobre la influencia de la alta presión en la composición del queso (microbiología, composición...). De los estudios aquí mostrados se han sacado varias conclusiones:

- La alta presión provoca una aceleración en el proceso de obtención de aminoácidos, provocando una disminución en el tiempo necesario para la obtención de los mismos. Esto afecta directamente a la etapa de madurado del queso, ya que su duración se acorta aproximadamente en un 50% respecto al necesario en un proceso estándar.
- La alta presión provoca una mayor retención de agua en el queso. Este aumento en el contenido de agua provoca un aumento del rendimiento quesero de aproximadamente un 15%.
- La alta presión, puede conseguir una reducción de la flora microbiana patógena, y así los alimentos sometidos a alta presión tienen una vida útil más larga.
- La alta presión, provoca cambios en la composición de los quesos de cabra, pero estos cambios no afectan a aquellos componentes que dan a este tipo de quesos su sabor característico.

Por otra parte, como se ha comentado a lo largo de todo el proyecto, el gran inconveniente de este tipo de instalaciones es su coste.

Valorándose todas las ventajas que esta técnica aporta al proceso de fabricación, y que se traducen en unos ahorros anuales, y los costes que su maquinaria implica, se obtiene en la evaluación económica un VAN y un TIR muy elevados.

Si sólo tenemos en cuenta los valores obtenidos en la evaluación económica, vemos que el proyecto es rentable, ya que obtenemos una tasa interna de rendimiento del 41%, y



recuperaríamos la inversión en apenas 2 años.

Pero estos datos sólo se han de tomar como un indicador de la posible viabilidad de este tipo de tecnología en la industria del queso, ya que los estudios mostrados no se pueden considerar representativos de todo el sector de la industria quesera. Por ejemplo, en el caso del queso Camembert sometido a un tratamiento de 50 MPa durante 4 horas, el día 10 de madurado resultó idéntico a un queso no tratado de 14 días, lo que daría una disminución del tiempo de madurado de aproximadamente un 40%.

Por otra parte dependiendo del tipo de queso el tratamiento de altas presiones será efectivo en distintas condiciones, por ejemplo, en el caso del queso Camembert, comentado en el párrafo anterior, la reducción del tiempo de madurado tenía lugar para un tratamiento a altas presiones de 50 MPa durante 4 horas. Sin embargo, este mismo tratamiento para los quesos Gouda no tiene influencia alguna.

Por todo ello, a partir del estudio económico del proyecto se puede decir que un proyecto de implantación de tecnología de alta presión podría resultar rentable para el proceso de producción de queso. Pero su viabilidad deberá ser estudiada para el caso concreto de queso que se fabrique. Es decir, si se estudiará la posibilidad de la implantación de esta técnica en el proceso de fabricación de un queso concreto, se deberían llevar a cabo diferentes estudios sobre el impacto de la alta presión en la composición del queso (madurado, rendimiento, propiedades organolépticas,..) y en su microbiología.

De esta forma también se podrían concretar más correctamente las variables de funcionamiento de este tipo de maquinaria, y por tanto, se podrían afinar más los datos correspondientes a los costes anuales de maquinaria y elegir a su vez la maquinaria más rentable en función de los parámetros y la producción quesera.

Por último, también se podrían afinar más los ahorros conseguidos con la implantación de este tipo de maquinaria, ya que se trataría de su utilización en un proceso ya existente del que se pueden obtener datos más reales sobre los costes de producción actuales de la empresa (producto acabado, mermas, adquisición de materia prima,....).



Agradecimientos

Agrdezco a mis familiares y amigos el soporte incondicional que me han dado, ya que sin el mismo, lo que durante estos años he perseguido habría tenido más dificultad.

Una especial mención a mi director de proyecto Enric Riera Valls, por facilitarme el trabajo y aconsejarme en el desarrollo del proyecto.

De igual manera, también quiero hacer extensivos estos agradecimientos a Carole Tonello (NC Hyperbaric), Narcís Grèbol (España) y Reyes Plà(uab) , por atenderme y proporcionarme toda la información necesaria e imprescindible para llevar a cabo el presente proyecto.

Cristina Fernández Pérez

Barcelona, Marzo de 2005



Bibliografía

Referències bibliogràfiques

- [1] ALIMENTARIA 2004 BARCELONA 8 –12 MARZO
[<http://www.alimentaria-bcn.com/cas04/activida/3501b.htm>, 14 de Abril de 2004].
- [2] ANUARIO LACTEO EDICIÓN 2001-2002. Publicaciones técnicas Alimentarias S.A.
- [3] ANUARIO LACTEO EDICIÓN 2002-2003. Publicaciones técnicas Alimentarias S.A.
- [4] BIBIANA JUAN GODOY, *Aplicación de altas presiones hidrostáticas en el madurado acelerado de queso elaborado con leche de oveja. Estudio Preliminar*. Barcelona uab.
- [5] *El país*. Lunes 13/09/2004 Economía. Pag.73
- [6] *Fábricas de alimentos, procesos, equipamiento, costos*, EDITORIAL Acribia, S.A. Zaragoza 1991.
- [7] FENIL –:FEDERACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIAS LÁCTEAS
[http://www.fenil.org/datos_sector/produccion.htm, 19 de Febrero de 2004]
- [8] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
[<http://www.ine.es/>, 15 de Febrero del 2005].
- [9] JORDI SALDO, AVELINA FERNÁNDEZ, ESTHER SENDRA, PETER BUTZ, BERNHARD TAUSCHER, BUENAVENTURA GUAMIS, *High pressure treatment decelerates the lipolysis in a caprine cheese*. Food Research International 36 (2003) 1061-1068.
- [10] J.SALDO, P.L.H.MCSWEENEY, E.SENDRA, A.L.KELLY,B.GUAMIS, *Proteolysis in caprine milk cheese treated by high pressure to accelerate cheese ripening*. International Dairy Journal 12 (2002) 35-44.
- [11] LA CAIXA



[http://portal1.lacaixa.es/Channel/Ch_Redirect_Tx?dest=1-12-10-00000310#, 19 de Febrero de 2005]

- [12] MARTA CAPELLAS PUIG, *Aplicación De la alta presion hidrostatica en Mató (queso fresco de leche de cabra)*, Universidad autónoma de Barcelona unidad de tecnología de los alimentos. Bellaterra,1998.
- [13] MARTIN N.BUFFA, *Aplicación de las altas presiones hidrostáticas en la elaboración de queso de cabra*, Universidad autónoma de Barcelona unidad de tecnología de los alimentos. Bellaterra, 1999.
- [14] MERCE RAVENTOS SANTAMARIA, *Industria alimentária technologies emergents*, Ediciones UPC Barcelona 2003.
- [15] NICOLÁS CORREA. MAQUINARIA DE ALTA PRESIÓN.
[<http://www.nchyperbaric.com/>, 4 de Diciembre del 2004]
- [16] OBSERVATORI BARCELONA.
[<http://www.observatoribarcelona.org/Indicadors.php?IdentificadorTema=6&Identificador=33>, 14 de Febrero del 2005].

Bibliografia complementària

- [17] ACIARA E. O'REILLY, ALAN L.KELLY, PATRICK M.MURPHY, THOMAS P.BERESFORD, *High pressure treatment: applications in chese manufacture and ripeneng*. Trends in Food Siciente & Technology 12 (2001)3 51-59.
- [18] A.J.TRUJILLO, B.GUAMIS,C.CARRETERO, *a procedure for the manufacture of goat milk cheese with controlled-microflora by mians of hichg hydrostatic pressure*.Food Chemistry 69 (2000)73 - 79.
- [19] A.J.TRUJILLO, M.CAPELLAS, M.BUFFA, C.ROYO, R.GERVILLA, X.FELIPE, E.SENDRA, J.SALDO, V.FERRAGUT,B.GUAMIS,*Application of high pressure tratment for cheese production*. Food Research International 33 (2000)311-316.



- [20] CENTRE D'ENSENYAMENT SUPERIOR DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA, *Tablas de composición de los alimentos*, Edicions UB, Barcelona 2002.
- [21] Consejería de agricultura, junta de comunidades de castilla - la mancha, *El QUESO manchego*
- [22] DANIEL CODINA ALVAREZ, *Proyecto de las instalaciones de una industria elaboradora de queso con una capacidad para 25.000 litros/día ubicada en el polígono industrial de Navarces y presupuesto de instalación de cogeneración*, Universidad de Ingeniería Técnica Superior de Agrónomos de Barcelona, Barcelona 2003.
- [23] DOUGLAS, JAMES M., *Conceptual design of chemical processes*, Mc Graw Hill, 1988
- [24] *Food Processing by High Hydrostatic Pressure*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. V.42/II. 2002
- [25] GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. *Prevención de la contaminación en la industria láctica*. 2003.
- [26] GENERALITAT DE CATALUNYA. INSTITUT CATALÀ DE CONSUM, *Preus de Venta al públic del productes alimentaris més habituals 2003 y 2004*.
- [27] I.CENZANO, *los quesos*, ediciones amv.
- [28] JEAN MARIE LEBAS, ANTONIO CUIRIESES, *Equipos de alta presión para la industria alimentaria*.
- [29] JORDI SALDO PERIAGO, *Maduració accelerada de formatge de cabra mitjançant alta pressió*, Universidad autónoma de Barcelona unidad de tecnología de los alimentos, Bellaterra 1999.
- [30] JOSEP MESTRES LAGARRIGA, *El queso*, Ediciones Omega, Barcelona.
- [31] M.CAPELLAS, M.MORMUR, B.GUAMIS, *Aplicación de las altas presiones en alimentos (productos lácteos)*.
- [32] M.CAPELLAS, M.MOR-MUR, E.SENDRA, B.GUAMIS, *Effect OF High-pressure*



processing on physico-chemical characteristics of fresh goat's milk cheese (mató).
International Dairy Journal 11 (2001) 165-173.

- [33] MARC AYALA MAYARGA, *Proyecto de las instalaciones de una industria artesanal elaboradora de queso con capacidad de 1.000 litros/día, ubicada en la granja Xaragall de Vilasar de Dalt*, Universidad de Ingeniería Técnica Superior de Agrónomos de Barcelona, Barcelona 2000.
- [34] MARTIN BUFFA, BUENAVENTURA GUAMIS, JORDI SALDO, ANTONIO J. TRUJILLO, *Changes in organic acids during ripening of cheeses made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goats milk.* Lebensm.-Wiss. U.-Technol. 37 (2004) 247-253.
- [35] MARTIN BUFFA, BUENAVENTURA GUAMIS, MARTA PAVIA, ANTONIO J. TRUJILLO *Lipolysis in cheese made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goat's milk.* International Dairy Journal 11 (2001) 175-179.
- [36] MARTÍN N. BUFFA, ANTONIO J. TRUJILLO, MARTA PAVIA, BUENAVENTURA GUAMIS, *Changes in textural, microstructural, and colour characteristics during ripening of cheeses made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goats' milk.* International Dairy journal 11 (2001) 927 - 934 (2003).
- [37] MICHEL MAHAUT, ROMAIN JEANTET, GERARD BRULE, *Introducción a la tecnología quesera*, Editorial Acribia, Zaragoza.
- [38] MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, *la alimentación en España-2003*, Madrid, 2004
- [39] MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN.
[<http://www.mapya.es>, 21 de Noviembre del 2004]
- [40] *Nuevo manual de tecnología quesera*, A. Madrid Vicente, Ediciones y Mundi-Prensa Libros, S.A. Madrid 1994
- [41] OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS, *ES 2 170 011*. 20.06.2002
- [42] R.K.ROBINSON - R.A. WILBEY, *Fabricación de queso*, Editorial Acribia, S.A. Zaragoza 1998.



- [43] *Reglametno de l la denominación de origen "queso Manchego" y de su consejo regulador*, Castilla la mancha.
- [44] ROSER ROMERO DEL CASTILLO SHELLY, JOSEP MESTRES LAGARRIGA, *Productos lácteos tecnología*, Ediciones UPC, Barcelona 2004.
- [45] S.Ch.DILANJAN, *Fundamentos de la elaboración del queso*, Editorial Acribia, S.A. Zaeagoza 1984.
- [46] TETRA PAK PROCESSING SYSTEMS AB, *manual de industrias lácteas*, A. Madrid Vicente, Ediciones, Madrid 2003

