

TEMA 3. COAGULACIÓN DE LA LECHE

1. COAGULACIÓN ÁCIDA

- Debido bacterias o adición de ácidos
- Se alcanza punto isoeléctrico; Tª 40-43°C (bact)
- Conduce a cuajadas desmineralizadas



COAGULACIÓN ÁCIDA

- Por adición de ácidos (ác. Láctico, acético) como en la elaboración de algunos quesos o por proceso de fermentación (producción ácido láctico por microorganismos) como en la fabricación de yogures.
- Las caseínas alcanzan su punto isoeléctrico ($pI = 4,5$) y empiezan a precipitar (se hacen insolubles) y se desmineraliza (salen sales - Ca^{2+} , Mg^{2+} , fosfatos...- del interior de la micela hacia el suero). Ese proceso hace que las caseínas insolubles se agrupen formando una red de disposición laminar. El retículo formado encierra parte de la fase acuosa. Los enlaces intermoleculares que forma el retículo tienen naturaleza hidrófoba y electrostática (cargas) por lo que el coágulo será frágil, sin rigidez, ni compacidad, friable (rompe a baja deformación) y poco contráctil (comparado con la coagulación enzimática).
- Que se forme un retículo continuo o no depende de la velocidad de acidificación:
 - Rápida: grumos sueltos que precipitan (mucho suero). Queso Fresco Ácido
 - Lenta (proc. Fermentativo): gel continuo: yogur.

COAGULACIÓN ENZIMÁTICA

Por renina (= cuajo: quimosina y pepsina)

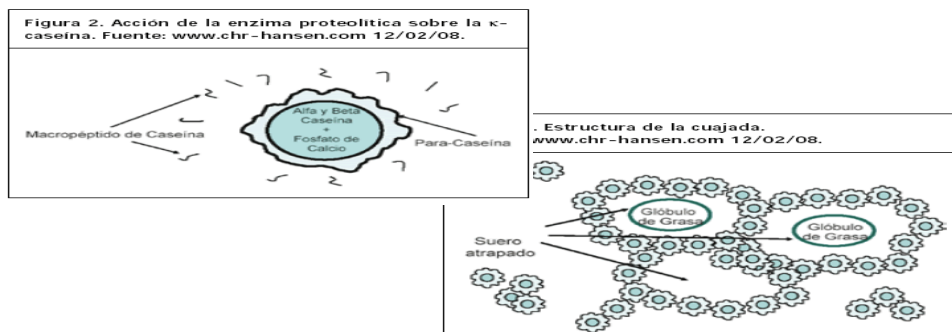
El preparado más frecuente utilizado es la renina de ternera (estómago rumiante) cuyo principio activo es la quimosina. **Dos fases:**

- a. K-caseína --- para-caseína + proteasa del suero [por un enzima proteolítico específico escinde el enlace entre los a.a. Phe-Met localizados en los restos 105 (fenilalanina) y 106 (metionina) de la cadena peptídica de κ -caseína]. La proteasa del suero es un macropéptido ácido (hidrofílico) que se separa de la micela, desestabiliza y formará coágulo.
- b. Micelas de para-k-caseína + Ca^{2+} --- gel

COAGULACIÓN ENZIMÁTICA: QUIMOSINA

DOS FASES:

- **1ª Fase:** ruptura de la κ -caseína en 2 partes
 - Cadena a.a. 1 al 105 : para κ -caseína
 - Cadena del 106 al 169: Macropéptido soluble (proteasa del suero)
- **2ª Fase:** para κ -caseína se une al calcio y precipita en forma de gel.



La coagulación por renina es la etapa fundamental en la fabricación de quesos; aunque también interviene el ácido láctico producido por los microorganismos. En este proceso también se añade CaCl_2 para aumentar la coagulación.

El efecto estabilizador de la κ -caseína desaparece si las dos partes de la molécula (para- κ y glico-macro) se separan por acción de la quimosina:

- Glico-macro-péptidos: soluble, permanece en la solución
- Para- κ -caseína: caseína modificada "insoluble" precipita junto con otras caseínas (agregación en forma de red tridimensional que engloba a los g.g.)

La actividad de la quimosina es altamente específica, pero existen otras proteasas, de acción más general que pueden hidrolizar la k-caseína dando lugar a para- κ -caseína.

Ej: los enzimas proteolíticos elaborados por las bacterias psicótrofas que originan la gelificación de la leche tratada UHT durante almacenamiento.

La κ -caseína se escinde en:

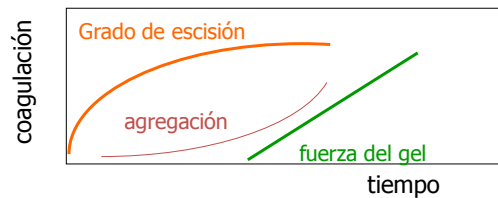
- para- κ -caseína (insoluble en suero lácteo): floculación micelas para- κ -caseínas.
- Caseín-macropéptido = proteasa del suero (muy soluble y no formará asociaciones)

La para- κ -caseína ha perdido la propiedad coloidal protectora de la κ -caseína. Sin la κ -caseína las micelas pueden aproximarse entre sí y flocular. [A menudo se añade CaCl_2 para favorecer la coagulación puesto que la para- κ -caseína (altamente insoluble) posee muchos grupos (-) y al adicionar Ca^{2+} se une en micelas].

A medida que aumenta el grado de escisión de κ -caseínas aumenta la agregación de micelas y aumenta la firmeza del gel.

COAGULACIÓN ENZIMÁTICA: QUIMOSINA

T^a óptima= 34-42°C



- Cuajada rica en minerales: quesos manchego, emmental, gruyère...
- Adición de ClCa_2

FACTOR	CUAJADA ENZIMÁTICA	CUAJADA ÁCIDA
Tiempo de cuajado	Moderado (10-60 min.)	Instantáneo o muy largo (varias horas)
Sinéresis	Intensa	No hay, o es leve
Textura	Elástica	Friable
Grado de mineralización	Mineralizada	Desmineralizada
Retención del agua	Variable	Regular
Madurabilidad	Diverso grado	Baja
Rendimiento	Variable	Alto
Percibibilidad	Variable, según humedad	Alta o media

Las micelas floculadas establecen enlaces Van der Waals + enlaces hidrófobos.

Al principio de la floculación se forman agregados pequeños que forman una red tridimensional que engloba a los g.g. y el agua. Eso significa la formación del gel (gelificación). Con el tiempo (1 día en Danone), el gel se hace más firme, lo que implica la formación de más enlaces: empaquetamiento más compacto y el gel expulsa líquido = SINÉRESIS.

Factores que afectan a la SINÉRESIS:

- Tamaño de las piezas: aumento de la velocidad de sinéresis al aumentar el área superficial (corte de la cuajada)
- Grad. P. mecánicas (+ agitación yogur, + salida de líquido)
- Aumento Fosfato cálcico coloidal menos sinéresis (por aportar rigidez-T^a-)

- Disminución del pH: disuelve el Fosfato cálcico y la caseína se hace más compacta aumentando la sinéresis. *[en el gel elaborado por acidificación la leche difícilmente presenta sinéresis: pq al disminuir el pH el Fosfato cálcico coloidal sale de las micelas]*
- Adición de Ca^{2+} aumenta la sinéresis. Por unión a la para-k-caseína que posee grupos (-) lo cual ayuda a su precipitación (red + compacta). Hay un límite tras el cual si se sigue añadiendo Ca puede aumentar el fosfato cálcico coloidal y disminuirá la sinéresis.
- Temperatura: a los 18°C cesa la sinéresis. Disminuye la velocidad de floculación de las micelas de paracaseína al bajar la Tª.

Los factores que más afectan en la sinéresis son: el aumento de la temperatura y la acidificación del medio (macropéptidos)

A pH constante el efecto de la TEMPERATURA sería:

- Al aumentar Tª: aumento Fosfato cálcico coloidal: disminuye la sinéresis
- Al disminuir Tª: disminuye Fosfato cálcico coloidal: aumenta la sinéresis

Un Tratamiento Térmico Intenso (mayor que la pasteurización a baja temperatura LT) implica una desnaturalización de las proteínas del suero que aumenta el tiempo de coagulación por renina, origina una cuajada más débil y una sinéresis defectuosa. Esto es debido a la desnaturalización de la β -lactoglobulina que reacciona con la κ -caseína, la cual ya no será tan sensible al ataque por la quimosina del complejo formado κ -caseína- β -lactoglobulina.

En el yogur se busca que precipiten las proteínas del suero con las caseínas: aumento del rendimiento / mayor consistencia.

3. COAGULACIÓN MIXTA

- Acción conjunta de la acidificación + hidrólisis enzimática
- Alta concentración fermentos lácticos y baja de cuajo
- Tª óptima: 20°C
- Cuajada muy húmeda y características intermedias: Quesos de pasta blanda (Camembert, Brie, Feta...)

4. COAGULACIÓN POR CALOR

- SEROPROTEINAS

PRECIPITAN POR :

ADICIÓN ÁCIDOS + CALOR

Las seroproteínas o proteínas del suero (α -lactoalbumina, β -lactoglobulina) pueden precipitar por acción del calor, se desnaturalizan en combinación del calor y la acidificación del medio (bajar el pH al pI de dichas proteínas).

El requesón tiene un alto valor nutritivo debido a la composición de aminoácidos de las proteínas precipitadas (proteínas del lactosuero).