



*Universidad Autónoma del Estado de México*  
Facultad de Química  
Programa Educativo: **Químico en Alimentos**

Unidad de Aprendizaje: **Taller de procesamiento de lácteos**

Semestre en el que se imparte: **7°**

Tipo: **TEÓRICO-PRÁCTICA, OPTATIVA**

Total de horas: **5P**

Créditos: **5**

Tema: **Fundamentos en la elaboración de queso**

Autora: **Dra MARÍA DE LOS ANGELES COLÍN CRUZ**

# GUIÓN EXPLICATIVO

El objetivo general de esta Unidad de Aprendizaje Taller de procesamiento de lácteos es analizar la ciencia de la leche, su importancia en la alimentación y en la economía, así como la aplicación de los fundamentos teóricos en la transformación de la leche en diversos productos lácteos. La aplicación práctica de los conceptos se realiza en prácticas en una planta piloto donde se hace un seguimiento del proceso y se evalúan aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de los productos obtenidos.

Este material didáctico está dirigido a los alumnos del 7° semestre que cursan la U de A mencionada.

Las diapositivas contienen la información o esquemas que apoyan en el desarrollo de la unidad de competencia III, sobre Tecnología de los productos lácteos. En este caso es la fundamentación teórica que da las bases para comprender los fenómenos que ocurren durante la transformación de leche en queso. Se analizan aspectos de bioquímica y fisicoquímica de la leche que complementan lo visto en la unidad I.

# CONTENIDO TEMÁTICO QUE APOYA EL MATERIAL

## Diapositivas

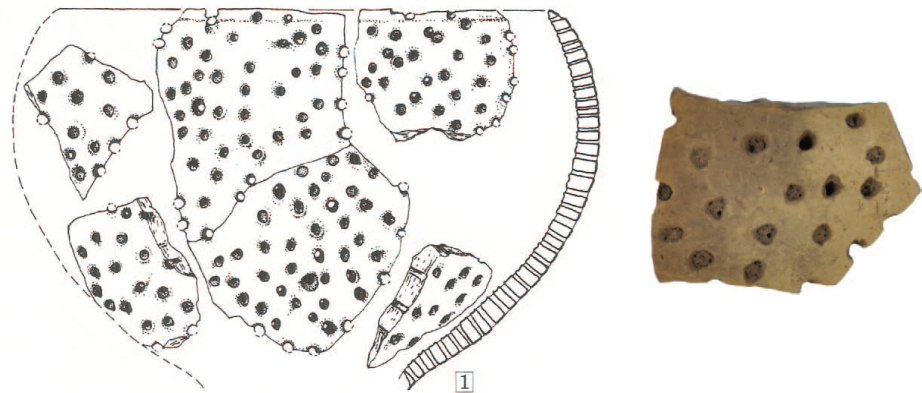
1. Describe la definición de queso
2. Enumera y describe los componentes del queso
3. Clasificación del queso en la legislación mexicana
4. Etapas de la elaboración de queso
5. Describe la coagulación de la leche y tipos de coagulación
- 6-13. Describe y explica la coagulación enzimática de la leche
- 14-17. Describen y explican la coagulación ácida de la leche
18. Describe el desuerado de la cuajada
- 19-30. Describen y explican la etapa de maduración de los quesos

# QUESO

## Definición

Producto fresco o madurado obtenido del desuerado, después de la coagulación, de la leche, crema, leche descremada o parcialmente descremada, suero de mantequilla, o una combinación de los mismos (FAO).

Se han encontrado residuos de leche en vasijas de barro con una antigüedad de 7000 años en el noreste de Anatolia (Asia menor, actual Turquía) que indican el procesamiento de la leche, particularmente la elaboración de queso.



Dibujo representativo de una vasija-colador y fotografía de un fragmento de colador de la region de Kuyavia (Polonia). Fuente: Salque *et al.*, 2013.

# QUESO

## Componentes del queso

- Leche: de vaca. Si es leche de otro mamífero se indica el origen.
- Coagulante
  - Cuajo de becerro (mezcla de quimosina y pepsina)
  - Quimosina pura
  - Coagulantes microbianos
- Sal
- **ADITIVOS**
  - Cultivos lácticos, flora secundaria (en procesos con leche pasteurizada).
  - Sales de calcio:  $\text{CaCl}_2$
  - Inhibidores de microorganismos: peróxido de hidrógeno, nitrato.
  - Acidificantes: ácido láctico, acético, fosfórico.
  - Colorantes: achiote, carotenos, clorofila, peróxido de benzoilo.
  - Otros aceptados por la legislación.

# QUESO

## Clasificación (México) NOM-121-SSA1-1994

- Quesos frescos: Panela, Canasto, Sierra, Fresco, Blanco, Enchilado, Oaxaca.
- Quesos madurados: Añejo, Cotija, Manchego, Chihuahua.
- Quesos procesados: Amarillo.



Algunos quesos mexicanos: Panela, Oaxaca, Cotija, Chihuahua.

# QUESO

## Etapas básicas de elaboración de queso

- COAGULACIÓN
- DESUERADO
- SALADO
- MADURACIÓN (AFINADO)

Las primeras tres etapas conducen a la obtención de quesos frescos que pueden consumirse casi de forma inmediata. En general, tienen características sensoriales poco acentuadas y vida de anaquel corta.

La cuarta etapa es un rasgo de los quesos que permanecen en condiciones apropiadas (temperatura, humedad) durante un tiempo determinado. Poseen características sensoriales más acentuadas y si su humedad es baja, tienen una vida de anaquel elevada.

# QUESO

## Coagulación de la leche

El objetivo de la coagulación es obtener un gel o coágulo factible de manipular para eliminar la fracción acuosa.

## Tipos de coagulación

- **Enzimática:** el gel se obtiene mediante la adición de un agente coagulante, generalmente cuajo (quimosina).
- **Ácida:** el gel se obtiene mediante la liberación de ácido láctico por las bacterias lácticas como resultado de la degradación de la lactosa.
- **Mixta:** el gel se obtiene por acción de un coagulante y adición de bacterias lácticas. Es el tipo de coagulación más común.



# QUESO

## Coagulación enzimática

La quimosina es el agente coagulante por excelencia y el más estudiado. Es una aspartil proteasa con un peso molecular ~30 000. Sus condiciones óptimas de acción son pH de 5.5 y 42 °C.

La quimosina se extrae de la cuarta bolsa de los becerros jóvenes. Actualmente se utiliza quimosina pura obtenida por ingeniería genética.

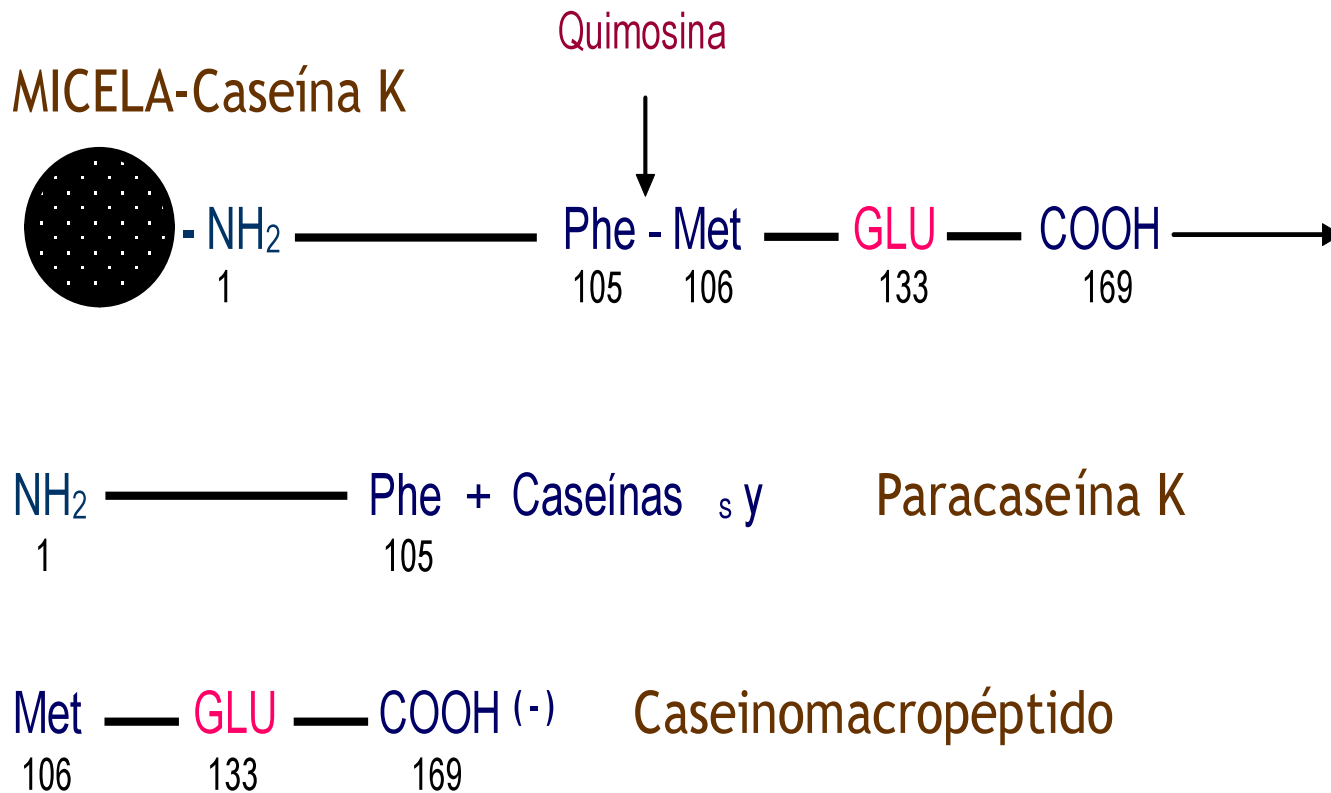
Desde el punto de vista fisicoquímico se distinguen dos fases en la coagulación llevada a cabo con quimosina.

- Fase primaria o enzimática
- Fase secundaria, de coagulación o de agregación.

# QUESO

## Coagulación enzimática: fase primaria o enzimática

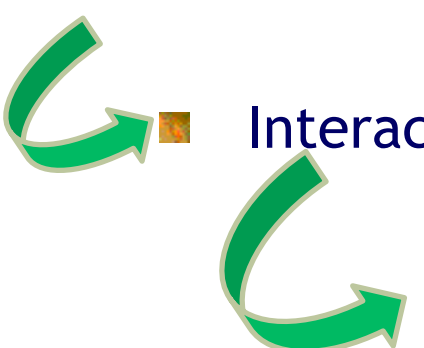
La quimosina hidroliza a la caseína K en la unión 105 – 106, entre una fenilalanina y una metionina.



# QUESO

## Coagulación enzimática: fase de coagulación o agregación

La hidrólisis de la caseína K conduce a la solubilización del caseinomacropéptido y provoca:

- Disminución de la carga neta de la micela
  - Descenso del grado de hidratación
  - Disminución de la estabilidad
  - Interacciones entre micelas (poco estables)
  - Formación de un gel
- 

# QUESO

## Coagulación enzimática: fase de coagulación o agregación

Tipos de unión en la formación del gel enzimático:

- Hidrófobas entre restos de paracaseína K
- Electrostáticas
- De Ca y fosfato de calcio

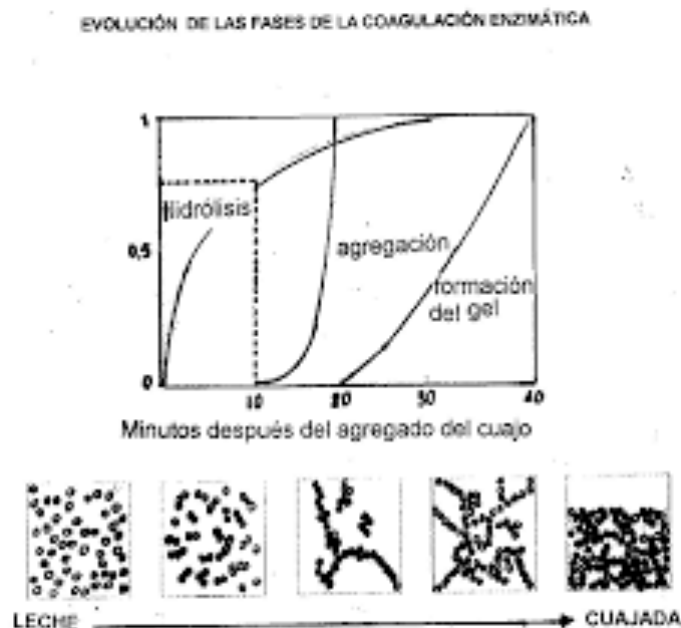
En la formación del gel enzimático participa el calcio iónico (leche cruda), o bien el calcio adicionado ( $\text{CaCl}_2$ ) a la leche pasteurizada.

# QUESO

## Coagulación enzimática: fase de coagulación o agregación

La fase de agregación inicia cuando el 85-90% de la caseína K está hidrolizada.

La agregación representa el 60% del tiempo de coagulación.



Las micelas interactúan entre ellas y forman el gel, y dentro de éste quedan atrapados los glóbulos grasos y la fase acuosa.

Se suponen interacciones localizadas en la superficie de las micelas para formar una red, y no un precipitado.

# QUESO

## Coagulación enzimática: factores que influyen

- Concentración de enzima
- Temperatura
- pH

### ■ Concentración de enzima

$t_c = 1/\sqrt{K_s V/2}$  →  $t_c$  es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad máxima de la reacción enzimática  $V$  y de la constante de la velocidad de agregación  $k_s$ . Como  $k_s$  es proporcional a  $V$ , entonces el tiempo de coagulación es inversamente proporcional a la concentración de enzima.

# QUESO

## Coagulación enzimática: factores que influyen

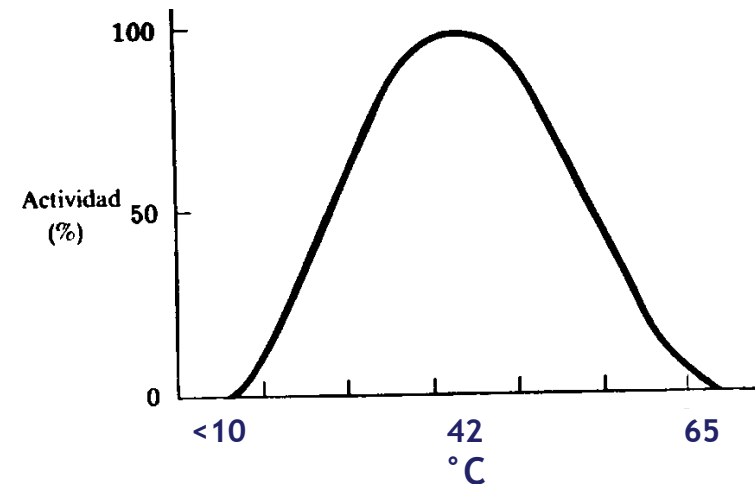
### ■ Temperatura

A temperatura de refrigeración no hay coagulación, luego ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) el tiempo de coagulación aumenta a medida que aumenta la temperatura hasta la actividad óptima. Por encima del óptimo ( $42^{\circ}\text{C}$ ) la coagulación disminuye, luego la enzima se inactiva ( $>65^{\circ}\text{C}$ ).

Por ejemplo, con respecto al tiempo de coagulación a  $40^{\circ}\text{C}$ , éste se duplica a  $25^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura tiene un efecto mayor sobre la fase de agregación, que sobre la fase enzimática.

- $Q_{10}$  Fase 1a = 2
- $Q_{10}$  Fase 2a = 12



Representación del efecto de la temperatura sobre la coagulación de la leche por la quimosina.

# QUESO

## Coagulación enzimática: factores que influyen

### ■ pH

El tiempo de coagulación disminuye a medida que desciende el pH de la leche (6.6-6.7). Por encima de pH 7 la enzima se inactiva.

El efecto del pH se relaciona en parte con el pH óptimo de acción de la quimosina (5.5).

Por ejemplo el tiempo de coagulación a pH 6.0, se multiplica por 4.2 al pH normal de la leche.

El descenso del pH tiene un efecto mayor sobre la fase de agregación que sobre la fase enzimática:

- Cuando el pH desciende a 5.6, el tiempo de coagulación se reduce 7 veces; mientras que la velocidad de agregación se multiplica por 30.



# QUESO

## Coagulación ácida

- Acidificación brusca mediante la adición de ácido: láctico, cítrico, acético.

La caseína alcanza su pH isoeléctrico y se forma un precipitado granuloso.

- Acidificación lenta con la intervención de bacterias lácticas.

Si la leche está en reposo, el ácido láctico excretado por las bacterias conduce a la formación de un gel homogéneo. Este tipo de gel se forma en el Yogur.

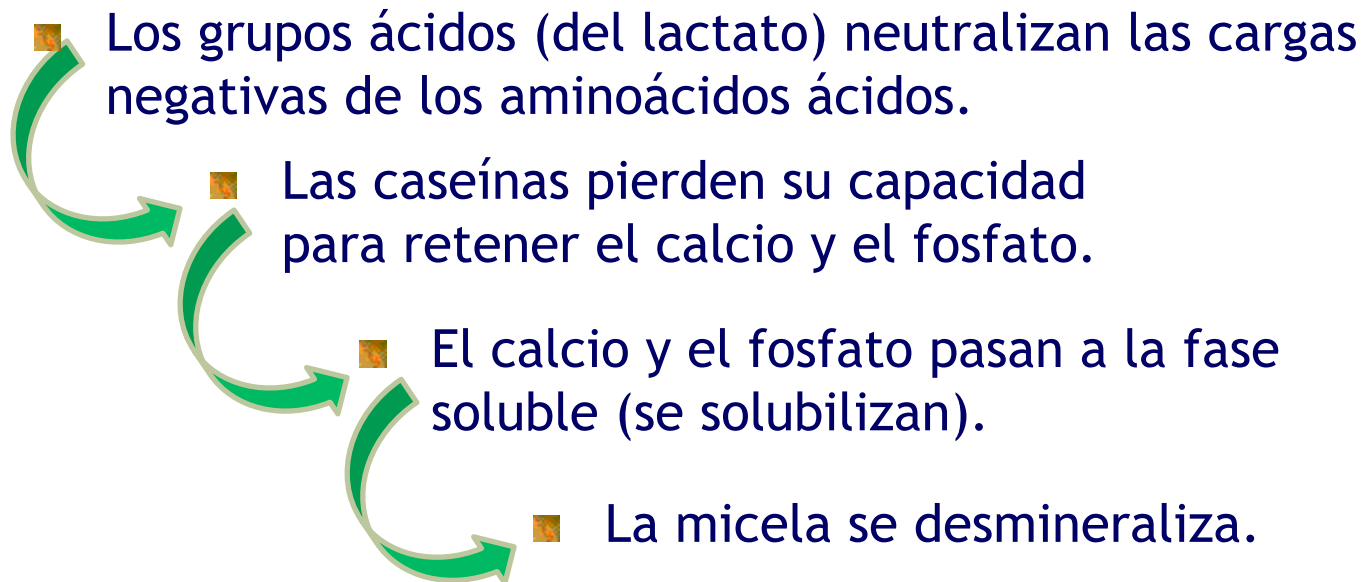
# QUESO

## Coagulación ácida: mecanismo

La coagulación ácida es el resultado de la acción del ácido láctico (proveniente de la degradación de la lactosa por las bacterias lácticas) sobre la micela de caseína.

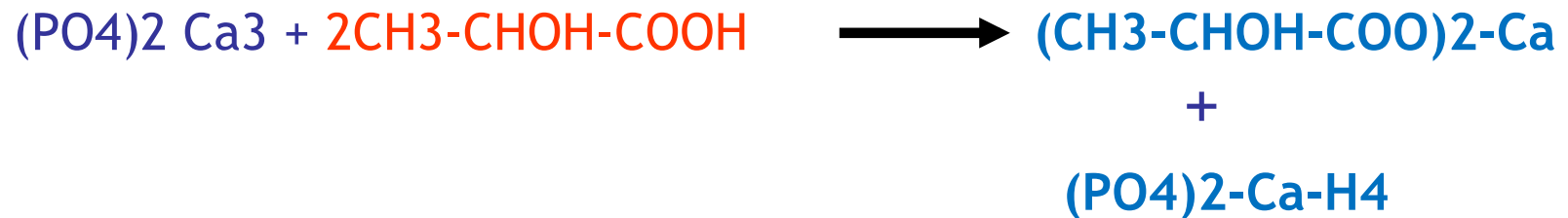
### Formación del gel

El ácido láctico provoca un descenso gradual del pH.

- Los grupos ácidos (del lactato) neutralizan las cargas negativas de los aminoácidos ácidos.
  - Las caseínas pierden su capacidad para retener el calcio y el fosfato.
  - El calcio y el fosfato pasan a la fase soluble (se solubilizan).
  - La micela se desmineraliza.
- 

# QUESO

## Coagulación ácida: mecanismo

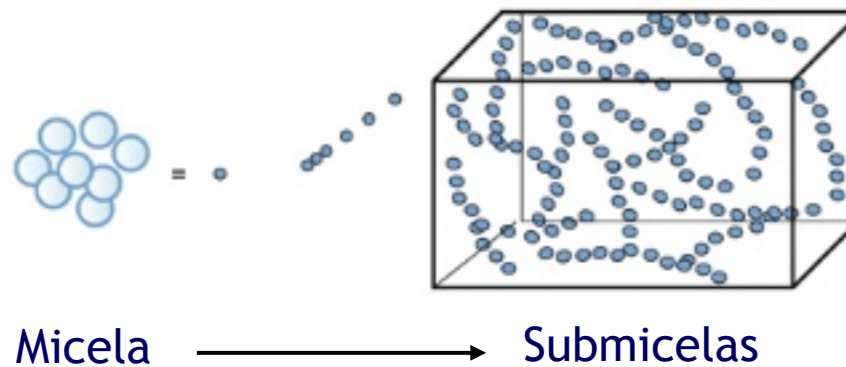


- A un pH 5.7-5.8 produce una desmineralización del 50%.
- A pH de 5.0 la desmineralización es total.
- A pH isoeléctrico: desnaturalización de las cargas, descenso del grado de hidratación

# QUESO

## Coagulación ácida: mecanismo

Puesto que el calcio y el fosfato mantienen la estructura de la micela, la migración de éstos a la fase soluble produce una desagregación de la micela en submicelas.



Tipos de unión en la formación del gel ácido:

- Hidrófobas
- Electrostáticas

# QUESO

## Desuerado

El objetivo del desuerado es eliminar la fracción soluble del gel.

La cantidad de lactosuero a eliminar condiciona la humedad final del producto y depende del tipo de queso que se va a obtener.

Dos elementos participan en el desuerado:

- La sinéresis: corresponde al fenómeno fisicoquímico que caracteriza a los geles y es la consecuencia de las interacciones químicas entre los componentes del gel. El resultado es la expulsión del lactosuero.
- La evacuación del suero: Es la separación física del lactosuero, por decantación o filtración.

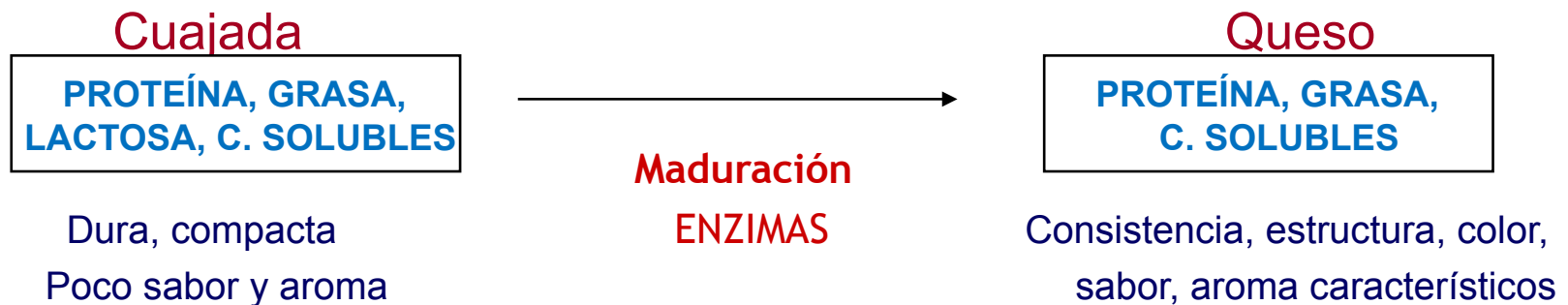
El desuerado comprende dos periodos:

- El primero corresponde a la eliminación del lactosuero durante la etapa de fabricación en la cual se elimina la mayor parte del mismo.
- En el segundo es complementario y participan en éste el salado y la evaporación de agua del queso durante la etapa de maduración.

# QUESO

## Maduración

La maduración es una digestión enzimática de la cuajada.



- Degradación total de la lactosa
- Proteólisis primaria y secundaria
- Lipólisis primaria y secundaria
- Tiempo de maduración: 4 semanas a >2 años

# QUESO

## Maduración

**Enzimas:** Elementos responsables de la maduración

- Coagulante: quimosina
- Enzimas de la leche: proteasas, lipasa
- Enzimas microbianas: bacterias lácticas, flora secundaria

# QUESO

## Maduración: Enzima coagulante (quimosina)

- Actividad primaria: sobre la caseína K
- Actividad secundaria de quimosina remanente (5-10%) sobre las caseínas  $\alpha_S$  y  $\beta$ 
  - Muchos enlaces sensibles en caseínas  $\alpha_S$  y  $\beta$  pero sólo unos pocos hidrolizados
  - Hidrólisis marcada de caseína  $\alpha_{S1}$  en las uniones Phe (23) – Phe (24) o Phe (24) – Val (25)



# QUESO

## Maduración: Enzimas de la leche

### Proteasa alcalina

- Hidrólisis de la caseína  $\beta$  (uniones Lys-X): caseínas  $\gamma$

### Proteasa ácida

- Hidrólisis de caseínas  $\alpha_s$

### Lipasa

- Enzima termosensible
- Hidroliza enlaces éster primario
- Triglicéridos con ácidos grasos de cadena corta

# QUESO

## Maduración: Enzimas microbianas

### Flora primaria

- Bacterias lácticas: *Streptococcus*, *Lactobacillus*

### Flora secundaria

- Mohos: *P. roqueforti*, *P. camemberti*, *P. glaucum*, *G. candidum*
- Levaduras: *Kluyveromyces* y otras
- Micrococos
- Corinebacterias: *B. linens*
- *Propionibacterium*

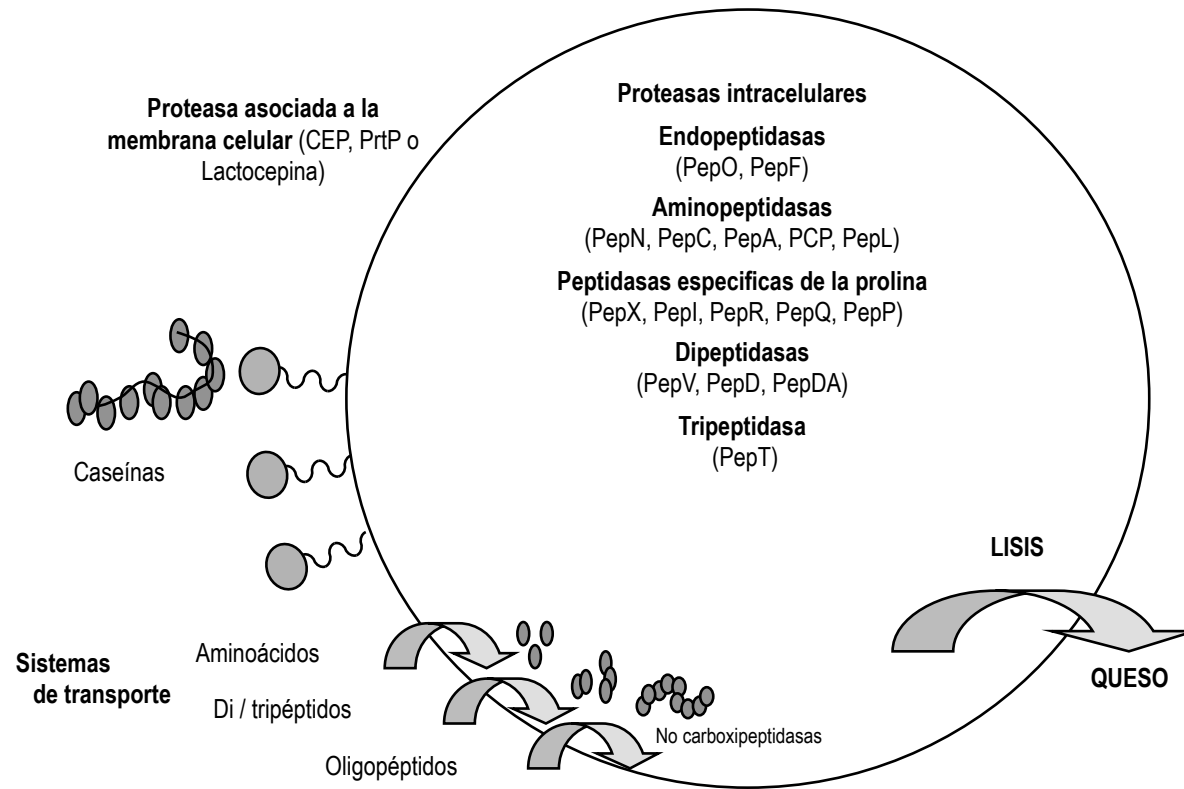
# QUESO

## Maduración: Enzimas microbianas

MICROORGANISMO	ACTIVIDAD ENZIMÁTICA
<b><i>Streptococcus</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Actividad proteolítica apreciable : endopeptidasas y exopeptidasas.</li><li>- Actividad lipolítica débil (hidrolizan mejor grasa parcialmente hidrolizada).</li></ul>
<b><i>Lactobacillus</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Parecen tener dos sistemas proteolíticos: endopeptidasas y exopeptidasas (citoplasma).</li><li>- Actividad lipolítica débil.</li></ul>
<b>Mohos:</b> <b><i>P. roqueforti</i></b> <b><i>P. caseicolum</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Actividad proteolítica potente (exocelular): metaloproteinasas neutras, aminopeptidasas y carboxipeptidasas.</li><li>- Actividad lipolítica elevada, bien conocida (exocelular).</li></ul>
<b>Levaduras</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Actividad proteolítica débil o ausente</li><li>- Poseen lipasas exocelulares o unidas a la pared celular.</li></ul>
<b><i>B. linens</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Participa en la proteolisis y catabolismo de aminoácidos.</li></ul>

# QUESO

## Maduración: Proteólisis



Representación esquemática del sistema proteolítico de *Lactococcus*.

# QUESO

## Maduración: Proteólisis

**Proteasas:** hidrolizan proteínas en péptidos o aminoácidos

- Endopeptidasas, exopeptidasas (aminopeptidasas y carboxipeptidasas), dipeptidasas.

### **Sistemas enzimáticos que hidrolizan aminoácidos**

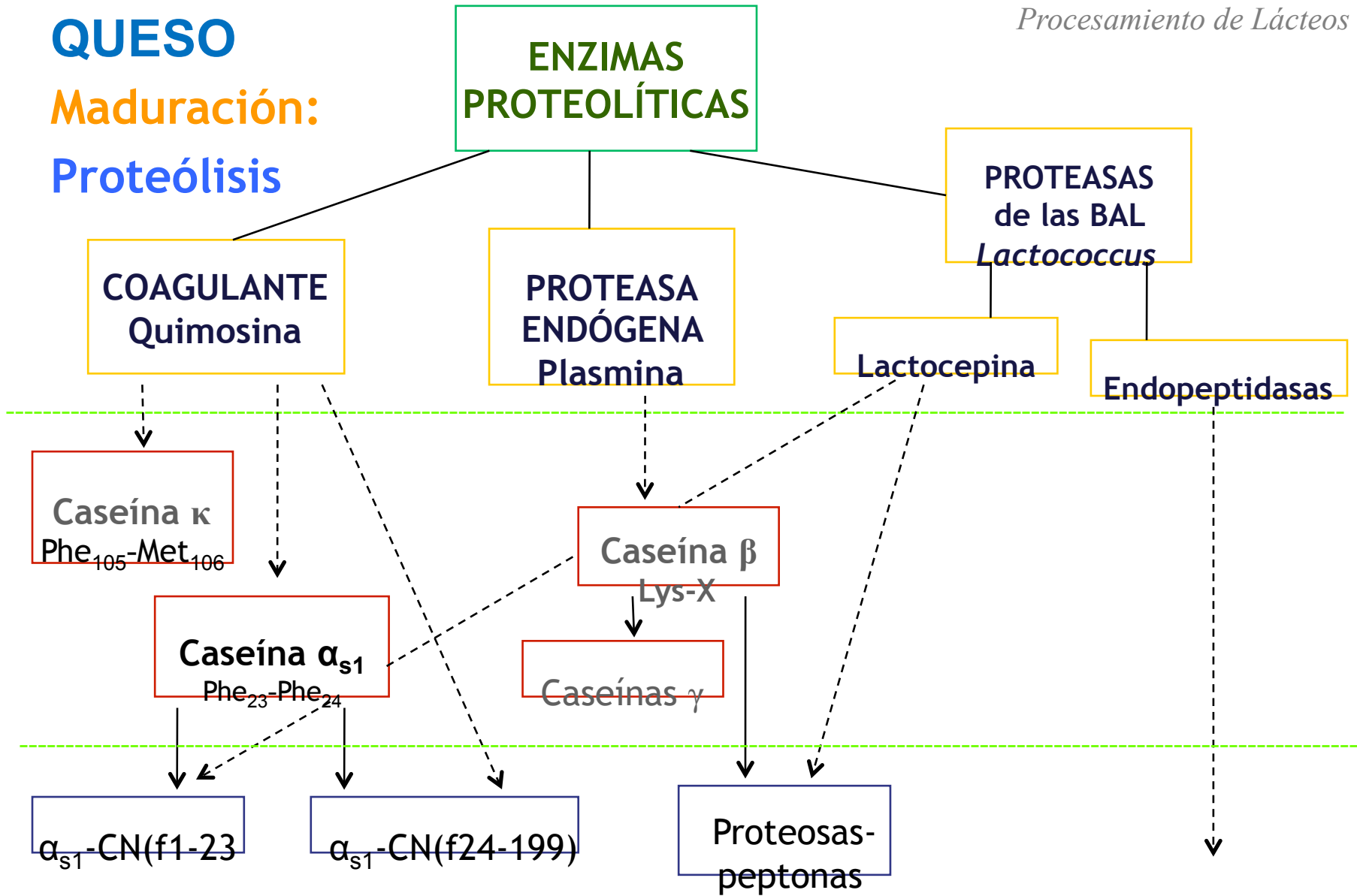
- Desaminasas
- Descarboxilasas
- Transaminasas
- Ligasas

# QUESO

Maduración:

Proteólisis

*Procesamiento de Lácteos*



# QUESO

## Maduración: Lipolisis

**Lipasas:** hidrolizan triglicéridos en ácidos grasos y glicéridos parciales



### Sistemas enzimáticos que hidrolizan ácidos grasos

- Deshidrogenasas
- Descarboxilasas

Formación de ácidos  $\beta$ -cetónicos, metil-cetonas y alcoholes secundarios

# QUESO

## Maduración: Factores que Afectan

### ■ Temperatura

Temperatura óptima de acción de enzimas:

Lipasas: 30-35°C

Proteasas: 45-50°C

### ■ pH

pH óptimo de acción de enzimas:

Lipasas: 7.5 - 9.0

Proteasas: 5.0 - 7.5

### ■ Aw

Humedad del queso

% de sal

### ■ Atmósfera

Necesidad o no de oxígeno por los microorganismos



## **Bibliografía**

Salque M., Bogucki P. I., Pyzel J., Sobkowiak-Tabaka I., Grygiel R., Szmyt M. and Evershed R. P. BC in northern Europe. *Nature*. **493**, 522-525.

Eck A(Coordinador). (1990). El Queso. 2a edición. Omega. Barcelona, España.

Scott, R. (1986). Cheesemaking Practice. 2nd, edition. Elsevier Applied Science Publishers. England.

Fox P. F., McSweeney P.L.H., Cogan T.M., Guinee T.P (edited by) (2004). Cheese: chemistry, physics and microbiology.KNOVEL Vol. I and II. 3rd edition. Elsevier.  
(2013). Earliest evidence for cheese making in the sixth millennium