

# PROTEINAS DEL LACTOSUERO

## Introducción

Las proteínas del lactosuero, que representan alrededor del 20% de las proteínas de la leche de vaca, se definen como aquellas que se mantienen en solución tras precipitar las caseínas a pH 4,6, a una temperatura de 20°C. Esta separación entre caseína y proteínas del lactosuero fue llevada a cabo por primera vez por Hammarsten en 1883, y todavía se utiliza el término "caseína de Hammarsten" para designar a la precipitada de esta forma. Este científico consideró que la proteína del lactosuero era una "globulina", es decir, el tipo de proteína soluble en soluciones salinas pero insoluble en agua destilada. Trabajos posteriores, especialmente de Sebelien, en 1885, demostraron que estas proteínas eran más bien del tipo de las albúminas, solubles en agua destilada. La polémica lactalbúmina - lactoglobulina ha dejado los nombres para las dos principales proteínas del lactosuero, aunque las dos son realmente "albúminas".

La composición proteica del lactosuero presenta diferencias notables dependiendo de la especie considerada. Mientras no se diga otra cosa, se hará referencia a la especie bovina.

Las proteínas del lactosuero pueden ser de síntesis mamaria, como la  $\alpha$ -lactalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulina, que representan conjuntamente el 70% de las proteínas del lactosuero de vaca, y la lactoferrina., o bien de transferencia sanguínea, como la albúmina y las inmunoglobulinas. Las propiedades funcionales del lactosuero vienen dadas por las de sus dos principales proteínas,  $\alpha$ -lactalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulina. Entre ellas destacan su solubilidad, incluso a pH 4,5, si no se calientan, sus propiedades emulsionantes y espumantes y su capacidad de gelificación. Se recuperan por ultrafiltración o intercambio iónico, con secado a temperaturas lo más bajas posible para evitar su desnaturalización.

## $\alpha$ -lactalbúmina

La  $\alpha$ -lactalbúmina es una proteína que se encuentra en la leche de casi todas las especies, con la excepción de algunas focas. Su misión biológica es la síntesis de la lactosa, siendo la estructura reguladora de una galactosil transferasa mamaria. En ausencia de  $\alpha$ -lactalbúmina, este enzima transfiere la galactosa a los glicanos de las glicoproteínas.

La  $\alpha$ -lactalbúmina se sintetiza como respuesta a los procesos hormonales que inducen la lactación. Una vez sintetizada, la  $\alpha$ -lactalbúmina es transportada al aparato de Golgi, donde se une a la galactosil transferasa. Su acción se produce al aumentar la afinidad de la galactosiltransferasa por la glucosa. La  $\alpha$ -lactalbúmina se secreta en la leche, junto con la lactosa, en las vesículas secretoras producidas a partir de las membranas del aparato de Golgi.

La  $\alpha$ -lactalbúmina es la segunda proteína en concentración en el lactosuero de vaca (entre 1 y 1,5 mg/ml), y la más abundante en el lactosuero humano.

La  $\alpha$ -lactalbúmina es una proteína formada por una sola cadena polipeptídica, de 123 aminoácidos, con un peso molecular de unos 14.200. Su estructura terciaria, muy compacta, globular, está mantenida por cuatro puentes disulfuro, con una zona de hélice  $\alpha$  y otra de hojas plegadas  $\beta$ . Es una proteína ácida con un punto isoeléctrico de alrededor de 4,8. En la vaca existen dos variantes genéticas, con distribución desigual según las razas. En la europeas solamente existe la variante B,



### $\alpha$ -lactalbúmina

Además de las estructuras secundarias se indica la posición del átomo de calcio.

con arginina en la posición 10. En las indias existe también la variante A, con glutamina en esa misma posición.

La  $\alpha$ -lactalbúmina tiene un ión calcio unido, que es imprescindible en el mantenimiento de su estructura y de su actividad como reguladora de la galactosiltransferasa. La eliminación del calcio produce la estructura llamada "molten globule", un estado intermedio de desnaturalización que ha sido muy utilizado como

modelo en la desnaturalización de proteínas. Este estado, con la proteína en forma "apo", es mucho menos resistente que la forma saturada con calcio a agentes desnaturalizantes, como el calentamiento.

Desde el punto de vista nutricional, la  $\alpha$ -lactalbúmina es importante dada la abundancia de triptófano, 4 residuos por molécula, lo que representa un 6% en peso. La  $\alpha$ -lactalbúmina es una de las proteínas de la leche que pueden causar alergia a este alimento. La zona más alergénica es la situada entre la valina de la posición 42 y el glutámico de la posición 49

### $\beta$ -lactoglobulina

La  $\beta$ -lactoglobulina es la proteína más abundante en el lactosuero bovino, en el que alcanza concentraciones de 2 a 4 mg/ml, representando alrededor de la mitad de las proteínas del lactosuero. Está presente también en la leche de otras especies, como la yegua y la cerda, pero no se encuentra en la leche humana. Está formada por una sola cadena de 162 aminoácidos, con un peso molecular de unos 18.400. Su secuencia se conoce desde 1976.

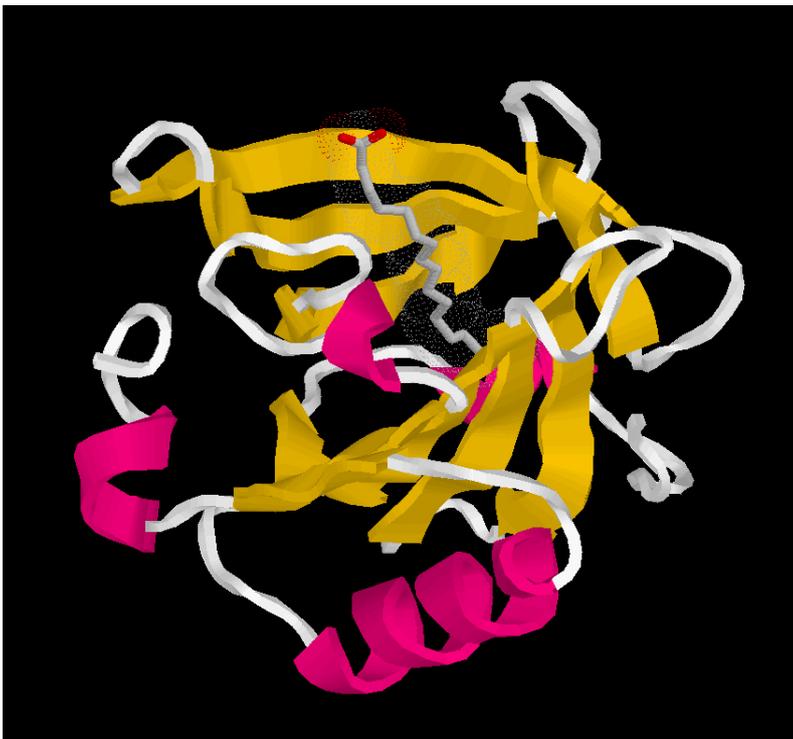
Existen varias variantes genéticas, siendo las más comunes las llamadas A y B, que difieren en dos aminoácidos. La variante A tiene una valina en la posición 118, y un aspártico en la posición 64, mientras que la variante B tiene, respectivamente, alanina y glicina.

Al pH de la leche, la  $\beta$ -lactoglobulina de los rumiantes (no así la de otras especies) se presenta en forma de dímeros con los monómeros unidos de forma no covalente. Estos dímeros se forman entre pH 7,5 y pH 5,2, el punto isoeléctrico de la  $\beta$ -lactoglobulina. Por encima de pH 7,5 y por debajo de

pH 3,5, la  $\beta$ -lactoglobulina está en forma de monómeros, mientras que entre pH 5,2 y pH 3,5 se encuentra en forma de octámeros.

La estructura terciaria de los monómeros de la  $\beta$ -lactoglobulina está mantenida por dos puentes disulfuro. También existe un grupo tiol libre, el correspondiente a la cisteína que ocupa el lugar 121 en la secuencia. Este tiol es muy importante en la asociación de la  $\beta$ -lactoglobulina con otras moléculas, especialmente con la  $\kappa$ -caseína. Esta asociación tiene una gran influencia en la coagulación de la leche inducida por la quimosina. Los puentes disulfuro son también bastante reactivos, y dan lugar a reacciones de intercambio de sulfidrilo. La  $\beta$ -lactoglobulina se desnaturaliza con relativa facilidad por el calor, especialmente en ausencia de ligandos asociados.

La  $\beta$ -lactoglobulina es capaz de interactuar con distintas moléculas hidrofóbicas, especialmente



el retinol y los ácidos grasos. Esta propiedad, además de estar probablemente relacionada con su función biológica, hace que tenga buenas propiedades emulsionantes. La  $\beta$ -lactoglobulina es la más hidrofóbica de las proteínas comunes del lactosuero. La facilidad por el calor, especialmente en ausencia de ligandos asociados.

#### **$\beta$ -lactoglobulina**

Además de las estructuras secundarias se indica la posición de las cadenas de ácido graso (oleico) que puede unirse a ella y las moléculas de agua ligada.

La función de la  $\beta$ -lactoglobulina no se ha establecido todavía con total seguridad, aunque muy probablemente, al menos en el caso de

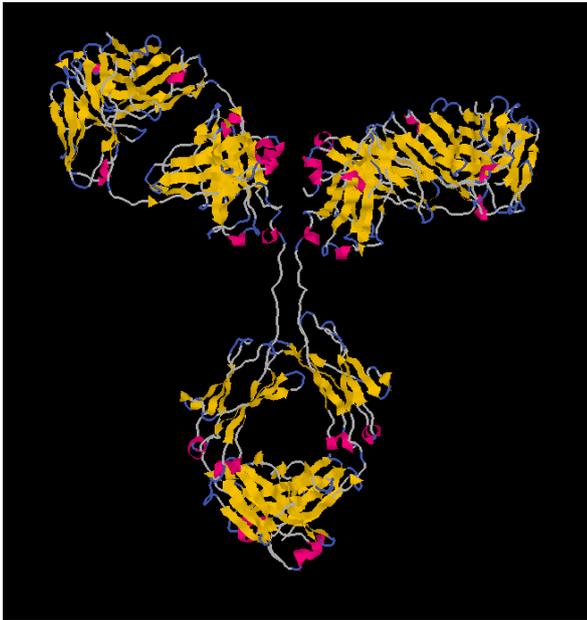
los rumiantes, se trata de una proteína transportadora de ácidos grasos, que ejerce su función en el tubo digestivo del lactante.

### **Inmunoglobulinas**

Las inmunoglobulinas son proteínas que forman parte del sistema de defensa contra microorganismos. La estructura básica, con forma de Y está constituida por dos cadenas ligeras y dos cadenas pesadas. Cada cadena ligera está unida a una cadena pesada por un puente disulfuro, mientras que las dos cadenas pesadas se unen entre sí mediante dos puentes disulfuro. Las cadenas pesadas están glicosiladas.

La actividad de defensa de las inmunoglobulinas del calostro y la leche se puede ejercer de dos formas: En las especies en las que la placenta no permite el paso de inmunoglobulinas, como en los rumiantes, las inmunoglobulinas del calostro (del tipo IgG) transmiten la inmunidad pasiva desde la

madre. En todos los casos, las inmunoglobulinas, especialmente las igA, actúan como sistema de defensa en el tubo digestivo del lactante



### Estructura de la IgG1

En la leche de vaca, aproximadamente el 80% de la inmunoglobulinas presentes en la leche son IgG. La concentración de estas proteínas en la leche es de entre 0,4 y 1 mg/ml, aunque es muchísimo más elevada en el calostro.

### Albúmina

La albúmina de la leche es la misma que se encuentra en la sangre, y procede de ella. En la sangre tienen como función el transporte de ácidos grasos libres de cadena larga, pero en la leche no se le atribuye ninguna en concreto. Es una proteína relativamente grande, con una cadena formada por 528 aminoácidos. En el lactosuero se encuentra en una concentración de alrededor de 0,4 mg/ml.



Además de las estructuras secundarias, se indica la posición del ácido graso (oleico) que puede unirse a ella.

### Lactoferrina

### Albúmina

Además de las estructuras secundarias, se indica la posición del ácido graso (oleico) que puede unirse a ella.

La lactoferrina es una proteína fijadora de hierro, emparentada estructuralmente con la

### Estructura de la lactoferrina

transferrina de la sangre y con la ovotransferrina del huevo. Tiene carácter básico, con un punto isoeléctrico próximo a 9.

Es una glicoproteína que está formada por dos lóbulos, unidos por una hélice de tres vueltas. Los dos lóbulos tienen un 37% de homología de secuencia, por lo que es probable que proceden de una proteína antecesora de la mitad de tamaño. Como estructura secundaria, domina la hélice- $\alpha$ . La afinidad de la lactoferrina por el hierro es muy grande, siendo la constante de afinidad por el ión férrico del orden de  $10^{20}$ , M<sup>-1</sup>. Los puntos de unión del hierro están localizados en posiciones

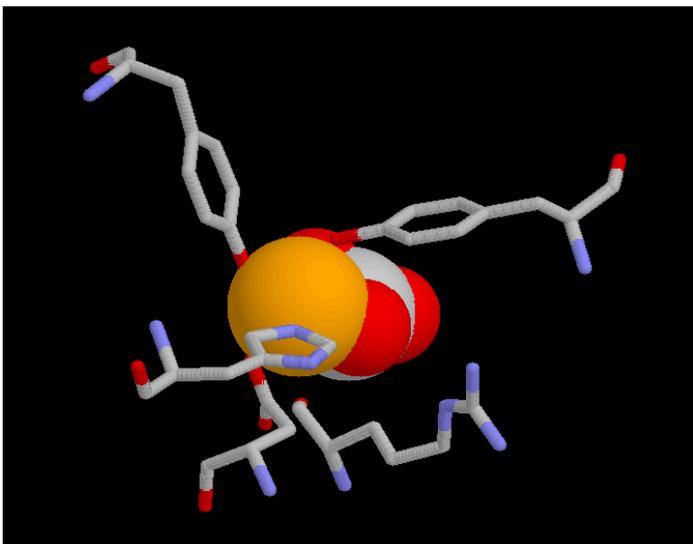


equivalentes en ambos lóbulos. La unión del hierro es reversible, y tiene lugar en presencia de un ión carbonato o bicarbonato por cada ion férrico.

La lactoferrina es abundante en la leche humana, encontrándose también en concentraciones significativas en la leche de los rumiantes y en la de yegua. En todos los casos, la concentración es mayor en el calostro y en el periodo de secado, pero en la leche humana se mantiene también una concentración significativamente elevada a lo largo de toda la lactación

### Estructura de la lactoferrina

En la figura se muestra la estructura detallada del punto de unión del hierro en el lóbulo N-terminal, con el ion carbonato asociado. El hierro se une directamente a los grupos laterales de dos tirosinas, una histidina y un aspártico, mientras que el ión carbonato (o bicarbonato) también unido al hierro interacciona con la cadena lateral de una arginina



La lactoferrina de la leche está muy poco saturada con hierro, ya que una de sus misiones es la protección del recién nacido mediante el secuestro del hierro, haciendo éste indisponible para las bacterias y para la formación de radicales libres en las reacciones de oxidación. También podría.

### Estructura del punto de unión del hierro en la lactoferrina

La lactoferrina obtenida del lactosuero bovino se utiliza en algunos países, especialmente en Japón, como ingrediente de alimentos infantiles. También se ha propuesto su utilización como agente antimicrobiano en la protección de la carne y

de productos cárnicos.

La posible utilidad de la lactoferrina como ingrediente de alimentos infantiles o para uso farmacéutico ha hecho que el gen de la lactoferrina humana se haya clonado en *Aspergillus awamori* y en un arroz transgénico.

### Otras proteínas del lactosuero

Dependiendo de las especies, aparecen en el lactosuero una serie de proteínas minoritarias relacionadas probablemente con la biología del recién nacido de la especie en cuestión. Fracción

proteosa peptona, fragmentos de caseína beta También se encuentran en el lactosuero distintos enzimas, que se tratan en otro apartado.

Tomado de BIOQUIMICA DE LOS ALIMENTOS

*Miguel Calvo*

Fuente.

<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/proteins/lactosuero.html>

**Clic Fuente**



**MÁS ARTÍCULOS**