

INFORMACION

Química-Física Interfacial de emulsificantes alimentarios. Parte II. Mecanismos de estabilización de emulsiones. Emulsiones en alimentos elaborados

Por M.^a B. Riego Martín y C. Gómez Herrera

Instituto de la Grasa y sus Derivados (C.S.I.C.). Avda. Padre García Tejero n.º 4 - 41012 - Sevilla

RESUMEN

Química-Física Interfacial de emulsificantes alimentarios. Parte II: Mecanismos de estabilización de emulsiones. Emulsiones en alimentos elaborados

Se consideran los mecanismos relevantes para estabilizar emulsiones alimentarias. Los principales asuntos analizados son los siguientes: a) Estructuras líquido-cristalinas y transiciones de fase en películas interfaciales formadas por emulsificantes insolubles en agua (monoacilglicerolos, monoésteres de sorbitano); b) Efectos de las moléculas de fosfolípidos con carga eléctrica; c) Emulsiones estabilizadas por proteínas; y d) Efectos de estructuras a largas distancias del estado líquido de los triacilglicerolos en emulsiones «agua en aceite».

Finalmente, se presenta una descripción breve de emulsiones alimentarias típicas. Estas emulsiones son: mayonesas, margarinas, mantequilla, helados, embutidos y masas de panadería, bollería y pastelería que luego se introducen en hornos.

PALABRAS—CLAVE: Información (artículo) — Emulsificante alimentario — Estabilidad de emulsión — Alimento emulsionado — Mecanismo de estabilización.

SUMMARY

Interfacial Physical Chemistry of food grade emulsifiers. Part II. Mechanisms for emulsion stability. Emulsions in typical processed foods.

The mechanisms which are relevant to the stability of food emulsions are considered. The main subjects analysed are: a) Liquid-crystalline structures and phase transitions in interfacial films formed by emulsifiers not soluble in water (monoacylglycerols, sorbitan monoesters); b) Effects of electrically charged phospholipid molecules; c) Protein-stabilized emulsions; and d) Effects on long-range structure in the liquid state of triacylglycerols on water in oil emulsions.

Finally, a brief description of some typical food emulsions is given. These emulsions are mayonnaises, margarines, butter, ice creams, meat emulsions and cake pastes for baking.

KEY-WORDS: Information (paper) — Food - grade emulsifier — Emulsion stability — Emulsified food — Stabilization mechanism.

1. INTRODUCCIÓN

La parte I de este artículo de información (1) se ha dedicado al estudio de: a) los principales emulsificantes naturales (fosfolípidos y proteínas); b) los efectos de la temperatura sobre la solubilidad y el carácter hidrófilo-lipófilo de los emulsificantes sintéticos no iónicos derivados de ácidos grasos y de polioles; c) las principales mesofases (fases líquido-cristalinas) que se forman como consecuencia de las interacciones con el agua de los emulsificantes que tienen en su molécula una o dos cadenas grasas con más de diez átomos de carbono, y d) los diagramas de fases binarios y ternarios característicos de lecitinas y monoacilglicerolos.

En esta segunda parte se analizan los mecanismos más relevantes de emulsificación para: a) derivados no iónicos de ácidos grasos y polioles (formación de estructuras líquido-cristalinas y transiciones de fase en las películas interfaciales ricas en emulsificante); b) fosfolípidos (efectos de los iones anfifílicos en estructuras interfaciales) y c) proteínas (despliegue de la cadena polipeptídica en la interfase, orientación selectiva de las cadenas laterales de los aminoácidos, desnaturalización). Se termina revisando el papel de los emulsificantes en mayonesas, margarinas, mantequilla, helados, emulsiones cárnicas (embutidos) y pastas de panadería, bollería y pastelería.

2. MECANISMOS RELEVANTES DE ESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES EN EL CAMPO ALIMENTARIO

Aunque, en determinados casos, mecanismos frecuentes en la estabilización de emulsiones, tales como la formación de monocapas interfaciales con uno o varios componentes, o la fijación de partículas sólidas en la interfase, intervienen en emulsiones alimentarias, su importancia global es muy inferior a la de los mecanismos que a continuación se analizan.

2.1. Mecanismos para emulsiones aceite en agua

2.1.1. Fases líquido-cristalinas

Las fases líquido-cristalinas laminares estabilizan las emulsiones aceite en agua formando en la interfase una

película cuyo grosor puede ser bastante superior al de una monocapa.

En la figura 1 se observa como la fase laminar puede exhibir una superficie hidrófoba frente al aceite y una superficie hidrófila frente al agua. Es obvio que esta fase laminar posee propiedades ideales para reducir destacadamente la energía interfacial (2) (3).

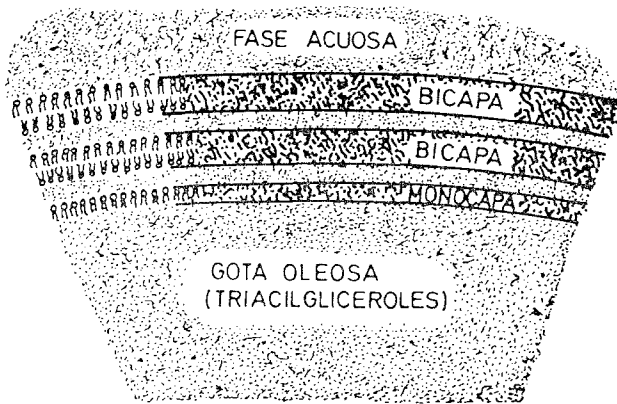


Figura 1

Modelo de una estructura de múltiples capas de fosfolípidos orientadas en una interficie aceite/agua.

También pueden formarse estructuras líquido-cristalinas de tipo hexagonal, pero no son tan frecuentes como las laminares (4).

Los efectos causantes de esta estabilidad son:

— La reducción de las fuerzas de atracción entre gotas, por el impedimento estérico que presenta la fase mesomorfa.

— La elevada viscosidad de la fase mesomorfa, considerablemente superior a la de la fase oleosa, que dificulta la aproximación entre gotas.

— La presencia de una fase laminar líquido-cristalina provoca una fuerza de naturaleza repulsiva que se ha llamado recientemente fuerza de hidratación.

La fuerza de hidratación aparece como consecuencia de las ordenaciones de las moléculas de agua en las proximidades de una doble capa lipídica. Estas fuerzas, atribuidas a repulsiones entre dipolos y dipolos inducidos, aumentan exponencialmente al irse aproximando las dobles capas lipídicas. Por consiguiente, tienden a impedir que se pongan en contacto dos dobles capas lipídicas adyacentes, con lo que se previene la floculación de las gotas emulsionadas.

En el caso de existir alguna zona interfacial no recubierta por capas de fases líquido-cristalinas, puede actuar la llamada fuerza hidrófoba. Esta fuerza proviene de la gran capacidad de ordenación de agua que tiene una cadena hidrocarbonada a su alrededor. Esta ordenación crea un

descenso en la entropía que representa de hecho una barrera insalvable, por lo que se impide la aproximación entre moléculas hidrófobas y el agua (5) (6) (7).

2.1.2. Fases gel.

La presencia de una fase gel en una interficie aceite/agua se puede conseguir dispersando en agua el emulsificante y llevando a cabo la emulsificación a temperatura baja. La emulsión así formada tiene una estabilidad mucho mayor que la obtenida si en la interficie hubiera una fase laminar, debido a la gran rigidez mecánica de las cadenas de hidrocarburo de los lípidos en estado sólido, en relación a la que tienen en estado líquido.

Otra forma posible, en teoría, de conseguir una fase de gel en la interficie sería formar una fase laminar y luego, por descenso de la temperatura, llevar las cadenas de hidrocarburo al estado sólido, con lo que ya se tendría la fase gel. Esto realmente no se consigue, ya que, como la fase laminar tiene mayor área por molécula en la interficie que la fase gel, el paso de una a otra crearía un encogido y la formación de espacios vacíos en la estructura, que traerían consigo la rotura de la película interfacial.

2.1.3. Efectos de la presencia de carga eléctrica en las moléculas de emulsificantes.

La carga eléctrica en la molécula de emulsificante aporta un efecto positivo a la estabilidad de la emulsión en el caso de que el emulsificante esté adsorbido formando una monocapa en la interficie aceite/agua por provocarse efectos de repulsión electrostática entre gotas.

Si, por el contrario, se busca que el emulsificante forme estructuras de tipo laminar con capas de agua intermedias, la presencia de cargas eléctricas no permitirá que se formen estas estructuras, por provocarse repulsiones electrostáticas entre dos capas de lípidos adyacentes, tendiendo a separarse las dobles capas lipídicas y, por tanto, a romperse la estructura laminar.

2.1.4. Estabilización mediante proteínas.

La estructura de la interficie de una emulsión estabilizada por una proteína es mucho más compleja que la presentada por interfacies con moléculas pequeñas (8).

Las conformaciones de las proteínas en las interfacies entre un medio acuoso y uno oleoso pueden ser muy diversas. Existen proteínas plegadas y proteínas desplegadas en las interfacies. Las moléculas de proteínas llegan a penetrar más o menos acusadamente en el medio oleoso. Está confirmada la existencia de varias capas de proteínas en una interficie. La proteína puede enlazar la interficie de una gota emulsionada con la de otra gota. La estructura real de una capa interfacial de proteínas es a veces una combinación de algunas o todas las indicadas.

La determinación de la conformación de una proteína en la interficie de una emulsión resulta muy difícil. Sin embargo, cabe admitir que el desplegado de la proteína, más o menos acusado, con las regiones hidrófobas desplazando el agua de la interficie con el medio oleoso, trae consigo una reducción de la tensión interfacial tan considerable que facilita las energías necesarias para desplegar la proteína

y acumularla sobre la interficie (9).

La película proteica puede presentar un espesor superior al de una molécula de proteína, variando entre el de una proteína totalmente desplegada y el de una conformación semejante a la de una proteína globular situada en el interior de una disolución. Las estructuras encontradas en proteínas gelificadas, mediante microscopía electrónica o difracción de rayos X, pueden servir de modelos para posibles estructuras interfaciales con varias capas de proteínas.

Además de las interacciones entre moléculas de proteína, las interacciones de estas con el medio oleoso pueden afectar el comportamiento de la emulsión. La especificidad del comportamiento interfacial de cada par formado por un aceite y una proteína diferentes viene claramente definida por los distintos valores de la tensión interfacial (10).

2.2. Mecanismos para emulsiones agua en aceite

Los emulsificantes sintéticos formados por ésteres de ácidos grasos y polioles que presentan un carácter predominantemente lipófilo, tales como monoacilgliceroles y ésteres de sorbitano, son muy adecuados para estabilizar emulsiones agua en aceite.

En la estabilidad de las emulsiones preparadas a una temperatura superior a la de fusión de sus ingredientes grasos, junto con el tipo de emulsificante, juegan un importante papel los cristales de materias grasas que se forman durante el enfriamiento de la emulsión hasta temperaturas ambiente o inferiores a esta. Este papel se debe a las propiedades reológicas e interfaciales que los cristales grasos comunican a la interficie.

Los triacilgliceroles en estado líquido suelen presentar un cierto orden a largas distancias, que puede equipararse a una estructura de dobles capas. Esta estructura se orienta en las interfaces entre la fase oleosa continua y el emulsificante con los grupos metilo terminales en contacto con la superficie de la fase oleosa. Al producirse por enfriamiento cristales en forma α de los triacilgliceroles, estos cristales se orientan de modo similar, formando láminas cristalinas situadas paralelamente a las interfaces.

Los datos resultantes de investigaciones con rayos X y espectroscópicas indican que los cristales en forma α son equiparables a cristales líquidos esmécticos, con un desorden propio del estado líquido en la región próxima al grupo metilo terminal (11). Estas láminas flexibles de cristales poseen propiedades idóneas para formar capas interfaciales que contribuyen a estabilizar emulsiones de agua en aceite. El paso de la forma α a la β' supone la formación de cristales en forma de agujas largas y finas orientadas paralelamente a la interficie, que no «pinchan» la película interfacial entre las fases acuosa y oleosa, y que provoca por tanto el aumento de la estabilidad de la emulsión.

3. EMULSIONES ALIMENTARIAS TÍPICAS

Un estudio resumido de las utilidades alimentarias más importantes de los emulsificantes considerados en el

presente artículo de información exigiría un espacio prohibitivo. Entre los alimentos elaborados en los cuales la formación de emulsiones es una etapa indispensable se han elegido, como ejemplo, los seis que a continuación se describen. También podrían haberse considerado otros de muy extendido consumo, tales como productos de chocolatería y ciertas bebidas en las cuales la fase dispersa sirve de vehículo para aceites aromáticos, colorantes y otros ingredientes insolubles en agua.

3.1. Mayonesa

La mayonesa es una emulsión semisólida del tipo aceite en agua. La fase acuosa continua, que contiene muchos ingredientes, tales como proteínas, polisacáridos, azúcares, etc. lleva, así mismo, fosfolípidos de yema de huevo responsables de la estabilización de la emulsión (12). A esta contribuyen también a veces la presencia de coloides hidrófilos.

El uso de otros emulsionantes se debe a motivos económicos y dietéticos, para reducir la cantidad de huevo incorporado. En España están permitidos como emulsionantes de mayonesa los mono y diacilgliceroles, sucroésteres y sucroglicéridos (12).

A pesar del elevado contenido en aceite (más del 65% como mínimo según la legislación vigente), el agua es la fase continua en la mayonesa. Esto se debe a la gran eficacia emulsionante de los fosfolípidos y lipoproteínas de la yema de huevo. Puesto que la cantidad de fase oleosa es muy alta, existe un empaquetamiento muy compacto de las gotas oleosas, por lo que se necesita obtener una capa interfacial muy resistente frente a los procesos de coalescencia. Las lipoproteínas son muy adecuadas para este fin (13).

En estudios para determinar la estructura por microscopía electrónica, ha podido observarse una capa interfacial continua, formada por lipoproteínas de huevo coaguladas, recubriendo las gotas de aceite (14). La estabilidad de las gotas puede atribuirse a la elasticidad de esta capa.

Los emulsificantes reducen los riesgos de coalescencia formando una película interfacial de rigidez conveniente. Debe dedicarse pues atención preferente a conocer el comportamiento mesomórfico del emulsificante en el sistema ternario agua/aceite/emulsificante que se forme en la interficie. Los monoacilgliceroles destilados, cuyo balance hidrófilo-lipófilo es demasiado bajo para asegurar la estabilización de las emulsiones de aceite en agua, resultan ser eficaces para la formación de varias bicapas líquido-cristalinas en la interficie.

3.2. Margarina

La margarina es una dispersión de gotas de una fase acuosa en una fase semisólida que contiene aceite líquido y cristales de grasa sólidos.

La materia grasa es de origen vegetal o animal de calidad alimentaria, pudiendo incorporar de manera opcional grasa de leche.

Actualmente casi toda la margarina se elabora en proceso continuo. En la primera etapa, de emulsificación, la fase acuosa se mezcla con la cantidad requerida de mez-

cla de grasas y aceites muy refinados, y se produce la emulsión aportando la energía mecánica necesaria para la creación de un gran área interfacial. Esta es una emulsión muy inestable que se mantiene en constante agitación hasta pasar a la segunda etapa, de enfriamiento rápido, donde tiene lugar la cristalización parcial de la grasa constituyente, quedando las gotitas de agua fijadas en una matriz semisólida (15).

Desde un punto de vista de coloides químicos, el factor básico en la fabricación de la margarina es la fácil emulsificación de la fase acuosa y no la estabilidad de la emulsión. En esto se distingue de la mayonesa que debe poseer estabilidad a lo largo del tiempo. La rapidez del conjunto de los procesos de emulsificación y enfriamiento exige que las moléculas tensioactivas de bajo peso molecular jueguen el papel principal en la emulsificación, aunque también puede producirse alguna adsorción de proteínas de leche (caso de contenerlas) sobre la interfase.

El emulsificante suele ser una mezcla de mono y diacilglicérols (16) junto con ésteres de sorbitano etoxilados o sin etoxilar (17). También se incorpora lecitina de soja, tanto por sus buenas propiedades emulsionantes, como para evitar el salpicado de la fase acuosa cuando la margarina se usa para freír. A veces se incorpora caseína procedente del cuajo de la leche a la fase acuosa tanto por contener componentes aromáticos como por su poder emulsionante.

Muchos de los componentes de la mezcla emulsionante se usan por su capacidad para influir en la cristalización de la fase oleosa, con objeto de controlar la textura de la margarina.

La distribución de tamaños de las gotas de agua en la margarina es de gran importancia para que el producto resulte suave al paladar. Aunque el 99% de las gotas tengan diámetros pequeños (1-5 micrómetros), es precisa la presencia de un 1% de gotas grandes (10-20 micrómetros) que permitan el rápido acceso a las papilas gustativas de la fase acuosa, que es la que contiene los aromas.

3.3. Mantequilla

La mantequilla es un producto fabricado a partir exclusivamente de leche, nata de leche o ambas conjuntamente, con o sin adición de sal. Debe contener como mínimo un 80% de grasa de leche.

La mantequilla es, en primera aproximación, una emulsión del tipo agua en aceite. La grasa, que constituye la fase continua, determina sus características físicas. Esta grasa se encuentra parcialmente cristalizada (18) (19).

En el proceso de fabricación de la mantequilla el primer paso es la obtención de la nata, que es una emulsión de aceite en agua. En el segundo paso, que consiste en el batido de la nata, se produce la coalescencia de los glóbulos de grasa, por rotura de la membrana debido a la energía mecánica, de forma que tiene lugar el paso de una emulsión aceite en agua a otra de agua en aceite. En este punto se produce, así mismo, la formación de gránulos de grasa sólida, que se separan de la fase acuosa. En el tercer paso de la fabricación, los gránulos se amasan hasta obtener una masa de consistencia reológica adecuada (20).

En la figura 2 se presenta el aspecto de la mantequilla acabada a nivel microscópico: pueden verse en la fase continua de grasa líquida (región no sombreada) las gotas acuosas, los glóbulos de grasa de leche inalterados, así como los cristallitos de grasa sólida y celdas de aire (21).

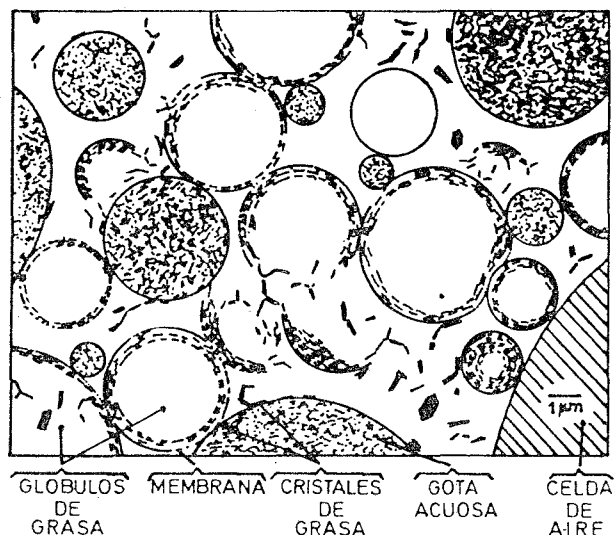


Figura 2

Esquema de la estructura de la mantequilla a temperatura ambiente mostrando los glóbulos de grasa, los cristales de grasa y las celdas de aire. Las zonas no sombreadas indican grasa líquida. El grosor de la membrana de los glóbulos de grasa se ha exagerado.

La distribución del tamaño de las gotas acuosas depende de las condiciones del batido, pues, al ser fuertemente no newtoniano el comportamiento reológico del sistema, la velocidad de cizalla varía mucho a través de la masa.

La microscopía electrónica indica que las membranas adsorbidas sobre las gotas acuosas más pequeñas están formadas principalmente por proteínas (21).

El endurecimiento de la mantequilla con el tiempo se debe al aumento de grasa sólida en los glóbulos, así como a mayores interacciones entre los elementos que la estructuran, tales como cambios en el polimorfismo de los cristales grasos, cambios en los enlaces de hidrógeno, etc.

3.4. Helados

Un helado es un producto lácteo, formado por una espuma parcialmente congelada, con 40 a 50% de aire ocluido.

En la figura 3 se representa un esquema de la forma en que están distribuidas las tres fases fundamentales en un helado: grasa, aire y medio acuoso.

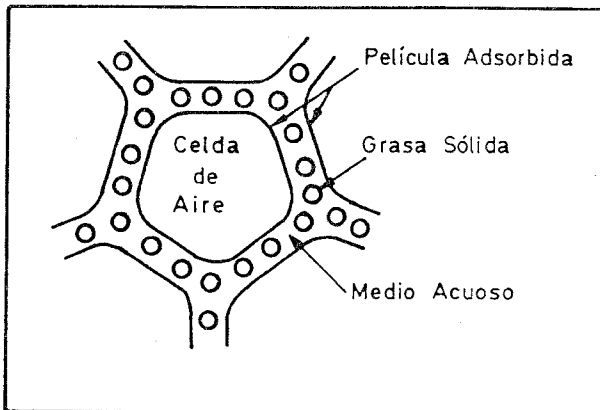


Figura 3

Modelo de la distribución de los tres principales componentes del helado.

La fase acuosa continua contiene, además de la grasa emulsionada, sustancias disueltas o dispersas, tales como azúcar, proteínas, coloides hidrófilos, estabilizantes, etc. Como emulsificantes se usan mono y diacilglicerolos y ésteres de sorbitano (22).

En la primera etapa de la elaboración, se mezclan los componentes, procurando dispersar bien los glóbulos de grasa y el aire, para obtener más adelante un aumento de volumen adecuado (23).

En la segunda etapa se produce la rotura de la emulsión y, mediante congelación, se cristalizan las grasas liberadas. Esta cristalización influye mucho en la textura del helado.

Entre las funciones de los emulsificantes (24) (25) destacan:

- estabilizar la mezcla inicial, mediante los fosfolípidos de la leche, en la primera etapa.
- desemulsionar la grasa y dirigir la cristalización en la segunda etapa (otros emulsificantes distintos de los que cumplieran la misión anterior).
- adsorberse en las interfaces de los glóbulos grasos y formar enlaces con el agua y las proteínas.
- actuar como núcleos de cristalización de los triacilglicerolos en las interfaces.

Los monoacilglicerolos facilitan la desnaturalización de la caseína, en las interfaces de las gotas, en forma de película monomolecular, sobre la cual pueden situarse capas de caseína sin desnaturalizar.

La desemeulsificación de las grasas es el punto clave en la fabricación del helado, pues determina la textura del producto acabado y su comportamiento frente a la fusión.

3.5. Emulsiones cárnicas

Las emulsiones cárnicas desempeñan un papel fundamental en la fabricación de embutidos. Estos productos son el resultado de cortar y moler el tejido muscular de los animales, proceso durante el cual los lípidos quedan

dispersos en forma de emulsión estabilizada por proteínas (26).

En la figura 4 puede verse como las gotas de grasa están situadas en el interior de un retículo tridimensional formado por las proteínas (matriz proteica) (27). También hay casos en que las proteínas forman una membrana rígida alrededor de las gotas oleosas. La presencia de cloruro sódico es indispensable para dar a las proteínas la configuración más adecuada para el retículo tridimensional.

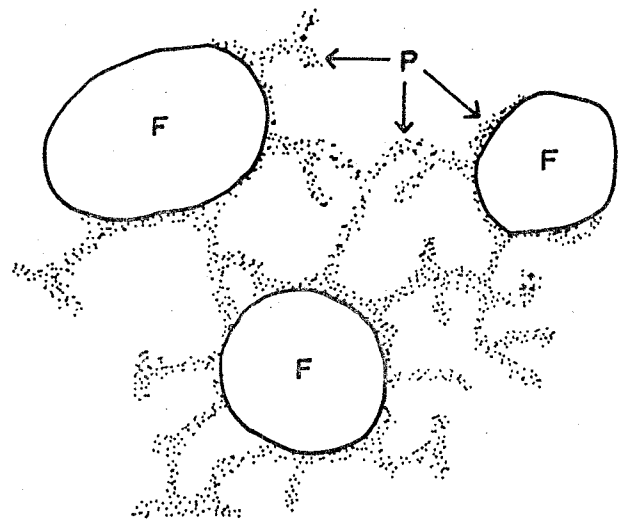


Figura 4

Representación esquemática de las películas interfaciales de proteínas cárnicas (segmentos miofibrilares) sirviendo de puente de unión entre partículas grasas (F) e interaccionando con otras proteínas para formar una matriz proteica (P).

Entre los aditivos, autorizados en algunos países, para las emulsiones cárnicas, se encuentran proteínas de diversos tipos (lácteas, vegetales, albúmina de huevo), ésteres glicéricos, fosfatos, etc., que contribuyen a mejorar la textura y la estabilidad de la emulsión.

Los caracteres básicos de los productos vienen determinados por la solubilización, la adsorción, la desnaturalización y el estado de gel de las proteínas.

La contribución de las diversas fracciones de proteínas a la estabilidad de la emulsión cárnica se ha estudiado, determinándose su comportamiento en sistemas individuales modelo. Las proteínas miofibrilares dan buenos resultados. También contribuyen a estabilizar la emulsión cárnica, los fosfolípidos y el colesterol que formaban parte de las membranas naturales que rodeaban las gotas de grasa en el interior de las células.

Los comportamientos reológicos de estas emulsiones son de gran interés por la estrecha relación con su acep-

tación por el consumidor. Suelen presentar comportamientos viscoelásticos.

3.6 Masas de panadería, bollería y pastelería

Todas estas masas, que se someten al calor en un horno, son sistemas de considerable complejidad coloidal.

Antes de pasar al horno, la masa está formada conjuntamente por una emulsión, una espuma y una dispersión coloidal.

La masa contiene partículas semisólidas de grasas distribuidas en un medio acuoso. Este lleva en disolución proteínas de huevo y azúcar, reteniendo en forma dispersa, micelas de plasma de huevo, gránulos de huevo y partículas de harina. También hay celdas de aire, incorporadas intencionadamente durante el amasado, situadas preferentemente en la fase grasa (28).

En estas masas suelen usarse mucho los agentes emulsificantes, sobre todo los que forman complejos con almidón o macromoléculas proteicas (29) (30) (31).

Interesa diferenciar dos tipos de masas: las que «suben» por fermentación, en productos de panadería por ejemplo, y las que lo hacen químicamente.

En las masas que «suben» por fermentación, los emulsificantes ejercen un efecto decisivo contra el envejecimiento prematuro del pan («efecto de antiasentado») que se explica a continuación.

El almidón es un sistema macromolecular compuesto por amilosa (macromoléculas lineales) y por amilopectina (macromoléculas ramificadas). La amilosa posee la capacidad de formar complejos de inclusión con ciertos compuestos, debido a la conformación helicoidal, con seis ciclos de glucosa por vuelta de hélice (figura 5), que puede presentar. El interior de la hélice está preferentemente ocupado por los grupos C-H lipófilos, mientras que los grupos C-OH hidrófilos se sitúan hacia el exterior. Los productos lipófilos cuyos diámetros sean menores que el diámetro interno de la hélice de amilosa podrán formar complejos de inclusión estables. En los monoacilgliceroles y otros emulsificantes sólo la cadena grasa lipófila puede situarse en el interior de la hélice, quedando fuera el grupo hidrófilo de mayor diámetro.

La incorporación de monoacilgliceroles a los productos de panadería industrial limita la velocidad de endurecimiento de la miga de pan (32). Durante el amasado los monoacilgliceroles se distribuyen por toda la masa, adsorbiéndose en la superficie de los granos de almidón, lo cual limita el hinchamiento de estos granos durante el cocido en el horno. Al comienzo del cocido se forman los complejos de inclusión de amilosa y monoacilgliceroles, por difusión de este último en el interior del grano. Al enfriarse el pan, precipita la amilosa complejada, coagula el interior del grano y dificulta así la reorganización de las cadenas de amilopectina. Como esta reorganización es la causante de gran parte del «asentado» del pan, queda de esta forma justificado el efecto de antiasentado ejercido por la presencia de los monoacilgliceroles.

Dentro de las masas que «suben» por fermentación, otros emulsificantes (estearoil-lactilatos, sucroglicéridos)

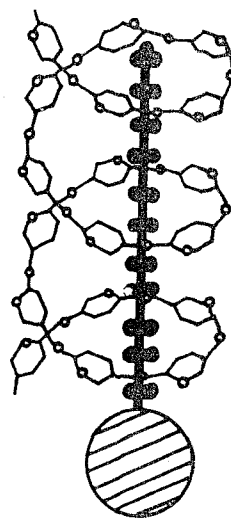


Figura 5

Representación esquemática de la formación de un complejo entre la amilosa y el monoesterato de glicerol.

ejercen efectos tales como mejoras del maquinado de la masa, de tolerancia al amasado, de las retenciones de fase acuosa y de gases y de la textura del producto, debidas a la formación de complejos entre los emulsificantes y las proteínas. Los emulsificantes facilitan la preparación de panes con alto contenido proteico, compensando los efectos desfavorables de las proteínas libres sobre las características reológicas de la masa y sobre la calidad del producto final.

Cabe admitir que los emulsificantes pueden formar complejos «almidón/proteína/lípido anfifílico» que refuerzan la cohesión del retículo de gluten.

En los productos que «suben» químicamente conviene separar los pasteles sin materias grasas adicionadas de aquellos a los que se incorporan estas materias.

En los primeros, el efecto esencial de los lípidos presentes es contribuir a la «subida» de la masa. La forma más eficaz es la α -cristalina de las grasas, la cual puede quedar estabilizada por monoacilgliceroles libres o esterificados con ácido láctico (16).

En los segundos, resulta más difícil explicar el efecto de los emulsificantes, a causa de su elevado contenido de ingredientes. Interesa mucho fijar la importancia de cada uno, así, por ejemplo:

a) Las proteínas procedentes de la harina, los huevos y la leche, constituyen el retículo tridimensional responsable del desarrollo del pastel durante su permanencia en el horno.

b) El almidón de la harina, que, al quedar gelatinizado, mantiene el retículo proteico (32).

c) Las grasas que afectan el aspecto, el volumen y la textura del pastel acabado.

La masa de pastelería que contiene grasa incorporada, es una emulsión compleja que requiere estabilización.

Esta viene ejercida por los diversos emulsificantes que se incorporan, generalmente mezclados con la grasa «shortening».

Los emulsificantes evitan el efecto antiespumante de las grasas sobre el retículo proteico, aseguran la emulsificación de las grasas, y permiten mantener una cierta humedad en el pastel acabado.

En la mayoría de los casos, el uso de una mezcla de mono y diacilglicerolos con monoesterato de sorbitano etoxilado o sin etoxilar da los mejores resultados. Los más hidrófilos facilitan la buena aireación de la masa, mientras que los más lipófilos hacen más fina la miga, mejoran el volumen y aumentan el tiempo de conservación.

4. CONSIDERACIONES FINALES

En los momentos actuales, la tecnología alimentaria, basada en la experiencia práctica, está muy por delante de los conocimientos científicos sobre las configuraciones estructurales de los alimentos, que son las características definitorias, en gran parte, de su poder nutricional y de su aceptación por el consumidor.

Todo lo anteriormente expuesto demuestra claramente la extrema diversidad de las posibilidades de empleo de los productos anfífilos en la tecnología de los alimentos. Entre todas estas posibilidades destacan además de la estabilización de emulsiones, la formación de complejos con moléculas proteicas o glucídicas, y el control de la cristalización de las grasas.

Respecto a las propiedades emulsionantes, se conoce bien el mecanismo de actuación de estos productos, que depende fundamentalmente de la variación de su balance hidrófilo-lipófilo con la temperatura; aunque no debe olvidarse el estado físico de los diversos constituyentes en las interfaces agua/medio oleoso, el cual viene definido en parte por la velocidad con que se producen las transiciones entre mesofases, durante los cambios de temperatura.

Los conocimientos sobre las interacciones «agua/emulsificante» permiten resolver con éxito muchos problemas; pero estos conocimientos son aún insuficientes para abordar bien la optimización de los sistemas ternarios «agua/fase oleosa/emulsificante».

Desde un punto de vista práctico, el empleo de los emulsificantes alimentarios, cualesquiera que sean los resultados de las investigaciones básicas realizadas, necesita un buen conocimiento de las condiciones normales de su uso, aprovechando los conocimientos teóricos adquiridos para prever nuevas posibilidades de utilización.

Ahora bien, los aspectos toxicológicos, base de las actuales legislaciones vigentes, son quienes han de decidir sobre el uso de nuevos emulsificantes y de nuevas emulsiones de uso alimentario.

La falta de concordancia entre las legislaciones de los diversos países es un elemento muy a tener en cuenta al planificar investigaciones sobre emulsiones y emulsionantes alimentarios.

Para facilitar los avances en la tecnología de alimentos, uno de los mejores caminos es investigar a fondo, con los mejores y más modernos métodos instrumentales, so-

bre la Química-Física de los alimentos en sus fases tridimensionales e interfaciales, en sus relaciones con materias primas, preparación, conservación, caracteres organolépticos, asimilación por el organismo, poder nutritivo, etc.

Un hecho muy a tener en cuenta, es la posibilidad de que haya emulsificantes alimentarios, formados por reacción química entre dos componentes totalmente libres de toxicidad, que resulten poco adecuados para el consumo, pues las interacciones entre las proteínas y las lipoproteínas con las especies químicas anfífilas pueden conducir a resultados totalmente imprevistos.

BIBLIOGRAFIA

1. Riego Martín, M. B. y Gómez Herrera, C.—«Química-física interfacial de emulsificantes alimentarios. Parte I. Solubilidad e interacción con medios acuosos».—*Grasas y Aceites* **39** (1988) 44-51.
2. Quinn, P. J.—«Phases of membrane polar lipids in aqueous systems».—*Nat. Prod. Reports* **1** (1984) 513-531.
3. Quinn, P. J.—«Phase behavior of binary mixtures of membrane polar lipids in aqueous systems».—*Nat. Prod. Reports* **4** (1987) 129-137.
4. Good, R. J. and Chang Jeu, S.—«A quasi-periodic time dependence of interfacial tension in an oil-water-surfactant system».—*J. Colloid Interf. Sci.* **91** (1983) 341-348.
5. Hemker, W.—«Associative structures of polyglycerol esters in food emulsions».—*J. Am Oil Chemists' Soc.* **58** (1981) 114-121.
6. Tanford, C.—«The hydrophobic effect».—Wiley, New York 1973.
7. Israelachvili, J. and Pashey, R.—«The long range hydrophobic interaction decaying exponentially with distance».—*Nature* **300** (1982) 341-342.
8. Dunay, E. and Cheftel, J. C.—«Emulsifying characteristics of whey protein concentrates. Correlations between different methods of evaluation».—*Sci. Alim.* **6** (1986) 147-176.
9. Dickinson, E.—«Mixed proteinaceous emulsifiers: a review of competitive protein adsorption and the relationship to food colloid stabilization».—*Food Hydrocolloids* **1** (1) (1986) 3-23.
10. Kito, M. Hirotsuka, M.; Taniguchi, H. and Narita, H.—«Increase in emulsification activity and calcium fortification in soy protein by using soy lecithin-soy protein complex».—*Nutritional Sci. Soy Protein* **6** (1) (1985) 15-20.
11. Krog, N.—«Functions of food emulsifiers in food systems».—*J. Am. Oil Chemists' Soc.* **54** (1977) 124-131.
12. Ministerio de Sanidad y Seguridad Social.—«Lista positiva de aditivos autorizados».—BOE n.º 74, 27 de marzo de 1981 6630-6648; 4 de junio de 1981, 12445-12455.