

Macarena Orrego

Departamento de Biotecnología
Universidad Tecnológica Metropolitana

Rommy N. Zúñiga

Departamento de Biotecnología
Universidad Tecnológica Metropolitana
rommy.zuniga@utem.cl

Elizabeth Troncoso

Departamento de Química
Universidad Tecnológica Metropolitana
elizabeth.troncoso@utem.cl

GELES AIREADOS DE AISLADO DE SUERO PROTEICO COMO NUEVAS MATRICES ALIMENTARIAS: EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE LA MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECÁNICAS

RESUMEN

Los geles aireados contienen agua y burbujas “atrapadas” en su estructura, por lo que ofrecen una amplia versatilidad para el desarrollo de productos. La incorporación de una fase gaseosa puede incrementar el espectro de posibilidades para la formación y percepción de la textura, reducción de la densidad calórica, liberación de aromas y creación de estructuras gastronómicas innovadoras. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tratamiento térmico en dispersiones de aislado de suero proteico (ASP) sobre la microestructura y propiedades texturales de geles aireados fabricados con estas dispersiones. Se prepararon dispersiones de ASP (9% p/p) y NaCl (0.4% p/p) a tres pH (6.50, 6.75 y 7.00). Las dispersiones fueron sometidas a tratamientos térmicos a tres temperaturas (70, 75 y 80 °C) por diferentes tiempos dependiendo del pH de la dispersión. Luego, las dispersiones tratadas térmicamente fueron

aireadas mediante la aplicación de agitación mecánica a 2000 rpm por 3 min. Finalmente, las dispersiones aireadas fueron enfriadas a 10 °C por 24 h para formar el gel aireado. Los geles aireados fueron caracterizados en términos de su capacidad de retención de gas (CGR), microestructura y propiedades texturales. La temperatura del tratamiento térmico influyó la capacidad de retención de gas y el diámetro medio (DM) de las burbujas de aire de los geles aireados. La CRG y el DM disminuyeron con el incremento de la temperatura del tratamiento térmico, obteniéndose un valor máximo de CRG de aproximadamente 70%. El rango de los DM fluctuó entre los 530 y 700 μm . El incremento en la viscosidad de las dispersiones tratadas a mayor temperatura produjo una menor incorporación de gas en la estructura y menores diámetros de burbujas. Por otra parte, el esfuerzo de compresión de fractura disminuyó con un incremento de la temperatura del tratamiento térmico. Probablemente, agregados de mayor tamaño

fueron producidos a mayores temperaturas, generando una estructura más débil. Un control del tratamiento térmico de las dispersiones de ASP permitió fabricar geles aireados con diferentes propiedades microestructurales y texturales que pueden ser utilizados como nuevas matrices alimentarias.

Palabras claves: **Geles aireados, Proteína de suero, Microestructura, Propiedades texturales**

1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos contenidos en una canasta de compras moderna poseen de forma creciente un nuevo ingrediente que, hasta la fecha, no había sido considerado: las burbujas. Los alimentos aireados han ganado importancia en el mercado debido a que las empresas buscan explotar la novedad y versatilidad de las burbujas como ingredientes alimentarios. Sin embargo, las burbujas han estado presentes por siglos en productos tales como la cerveza, el pan y los helados. Las burbujas de aire son elementos estructurales abundantes en alimentos aireados sólidos, semisólidos y líquidos. La sola incorporación de aire en un producto alimentario cambia sus propiedades físicas y sensoriales, las cuales dependerán de la estructura formada durante el procesamiento, por lo que es necesario un entendimiento científico de la formación de la estructura de un alimento aireado con el objetivo de diseñar productos con propiedades físicas y sensoriales deseadas (Zúñiga y Aguilera, 2008). El objetivo final de la estructuración de alimentos es obtener relaciones estructura-propiedad, dicho en otras palabras, la conexión causal entre la estructura y la forma en que el producto se comporta (Aguilera y Lillford, 2007).

Los beneficios de incorporar aire en los alimentos están relacionados principalmente con la textura de éstos. Los productos fluidos como la crema batida obtienen suavidad y ligereza en el

paladar, al igual que algunos productos sólidos como el chocolate aireado. La introducción de aire en la matriz del alimento no sólo afecta su textura y firmeza haciendo al producto más suave, sino que también cambia su apariencia, color y palatabilidad (Campbell y Mougeot, 1999). Un importante beneficio de la inclusión de aire, u otros gases, en alimentos es la reducción de la “densidad calórica” al incrementar su volumen, entendiéndose densidad calórica como la cantidad de calorías por unidad de volumen. Una estructura aireada puede facilitar la masticación, la accesibilidad enzimática a los sustratos y entrega la posibilidad de incorporar aromas en la fase gaseosa (Zúñiga y Aguilera, 2008). Así, la presencia de burbujas en alimentos puede resultar en propiedades únicas conferidas por la fase gaseosa adicional y el incremento en el área superficial interna del alimento (Nussinovitch et al., 1992).

La mayoría de los alimentos son estructuralmente complejos y dicha estructura determina tanto sus propiedades físicas como sensoriales y nutricionales. Un alimento aireado constituye una dispersión de pequeñas burbujas de aire o gas (fase dispersa) contenidas en una matriz que las rodea (fase continua) (Campbell y Mougeot, 1999; Niranjana y Silva, 2007). Atrapar abundantes cantidades de agua y/o aire en matrices alimentarias puede ser una alternativa para diseñar productos que promuevan la saciedad, presentando asimismo una densidad calórica reducida (Zúñiga y Aguilera, 2008). En este sentido, la gelificación de proteínas es un mecanismo para “atrapar” burbujas en una matriz sólida que contiene un gran porcentaje de agua. La gelificación en frío es un nuevo método para producir geles de proteína, el cual consiste en dos etapas donde primero se generan agregados proteicos mediante un tratamiento térmico y, en una segunda etapa, estos agregados forman una red tridimensional (gel) mediante la disminución del pH o la adición de sales a temperatura ambiente (Alting, 2003).

Nuevos alimentos aireados que han aparecido en el mercado son percibidos como “más livianos” en término de calorías, satisfaciendo las nuevas necesidades de los consumidores. De hecho, dispersar aire en los alimentos reduce la energía consumida por unidad de volumen haciendo que las porciones tengan una menor densidad calórica, en acuerdo con sugerencias de científicos especialistas en estudiar los hábitos alimentarios, quienes recomiendan mantener el volumen de las porciones pero reducir el número de calorías (Rolls et al., 2000; Osterholt et al., 2007).

Hoy en día existe evidencia que la cantidad, composición y microestructura de los alimentos que ingerimos afectan nuestra salud (Norton et al., 2007; Zúñiga y Troncoso, 2012). Además, la forma física del alimento puede alterar profundamente la sensación de saciedad. En alimentos sólidos, la estructura tiene una gran influencia sobre la sensación de saciedad por la disminución de la velocidad de quiebre de las estructuras en el tracto gastrointestinal (Norton et al., 2006). Incrementar la sensación de saciedad puede restringir la ingesta diaria de alimentos y el deseo de sobrealimentarse, contribuyendo al control de peso corporal. El diseño de alimentos sólidos aireados con características texturales deseadas y baja densidad calórica puede ayudar en el desarrollo de nuevos alimentos dietéticos para el tratamiento de la obesidad. De hecho, se ha demostrado que, dentro de ciertos límites, las personas comen por volumen y no por masa (Osterholt et al., 2007). De esta forma la incorporación de aire reduciría la densidad calórica y haría a las personas sentirse tan llenas como si consumieran un alimento normal. Una estrategia en el diseño de alimentos puede ser mantener la percepción del sabor de alimentos energéticamente densos mientras se adiciona de manera imperceptible aire como pequeñas burbujas en la matriz alimentaría, disminuyendo el contenido calórico por porción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

Se utilizó aislado de suero proteico (ASP) (BiPro, Davisco Foods International, USA). El ASP está compuesto mayormente por tres proteínas: β -lactoglobulina, α -lactoalbumina y albúmina de suero bovino, las cuales le entregan sus propiedades funcionales. Las especificaciones técnicas del ASP entregadas por el fabricante se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1: ANÁLISIS PROXIMAL DE AISLADO DE SUERO PROTEICO (ASP).

Análisis	Especificación	Rango típico
Humedad	5.0 máx.	4.6 ± 0.3
Base seca proteína	95 min.	97.6 ± 0.3
Grasa	1.0 máx.	<0.5
Ceniza	3.0 máx.	2.0 ± 0.2
Lactosa	1.0 máx.	0.4 ± 0.2
pH	6.7-7.5	7.0 ± 0.2

2.2 Métodos

2.2.1 Formación de las dispersiones de ASP

Se prepararon dispersiones de ASP a una concentración de 9% (p/p) y NaCl al 0.4% (p/p). Las dispersiones fueron hechas en agua destilada mediante agitación mecánica a 200 rpm por 2 h. Luego, las dispersiones se mantuvieron a 5°C por 24 horas para la completa hidratación de las proteínas. El pH de las dispersiones fue ajustado a 6.50, 6.75 ó 7.00 utilizando HCl o NaOH 0.1 N, medidos con un pH-metro digital (ThermoScientific, modelo Orion Star A211, EEUU).

2.2.2 Tratamiento térmico de las dispersiones de ASP

Para promover la denaturación proteica de las dispersiones de ASP se realizaron distintos tratamientos térmicos a tres temperaturas (70, 75 y 80 °C) para los tres pH definidos (6.50, 6.75 ó 7.00). Se realizó una combinatoria de estas variables y se determinó el tiempo de tratamiento térmico para cada condición (Tabla 2).

TABLA 2: COMBINACIONES DE pH, TEMPERATURA Y TIEMPO PARA LA DENATURACIÓN DE LAS DISPERSIONES DE ASP

Corrida experimental	pH de la dispersión	Temperatura del tratamiento térmico (°C)	Tiempo del tratamiento térmico (min)
1	6.50	70	31
2	6.75	70	24
3	7.00	70	18
4	6.50	75	10
5	6.75	75	9
6	7.00	75	8
7	6.50	80	3.5
8	6.75	80	3.5
9	7.00	80	3.5

El proceso de denaturación se realizó en tubos de ensayos (diámetro interior: 1 cm), cuyas dimensiones favorecen una transferencia de calor más rápida. Se colocaron 10 mL de la dispersión en cada tubo de ensayo, utilizando 3 tubos con muestra para cada corrida experimental. Luego se procedió con la aplicación del tratamiento térmico sumergiendo los tubos en un baño termostático (Mettler, modelo Basic WNB, Alemania) ajustado a las condiciones térmicas indicadas en la Tabla 2. Posterior al tratamiento térmico, los tubos fueron inmediatamente enfriados mediante su inmersión en un baño de agua fría a 25 °C por 10 minutos.

2.2.3 Formación de los geles aireados y geles control

Después de su enfriamiento, las dispersiones de ASP fueron transferidas a un contenedor de vidrio cilíndrico y graduado (diámetro interno: 5 cm), en donde se procedió con su aireación y posterior formación del gel. La aireación se realizó mediante un agitador de paleta (Nahita, modelo 686/2, China) operando a una velocidad de 2000 rpm por 3 min. Terminado el proceso de aireación los geles fueron almacenados a 5 °C por 24 h para estabilizar la matriz aireada. Finalmente las muestras fueron equilibradas a 25 °C por 1 hora antes de realizar las mediciones. Los geles control de ASP fueron fabricados con el mismo procedimiento de los geles aireados, pero sin la etapa de aireación. Todos los experimentos se realizaron en triplicado.

2.3 Mediciones

2.3.1 Viscosidad aparente de las dispersiones de ASP

La determinación de la viscosidad aparente de las dispersiones se aplicó en el mismo tubo de ensayo donde se realizó el tratamiento térmico. Las dispersiones fueron equilibradas a temperatura ambiente por 1 h y para la medición de la viscosidad aparente se utilizó un viscosímetro rotacional (Fungilab, modelo Visco Basic-R, España) con la sonda 7R (3.5 mm de diámetro). La medición se realizó a una velocidad de giro constante de la sonda de 50 rpm por 10 min, registrándose el valor de viscosidad entregado por el equipo.

2.3.2 Densidad de los geles aireados

La densidad de los geles aireados se determinó utilizando el método de flotación (Zúñiga y Aguilera, 2009; Zúñiga et al., 2011). Para realizar

esta medición se utilizó un contenedor con tapa el cual se llenó de agua y se registró su masa en una balanza analítica (Jinghai, modelo YP-1002N, China), luego se tomó el gel aireado y se hizo la medición de su masa, luego este gel se colocó dentro del contenedor con agua y se registró la masa del contenedor y del gel. Utilizando estos datos, la densidad del gel aireado (ρ_{ga}) se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho_{ga} = \frac{\rho_a \times m_{ga}}{m_{ga} + m_c - m_t} \quad (1)$$

donde ρ_a es la densidad del agua a 25 °C (997.05 kg/m³), m_{ga} es la masa del gel aireado (kg), m_c es la masa del contenedor con agua (kg) y m_t es la masa del contenedor con agua más el gel aireado (kg). La densidad de los geles control se determinó de la misma forma que para los geles aireados.

2.3.3 Capacidad de retención de gas de los geles aireados

La capacidad de retención de gas (CRG) de los geles aireados fue calculada mediante la ecuación 2, la cual relaciona las densidades del gel aireado con la densidad del gel control (sin airear):

$$CRG = \left(1 - \frac{\rho_{ga}}{\rho_{gc}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

donde ρ corresponde a la densidad (kg/m³) y los subíndices ga y gc corresponden al gel aireado y al gel control, respectivamente.

2.3.4 Microestructura de los geles aireados

La microestructura de los geles aireados fue evaluada mediante la cuantificación del tamaño de las burbujas del gel (Zúñiga y Aguilera, 2009; Zúñiga et al., 2011). Se realizó un corte de los geles aireados (3 mm de espesor), se colocó sobre un portaobjetos y luego se observó bajo un microscopio óptico (Nikon, modelo Optiphot 2, Nikon Corporation, Japón). Las imágenes fueron registradas con una cámara CCD (Toupcam, modelo UCMOS08000KPA, Touptek, China) conectada al microscopio. Los bordes de las burbujas fueron trazados manualmente utilizando el software de la cámara (TouptView, versión x86, Touptek, China) y se calculó el diámetro de las burbujas. Se utilizó un número de burbujas mayor a 100 para tener un número representativo de elementos en cada corrida experimental. Se generaron las curvas de distribución de frecuencia acumulada de tamaño de burbuja y se calculó el diámetro medio (D_M) utilizando el software Microsoft Excel 2010. La desviación estándar del diámetro medio de las burbujas fue obtenida como la desviación estándar de la clase en la cual se encontró el valor medio de la distribución.

2.3.5 Propiedades texturales de los geles

Las propiedades texturales de los geles fueron medidas con la aplicación de ensayos de compresión. Cada ensayo se realizó entre placas paralelas lubricadas, a una deformación constante de 0.1 mm/s hasta el quiebre de las muestras (Zúñiga y Aguilera, 2009; Zúñiga et al., 2011). Geles aireados cilíndricos (diámetro: 5 cm, altura: 3 cm) fueron comprimidos a 25 °C utilizando una máquina de análisis de textura (Zwick/Roell, modelo ZO.5, Zwick GmbH & CO, Alemania) con una placa de 100 mm de diámetro. El ensayo de compresión para los geles

control se realizó de la misma forma que para los geles aireados. El esfuerzo de compresión sobre los geles fue calculado como la fuerza normal que actúa sobre la sección transversal del gel, dividido por el área transversal de la muestra, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

donde σ es el esfuerzo de compresión (Pa), F es la fuerza normal sobre el gel (N) y A es el área de la sección transversal del gel (m²). Los resultados son presentados como el cociente entre el esfuerzo de compresión para el quiebre de los geles aireados y el correspondiente valor para el gel control.

2.4 Análisis estadístico

Los resultados experimentales fueron analizados estadísticamente con el software Statgraphics plus 5.1, mediante el análisis de varianza (ANOVA) se determinó si existen diferencias significativas entre las medias de las muestras analizadas a un nivel de confianza del 95%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Viscosidad aparente de las dispersiones proteicas

La viscosidad aparente de las dispersiones de ASP se incrementó con el aumento de la temperatura del tratamiento térmico (Figura 1). Es sabido que el tratamiento térmico de dispersiones de suero proteico produce la denaturación (i.e. cambio en la estructura cuaternaria) y agregación (i.e. formación de dímeros, trímeros, oligómeros, etc.) de las

proteínas que la componen (Zúñiga et al, 2010). Asimismo, se ha reportado que mayores temperaturas de tratamiento térmico aumentan el grado de denaturación (Kulozik, 2007), donde las moléculas se despliegan para generar mayores interacciones entre ellas y el solvente, con el consecuente aumento en la viscosidad aparente de las dispersiones. Por su parte, a valores de pH más cercanos al punto isoeléctrico de las proteínas (5.2 para β -lactoglobulina) las proteínas tienden a agregarse en mayor medida debido a la menor repulsión de sus cargas intermoleculares (Zúñiga et al, 2010), produciendo una disminución en las interacciones proteína-solvente que conllevan a menores viscosidades aparentes en las dispersiones.

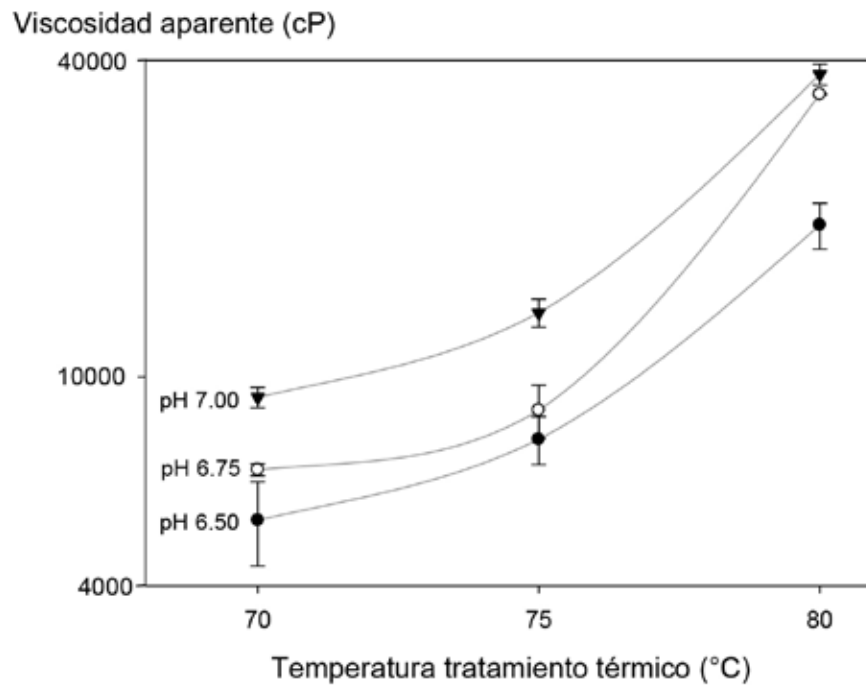


FIGURA 1. EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE LA VISCOSIDAD APARENTE (50 RPM) DE DISPERSIONES DE ASP A DIFERENTES PH.

3.2 Formación de los geles aireados

Las condiciones experimentales establecidas y anteriormente descritas permitieron la obtención de geles aireados (Figura 2). Bajo estas condiciones los geles mantuvieron su integridad física, presentando una apariencia blanca y opaca debido a la dispersión de la luz a través de la estructura. No se detectaron burbujas de aire a simple vista y no se apreciaron diferencias visuales entre los geles formados bajo las distintas condiciones experimentales.



FIGURA 2 IMAGEN DE UN GEL AIREADO DE AISLADO DE SUERO PROTEICO.

3.3 Capacidad de retención de gas y tamaño de burbuja de los geles aireados

Dado que la densidad de los geles control no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos, se utilizó su valor promedio ($1586 \pm 131 \text{ kg/m}^3$) para calcular los valores de CRG. La temperatura del tratamiento térmico influyó la CRG de los geles aireados. La CRG disminuyó de forma lineal con el aumento de la temperatura del tratamiento térmico (Figura 3) y con la disminución del pH de las dispersiones, obteniéndose una CRG máxima de aproximadamente 70%.

Estudios previos han establecido que dos propiedades físicas importantes de las dispersiones como son la tensión superficial y la viscosidad impactan fuertemente su proceso de aireación (Zúñiga y Aguilera, 2009; Zúñiga et al., 2011). Debido a su naturaleza anfifílica, las proteínas actúan como surfactantes macromoleculares disminuyendo la tensión superficial de las dispersiones y actuando como agentes espumantes, creando y estabilizando una mayor área interfacial (mayor número de burbujas pequeñas). Sin embargo, una extensiva denaturación de las proteínas reduce la magnitud de sus propiedades interfaciales, disminuyendo su capacidad de formar y estabilizar espumas (Bals y Kulozik, 2003; Kim et al., 2005). Dado que en este estudio se aplicaron tratamientos térmicos intensivos, es altamente probable que las dispersiones proteicas presentaran valores similares de tensión superficial, no afectando mayormente la CRG de los geles aireados ni los tamaños de burbuja. Por otra parte, se ha visto que altas viscosidades producen menores grados de aireación (Walstra, 2003). De hecho, en la generación de una espuma es necesario entregar energía al sistema para incorporar aire y crear nuevas interfaces (burbujas). Para un mismo nivel de energía mecánica entregado por el agitador (igual valor de rpm), habrá una menor incorporación de aire (Figura 3), debido a la mayor resistencia al flujo (mayor viscosidad aparente) de las dispersiones (Figura 1). Lo anterior se debe a que una mayor cantidad de energía es utilizada en el movimiento del fluido y una menor cantidad de energía es utilizada para la creación de las nuevas interfaces. Por otra parte, no se encontró un claro efecto del pH de las dispersiones sobre su CRG, siendo sólo posible apreciar que la modificación del pH natural de las dispersiones de ASP (~6.75) conduce a una mayor incorporación de gas en los geles aireados; sin embargo, no se puede ser concluyente respecto a esta variable.

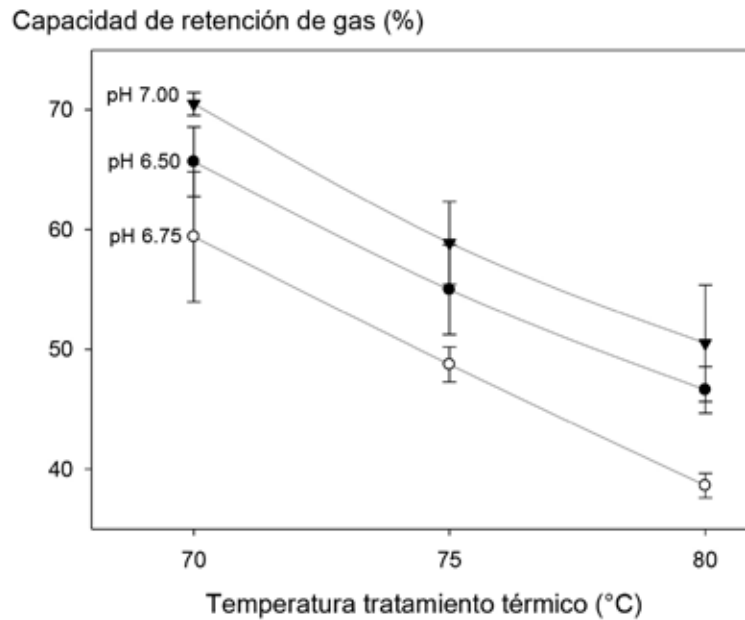


FIGURA 3. EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE GAS (CRG) DE LOS GELES AIREADOS A DIFERENTES PH.

La Figura 4 muestra imágenes seleccionadas de microscopía óptica para las distintas condiciones de procesamiento empleadas. Mayores temperaturas de tratamiento térmico produjeron menores tamaños medios de burbuja (Figura 5). Es sabido que durante la formación de los geles aireados se producen procesos de desestabilización de la estructura (i.e. desproporcionamiento y coalescencia de las burbujas), fenómenos afectados por la viscosidad de la fase continua de la dispersión que será gelificada (Zúñiga y Aguilera, 2009). Un incremento en la viscosidad de la fase continua producirá un retardo en la transferencia de gas (e.g. desproporcionamiento) entre las burbujas de menor tamaño (con una mayor presión interna) hacia las de mayor tamaño y, por otro lado, disminuirá el drenaje de la dispersión proteica, retardando la ruptura de las láminas de líquido que separan

dos burbujas lo cual evita su ruptura y fusión en una sola gran burbuja (e.g. coalescencia). Burbujas de menor tamaño y con menores dispersiones de tamaño podrían minimizar el efecto del empuje y la estratificación vertical de las burbujas mejorando la apariencia del producto. Burbujas monodispersas podrían reducir el desproporcionamiento debido a una reducción en la diferencia de presiones debido a su tamaño similar (Zúñiga y Aguilera, 2008). Nuevamente, no fue posible apreciar un claro efecto del pH sobre los tamaños medios de burbuja lo cual puede deberse a que el rango de pH seleccionado fue pequeño.

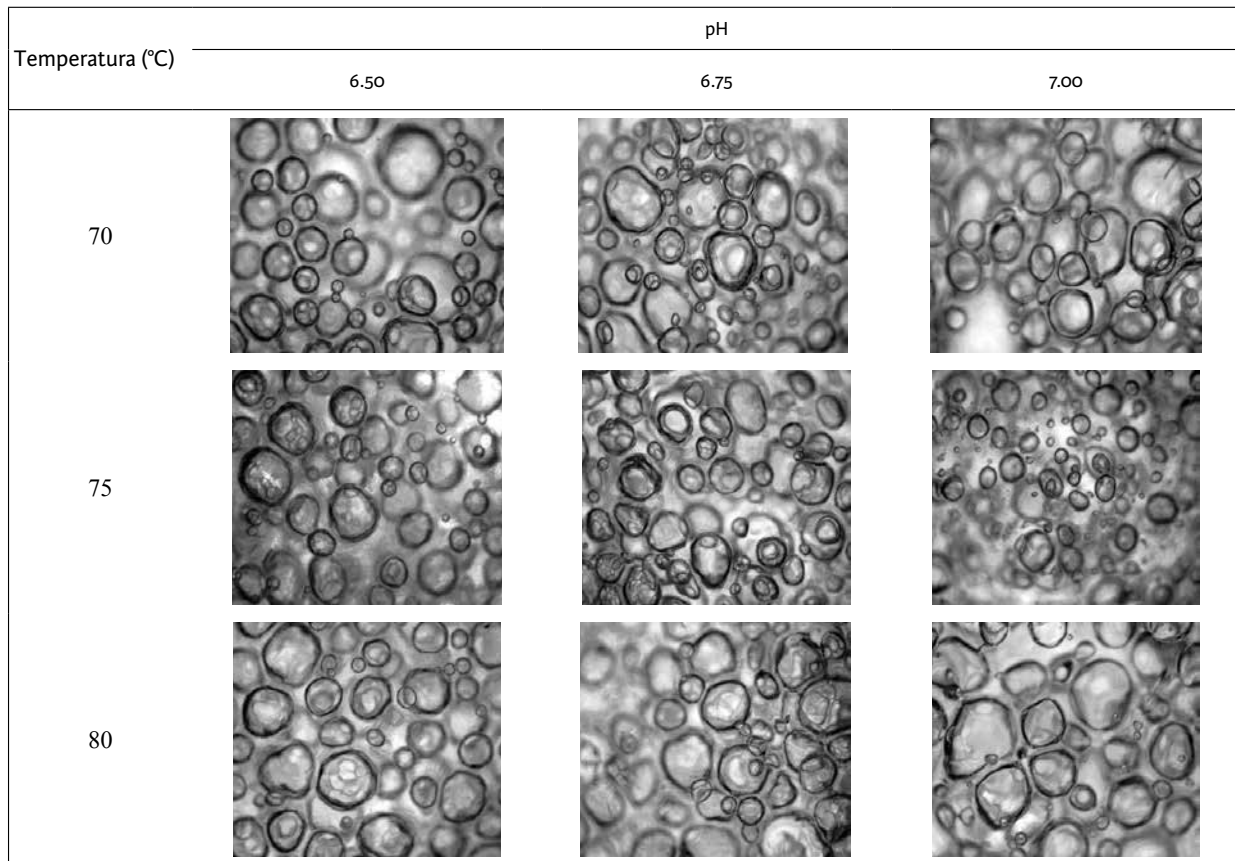


FIGURA 4. GALERÍA DE IMÁGENES DE MICROSCOPÍA ÓPTICA DE LOS GELES AIREADOS BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE FABRICACIÓN.

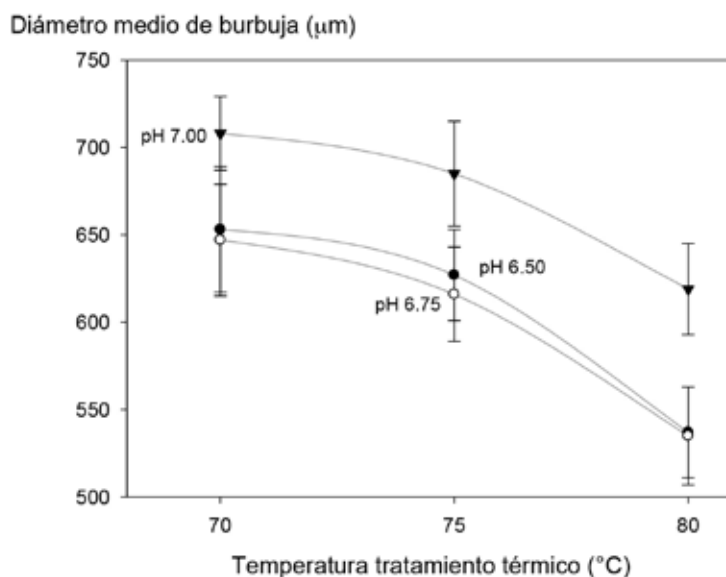


FIGURA 4. EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE EL DIÁMETRO MEDIO DE BURBUJA DE LOS GELES AIREADOS A DIFERENTES pH.

3.4 Propiedades mecánicas de los geles aireados

Las relaciones esfuerzo-deformación para los geles aireados presentaron una relación lineal hasta el quiebre de las estructuras (resultados no presentados) y no mostraron la típica forma sigmoideal encontrada en la mayoría de las espumas sólidas (Corradini y Peleg, 2007). Estos autores indicaron que espumas sólidas con paredes gruesas y burbujas de aire de tamaño pequeño pueden exhibir este tipo de comportamiento para la relación esfuerzo-deformación, discusión que se ajusta a los resultados presentados en este estudio.

La estructura de los geles de proteínas globulares (i.e. la red molecular del gel) afecta en gran medida sus propiedades mecánicas. La estructura de un gel de proteína es altamente dependiente del tratamiento térmico empleado

para su formación y del pH de las dispersiones utilizadas para fabricar los geles (Aguilera y Rademacher, 2004). La temperatura del tratamiento térmico afecta la velocidad de denaturación y agregación de las moléculas de proteína y el pH controla la carga neta de la molécula, alterando las fuerzas atractivas y repulsivas entre las moléculas así como las interacciones entre las moléculas y el solvente. Dado que las propiedades mecánicas de los geles control son dependientes de estos factores, se decidió normalizar el esfuerzo de fractura de los geles aireados por su correspondiente valor para el gel control, con el objetivo de minimizar este efecto en los distintos tratamientos.

El tratamiento térmico de las dispersiones produjo una disminución del cociente de esfuerzo, excepto para las dispersiones con pH igual a 6.5 (Figura 5). Aunque una disminución de la temperatura del tratamiento térmico produjo

un aumento en la CRG y del tamaño medio de burbuja, los geles fabricados bajo estas condiciones presentaron mayores valores de esfuerzo de fractura. Es sabido que para la gelificación en frío de proteínas globulares, el tamaño de los agregados proteicos formados durante la etapa de denaturación afecta las propiedades mecánicas de los geles formados (Alting, 2003). Es probable que a mayores temperaturas se hayan formado agregados de mayor tamaño (corroborado por la mayor viscosidad de las dispersiones) lo que produjo un menor número de “puntos de contacto” en la estructura tridimensional del gel, produciendo geles aireados más débiles. Por otro lado, valores de pH más cercanos al punto isoeléctrico de las proteínas (~ 5.2 para el ASP) producen agregados de mayor tamaño durante el tratamiento térmico (Zúñiga et al., 2010), lo que explicaría el comportamiento observado en la Figura 5, donde a mayores pH se producen geles más resistentes al quiebre.

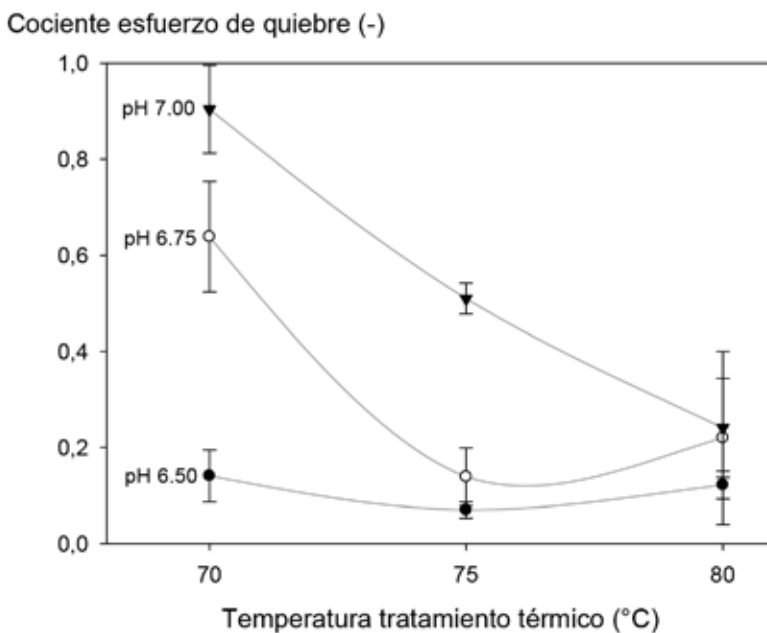


FIGURA 5. EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE COCIENTE DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN ENTRE GELES AIREADOS Y GELES CONTROL A DIFERENTES pH.

CONCLUSIONES

Geles aireados con distintas estructuras y propiedades mecánicas fueron fabricados modificando la temperatura del tratamiento térmico y el pH de las dispersiones de aislado de suero proteico. El aumento en la temperatura del tratamiento térmico produjo una disminución en la capacidad de retención de gas y en los tamaños medios de burbuja debido a la mayor viscosidad de las dispersiones proteicas. El cambio en el pH de las dispersiones proteicas sólo tuvo un efecto marcado sobre las propiedades mecánicas de los geles aireados debido a la generación de agregados moleculares de distinto tamaño, lo que influyó en la formación de redes tridimensionales más firmes a valores de pH más lejanos del punto isoeléctrico de las proteínas. El control del tratamiento térmico de dispersiones proteicas permite la fabricación de geles aireados con diferentes propiedades microestructurales y texturales que pueden ser utilizados como nuevas matrices alimentarias.

REFERENCIAS

- [1] **Aguilera JM, Rademacher B.** 2004. Protein gels. En: RY Yada (Ed.), *Proteins in Food Processing* (pp. 468–482). New York: Woodhead Publishing Limited.
- [2] **Aguilera JM, Lillford PJ.** 2007. Structure-property relationships in foods. En JM Aguilera & PJ Lillford (Ed.), *Food Materials Science. Principles and Practice* (p 229-254). New York: Springer.
- [3] **Alting AC.** 2003. Cold gelation of globular proteins. PhD Thesis. Universidad de Wageningen, Holanda.
- [4] **Bals A, Kulozik U.** 2003. Effect of pre-heating on the foaming properties of whey protein isolate using a membrane foaming apparatus. *International Dairy Journal*, 13, 903-908.
- [5] **Campbell GM, Mougeot E.** 1999. Creation and characterization of aerated food products. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 283-296.
- [6] **Corradini MG, Peleg M.** 2007. Solid food foams. En JM Aguilera, & PJ Lillford (Ed.), *Food materials science. Principles and practice* (p 169–202). New York: Springer.
- [7] **Kim D A, Cornec M, Narsimhan G.** 2005. Effect of thermal treatment on interfacial properties of β -lactoglobulin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 285, 100-109.
- [8] **Kulozik, U.** 2007. Structuring dairy products by means of processing and matrix design. En: JM Aguilera & PJ Lillford PJ (Ed.). *Food Materials Science. Principles and Practice* (p 439-473). New York: Springer.

- [9] Niranjan K, Silva SFJ.** 2007. Bubble-containing foods. En JM Aguilera & PJ Lillford (Ed.), Food Materials Science. Principles and Practice (pp. 281-303). New York: Springer.
- [10] Norton I, Frith WJ, Ablett S.** 2006. Fluid gels, mixed fluid gels and satiety. Food Hydrocolloids, 20, 229-239.
- [11] Norton I, Moore S, Fryer P.** 2007. Understanding food structure and breakdown: engineering approaches to obesity. Obesity Reviews, 8, 83-88.
- [12] Nussinovitch A, Velez-Silvestre R, Peleg M.** 1992. Mechanical properties of hydrocolloid gels filled with internally produced CO₂ gas bubbles. Biotechnology Progress, 8, 424-428.
- [13] Osterholt KM, Roe LS, Rolls BJ.** 2007. Incorporation of air into a snack food reduces energy intake. Appetite, 48, 351-358.
- [14] Rolls BJ, Bell EA, Waugh BA.** 2000. Increasing the volume of a food by incorporating air affects satiety in men. American Journal of Clinical Nutrition, 72, 361-368.
- [15] Zúñiga RN, Aguilera JM.** 2008. Aerated food gels. Fabrication and potential applications. Trends in Food Science and Technology, 19, 176-187.
- [16] Zúñiga RN, Aguilera JM.** 2009. Structure-fracture relationships in gas-filled gelatin gels. Food Hydrocolloids, 23, 1351-1357.
- [17] Zúñiga RN, Tolkach A, Kulozik U, Aguilera JM.** 2010. Kinetics of formation and physico-chemical characterization of β -lactoglobulin aggregates. Journal of Food Science, 75, E261- E268.
- [18] Zúñiga RN, Kulozik U, Aguilera JM.** 2011. Ultrasonic generation of aerated gelatin gels stabilized by whey protein β -lactoglobulin. Food Hydrocolloids, 25, 958-967.
- [19] Zúñiga RN, Troncoso E.** 2012. Improving nutrition through the design of food matrices. En: B Valdéz (Ed), Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry (p 295-320). Croatia: InTech – Open Access Publisher.