

# Resumen

La presente tesis doctoral se centra en el estudio de la estructura, las propiedades físicas y sensoriales de bizcochos y galletas en los que la grasa se ha reemplazado por inulina y el azúcar por oligofruktosa, con la finalidad de reformular los productos horneados para reducir significativamente el contenido de estos ingredientes y conseguir así alimentos más saludables.

La caracterización de la estructura de la masa se llevó a cabo mediante técnicas de microscopía confocal laser de barrido y microscopía óptica, a través de las cuales se apreció que la masa era una matriz lipoproteica, formada por proteína y grasa procedentes principalmente de la harina y el huevo. En esta matriz los gránulos de almidón, el aceite en forma de glóbulos y las burbujas de aire se encontraron dispersos. Se observó que el aceite posee una funcionalidad compleja en estos sistemas ya que, aporta viscosidad, lo cual aumenta la estabilidad de la fase aire en la masa; actúa en la interfase de las burbujas, mejorando la estabilidad y retención de la fase aire durante el horneado; y además, se distribuye lubricando los componentes de la miga, influyendo así en la estructura, textura y palatabilidad del bizcocho final. La sustitución del aceite en los bizcochos se llevó a cabo con una inulina nativa y componente acuoso extra. Este reemplazo ocasionó una disminución significativa de la viscosidad de la masa, lo cual dio lugar a la oclusión de burbujas de tamaños mayores y más heterogéneos. Durante el horneado la menor estabilidad de la fase gas en este tipo de masas se tradujo en la pérdida de parte de las burbujas, en una expansión más limitada y por tanto en la obtención de bizcochos con menos alveolos e interconexiones alveolares, y menor altura. A mayor sustitución de grasa por inulina los bizcochos mostraron mayor dureza y menor elasticidad, debido a la estructura de miga compacta y poco lubricada. Se obtuvieron resultados satisfactorios reemplazando hasta el 70% de la grasa, sin obtener diferencias significativas en la aceptabilidad sensorial por parte de los consumidores.

El reemplazo de azúcar por oligofruktosa afectó al mecanismo de solidificación de la masa. El azúcar retrasa las temperaturas de gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas. Al reducir su contenido, estos procesos se adelantan e incluso pueden darse de forma sucesiva afectando significativamente la formación de la estructura sólida del bizcocho. Las masas con sustitución de azúcar mostraron una viscosidad aparente menor y un mayor número de burbujas ocluidas. Durante el

horneado se observó una ligera expansión de las burbujas. Los bizcochos con oligofruktosa se caracterizaron por poseer baja altura y una miga formada por pocos alveolos y de pequeño tamaño. Estos bizcochos mostraron una dureza y elasticidad bajas. Los cambios en el proceso de solidificación de la masa dieron lugar a bizcochos más compactos pero más blandos. Con un reemplazo de hasta el 30% de azúcar se obtuvieron bizcochos con una aceptabilidad general similar a la del bizcocho control. Cuando se reemplazó de manera simultánea la grasa y el azúcar, la viscosidad aparente de las masas disminuyó significativamente y la expansión de las burbujas durante el horneado fue mayor. Los bizcochos resultantes mostraron una estructura alveolar más abierta y heterogénea. Su textura se vio influenciada sobre todo por la sustitución de azúcar, obteniéndose bizcochos de baja elasticidad. Los bizcochos con un reemplazo simultáneo del 50% de grasa y el 30% de azúcar recibieron una aceptabilidad general un poco menor al control pero semejante a los bizcochos con reemplazo sencillo de grasa (50%) o azúcar (30%). En general, los consumidores valoraron que la esponjosidad y dulzor de estos bizcochos debería mejorarse para conseguir una mayor aceptabilidad de estos productos.

El método de mezclado más empleado a nivel industrial para la elaboración de bizcochos consiste en un solo paso en el que todos los ingredientes se batan a la vez. Con el objetivo de escalar nuestra formulación a nivel de planta piloto se consiguió reemplazar un método de mezclado formado por múltiples fases por el método de una fase sin alterar las propiedades físicas y estructurales de los bizcochos.

Para mejorar la apariencia y estructura alveolar de los bizcochos con un contenido reducido en grasa (50% y 70% de reemplazo de grasa) se evaluaron los efectos de la incorporación de una enzima lipasa y un emulsionante comercial sobre sus propiedades físicas y estructurales. Los mejores resultados sobre la estructura de la miga se obtuvieron con 0.03% de lipasa y 0.5% de emulsionante. Cada mejorante ejerció un efecto diferente sobre la estructura de la masa; las masas con lipasa mostraron una menor estructuración que las masas control. La incorporación de emulsionante disminuyó significativamente la densidad relativa de las masas. Sin embargo durante el horneado, concentraciones de emulsionante mayores a 0.5% dieron lugar a un descenso de la viscosidad compleja de la masa, cuya estructura no fue capaz de retener las burbujas que expansionaron en esta fase, dando lugar a

bizcochos colapsados. Los análisis de calorimetría diferencial de barrido mostraron que la formulación con mayores valores en los parámetros térmicos fue la formulación control, dando lugar a los bizcochos de mayor volumen. La adición de los mejorantes disminuyó los valores de los parámetros térmicos. Aunque el volumen de los bizcochos con 0.003% de lipasa y 0.5% de emulsionante fue menor, su estructura alveolar presentaba una apariencia más homogénea y la dureza de la miga fue similar a la del control. Por otro lado, aunque el reemplazo de grasa dio lugar a un aumento de la dureza durante el almacenamiento, la incorporación de lipasa ralentizó el incremento del valor de este parámetro durante los 14 días.

A través de microscopía confocal laser de barrido y de microscopía electrónica de barrido a bajas temperaturas, se observó la estructura de la masa de galletas como una matriz continua formada por azúcar y proteínas, donde los gránulos de almidón se dispersaban y la grasa se localizaba alrededor de ellos rompiendo la continuidad de la estructura. Al reemplazar parte de la grasa por inulina, se observó un aumento de la dureza de las masas y las galletas, lo cual se relacionó con un aumento de la hidratación de los componentes de la harina y una menor lubricación de la estructura. Reemplazar hasta el 20% de la grasa dió lugar a galletas con una estructura y propiedades texturales semejantes al control. Sin embargo, los consumidores sí que identificaron este producto como ligeramente diferente al control por ser un poco más duro y más dulce.