

Resumen

Las microalgas son organismos unicelulares fotosintéticos microscópicos que se encuentran en una gran variedad de ambientes. Estos microorganismos son muy eficientes a la hora de transformar la energía solar en biomasa, ya que su estructura celular es sencilla y se encuentran completamente sumergidas en un medio acuoso, conformando toda su superficie como un área de intercambio de nutrientes y gases.

Los estudios realizados hasta el momento hacen referencia a posibles beneficios de la incorporación de microalgas en la dieta, por la mejora del sistema cardiovascular, las propiedades adelgazantes y energizantes, capacidad antioxidante, o la reducción del colesterol y los triglicéridos. La forma más habitual de consumir las microalgas es como suplemento dietético en forma de tabletas, cápsulas o polvo. La incorporación de biomasa de microalgas en productos tradicionales se ha enfrentado al reto de la aparición de colores verdes fuertes, así como su consistencia pulverulenta que puede afectar la textura y percepción del producto. Todos estos aspectos constituyen las principales áreas de mejora para conseguir un mayor grado de aceptación de productos con microalgas, y son la base del reto de este proyecto.

El objetivo de la presente tesis doctoral fue el desarrollo de nuevos productos alimentarios incorporando las propiedades nutricionales de la biomasa de microalgas, incrementando o mejorando con ello, las propiedades nutricionales del alimento original. Para conseguir este objetivo se evaluaron a nivel fisicoquímico, reológico y textural, la incorporación de diferentes especies de microalgas (*Arthrospira platensis* (*Spirulina*), *Chlorella vulgaris* (*Chlorella*), *Dunaliella salina* (*Dunaliella*) y *Nannochloropsis gaditana* (*Nannochloropsis*)) en distintas matrices alimentarias (productos horneados (rosquilletas, galletas y snacks), emulsiones y extrusionados). Por otra parte, se evaluó y caracterizó la incorporación de las microalgas utilizando diferentes tecnologías como la impresión 3D o la extrusión. Además de cómo afecta la incorporación de las microalgas a los productos obtenidos, se evaluaron los aspectos nutricionales de su incorporación, en cuanto al aporte de minerales y su biodisponibilidad.

Las propiedades reológicas de las masas y emulsiones enriquecidas con microalgas (*Spirulina*, *Chlorella* y *Dunaliella*) indicaron que su comportamiento viscoelástico fue modificado y mejorado, mostrando características aptas para este tipo de productos. La adición de microalgas (*Spirulina* y *Chlorella*) a las masas utilizadas para la impresión 3D de galletas y snacks, permitió una mejor extrusión o impresión de éstas, obteniendo muestras

impresas en 3D de forma cilíndrica, más precisas en cuanto a sus dimensiones con respecto a la estructura cilíndrica diseñada. Además, las muestras impresas presentaron mayor estabilidad y resistencia, antes y después del proceso de horneado comparadas con la muestra control. Para los productos horneados, tanto para las rosquilletas como los snacks impresos en 3D, la adición de microalgas (*Spirulina* y *Chlorella*) permitió mayor estabilidad en términos de textura. Ligeros cambios en los parámetros fisicoquímicos y de expansión se produjeron por la adición de *Spirulina* y *Chlorella* en los productos extrusionados. Además, los extrusionados enriquecidos con *Nannochloropsis*, mostraron parámetros similares a los de la muestra de control.

Todos los productos presentaron colores luminosos y apariencias innovadoras y atractivas. Las masas, los productos horneados y las emulsiones presentaron diferentes tonalidades estables, verdes para *Spirulina* y *Chlorella* y amarillo para *Dunaliella*. En el caso de los extrusionados, la adición de microalgas (*Spirulina*, *Chlorella* y *Nannochloropsis*) produjo un cambio de luminosidad de translúcidas a opacas.

En cuanto a los minerales, se observó un aumento de P, K, Ca, Na, Mg, Fe y Se con la adición de *Spirulina* y *Chlorella*, junto con el aumento de la concentración adicionada de microalgas. Siguiendo la normativa sobre etiquetado nutricional de los alimentos, el enriquecimiento con microalgas en rosquilletas se puede clasificar como un alimento "rico en hierro (Fe)". De igual forma, las rosquilletas y galletas enriquecidas con microalgas pueden considerarse un alimento "alto en selenio (Se)". Además, la incorporación de *Spirulina* y *Chlorella* en las formulaciones de galletas, permitió una mayor bioaccesibilidad del contenido de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn y Se para la absorción en el cuerpo comparado con las muestras control.