



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

DESARROLLO DE PANES DULCES UTILIZANDO
OLEOGELES COMO SUSTITUTO DE GRASAS
PLÁSTICAS. ESTUDIOS DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Cifuentes Adán, Iñaki

Tutor/a: Quiles Chuliá, María Desamparados

Director/a Experimental: BASCUAS VENTOLA, SANTIAGO MARTIN

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'INGENYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL (ETSIAMN)

**DESARROLLO DE PANES DULCES
UTILIZANDO OLEOGELES COMO
SUSTITUTOS DE GRASAS PLÁSTICAS.
ESTUDIOS DE DIGESTIBILIDAD *IN VITRO*.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**

Autor:

D. Iñaki Cifuentes Adán

Tutora:

Prof. Dña. Amparo Quiles Chulià

Director experimental:

D. Santiago Martín Bascuas Véntola

Valencia, 13 de junio 2022

Curso académico 2021/22

Autor: D. Iñaki Cifuentes Adán
Tutor Académico: Dña. Amparo Quiles Chulià
Localidad y Fecha: Valencia, 13 de junio 2022

Título del TFG: DESARROLLO DE PANES DULCES UTILIZANDO OLEOGELES COMO SUSTITUTOS DE GRASAS PLÁSTICAS. ESTUDIOS DE DIGESTIBILIDAD *IN VITRO*

Resumen

Los productos de panadería, generalmente, se formulan con grasas sólidas, como margarinas y mantecas. Estas grasas tienen un alto contenido en ácidos grasos saturados y *trans*, por lo que, ejercen efectos negativos sobre la salud humana. En este estudio, se han desarrollado oleogeles de aceite de girasol y de oliva, empleando como oleogelificantes hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y goma xantana (XG), con el objetivo de aplicarlos, como sustitutos de la margarina, en la formulación de bollos horneados y al vapor. El efecto de los oleogeles sobre las propiedades físicas de los panecillos se evaluó analizando la estructura de la miga, el volumen específico, la altura y la textura. Además, se evaluó la digestibilidad de los lípidos mediante estudios de digestión *in vitro*. La sustitución de la margarina por oleogeles produjo bollos al vapor sin diferencias en la estructura, volumen, altura y textura de la miga; sin embargo, en los bollos horneados, se produjo una estructura menos porosa y más dura. La extensión de la lipólisis no se vio afectada cuando la margarina fue reemplazada por oleogeles en los bollos horneados y al vapor. Los resultados sugieren que el uso de oleogeles en lugar de margarina en los panecillos podría representar una estrategia interesante para preparar productos de panadería más saludables.

Palabras claves: hidrocoloides, productos de panadería, estructuración de aceites.

Abstract

Bakery products are usually formulated with solid fats, like margarines and shortenings, which contain high levels of saturated and trans-fatty acids and have negative effects on human health. In this study, hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and xanthan gum (XG) were used as oleogelators to prepare oleogels, using sunflower and olive oil, as substitutes for margarine in baked or steamed buns. The effect of oleogels on the physical properties of the buns was evaluated by analyzing the crumb structure, specific volume, height, and texture. In addition, lipid digestibility was assessed through *in vitro* digestion studies. Replacement of margarine with oleogels produced steamed buns with no differences in the crumb structure, volume, height, and texture; however, in baked buns, a less porous and harder structure was produced. The extent of lipolysis was not affected when margarine was replaced by oleogels in the baked and steamed buns. The results suggest that using oleogels instead of margarine in buns could represent an interesting strategy to prepare healthier bakery products.

Key words: hydrocolloids; bakery products; oil structuring.

AGRADECIMIENTOS

Permítanme agradecer en primer lugar a mi familia por haber confiado en mí y haberme apoyado aun cuando no estaba animado o no tenía fuerzas, por soportarme en los momentos difíciles y por a veces no hacerles suficientemente caso cuando me aconsejaban.

A Santiago Bascuas por guiarme y enseñarme en el laboratorio lo necesario que me ha permitido formarme y desarrollarme como persona, además me ha permitido interiorizar conceptos dados en la carrera de manera práctica. Al mismo tiempo, me ha servido para aprender a comunicarme y entenderme con las personas.

Por último, me gustaría agradecer a Amparo Quiles por haberme dado la oportunidad de participar en este increíble trabajo que me ha servido para aplicar los conocimientos adquiridos y desenvolverme mejor en situaciones fuera de mi ámbito. A su vez, agradecer a todo el equipo de investigación por acogerme tan rápido y por el trato dado.

LISTA DE ABREVIATURAS

AGL: ácidos grasos libres

AGS: ácidos grasos saturados

AGT: ácidos grasos *trans*

C: margarina de coco (grasa control)

g: gramos

G: oleogel de girasol

GIT: tracto gastrointestinal

GX: goma de xantana

H: al horno

h: horas

HC: pan dulce control horneado con margarina de coco

HG: pan dulce horneado con oleogel de girasol

HO: pan dulce horneado con oleogel de oliva

HPMC: hidroxipropilmetilcelulosa

INFOGEST: red internacional de excelencia sobre el destino de los alimentos en el tracto gastrointestinal

M: molar

Min.: minutos

mL: mililitros

nm: nanómetros

O: oleogel de oliva

rpm: revoluciones por minuto

s: segundos

SGF: líquido gástrico simulado

SIF: líquido intestinal simulado

SSF: líquido salival simulado

V: al vapor

VC: pan dulce control al vapor con margarina de coco

VG: pan dulce al vapor con oleogel de girasol

VO: pan dulce al vapor con oleogel de oliva

µL: microlitro

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
3. MATERIAL Y MÉTODOS	6
3.1 Material.....	6
3.2 Preparación del oleogel	6
3.3 Elaboración del pan	6
3.4 Estructura de la miga.....	7
3.5 Volumen específico y altura.....	7
3.6 Textura	8
3.7 Digestibilidad lipídica <i>in vitro</i>	8
3.8 Liberación de ácidos grasos libres.....	9
3.9 Análisis estadístico	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1 Análisis de la estructura de la miga	11
4.2 Volumen específico y altura.....	12
4.3 Textura	13
4.4 Digestibilidad lipídica <i>in vitro</i>	15
5. CONCLUSIONES	18
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del oleogel en 200 g.....	6
Tabla 2. Composición en la elaboración del pan en un total de 100 g.	7
Tabla 3. Propiedades del pan dulce al horno.....	11
Tabla 4. Propiedades del pan dulce al vapor.....	12
Tabla 5. Propiedades del pan dulce al horno.....	13
Tabla 6. Propiedades del pan dulce al vapor.....	13
Tabla 7. Propiedades del pan dulce al horno.....	14
Tabla 8. Propiedades del pan dulce al vapor.....	14
Tabla 9. Parámetros cinéticos que describen la liberación de ácidos grasos libres (AGL) de la digestión final de panes dulces horneados.....	16
Tabla 10. Parámetros cinéticos que describen la liberación de ácidos grasos libres (AGL) de la digestión final de panes dulces al vapor.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de los diversos procesos que pueden ocurrir a los glóbulos grasos de la emulsión bajo unas condiciones determinadas al pasar por el tracto gastrointestinal basado en Singh et al, (2009).....	4
Figura 2. Diagrama de flujo donde se pueden ver las etapas de la digestión, y brevemente el procedimiento.....	9
Figura 3. Corte transversal de panes dulces: elaborados al horno (A-C) y al vapor (D-F). A: control con margarina de coco (HC); B: con oleogel de oliva (HO); C: con oleogel de girasol (HG); D: con margarina de coco (VC); E: con oleogel de oliva (VO); F: con oleogel de girasol (VG).	11
Figura 4. Concentración de AGL durante la digestión <i>in vitro</i> de A) pan dulce horneado B) pan dulce vaporizado. Pan dulce control (cuadrados), pan dulce elaborado con oleogel de oliva (círculos), panes dulces elaborados con oleogel de girasol.....	15

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, muchos alimentos contienen en su formulación grasas sólidas, con un alto contenido en ácidos grasos saturados (AGS) y *trans* (AGT). A nivel industrial, las grasas sólidas son muy utilizadas (Karabulut et al., 2003; Nor & Sahri 2007) por sus aplicaciones tecnológicas y porque confieren al alimento propiedades muy apreciadas por los consumidores (Gebauer & Baer, 2013). Proporcionan una textura, consistencia, sabor y olor agradable al alimento y una mayor vida útil. Esto hace que sea muy difícil reducir o eliminarlas de la formulación de los alimentos (Barreto et al., 2020). Sin embargo, el consumo de este tipo de grasas puede producir problemas de salud, como enfermedades coronarias ateroscleróticas, relacionadas con el aumento de los niveles de colesterol sérico total (Dinicolantonio et al., 2016), y un aumento en la incidencia de enfermedades, tales como, diabetes tipo II, síndrome metabólico y obesidad, entre otras (Gluhak, 2020). En este sentido, la EFSA (European Food Safety Authority), tras evaluar los efectos sobre la salud de los AGS y AGT, ha puesto de manifiesto que existe suficiente evidencia científica sobre el potencial efecto negativo del consumo excesivo de las grasas saturadas y *trans*, y ha manifestado que es necesario reducir su ingesta, tanto como sea posible (EFSA, 2016). En su estudio Gluhak, (2020) propone reducir el consumo de ácidos grasos saturados a menos del 10 % de la ingesta total de energía por persona y el de ácidos grasos *trans* a menos del 1 %. Instituciones como la WHO (World Health Organization) tienen como objetivo limitar el consumo de grasas, cambiar las fuentes de grasas saturadas por grasas insaturadas y prescindir de los AGT en los alimentos fabricados industrialmente (WHO, 2019). La FDA (Food and Drug Administration), es un organismo que exige que se proporcione la información nutricional precisa sobre el contenido en ácidos grasos para garantizar un uso responsable de las grasas saturadas, y *trans* en alimentos y poder llevar una dieta saludable (FDA, 2014).

En la sociedad, la demanda de nuevos alimentos saludables y sostenibles está, cada vez, más presente. El consumidor, además, exige que la vida útil y las características organolépticas de estos alimentos no se vean reducidas. Una estrategia, que podría dar solución a estas necesidades, es el diseño/reformulación de alimentos, mediante el reemplazo de las grasas ricas en AGS y AGT por grasas de alta calidad nutricional, capaces de mimetizar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales que aportan las grasas plásticas (Gonçalves, 2018; Puscas et al., 2020).

Los oleogeles pueden ser una alternativa viable para reemplazar grasas de estructuras sólidas y reformular alimentos con un perfil nutricional saludable. La oleogelificación confiere estructura al aceite líquido y le proporciona textura, características reológicas, organolépticas y propiedades estabilizantes similares a las aportadas por las grasas saturadas. Los oleogeles se definen como sistemas gel en los que se inmoviliza una fase aceite (90%) en una red tridimensional de moléculas autoensambladas con capacidad de gelificar que actúan como estabilizantes (Bascuas et al., 2020a; Patel et al., 2014a). La elaboración de oleogeles con aceites ricos en ácidos grasos insaturados, tanto monoinsaturados como poliinsaturados, es una alternativa prometedora para el desarrollo de alimentos de alto perfil lipídico (O'Sullivan et al., 2016). El aceite es un factor esencial porque aporta propiedades térmicas, funcionales, texturales y reológicas, contribuyendo a la estabilidad del oleogel (Ahmadi et al., 2020).

Para la obtención del oleogel es necesario emplear agentes gelificantes que confieran estructura al aceite líquido. Atendiendo al tipo de agente gelificante, existen diferentes métodos de estructuración; los directos y los indirectos. Los métodos directos consisten en adicionar el agente estructurante de forma directa en la fase oleosa. Las ceras y la etilcelulosa, son dos ejemplos de agentes estructurantes empleados en la formación de oleogeles de manera directa (Giacintucci et al., 2018; Li et al., 2021). Por otro lado, en

los métodos indirectos es necesario prehidratar el agente estructurante para atrapar el aceite (Abdollahi et al., 2019; Patel & Dewettinck, 2015; Urbánková et al., 2021). Una de las asignaturas pendientes en el campo de la oleogelificación en tecnología de alimentos es encontrar agentes estructurantes que sean efectivos a bajas concentraciones, baratos, fácilmente disponibles y, lo más importante, que cuenten con la aprobación reglamentaria requerida para su uso en productos comestibles (Patel, 2015; Patel y Dewettinck, 2016). El empleo de hidrocoloides en la obtención de oleogeles para uso en alimentación presenta numerosas ventajas; la más destacada es su larga historia de utilización en alimentos. Asimismo, los hidrocoloides se pueden obtener de fuentes renovables y de forma respetuosa con el medio ambiente. Uno de los hidrocoloides empleados para la estructuración de aceites es la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) (Ashkar et al., 2019; Zuñiga et al., 2012).

La HPMC, biopolímero derivado de la celulosa, es empleado como agente oleogelificante por su capacidad emulsificante, sus propiedades mecánicas, y su bajo coste (Bárceñas & Rosell, 2005; Ding et al., 2015; Rubilar et al., 2015). Asimismo, la adición de agentes espesantes como la goma xantana (GX) mejora la viscosidad de la fase continua e incrementa la estabilidad de la emulsión (Desplanques et al., 2011; Noshad et al., 2021). El uso de GX en la elaboración de oleogeles estructurados con HPMC mejora las propiedades reológicas y la termoestabilidad de los oleogeles (Bascuas et al., 2020a; Bascuas et al., 2020b).

El método *emulsion-template* es uno de los métodos indirectos que permite estructurar aceites que contienen hidrocoloides (Bascuas et al., 2021). Para ello primero se hidrata el agente estructurante y posteriormente se elabora la emulsión de aceite en agua en la que está contenido el hidrocoloide. A continuación, se elimina el agua de la emulsión en estufa para obtener un producto seco donde el aceite se encuentra retenido físicamente. Este producto seco se homogeniza para obtener el oleogel (Bascuas et al., 2020a; Patel, 2015).

El pan dulce es un sistema coloidal que consta de componentes hidrofóbicos, como grasas, y componentes hidrófilos, como harina, sal o azúcar. En la elaboración del pan, los componentes de la masa se entrelazan formando una estructura tridimensional que retiene el oxígeno (burbujas de aire) en su interior (Cauvain, 2020; Demirkesen & Mert, 2020). La panificación se puede evaluar en función de la composición de los componentes y del proceso de elaboración que consta de las etapas de amasado, fermentación y cocción (Andrzej et al., 2020). Cuando la cocción tiene lugar mediante horneado, el agua superficial de la masa se evapora, rápidamente, y se forma la corteza en la superficie del pan. Durante el horneado se producen diversos cambios a nivel físico y químico, tales como, difusión del agua, expansión del volumen, formación de la corteza y estructuración de la miga, gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas. Cuando la cocción del pan tiene lugar mediante aplicación de vapor se forma en la superficie una delgada capa por la gelatinización del almidón (Yue et al., 2020). Los panes al vapor permiten mejorar sus propiedades, nutrición, textura, sabor, retardar el envejecimiento y prolongar la vida útil (Suo et al., 2020).

De manera tradicional, el pan dulce se elabora empleando grasa saturada como ingrediente, normalmente margarina. La grasa contribuye en la elaboración del pan proporcionando propiedades beneficiosas (Pareyt et al., 2011). No obstante, la sustitución de esta grasa por oleogeles en la formulación permitiría obtener productos de calidad más saludables.

Debido a las aplicaciones que tienen los oleogeles como sustitutos de grasas sólidas sería interesante conocer la digestibilidad lipídica *in vitro* de la grasa de los oleogeles

como una herramienta a tener en cuenta para desarrollar grasas funcionales y suministrar compuestos bioactivos en los sistemas alimentarios (Calligaris et al., 2020).

La digestión es un proceso complejo que consiste en la degradación de los alimentos transformándolos en moléculas más simples que se pueden absorber en el organismo, son ampliamente utilizados para estudiar el comportamiento gastrointestinal en alimentos. En la digestión entran en juego muchos factores importantes como la composición, naturaleza, el estado físico de la matriz alimentaria y de los componentes que constituyen el alimento (Hur et al., 2009; Hur et al., 2011; McClements & Decker, 2009).

Hay dos tipos de digestiones, *in vivo* e *in vitro*. La digestión *in vivo* presenta una serie de desventajas relevantes como son, i) elevados costes del equipo y mano de obra, ii) difícil interpretación y análisis de los resultados y iii) el diseño experimental que muestra limitaciones éticas (Van Buggenhout et al., 2010). La digestión *in vitro* estática analiza los productos resultantes de la digestión de los alimentos y evalúa la liberación de los macronutrientes del modelo alimentario, tiene ventajas como su robustez, simplicidad, es relativamente económica, fácil de evaluar, y reproducible. En los últimos años, INFOGEST (red internacional de excelencia sobre el destino de los alimentos en el tracto gastrointestinal) ha logrado, además de, estandarizar las condiciones experimentales de los métodos *in vitro* facilitar la obtención de resultados reproducibles en los distintos laboratorios (Brodkorb et al., 2019; Minekus et al., 2014).

La digestión *in vitro* estática de los lípidos puede verse afectada por diferentes factores. Entre ellos, uno de gran interés es el componente que está formando parte de la interfase, así como las moléculas que se encuentran cubriendo los glóbulos. Estos componentes pueden favorecer la adsorción de la enzima a la interfase, que es donde ésta se localiza para realizar la digestión de los lípidos, o dificultar esta adsorción, reduciendo así la digestión (Mun et al., 2006). Otro factor que afecta el grado de lipólisis será el tamaño que presenten los glóbulos de grasa, pues a menor tamaño de los glóbulos, mayor será el área superficial donde la enzima se puede adsorber para actuar (Li et al., 2011). Los ácidos grasos que se liberan durante la digestión tienden a colocarse en la interfase, al tratarse éstos de moléculas con una cabeza polar y una cadena alifática apolar. La presencia de calcio también influye, debido a que aumenta el ratio de la digestión al reaccionar con los AGL y reducir la presencia de éstos en la interfase al crear complejos que precipitan (Hu et al., 2010).

En la figura 1 se pueden apreciar los diferentes procesos que tienen lugar durante el transcurso de la digestión *in vitro* de los alimentos.

Digestión de lípidos		
Fase de la digestión	pH y enzimas	Glóbulos de la emulsión

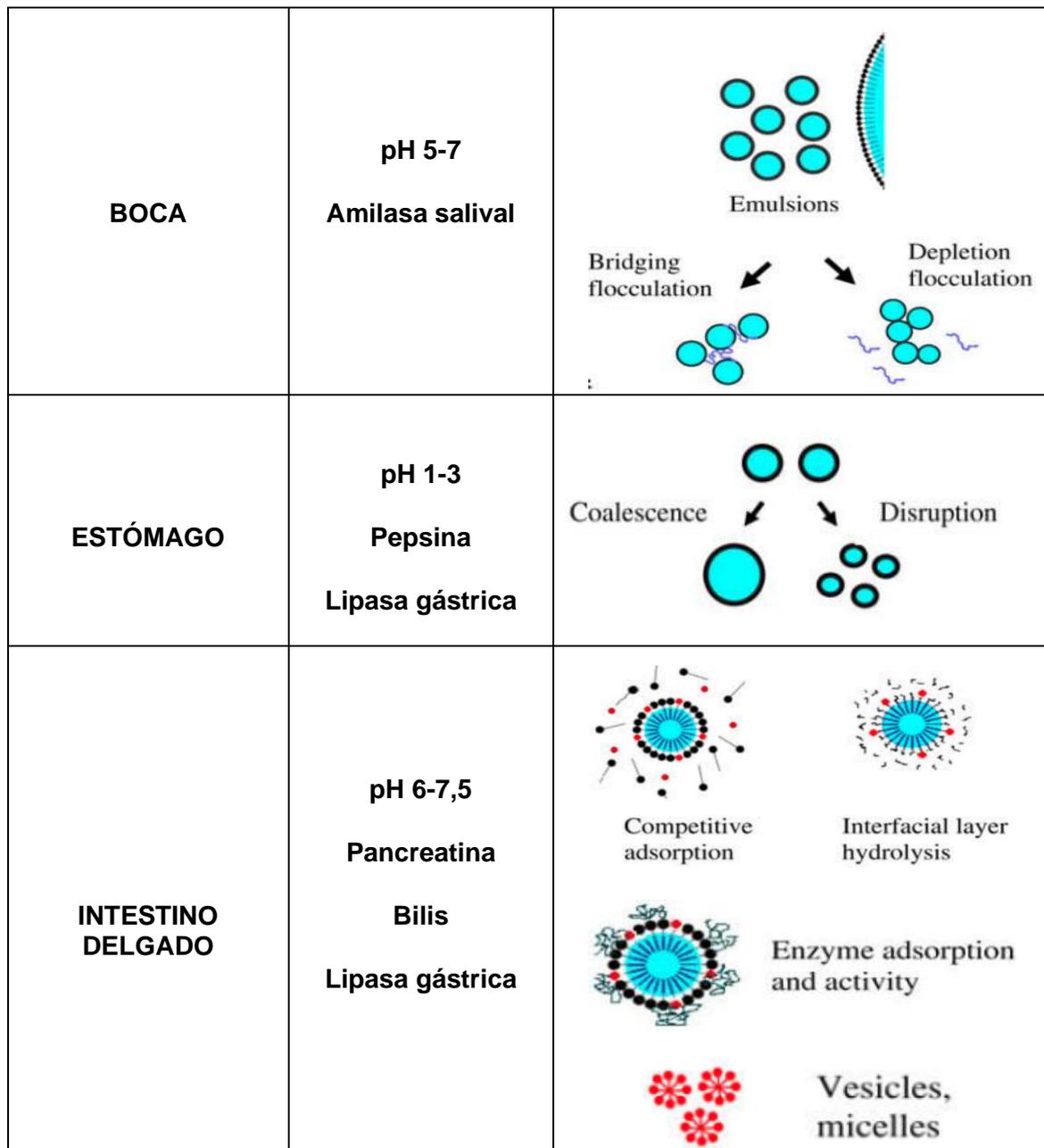


Figura 1. Representación esquemática de los diversos procesos que pueden ocurrir a los glóbulos grasos de la emulsión bajo unas condiciones determinadas al pasar por el tracto gastrointestinal basado en Singh et al, (2009).

En la digestión, la fase oral constituye la primera parte, donde la comida reside únicamente unos cuantos segundos. En esta fase, la emulsión puede sufrir grandes modificaciones por la acción de enzimas como la α -amilasa, electrolitos, proteínas como la mucina y los procesos mecánicos como la masticación y acción de la lengua (Mao & Miao, 2015). En la siguiente fase, la comida desciende por el esófago hasta el estómago, donde tendrá lugar la fase gástrica. En esta fase, la emulsión es sometida a pH ácidos, así como a la acción de enzimas que actúan en el medio ácido como la pepsina, a la influencia de electrolitos y a movimientos de peristalsis (Mao & Miao, 2015). Finalmente, en la fase intestinal, el pH vuelve a ascender hasta un valor aproximado de 7. En esta fase la presencia de sales biliares, electrolitos y enzimas como la lipasa pancreática tiene una gran influencia sobre las emulsiones (Mao & Miao, 2015) y la digestión de los lípidos contenidos en éstas.

2. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es estudiar el impacto de la sustitución de margarina por oleogeles, elaborados con aceite de oliva o de girasol y estructurados con los hidrocoloides hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y goma xantana (GX), sobre las propiedades estructurales y la digestibilidad lipídica *in vitro* de panes dulces, cocidos al horno o al vapor.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Material

La hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC-K4M) fue suministrada por Dow Chemical Company, (Midland, MI, Estados Unidos) y la goma xantana (GX, Satiaxine CX 931) por Cargill R&D (Vilvoorde), la margarina de coco fue adquirida de Gramcosa (Catarroja, Valencia, Spain), el agua utilizada fue agua Bezoya (Segovia, España) y el aceite de oliva (Coosur, España) y el aceite de girasol (Carrefour, España) fueron comprados en supermercado. Para la elaboración del pan se empleó harina de trigo (Comercial Gallo S.A.U., Spain), levadura fresca (Lesaffre Ibérica, Spain), sal (Consum, Spain), azúcar (Azucarera, Spain) y leche entera (3.6 g/100 ml grasas) (Consum, Spain), adquiridas en supermercado.

3.2 Preparación del oleogel

La composición del oleogel se presenta en la tabla 1. Se elaboraron 200 g de oleogel mediante el método *emulsion-template*. Para ello, primero se disolvieron 2 g de HPMC, lentamente, en 76,8 g de agua fría, en agitación, a 300 rpm durante 20 min utilizando una Thermomix (Thermomix TM6, Vorwerk, Alemania). A la disolución se le añadieron 1,2 g de GX y la mezcla permaneció durante 5 min en agitación a 300 rpm. A continuación, para preparar la emulsión, se vertieron 120 g de aceite (de oliva o girasol) y la mezcla se homogenizó durante 5 min a 300 rpm. La emulsión obtenida se introdujo en una manga pastelera de silicona (Kurtzy, India) con una boquilla de 4,5 cm de diámetro (Carrefour, TESCO, España), y se extendió sobre un molde de teflón de dimensiones 42 cm x 35 cm x 0.13 mm (Pritogo, Alemania), hasta conseguir láminas rectangulares de aproximadamente 24 cm x 1.2 cm de lado y un espesor de 0.01 cm. Las láminas se sometieron a secado a 80 °C durante 3 h 30 min en estufa convencional (KB115; BINDER, Tuttlingen, Alemania). Finalmente, las emulsiones secadas se homogeneizaron con una picadora (Moulinex A320R1, París, Francia) durante 4 s. Los oleogeles preparados con el método *emulsion-template* fueron dos: oleogel de oliva (O) y oleogel de girasol (G).

Tabla 1. Composición del oleogel en 200 g.

OLEOGEL	
Ingredientes	Cantidad (gramos)
Agua	76,8
HPMC	2
Goma Xantana	1,2
Aceite (oliva o girasol)	120

3.3 Elaboración del pan

Los ingredientes utilizados para la elaboración de las diferentes formulaciones de panes dulces se muestran en la tabla 2. Se prepararon 6 panes dulces distintos, empleando como grasa control, grasa de margarina de coco (C), y oleogeles de oliva (O) o girasol (G) como grasa de reemplazo.

La preparación de la masa se realizó en diferentes etapas en una Thermomix modelo TM31 (Thermomix, Vorwerk, Wuppertal, Alemania). En la primera etapa, se mezclaron

la leche y el azúcar a 37 °C durante 2 min a 200 rpm. Posteriormente, se adicionó la levadura fresca y se mezcló en el procesador durante 5 s a 300 rpm. A continuación, se adicionó la harina de trigo y la sal y se mezclaron durante 15 s a 1100 rpm. Finalmente, se adicionó la fracción grasa (C, O o G) y se amasó a 500 rpm durante 3 min. La masa obtenida se introdujo en moldes de papel de aluminio (0,5 L) (Envasado Alimentario Alibérico, España) a razón de 150 g de masa por molde y se dejaron reposar durante 1 h. Las muestras se procesaron, en dos condiciones diferentes: en horno (H) (180 °C / 30 min) (Electrolux, modelo EOC3430DOX, Estocolmo, Suecia), y al vapor en una Thermomix (V) (función Varoma / 30 min, previamente desmoldado). Los panes dulces obtenidos tres mediante cocción por horno (HC, HO, HG) y tres mediante cocción al vapor (VC, VO y VG) se atemperaron durante 1 h y luego se analizaron.

Tabla 2. Composición en la elaboración del pan en un total de 100 g.

Ingredientes	Cantidad (gramos)					
	HC	HO	HG	VC	VO	VG
Harina	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5
Leche	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
Grasa	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Azúcar	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Levadura	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Sal	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

3.4 Estructura de la miga

Las muestras se cortaron en rodajas verticales de 15 mm de espesor y se escanearon (con una resolución de 300 dpi) usando un escáner de computadora (Epson Perfection 1250, Epson America Inc., Long Beach, CA). La estructura celular de la miga se analizó utilizando el software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, EE. UU.). La imagen se recortó en una sección de 2 x 4 cm, en la que se realizó el análisis. La imagen se dividió en canales de color y se mejoró el contraste; luego, la imagen se binarizó después de un umbral de escala de grises. Los parámetros calculados fueron la densidad de las celdas de aire (número de celdas por campo), el área de las celdas de aire (mm²), la circularidad de las celdas y el área total de las celdas de aire dentro de la miga (%). Las mediciones se realizaron por triplicado.

3.5 Volumen específico y altura

El volumen específico de las rebanadas de los panes dulces se midió a temperatura ambiente mediante el método de desplazamiento de semillas de colza (AACC método internacional 10–05.01). La altura máxima del pan se midió a partir de la sección transversal de la imagen escaneada con el software ImageJ.

3.6 Textura

Se utilizó un analizador de texturas TA-TX plus (Stable Micro Systems, Ltd., Godalming, Reino Unido) con el software Texture Exponent Lite 32 (versión 6.1.4.0, Stable Micro Systems) para determinar las propiedades de textura de las muestras. Las medidas se realizaron por triplicado en cubos (15 × 15 × 15 mm) tomados de la miga central de cada pan.

El análisis del perfil de textura (TPA) se realizó utilizando una velocidad de prueba de 1 mm/s con una deformación del 40% de la altura del cubo original y un intervalo de 5 s entre los 2 ciclos de compresión con una placa de aluminio de 35 mm de diámetro (P/35). Los parámetros obtenidos de las curvas fueron dureza, elasticidad, cohesión y masticabilidad. Se midieron ocho cubos de cada pan dulce.

3.7 Digestibilidad lipídica *in vitro*

La digestión *in vitro* de panes dulces se realizó de acuerdo con los procedimientos descritos por Diez et al. (2021) con algunas modificaciones. Se elaboraron disoluciones de líquido salival simulado (SSF), líquido gástrico simulado (SGF) y líquido intestinal simulado (SIF) de acuerdo con las composiciones descritas en el protocolo INFOGEST: 2.0 (red internacional de excelencia sobre el destino de los alimentos en el tracto gastrointestinal) (Brodkorb et al., 2019). Con el fin de imitar las condiciones fisiológicas humanas, el análisis se realizó con temperatura controlada (37 °C) y agitación (150 rpm).

Primero, se molieron 7,5 g de cada muestra de panecillo en una batidora de mano (Ufesa, modelo BP4566, Barcelona, España) y luego se añadieron 6 ml de SSF + α -amilasa (Sigma A3176), 27,5 μ L de CaCl_2 y 1,472 mL de agua destilada y todo se mezcló a mano durante 2 min para simular la masticación. En segundo lugar, en la etapa gástrica se agregaron 24 mL de SGF + pepsina (Sigma P7000) y 12 μ L de CaCl_2 . El pH se ajustó a 3 usando HCl 1 M y se añadió el volumen de agua destilada necesario para un volumen total de 30 ml. La mezcla se incubó a 37 ° C durante 1 h con agitación. En tercer lugar, para la etapa intestinal, se añadieron 12 mL de SIF + pancreatina (Sigma P1750, 4xUSP), 67,5 μ L de CaCl_2 , 12 mL de SIF + sales biliares (Sigma B8631) (Gómez et al., 2017) y 12 mL de SIF + lipasa (Sigma L3126; 2000 U / mL). El pH se ajustó a 7 usando NaOH 1M. La mezcla se incubó a 37 ° C durante 2 h con agitación. Una vez ajustado el pH, se agregó el volumen de agua destilada necesario para un volumen total de 45 mL; y el pH se reajustó a 7. Finalmente, las digestiones se llevaron a cabo en un reactor de vaso de vidrio (1 L de capacidad) a 37 °C. La medición se realizó por triplicado.

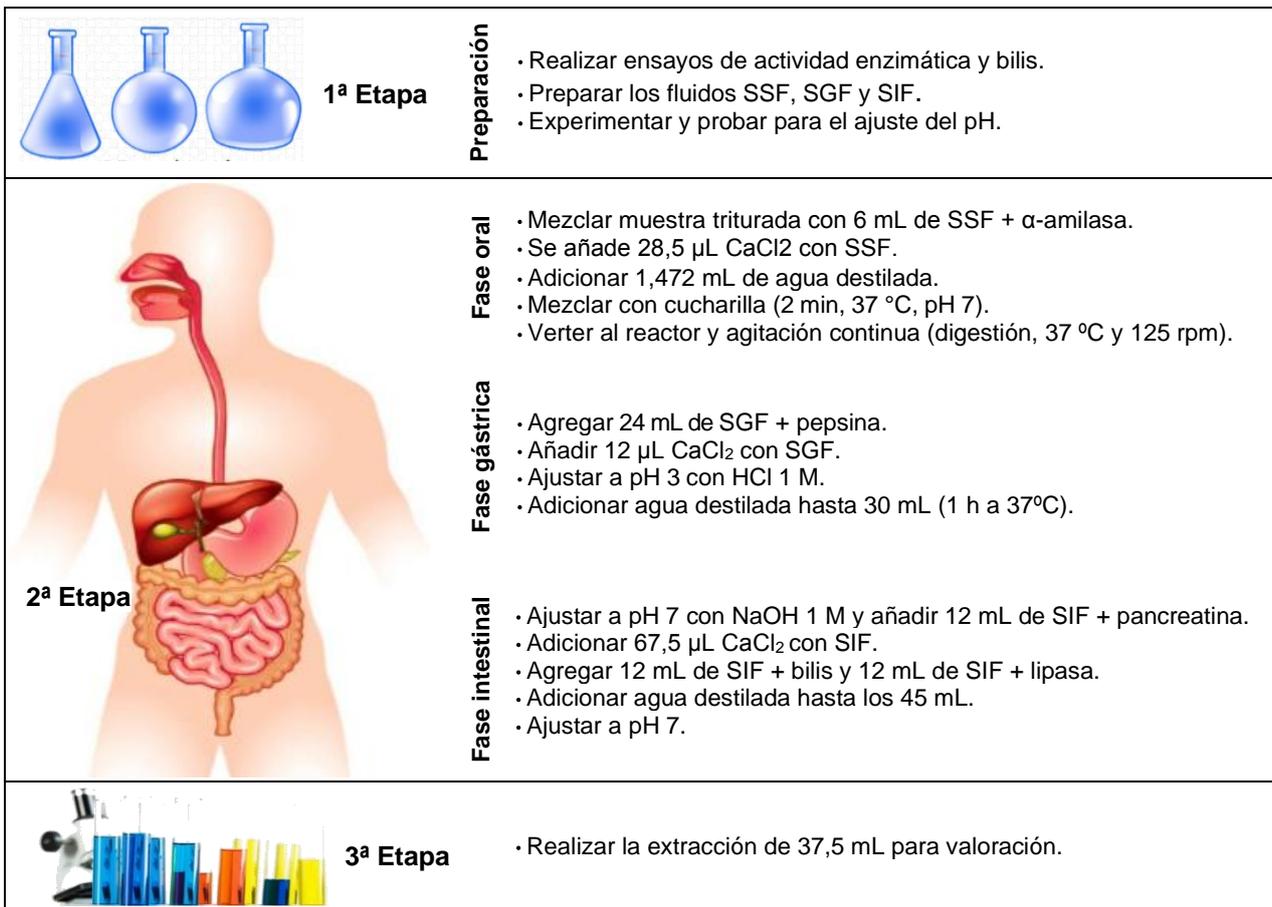


Figura 2. Diagrama de flujo donde se pueden ver las etapas de la digestión, y brevemente el procedimiento.

3.8 Liberación de ácidos grasos libres

La liberación de ácidos grasos libres (AGL) del pan dulce se determinó durante la digestión *in vitro* empleando una unidad de titulación automática pH-stat (Mettler-toledo DL 50, Greifensee, Suiza). El pH se monitorizó automáticamente manteniéndolo a pH 7,0 titulando cantidades convenientes (mL) de solución de NaOH (0,25 M). Se registró el volumen de NaOH incorporado a la muestra de pan dulce y se utilizó para calcular la concentración de AGL por lipólisis mediante la posterior ecuación (1):

$$AGL (\%) = 100 \times \frac{v_{NaOH} \times m_{NaOH} \times M_{lipid}}{W_{lipid} \times 2} \quad (1)$$

donde V_{NaOH} es el volumen de NaOH (L) incorporado durante el proceso de digestión para neutralizar los AGL generados, m_{NaOH} es la molaridad del valorante de NaOH (0.25 M), M_{lipid} es el peso molecular promedio de la grasa sólida y W_{lipid} es el peso total de aceite en el sistema de digestión.

Los datos experimentales de AGL publicados se ajustaron al modelo empírico seguido por Bellesi et al., (2016):

$$AGL (\%) = 100 \times \frac{[(AGL_{max} \times t)]}{(B + t)} \quad (2)$$

donde % AGL y % AGL_{max} son el % AGL liberado en el momento t y en el “pseudo-equilibrio”, respectivamente, y B es el tiempo mínimo necesario para alcanzar la mitad del tiempo medio de lipólisis, es decir, % AGL_{max} / 2.

La tasa inicial (K) de liberación de AGL se puede calcular utilizando el siguiente modelo (3):

$$K = \frac{(AGL)_{max}}{B} \quad (3)$$

3.9 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANOVA) para estudiar los efectos de la grasa. Las diferencias menos significativas (LSD) se calcularon a un nivel de significancia $P < 0,05$ utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.II (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, Estados Unidos).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la estructura de la miga

La apariencia de los panecillos se muestra en la figura 3. El panecillo horneado (fig. 1A, B, C) mostró una miga compacta y oscura y una corteza dura, mientras que el panecillo al vapor (fig. 1D, E, F) presentó una corteza de estructura fina y blanca, acabado semibrillante y textura ligera. Comparando el pan control horneado (HC) (fig. 1A) y el pan horneado hecho con oleogel de oliva (HO) u oleogel de aceite de girasol (HG) (fig. 1B y 1C), HC presentó una miga abierta y textura aireada mientras que HO y HG mostraron una estructura de miga más densa y compacta, con menor número de cavidades. Sin embargo, estas diferencias en la apariencia no se pudieron observar entre las muestras cocidas al vapor (fig. 1D, 1E y 1F).

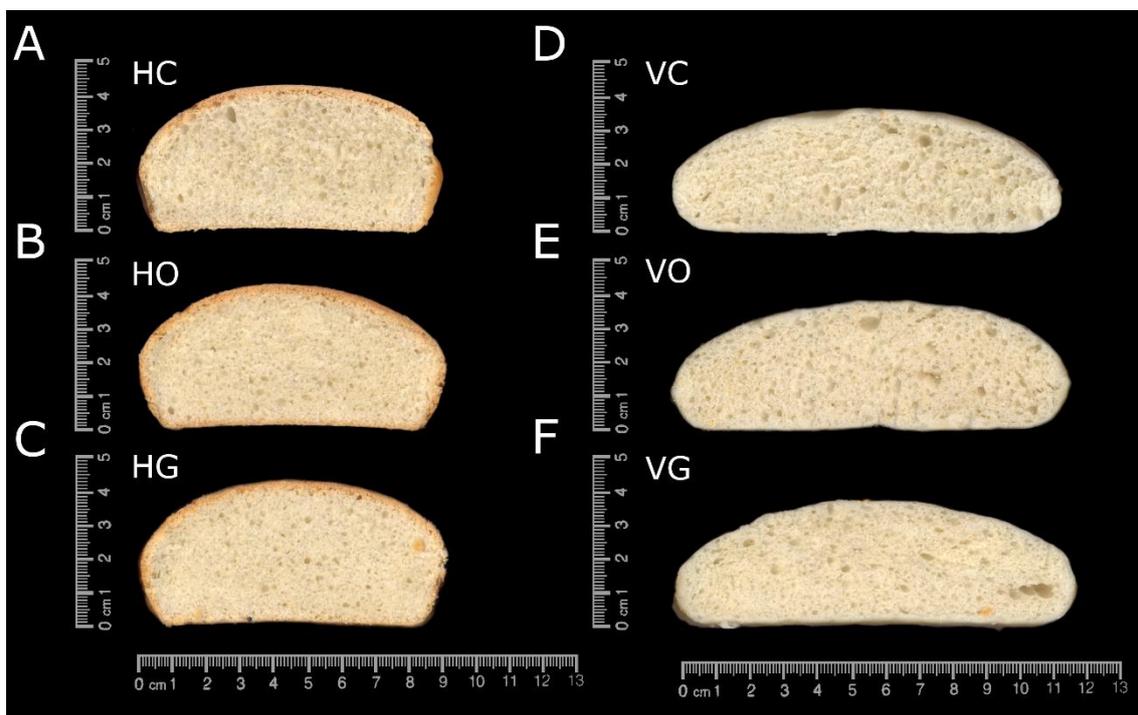


Figura 3. Corte transversal de panes dulces: elaborados al horno (A-C) y al vapor (D-F). A: control con margarina de coco (HC); B: con oleogel de oliva (HO); C: con oleogel de girasol (HG); D: con margarina de coco (VC); E: con oleogel de oliva (VO); F: con oleogel de girasol (VG).

La tabla 3 muestra las características del panecillo horneado. Se puede observar que los panecillos horneados elaborados con margarina tuvieron valores significativamente ($P < 0,05$) más elevados en el área celular total que los panecillos horneados formulados con ambos oleogeles. No se pudieron observar diferencias significativas ($P > 0,05$) en las características de la estructura celular, densidad celular y área celular. HC mostró diferencias de valores significativamente más elevados ($P < 0,05$) que las muestras de HG en la circularidad celular.

Tabla 3. Propiedades del pan dulce al horno.

	HC	HO	HG
Densidad celular	1235 ^a (113)	1045 ^a (140)	1064 ^a (100)

	Área celular (mm²)	0.27 ^a (0.06)	0.33 ^a (0.06)	0.30 ^a (0.01)
Estructura	Circularidad celular	0.85 ^b (0.02)	0.83 ^{ab} (0.01)	0.82 ^a (0.01)
de la miga	Área celular total (%)	45 ^b (3)	39.2 ^a (0.4)	36.6 ^a (0.7)

**Control de pan dulce horneado elaborado con margarina de coco (HC); pan dulce horneado elaborado con oleogel de oliva (HO); pan dulce horneado elaborado con oleogel de girasol (HG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes (P<0,05) según la prueba de rango múltiple LSD.*

Tabla 4. Propiedades del pan dulce al vapor.

		VC	VO	VG
	Densidad celular	1329 ^a (87)	1101 ^a (161)	1137 ^a (105)
Estructura	Área celular (mm²)	0.27 ^a (0.06)	0.27 ^a (0.06)	0.30 ^a (0.01)
de la miga	Circularidad celular	0.85 ^a (0.01)	0.82 ^a (0.02)	0.84 ^a (0.01)
	Área celular total (%)	44 ^a (4)	37 ^a (6)	43 ^a (2)

**Control de pan dulce vaporizado elaborado con margarina de coco (VC); pan dulce vaporizado elaborado con oleogel de oliva (VO); pan dulce vaporizado elaborado con oleogel de girasol (VG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes (P<0,05) según la prueba de rango múltiple LSD.*

La tabla 4 muestra las características de los panes al vapor. No se pudieron observar diferencias significativas (P>0,05) en las características de la estructura celular (densidad celular, área celular, circularidad celular y área celular total) entre el pan de control al vapor y el pan al vapor elaborado con oleogeles.

La grasa sólida juega un papel importante en la estabilización de la burbuja de aire, formando una película en la interfaz aire-matriz (Rodríguez et al., 2012). La formación de una red estructurada proporcionada por los oleogeles parece ser muy eficaz en la incorporación y estabilización de las células de aire en los bollos. Esto puede explicar los valores similares de densidad celular y área celular observados cuando los bollos se formulan con oleogel o margarina. Sin embargo, esto demuestra la capacidad de los oleogeles formulados con HPMC y XG para impartir una estructura similar para controlar el pan elaborado con una grasa saturada, al tiempo que mejora el perfil lipídico de la grasa.

4.2 Volumen específico y altura

El efecto de la margarina y el oleogel sobre el volumen específico de panecillo horneado se investigó como se muestra en la tabla 5. No se encontraron diferencias significativas (P<0,05) en el volumen específico y altura entre el pan dulce control horneado y el pan

horneado hecho con oleogeles. Los hidrocoloides permiten la formación de una estructura de redes de gel durante el horneado, mejorando el volumen específico y las propiedades de textura al expandir las células de gas sin colapsar (Liu et al., 2018; Mohammadi et al., 2014). La tabla 6 muestra el volumen específico y la altura de los panes vaporizados. Los panes dulces al vapor elaborados con oleogeles no mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) con el control. Otros autores (Jung et al., 2020) tampoco encontraron diferencias significativas en el volumen específico del pan dulce al reemplazar el 75% de mantequilla por oleogel preparado con cera de candelilla. Por tanto, la estructura de tipo sólido proporcionada por el oleogel parece ser una excelente alternativa capaz de simular la funcionalidad de los cristales de grasa que proporcionan las grasas sólidas convencionales, al incorporar y estabilizar las burbujas de aire durante el desarrollo de la masa.

Tabla 5. Propiedades del pan dulce al horno.

	HC	HO	HG
Volumen específico (cm³/g)	2.7 ^a (0.1)	2.54 ^a (0.09)	2.7 ^a (0.2)
Altura (cm)	4.75 ^a (0.03)	4.7 ^a (0.1)	4.70 ^a (0.06)

**Control de pan dulce horneado elaborado con margarina de coco (HC); pan dulce horneado elaborado con oleogel de oliva (HO); pan dulce horneado elaborado con oleogel de girasol (HG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$) según la prueba de rango múltiple LSD.*

Tabla 6. Propiedades del pan dulce al vapor.

	VC	VO	VG
Volumen específico (cm³/g)	2.50 ^a (0.05)	2.7 ^a (0.1)	2.6 ^a (0.2)
Altura (cm)	3.9 ^a (0.3)	4.0 ^a (0.1)	3.8 ^a (0.1)

**Control de pan dulce al vapor elaborado con margarina de coco (VC); pan dulce al vapor elaborado con oleogel de oliva (VO); pan dulce al vapor elaborado con oleogel de girasol (VG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$) según la prueba de rango múltiple LSD.*

El volumen específico es uno de los parámetros más críticos para evaluar la calidad de los productos horneados aireados, ya que influye en la aceptación del consumidor (Monteiro et al., 2021). Los lípidos tienen un impacto importante en el volumen de la masa (Demirkesen y Mert, 2019). La pérdida de volumen, en productos de panificación, es una dificultad tecnológica que hay que superar cuando se reemplaza la grasa convencional por sustitutos de grasa en la formulación de este tipo de alimentos. El uso de los oleogeles desarrollados en este trabajo permiten mantener estos estándares de calidad en el pan dulce.

4.3 Textura

Las propiedades de textura de los panes dulces horneados preparados con margarina (HC) o con los oleogeles de oliva (HO) y girasol (HG) se resumen en la tabla 7. Los panes formulados con oleogeles (HO, HG), presentaron valores significativamente

($P < 0,05$) más elevados de dureza que el control (HC). Oh y Lee (2018) también encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en las propiedades de textura, cuando los muffins se elaboraron con oleogeles de HPMC en lugar de con manteca. Estas diferencias se atribuyeron a la estructura más densa con valores más bajos en el área celular total en las muestras elaboradas con oleogeles (HO, HG). En cuanto al parámetro elasticidad, los panes elaborados con HC presentaron valores significativamente ($P < 0,05$) más elevados que los elaborados con HG. Los valores de cohesividad no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en ninguna de las muestras estudiadas. Estos resultados concuerdan con el análisis de volumen específico, donde los distintos panes horneados no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) En cuanto a los valores de masticabilidad, los elaborados con oleogel de oliva presentaron valores significativamente ($P < 0,05$) más elevados que los elaborados con margarina, sin embargo, no se encontraron diferencias ($P > 0,05$) ni entre los HG y HC, ni entre los elaborados con los dos oleogeles.

Como se presenta en la tabla 8, los panes dulces al vapor formulados con oleogeles (VO, VG), no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en las propiedades de textura con respecto a los panes formulados con la grasa control (VC). Estos resultados mostraron que los oleogeles se pueden utilizar para formular panes dulces de propiedades estructurales adecuadas.

Tabla 7. Propiedades del pan dulce al horno.

	HC	HO	HG	
Textura	Dureza	0.9 ^a (0.1)	1.2 ^b (0.2)	1.1 ^b (0.3)
	Elasticidad	0.92 ^b (0.02)	0.90 ^{ab} (0.03)	0.8 ^a (0.2)
	Cohesión	0.74 ^a (0.02)	0.73 ^a (0.02)	0.74 ^a (0.06)
	Masticabilidad	0.64 ^a (0.09)	0.8 ^b (0.1)	0.7 ^{ab} (0.2)

**Control de pan dulce horneado elaborado con margarina de coco (HC); pan dulce horneado elaborado con oleogel de oliva (HO); pan dulce horneado elaborado con oleogel de girasol (HG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$) según la prueba de rango múltiple LSD.*

Tabla 8. Propiedades del pan dulce al vapor.

	VC	VO	VG	
Textura	Dureza	0.7 ^a (0.1)	0.75 ^a (0.08)	0.7 ^a (0.1)
	Elasticidad	0.90 ^a (0.03)	0.91 ^a (0.03)	0.9 ^a (0.1)
	Cohesión	0.72 ^a (0.02)	0.72 ^a (0.03)	0.74 ^a (0.05)
	Masticabilidad	0.48 ^a (0.08)	0.49 ^a (0.05)	0.5 ^a (0.1)

*Control de pan dulce vaporizado elaborado con margarina de coco (VC); pan dulce vaporizado elaborado con oleogel de oliva (VO); pan dulce vaporizado elaborado con oleogel de girasol (VG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0,05$) según la prueba de rango múltiple LSD.

4.4 Digestibilidad lipídica *in vitro*

Como tendencia general, en la figura 4 todas las muestras presentaron una liberación rápida de ácidos grasos libres (AGL) en los primeros 10 min de la digestión intestinal *in vitro*, seguida de un incremento más gradual de esta liberación en tiempos más prolongados, alcanzando un valor final relativamente constante. Los valores máximos de AGL alcanzados durante la lipólisis pueden deberse al hecho de que los AGL y los productos intermedios de digestión tienen una alta actividad superficial y tienden a adsorberse en la superficie de la gota de aceite. A una concentración suficientemente alta, desplazan las moléculas de lipasa de la interfaz aceite-agua, inhibiendo así la actividad de la lipasa (Torcello & Foster, 2016).

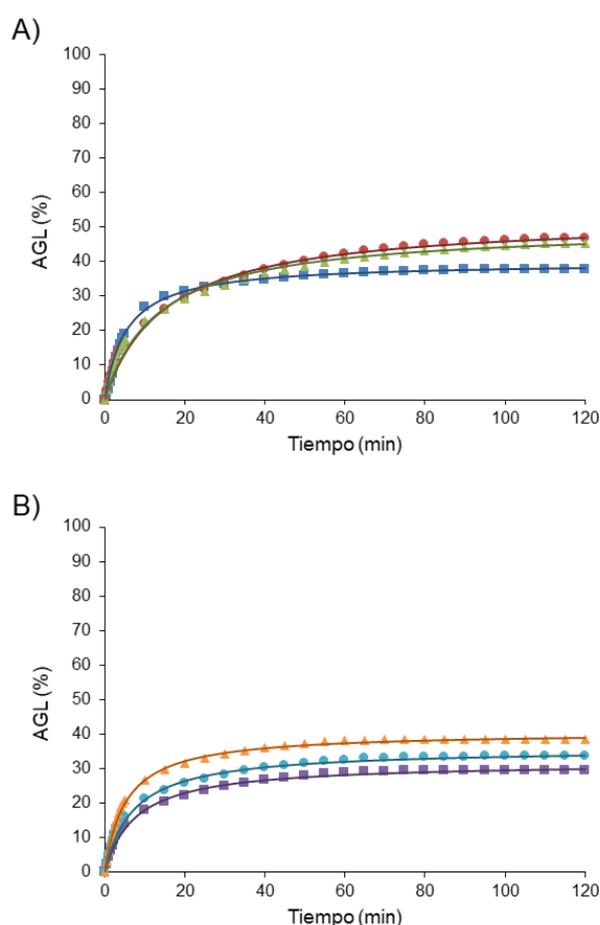


Figura 4. Concentración de AGL durante la digestión *in vitro* de A) pan dulce horneado B) pan dulce vaporizado. Pan dulce control (cuadrados), pan dulce elaborado con oleogel de oliva (círculos), panes dulces elaborados con oleogel de girasol.

Las tablas 9 y 10 describen los parámetros cinéticos durante el proceso de digestión lipídica, a lo largo del tiempo, de los panes dulces horneados y al vapor. El modelo matemático presentó un R^2 superior a 0.98 en todos los casos, lo que evidencia el excelente ajuste entre la fórmula y los datos experimentales. La cantidad de AGL liberada durante la digestión de los panes elaborados con oleogeles de oliva o girasol estructurados con HPMC y XG fue de alrededor del 35-50%. Este resultado concuerda con los obtenidos por diferentes autores (Bellesi et al., 2016; Ruiz et al., 2017) que estudiaron la digestión de emulsiones estabilizadas por HPMC y encontraron valores de AGL alrededor de 44-51%. La actividad interfacial de la HPMC y el menor grado de desestabilización bajo los fluidos de digestión, juegan un papel importante en la lipólisis, dificultando el acceso de la lipasa a la interfaz (Bellesi et al., 2018). Los panes dulces horneados elaborados con oleogeles (HO, HG), no mostraron diferencias significativas ($P>0,05$) en los valores de AGL_{max} en comparación con los panes horneados elaborados con margarina (HC). Los panes elaborados al vapor (VC, VO, VG), no mostraron diferencias significativas ($P>0,05$) en los valores de AGL_{max} (tabla 10).

Tabla 9. Parámetros cinéticos que describen la liberación de ácidos grasos libres (AGL) de la digestión final de panes dulces horneados.

Muestra	AGL_{max} (%)	K (1/min)	R^2
HC	38 ^a (2)	6.5 ^b (1.3)	0,99
HO	48 ^a (3)	4.2 ^{ab} (0.7)	0,99
HG	45 ^a (7)	3.7 ^a (0.1)	0,98

**Control de pan dulce horneado elaborado con margarina de coco (HC); pan dulce horneado elaborado con oleogel de oliva (HO); pan dulce horneado elaborado con oleogel (HG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($P<0,05$) según la prueba de rango múltiple LSD.*

Tabla 10. Parámetros cinéticos que describen la liberación de ácidos grasos libres (AGL) de la digestión final de panes dulces al vapor.

Muestra	AGL_{max} (%)	K (1/min)	R^2
VC	31 ^a (8)	3.8 ^a (0.6)	0,99
VO	35.7 ^a (0.4)	5.5 ^{ab} (0.6)	0,99
VG	39 ^a (4)	6.8 ^b (1.4)	0,99

**Control de pan dulce vaporizado elaborado con margarina de coco (VC); pan dulce vaporizado elaborado con oleogel de oliva (VO); pan dulce vaporizado elaborado con oleogel (VG). Los valores con diferentes letras minúsculas (a, b... z) dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($P<0,05$) según la prueba de rango múltiple LSD.*

La razón por la que los panes hechos con oleogeles presentaron perfiles de liberación de AGL más altos que los de margarina, a lo largo de la digestión (fig.4) podría ser debido a que i) la margarina está formulada con emulsionantes, que inhiben la actividad

de la lipasa de manera más efectiva que los hidrocoloides (Borreani et al., 2019), y a ii) la presencia de iones de calcio, procedentes de la digestión y de los alimentos (por ejemplo de la leche utilizada en la elaboración de los panes) que aumentan el grado de digestión de los triglicéridos promoviendo la eliminación de los ácidos grasos de la interfase aceite-agua para formar jabones de calcio insolubles, que aumentan el grado de digestibilidad (Devraj et al., 2013; Torcello et al., 2018).

La velocidad inicial de digestión de los panes horneados mostró diferencias significativas entre HC y HG (tabla 9) probablemente influenciada por la sustitución de la grasa de margarina saturada estabilizada con surfactantes por el oleogel de girasol rico en ácidos grasos monoinsaturados y estabilizado con hidrocoloides. Los panes dulces horneados formulados con oleogeles de girasol mostraron velocidades iniciales de digestión más bajas, lo que indica que los panes control se digirieron más rápido inicialmente (tabla 9). La margarina comercial contiene en su formulación E-471 como tensioactivo, una mezcla de monoglicéridos y diglicéridos, que probablemente contribuyen como sustratos a la acción de la lipasa intestinal y generan AGL adicionales e incluso sirven como emulsionantes que aumentan la eficiencia de la lipólisis aumentando la velocidad inicial (Ashkar et al., 2019). No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre HO y el resto de las muestras (HC y HG) (tabla 9).

En los panes dulces elaborados al vapor (tabla 10), la velocidad inicial fue significativamente ($P < 0,05$) mayor en los formulados con oleogel de girasol (VG) que en los formulados con margarina (VC). No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre VO y el resto de las muestras. Este proceso de elaboración al vapor supone que el producto final contiene un 14% más de agua que el horneado. Como se indicó anteriormente en varias revisiones sobre la influencia de la estructura en la digestibilidad de los lípidos, la estructura y composición de la matriz que rodea al lípido puede afectar a la bioaccesibilidad de la fracción lipídica (Marze, 2013; McClements et al., 2009; Michalski et al., 2013; O'Sullivan, 2016). La eliminación de agua que produce el proceso de horneado favorece la interacción entre el polisacárido y la interfase de los glóbulos de grasa. Pero cuando el contenido en agua es mayor, la afinidad entre el polisacárido y el agua puede competir con su papel emulsionante (Scholten, 2019), favoreciendo la digestión de los lípidos. Por esta razón, es posible que en las muestras de VG y VO el agua disponible tienda a diluir parte de los oleogelificantes hidrocoloides (HPMC y XG) permitiendo que la lipasa ataque más rápidamente los glóbulos de grasa en estas muestras.

5. CONCLUSIONES

La sustitución de margarina, grasa plástica utilizada tradicionalmente en los productos elaborados horneados, por oleogeles de aceite de oliva o de girasol estructurados con HPMC y XG, es eficaz para proporcionar características físicas similares en panes horneados o al vapor. El reemplazo de la margarina por oleogeles produce panes al vapor sin diferencias en la estructura de la miga, volumen y altura. Sin embargo, los panes horneados hechos con oleogeles presentan una estructura de miga menos aireada y son más duros que los panes horneados formulados con margarina. Con respecto a la digestibilidad de los lípidos, el grado de digestión, medido a partir de la liberación de ácidos grasos *in vitro*, no se ve afectado por el reemplazo de la margarina por oleogeles. Estos resultados sugieren que la reformulación de panes con oleogeles como sustitutos de grasas saturadas podría ayudar a la industria alimentaria a preparar productos de panadería saludables.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC, I.M. 10–05. 01 Approved Methods of Analysis, 10th Ed: Method 10-05.01. Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. 2003, 1–10.
- ABDOLLAHI, M., GOLI, S. A. H., & SOLTANIZADEH, N. (2020). Physicochemical Properties of Foam-Templated Oleogel Based on Gelatin and Xanthan Gum. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(2), 1–9. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900196>
- AHMADI, P., TABIBIAZAR, M., ROUFEGARINEJAD, L., & BABAZADEH, A. (2020). Development of behenic acid-ethyl cellulose oleogel stabilized Pickering emulsions as low calorie fat replacer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.205>
- AINI, I. N., & MISKANDAR, M. S. (2007). *Utilization of palm oil and palm products in shortenings and margarines*. 6, 422–432. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600232>
- ALBUQUERQUE, T. G., SANTOS, J., SILVA, M. A., OLIVEIRA, M. B. P. P., & COSTA, H. S. (2018). An update on processed foods: Relationship between salt, saturated and *trans* fatty acids contents. *Food Chemistry*, 267(January), 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.029>
- ANDRZEJ, K. M., MAŁGORZATA, M., SABINA, K., HORBAŃCZUK, O. K., & RODAK, E. (2020). Application of rich in β -glucan flours and preparations in bread baked from frozen dough. *Food Science and Technology International*, 26(1), 53–64. <https://doi.org/10.1177/1082013219865379>
- ASHKAR, A., LAUFER, S., ROSEN-KLIGVASSER, J., LESMES, U., & DAVIDOVICH-PINHAS, M. (2019). Impact of different oil gelators and oleogelation mechanisms on digestive lipolysis of canola oil oleogels. *Food Hydrocolloids*, 97(July), 105218. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105218>
- BÁRCENAS, M. E., & ROSELL, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 1037–1043. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.005>
- BASCUAS, S., HERNANDO, I., MORAGA, G., & QUILES, A. (2020b). Structure and stability of edible oleogels prepared with different unsaturated oils and hydrocolloids. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1458–1467. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14469>
- BASCUAS, S., MORELL, P., HERNANDO, I., & QUILES, A. (2021). Recent trends in oil structuring using hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 118(October 2020), 106612. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106612>
- BASCUAS, S., SALVADOR, A., HERNANDO, I., & QUILES, A. (2020a). Designing Hydrocolloid-Based Oleogels With High Physical, Chemical, and Structural Stability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(July), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00111>

- BELLESI, F. A., MARTINEZ, M. J., PIZONES RUIZ-HENESTROSA, V. M., & PILOSOFF, A. M. R. (2016). Comparative behavior of protein or polysaccharide stabilized emulsion under in vitro gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloids*, 52, 47–56.
- BELLESI, F. A., RUIZ-HENESTROSA, V. M. P., MALDONADO-VALDERRAMA, J., DEL CASTILLO SANTAELLA, T., & PILOSOFF, A. M. R. (2018). Comparative interfacial in vitro digestion of protein and polysaccharide oil/water films. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 161, 547–554.
- BORREANI, J., LEONARDI, C., MORAGA, G., QUILES, A., & HERNANDO, I. (2019). How do Different Types of Emulsifiers/Stabilizers Affect the In Vitro Intestinal Digestion of O/W Emulsions? *Food Biophysics*, 14(3), 313–325.
- BRODKORB, A., EGGER, L., ALMINGER, M., ALVITO, P., ASSUNÇÃO, R., BALLANCE, S., BOHN, T., BOURLIEU-LACANAL, C., BOUTROU, R., & CARRIÈRE, F. (2019). *INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion*. 14(April).
- BUGGENHOUT, S. VAN, & LEMMENS, L. (2010). In vitro approaches to estimate the effect of food processing on carotenoid bioavailability need thorough understanding of process induced microstructural changes. *Trends in Food Science & Technology*, 21(12), 607–618. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.09.010>
- CALLIGARIS, S., ALONGI, M., LUCCI, P., & ANESE, M. (2020). Effect of different oleogelators on lipolysis and curcuminoid bioaccessibility upon in vitro digestion of sunflower oil oleogels. *Food Chemistry*, 314(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126146>
- CAUVAIN, S. P. (2020). The contribution of water to dough formation and bread quality. In *Breadmaking*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102519-2.00015-3>
- DEMIRKESEN, I., & MERT, B. (2019). Utilization of Beeswax Oleogel-Shortening Mixtures in Gluten-Free Bakery Products. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(5), 545–554.
- DEMIRKESEN, I., & MERT, B. (2020). Recent developments of oleogel utilizations in bakery products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(14), 2460–2479. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649243>
- DESPLANQUES, S., RENOUE, F., GRISEL, M., & MALHIAC, C. (2012). Impact of chemical composition of xanthan and acacia gums on the emulsification and stability of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 401–410. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.10.015>
- DEVRAJ, R., WILLIAMS, H. D., WARREN, D. B., MULLERTZ, A., PORTER, C. J. H., & POUTON, C. W. (2013). In vitro digestion testing of lipid-based delivery systems: Calcium ions combine with fatty acids liberated from triglyceride rich lipid solutions to form soaps and reduce the solubilization capacity of colloidal digestion products. *International Journal of Pharmaceutics*, 441(1–2), 323–333.
- DIEZ-SÁNCHEZ, E., LLORCA, E., QUILES, A., & HERNANDO, I. (2018). Using different fibers to replace fat in sponge cakes: In vitro starch digestion and physico-structural studies. *Food Science and Technology International*, 24(6), 533–543. <https://doi.org/10.1177/1082013218771412>

- DING, C., ZHANG, M., & LI, G. (2015). Preparation and characterization of collagen/hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) blend film. *Carbohydrate Polymers*, 119, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.057>
- DINICOLANTONIO, J. J., LUCAN, S. C., & O'KEEFE, J. H. (2016). The Evidence for Saturated Fat and for Sugar Related to Coronary Heart Disease. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 58(5), 464–472. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2015.11.006>
- GEBAUER, S. K., & BAER, D. J. (2013). *TRANS-FATTY ACIDS Health Effects, Recommendations, and Regulations*. 4, 288–292. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00102-1>
- GIACINTUCCI, V., DI MATTIA, C. D., SACCHETTI, G., FLAMMINII, F., GRAVELLE, A. J., BAYLIS, B., DUTCHER, J. R., MARANGONI, A. G., & PITTIA, P. (2018). Ethylcellulose oleogels with extra virgin olive oil: the role of oil minor components on microstructure and mechanical strength. *Food Hydrocolloids*, 84(February), 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.030>
- HU, M., LI, Y., DECKER, E. A., & MCCLEMENTS, D. J. (2010). Role of calcium and calcium-binding agents on the lipase digestibility of emulsified lipids using an in vitro digestion model. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 719–725. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.03.010>
- HUR, S. J., DECKER, E. A., & MCCLEMENTS, D. J. (2009). Influence of initial emulsifier type on microstructural changes occurring in emulsified lipids during in vitro digestion. *Food Chemistry*, 114(1), 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.069>
- HUR, S. J., JOO, S. T., LIM, B. O., DECKER, E. A., & MCCLEMENTS, D. J. (2011). Impact of salt and lipid type on in vitro digestion of emulsified lipids. *Food Chemistry*, 126(4), 1559–1564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.003>
- HWANG, C. C., HUANG, S. K., CHEN, D. J., & CHEN, D. T. K. (2001). Object-oriented program behavior analysis based on control patterns. *Proceedings - 2nd Asia-Pacific Conference on Quality Software, APAQS 2001*, 79(230), 81–87. <https://doi.org/10.1109/APAQS.2001.990005>
- JUNG, D., OH, I., LEE, J. H., & LEE, S. (2020). Utilization of butter and oleogel blends in sweet pan bread for saturated fat reduction: Dough rheology and baking performance. *Lwt*, 125(November 2019), 109194.
- KARABULUT, I., TURAN, S., & ERGIN, G. (2003). Effects of chemical interesterification on solid fat content and slip melting point of fat/oil blends. *European Food Research and Technology*, 218(3), 224–229. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0847-4>
- LI, S., WU, G., LI, X., JIN, Q., WANG, X., & ZHANG, H. (2021). Roles of gelator type and gelation technology on texture and sensory properties of cookies prepared with oleogels. *Food Chemistry*, 356(March), 129667. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129667>
- LI, Y., HU, M., & MCCLEMENTS, D. J. (2011). Factors affecting lipase digestibility of emulsified lipids using an in vitro digestion model: Proposal for a standardised pH-

stat method. *Food Chemistry*, 126(2), 498–505.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.027>

- LIU, X., MU, T., SUN, H., ZHANG, M., CHEN, J., & FAUCONNIER, M. L. (2018). Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and in vitro starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour. *Food Chemistry*, 239(June 2003), 1064–1074.
- MAO, L., & MIAO, S. (2015). Structuring Food Emulsions to Improve Nutrient Delivery During Digestion. *Food Engineering Reviews*, 439–451.
<https://doi.org/10.1007/s12393-015-9108-0>
- MARZE, S. (2013). Bioaccessibility of Nutrients and Micronutrients from Dispersed Food Systems: Impact of the Multiscale Bulk and Interfacial Structures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(1), 76–108.
- MATHUS-VLIEGEN, E. M. (1995). Healthy diet. *Nederlands Tijdschrift Voor Tandheelkunde*, 102(5), 189–193.
- MCCLEMENTS, D. J., & DECKER, E. A. (2009). Controlling lipid bioavailability using emulsion-based delivery systems. In *Designing Functional Foods: Measuring and Controlling Food Structure Breakdown and Nutrient Absorption*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845696603.3.502>
- MCCLEMENTS, D. J., DECKER, E. A., & PARK, Y. (2009). Controlling lipid bioavailability through physicochemical and structural approaches. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(1), 48–67.
- MEICHTRY, L. B., POETINI, M. R., DAHLEH, M. M. M., ARAUJO, S. M., MUSACHIO, E. A. S., BORTOLOTTI, V. C., DE FREITAS COUTO, S., SOMACAL, S., EMANUELLI, T., GAYER, M. C., ROEHRS, R., GUERRA, G. P., & PRIGOL, M. (2020). Addition of Saturated and Trans-fatty Acids to the Diet Induces Depressive and Anxiety-like Behaviors in *Drosophila melanogaster*. *Neuroscience*, 443, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.07.042>
- MICHALSKI, M. C., GENOT, C., GAYET, C., LOPEZ, C., FINE, F., JOFFRE, F., VENDEUVRE, J. L., BOUVIER, J., CHARDIGNY, J. M., & RAYNAL-LJUTOVAC, K. (2013). Multiscale structures of lipids in foods as parameters affecting fatty acid bioavailability and lipid metabolism. *Progress in Lipid Research*, 52(4), 354–373.
- MINEKUS, M., ALMINGER, M., ALVITO, P., *et al.* (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food - an international consensus. *Food Funct.* 5(6):1113-1124. Doi: 10.1039/c3fo60702j.
- MOHAMMADI, M., SADEGHNIA, N., AZIZI, M. H., NEYESTANI, T. R., & MORTAZAVIAN, A. M. (2014). Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1812–1818.
- MONTEIRO, J. S., FARAGE, P., ZANDONADI, R. P., BOTELHO, R. B. A., DE OLIVEIRA, L. DE L., RAPOSO, A., SHAKEEL, F., ALSHEHRI, S., MAHDI, W. A., & ARAÚJO, W. M. C. (2021). A systematic review on gluten-free bread formulations using specific volume as a quality indicator. *Foods*, 10(3), 1–25.

- MUN, S., DECKER, E. A., PARK, Y., WEISS, J., & MCCLEMENTS, D. J. (2006). Influence of interfacial composition on in vitro digestibility of emulsified lipids: Potential mechanism for chitosan's ability to inhibit fat digestion. *Food Biophysics*, 1(1), 21–29. <https://doi.org/10.1007/s11483-005-9001-0>
- NOSHAD, M., HOJJATI, M., HASSANZADEH, M., ZADEH-DABBAGH, R., & HOSSEIN, M. (2021). *Journal of Chemical Health Risks Edible Utilization of Xanthan- guar Oleogels as a Shortening Replacement in Sponge Cake: Physicochemical Properties*. 11. <https://doi.org/10.22034/jchr.2020.1908257.1169>
- O'SULLIVAN, C. M., BARBUT, S., & MARANGONI, A. G. (2016). Edible oleogels for the oral delivery of lipid soluble molecules: Composition and structural design considerations. *Trends in Food Science and Technology*, 57, 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.018>
- O'SULLIVAN, M. G. (2016). Low-fat Foods: Types and Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*, 571–575.
- OH, I. K., & LEE, S. (2018). Utilization of foam structured hydroxypropyl methylcellulose for oleogels and their application as a solid fat replacer in muffins. *Food Hydrocolloids*, 77, 796–802.
- PAREYT, B., FINNIE, S. M., PUTSEYS, J. A., & DELCOUR, J. A. (2011). Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>
- PATEL, A. R. (2014). Edible applications of shellac oleogels: spreads, chocolate paste and cakes, *Food & Function*, 5(4). <https://doi.org/10.1039/c4fo00034j>
- PATEL, A. R., & DEWETTINCK, K. (2015). Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(11), 1772–1781. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400553>
- PATEL, A. R., & DEWETTINCK, K. (2016). Function Oleogelation: background. *Food & Function*, 7, 20–29, Edible oil structuring: an overview and recent updates. <https://doi.org/10.1039/c5fo01006c>
- PATEL, A. R., (2015). Alternative routes to oil structuring using oleogelators. In *Springer International Publishing*, New York, NY, USA.
- PUSCAS, A., MURESAN, V., SOCACIU, C., & MUSTE, S. (2020). Oleogels in food: A review of current and potential applications. *Foods*, 9(1), 1–27. <https://doi.org/10.3390/foods9010070>
- RODRÍGUEZ-GARCÍA, J., PUIG, A., SALVADOR, A., & HERNANDO, I. (2012). Optimization of a Sponge Cake Formulation with Inulin as Fat Replacer: Structure, Physicochemical, and Sensory Properties. *Journal of Food Science*, 77(2).
- RUBILAR, J. F., ZÚÑIGA, R. N., OSORIO, F., & PEDRESCHI, F. (2015). Physical properties of emulsion-based hydroxypropyl methylcellulose/whey protein isolate (HPMC/WPI) edible films. *Carbohydrate Polymers*, 123, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.010>

- RUIZ-HENESTROSA, V. M., BELLESI, F. A., CAMINO, N. A., & PILOSOFF, A. M. R. (2017). The impact of HPMC structure in the modulation of in vitro lipolysis: The role of bile salts. *Food Hydrocolloids*, 62, 251–261.
- SCHOLTEN, E. (2019). Edible oleogels: how suitable are proteins as a structurant? *Current Opinion in Food Science*, 27, 36–42.
- Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, *trans* fatty acids, and cholesterol. (2016). *EFSA Journal*, 8(3), 1–107. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1461>
- SINGH, H., YE, A., & HORNE, D. (2009). Structuring food emulsions in the gastrointestinal tract to modify lipid digestion. *Progress in Lipid Research*, 48(2), 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2008.12.001>
- SPAJI, D. G. (2020). *Strategies to achieve a healthy diet and health: reduction of trans fat and saturated fatty acids. 000*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817226-1.00004-7>
- TORCELLO-GÓMEZ, A., & FOSTER, T. J. (2016). Influence of interfacial and bulk properties of cellulose ethers on lipolysis of oil-in-water emulsions. *Carbohydrate Polymers*, 144, 495–503.
- TORCELLO-GÓMEZ, A., BOUDARD, C., & MACKIE, A. R. (2018). Calcium Alters the Interfacial Organization of Hydrolyzed Lipids during Intestinal Digestion. *Langmuir*, 34(25), 7536–7544.
- URBÁNKOVÁ, L., SEDLÁČEK, T., KAŠPÁRKOVÁ, V., & BORDES, R. (2021). Formation of oleogels based on emulsions stabilized with cellulose nanocrystals and sodium caseinate. *Journal of Colloid and Interface Science*, 596, 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.02.104>
- ZÚÑIGA, R. N., SKURTYYS, O., OSORIO, F., AGUILERA, J. M., & PEDRESCHI, F. (2012). Physical properties of emulsion-based hydroxypropyl methylcellulose films: Effect of their microstructure. *Carbohydrate Polymers*, 90(2), 1147–1158. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.066>