

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



**“CARACTERIZACIÓN DE POTENCIALES
INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE
EMULSIONES GELIFICADAS”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2025

Autora: ÁGATA GARCÍA NÁCHER

Tutor: MANUEL VIUDA MARTOS

Cotutora: CARMEN MARÍA BOTELLA MARTÍNEZ

CARACTERIZACIÓN DE POTENCIALES INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE EMULSIONES GELIFICADAS.

RESUMEN

El consumo excesivo de grasas saturadas y trans se asocia con un aumento del riesgo de obesidad, enfermedades no transmisibles y otras patologías crónicas. En respuesta a esta problemática de salud pública, la sustitución de las grasas sólidas por aceites vegetales y agentes estructurantes, como son las emulsiones gelificadas (EG), se presenta como una estrategia prometedora para la reformulación de alimentos.

En el presente Trabajo Fin de Grado se caracterizaron materias primas de origen vegetal – harinas de subproductos agroalimentarios y aceites vegetales – mediante análisis de composición, propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales, actividad antioxidante y perfil lipídico. Esto permite evaluar su potencial en la formulación de EG, además de promover su valorización ofreciendo alternativas tecnológicamente viables, y más saludables.

Palabras clave: Propiedades tecnofuncionales, perfil de ácidos grasos, subproductos agroalimentarios, aceites vegetales, emulsiones gelificadas.

CHARACTERISATION OF POTENTIAL INGREDIENTS FOR THE PRODUCTION OF GELLED EMULSIONS.

ABSTRACT

Excessive consumption of saturated and trans fats is associated with an increased risk of obesity, non-communicable diseases and other chronic pathologies. In response to this public health problem, the substitution of solid fats by vegetable oils and structuring agents, such as gelled emulsions (GE), is presented as a promising strategy for food reformulation.

In this Final Degree Project, raw materials of vegetable origin - flours from agri-food by-products and vegetable oils - were characterised by analysing their composition, physicochemical and techno-functional properties, antioxidant activity and lipid profile. This makes it possible to evaluate their potential in the formulation of GE, as well as to promote their valorisation by offering technologically viable and healthier alternatives.

Keywords: Techno-functional properties, fatty acid profile, agro-food by-products, vegetable oils, gelled emulsions.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	- 9 -
2. OBJETIVOS	- 20 -
2.1. Objetivo general.....	- 20 -
2.2. Objetivos específicos.....	- 20 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS	- 22 -
3.1. Material vegetal.....	- 22 -
3.2. Métodos analíticos para la caracterización de las harinas estudiadas.....	- 23 -
3.2.1. Composición química.....	- 23 -
3.2.2. Propiedades fisicoquímicas.....	- 25 -
3.2.3. Propiedades tecnofuncionales.....	- 26 -
3.2.4. Actividad antioxidante.....	- 29 -
3.3. Métodos analíticos para determinar el perfil de ácidos grasos de los aceites vegetales.....	- 30 -
3.4. Análisis estadístico.....	- 31 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	- 33 -
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS.....	- 33 -
4.1.1. Composición química de las harinas.....	- 33 -
4.1.2. Composición fisicoquímica de las harinas.....	- 39 -
4.1.3. Propiedades tecnofuncionales de las harinas.....	- 45 -
4.1.4. Actividad antioxidante de las harinas.....	- 51 -
4.2. PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LOS ACEITES VEGETALES.....	- 55 -
5. CONCLUSIONES.....	- 62 -
6. BIBLIOGRAFÍA.....	- 65 -
ANEXOS.....	- 75 -

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Porcentaje de personas con sobrepeso de 16 años o más, 2022 (%). Fuente: Eurostat, 2024. - 10 -
- Figura 2.** Porcentaje de personas preobesas y obesas de 16 años o más, por sexo, 2022 (%). Fuente: Eurostat, 2024. - 10 -
- Figura 3.** Prevalencia de categorías de IMC por grupo de edad y sexo (%). Fuente: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2024. - 11 -
- Figura 4.** Estrategias de reformulación destacadas como aspectos de mejora para una implementación más eficaz. Fuente: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022. - 12 -
- Figura 5.** Medidas cuantitativas acordadas con los sectores de la fabricación y distribución. Fuente: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022. - 13 -
- Figura 6.** Aplicación de sustitutos de grasa en diferentes productos alimenticios. Fuente: Jia-Wei et al., 2025. - 14 -
- Figura 7.** Aspecto de las muestras de emulsiones gelificadas de aceite en agua desarrolladas. Fuente: Botella-Martínez et al., 2021. - 15 -
- Figura 8.** Harinas de cáscara de naranja, cáscara y semilla de granada, semilla de dátil y bagazo de chufa desgrasada (izda. a dcha.) con un $\emptyset < 210 \mu\text{m}$ - 23 -
- Figura 9.** Aceites vegetales de semillas de calabaza, torta de chufa y nuez (izda. a dcha.). - 23 -
- Figura A. 1.** Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de la composición química de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: Elaboración propia. - 75 -
- Figura A. 2.** Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades fisicoquímicas de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: Elaboración propia. - 76 -
- Figura A. 3.** Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades tecnofuncionales de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: Elaboración propia. - 76 -
- Figura A. 4.** Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de la actividad antioxidante de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: Elaboración propia. - 77 -
- Figura A. 5.** Biplot de análisis de componentes principales (PCA) del perfil de ácidos grasos de los cuatro aceites vegetales estudiados: AC (aceite de torta de chufa), AN (aceite de nuez), AQ (aceite de quinoa) y ASC (aceite de semillas de calabaza). Fuente: Elaboración propia. - 77 -
- Figura A. 6.** Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de la composición química de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: Elaboración propia. - 78 -

Figura A. 7. Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de las propiedades fisicoquímicas de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). *Fuente: Elaboración propia.* - 79 -

Figura A. 8. Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de las propiedades tecnofuncionales de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). *Fuente: Elaboración propia.* - 80 -

Figura A. 9. Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de la actividad antioxidante de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). *Fuente: Elaboración propia.* - 81 -

Figura A. 10. Mapa de calor con agrupamiento jerárquico del perfil de ácidos grasos de los cuatro aceites vegetales estudiados: AC (aceite de torta de chufa), AN (aceite de nuez), AQ (aceite de quinoa) y ASC (aceite de semillas de calabaza). *Fuente: Elaboración propia.* - 82 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de las cuatro muestras de harina estudiadas. - 33 -

Tabla 2. Composición fisicoquímica de las cuatro muestras de harina estudiadas. - 40 -

Tabla 3. Propiedades tecnofuncionales de las cuatro muestras de harina estudiadas. - 45 -

Tabla 4. Actividad antioxidante de las cuatro muestras de harina estudiadas. - 52 -

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos de los cuatro aceites vegetales estudiados. - 56 -

Agradecimientos

A mi familia, por estar siempre a mi lado, por impulsarme a seguir adelante, por su paciencia y confianza durante todos estos años, y por su felicidad al verme crecer cada día.

A mis compañeros de promoción, por todos estos años en los que hemos sido una “piña”. Y en especial, a mis amigas, gracias por estar siempre juntas y ser un pilar fundamental.

A mi tutor, Manuel Viuda Martos, por haber depositado en mí su confianza y permitirme disfrutar de esta etapa y de este proyecto.

A mi cotutora, Carmen María Botella Martínez, por acompañarme y ayudarme en cada paso de este estudio.

A todos los miembros del Grupo IPOA, por su ayuda y apoyo en el laboratorio.

A todos mis profesores a lo largo de estos años, por transmitirme su conocimiento y contribuir a mi crecimiento, tanto profesional como personal.

Este Trabajo Fin de Grado se ha desarrollado en el Instituto de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental de la Universidad Miguel Hernández (CIAGRO-UMH), dentro del Grupo de Investigación de Innovaciones en Productos Alimentarios (IPOA) con financiación por parte de la Generalitat Valenciana a través de la concesión de la Ayuda (ref.: CIAICO/2023/004) para grupos de investigación consolidados AICO 2024 (CIAICO 2023) “Desarrollo de emulsiones gelificadas a partir de coproductos de la industria agroalimentaria Valenciana y aceites vegetales con perfil lipídico saludable”.



1.INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Numerosos estudios evidencian los efectos adversos de las grasas saturadas y trans sobre la salud, asociándolos con un aumento de las concentraciones de colesterol LDL, un factor de riesgo establecido en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (ECV) ([Vasilopoulou et al., 2020](#)); y colesterol sérico total, relacionado con los efectos sobre el riesgo de enfermedad de la arteria coronaria (EAC) ([Mensink et al., 2003](#)). El consumo excesivo de grasas puede, por tanto, causar problemas de salud relacionados con un mayor riesgo de ECV, obesidad, hipercolesterolemia, hipertensión, enfermedades coronarias y otras enfermedades crónicas ([Feng et al., 2025](#); [Jia-Wei et al., 2025](#)). En base a la evidencia de que una menor ingesta total de grasas contribuye a una reducción del peso corporal, la FAO (Food and Agriculture Organization) y la OMS recomiendan una ingesta máxima de grasas de un 30 % de la ingesta calórica total de la población adulta, y un máximo del 10 % en el caso de los ácidos grasos saturados (AGS), que deben ser reemplazados, en la mayor medida posible, por ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) ([Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022](#)).

Según la OMS ([Organización Mundial de la Salud, 2025](#)), en el año 2022 una de cada ocho personas en el mundo era obesa, y en 2024, 35 millones de niños menores de 5 años tenían sobrepeso. En la Unión Europea la proporción de personas con sobrepeso y obesidad está aumentando rápidamente ([Eurostat, 2024](#)). En 2022, el 50,6 % de las personas mayores de 16 años presentaba sobrepeso (Figura 1). Y en cuanto a la obesidad, entre los hombres, el 15,4 % tenía obesidad y el 43,3 % preobesidad (personas con sobrepeso, pero no obesidad); y entre las mujeres, el 13,8 % tenía obesidad y el 29,2 % preobesidad (Figura 2). En España, también en el año 2022, en cuanto a la población mayor de 16 años, el 50,4 % tenían sobrepeso, el 16,1 % de los hombres y el 13,4 % de las mujeres presentaban obesidad; además, el 42,8 % de los hombres y el 28,9 % de las mujeres tenían preobesidad (Figuras 1 y 2).

Share of overweight people aged 16 years or over, 2022
(%)

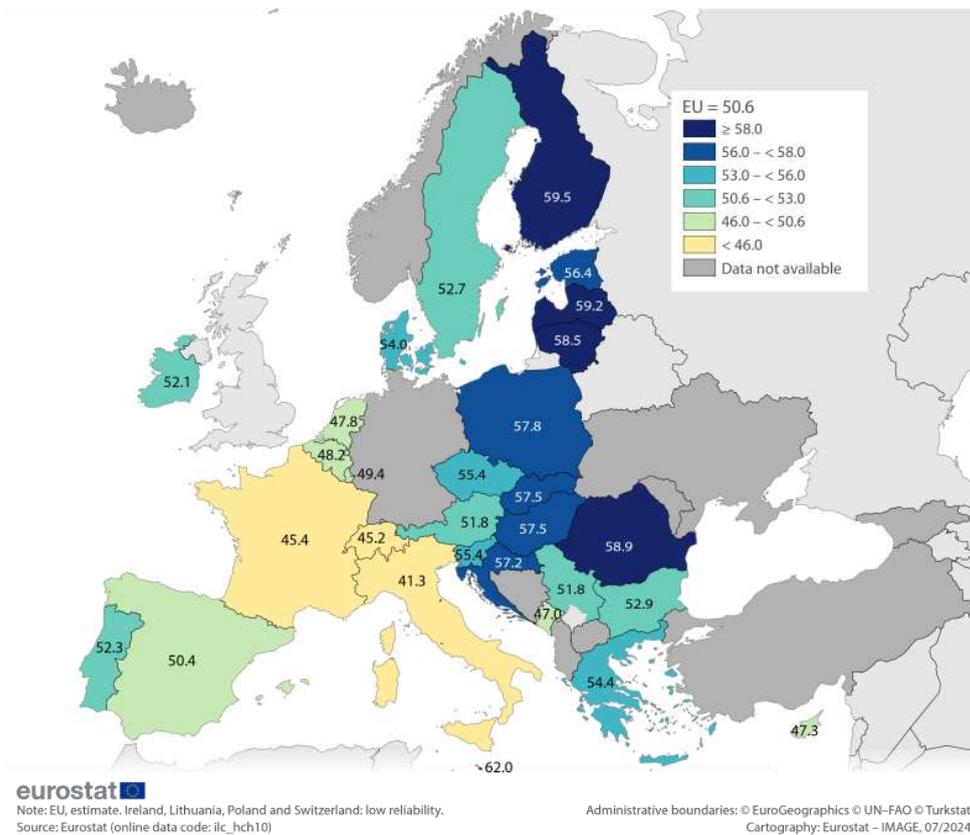


Figura 1. Porcentaje de personas con sobrepeso de 16 años o más, 2022 (%). Fuente: Eurostat, 2024.

Share of pre-obese and obese persons aged 16 years or over, by sex, 2022
(%)

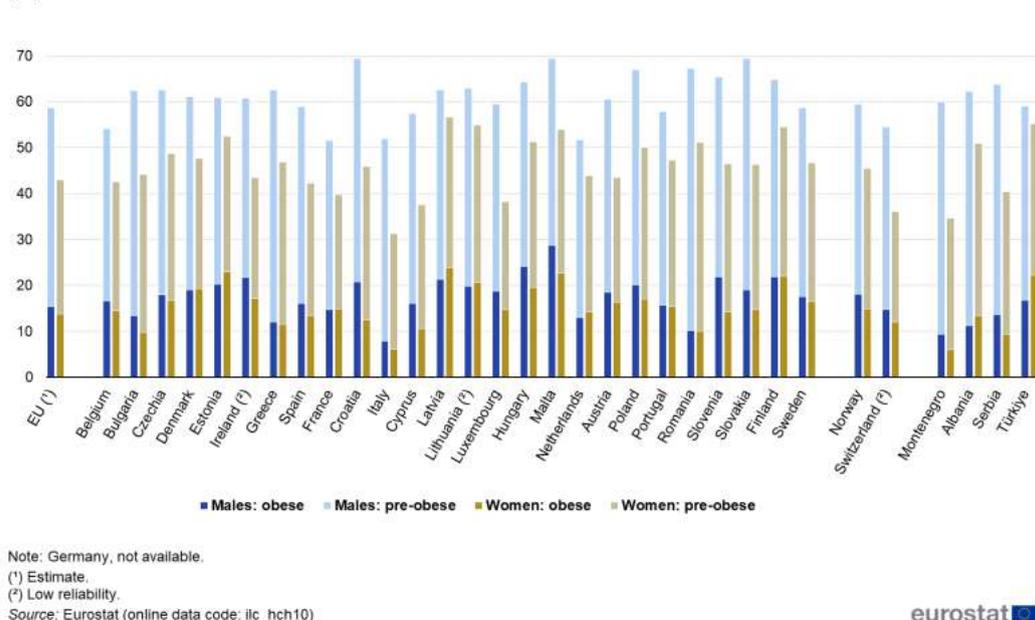


Figura 2. Porcentaje de personas preobesas y obesas de 16 años o más, por sexo, 2022 (%). Fuente: Eurostat, 2024.

La obesidad en la infancia y la adolescencia tiene consecuencias psicosociales adversas, además de que tienen muchas probabilidades de ser adultos con obesidad y con un mayor riesgo de sufrir enfermedades no transmisibles (ENT) en la edad adulta, como las ECV, la diabetes, el cáncer, los trastornos neurológicos, las enfermedades respiratorias crónicas o los trastornos digestivos (Organización Mundial de la Salud, 2025). Según el Estudio ALADINO 2023 llevado a cabo por la AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2024), la prevalencia total de exceso de peso era del 36,1 % en escolares de 6 a 9 años, con un 20,2 % referente al sobrepeso y un 15,9 % referente a la obesidad infantil; siendo en todos los casos mayor en niños que en niñas (Figura 3). La obesidad es una enfermedad global contribuyente a la tasa de mortalidad en la población mundial (Jia-Wei *et al.*, 2025), considerada un problema de salud pública junto con el sobrepeso (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022), por lo que, es necesario abordar la forma de reducir los factores de riesgo.

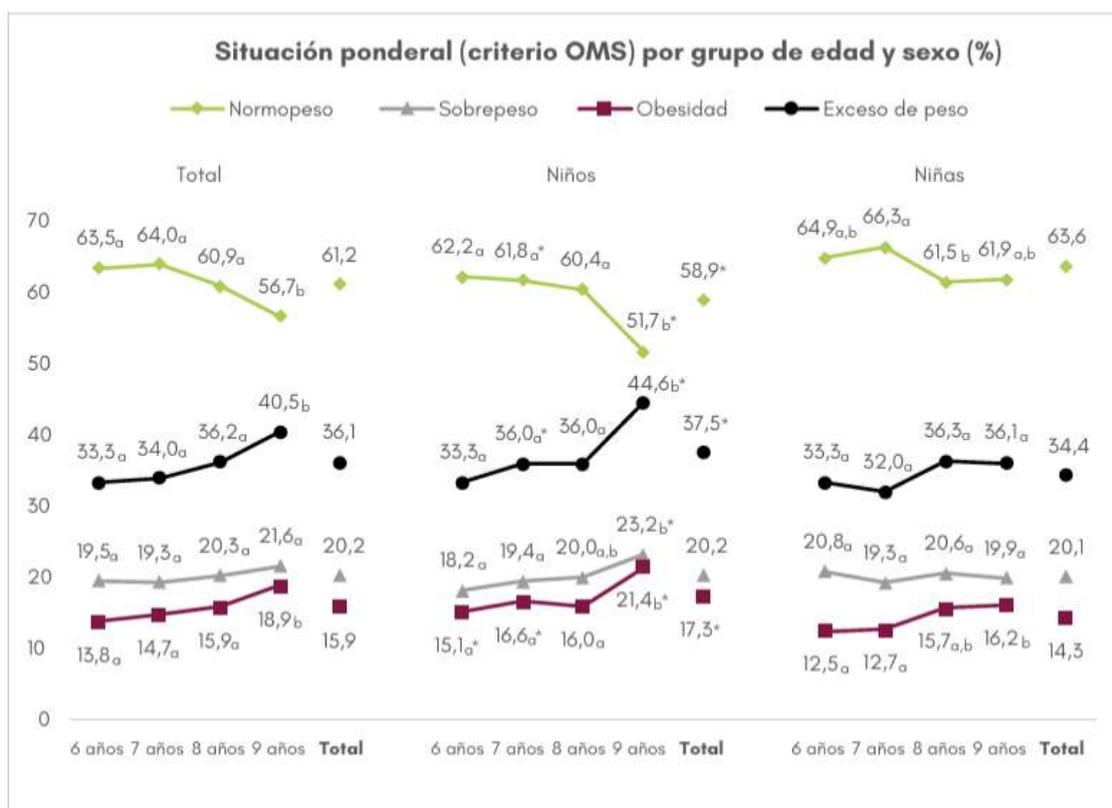


Figura 3. Prevalencia de categorías de IMC por grupo de edad y sexo (%). Fuente: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2024.

En este contexto, la evidencia indica que el reemplazo de ácidos grasos saturados con ácidos grasos insaturados es beneficioso para la salud, pudiendo disminuir el riesgo de enfermedad coronaria (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022; Vasilopoulou *et al.*, 2020). La reformulación forma parte de un enfoque integral para combatir la obesidad, y en especial la obesidad infantil. Una de sus estrategias basada en la aplicación consiste en reformular los productos para de esta forma reducir el contenido de grasas trans y grasas saturadas (Figura 4) (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022). Sin embargo, debido a que los AGS aportan propiedades tecnofuncionales esenciales para el sabor, la lubricidad, la textura y la calidad sensorial general de numerosos alimentos (Jia-Wei *et al.*, 2025), su reducción o eliminación directa puede comprometer el proceso productivo de los mismos, así como la aceptación por parte del consumidor. Teniendo en cuenta a los sectores de la fabricación y la distribución de los alimentos, la AESAN desarrolló para el año 2020 un *Plan de colaboración para la mejora de la composición de los alimentos y bebidas y otras medidas*, alineado con los planes de acción de la Unión Europea y la OMS, para reducir la prevalencia de la obesidad y las ENT relacionadas con la dieta; así como con las conclusiones del Consejo Europeo. En dicho *Plan de colaboración* se establecieron acuerdos entre ambas partes, tal como se muestra en la Figura 5.



Figura 4. Estrategias de reformulación destacadas como aspectos de mejora para una implementación más eficaz. Fuente: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022.



Figura 5. Medidas cuantitativas acordadas con los sectores de la fabricación y distribución. Fuente: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2022.

La estructuración de aceites resulta de gran interés para llevar a cabo la sustitución de las grasas sólidas por aceites líquidos y lograr así nuevas formulaciones de alimentos más saludables (Figura 6), cubriendo las limitaciones existentes por el reemplazo de las propiedades tecnofuncionales interesantes que aportan los AGS (Jia-Wei *et al.*, 2025). Las emulsiones gelificadas (EG) son una estrategia favorable para reducir los inconvenientes asociados con dicho reemplazo, como son el sabor, la textura, la apariencia alterada y la rancidez prematura; gracias a su buena estabilidad, seguridad y características sólidas o propiedades mecánicas, demostrando tener potencial para replicar la textura y la sensación en boca de la grasa de origen animal por tener una estructura química similar a la misma (Martínez-Martí *et al.*, 2025). Aun así, su eficiencia va a depender del tipo y de la concentración del emulsionante (Jia-Wei *et al.*, 2025). Una emulsión clásica es una dispersión coloidal formada por un líquido distribuido en forma de pequeñas gotas en el seno de otro líquido insoluble. Por tanto, las EG se van a clasificar según la naturaleza de la emulsión y según la naturaleza del gelificante (Botella

(Martínez, 2024). Las EG están formadas por una red estructural mediante la reticulación de hidrocoloides, como son los carbohidratos (polisacáridos) y las proteínas, que actúan como emulsionante o matriz para la fase dispersa a base de aceite, y obtener así la simulación estructural de la grasa (Figura 7) (Martínez-Martí *et al.*, 2025; Ren *et al.*, 2022). Por lo que, las EG son capaces de integrar tanto las gotitas de emulsión como una red similar a un gel (Jia-Wei *et al.*, 2025). Con esto se logra, además de un sustituto eficaz de las grasas estructuradas, una reducción significativa en el contenido total de grasa y en el contenido calórico, y por consiguiente, una disminución de la ingesta de AGS y del factor de riesgo que esto supone para la salud.

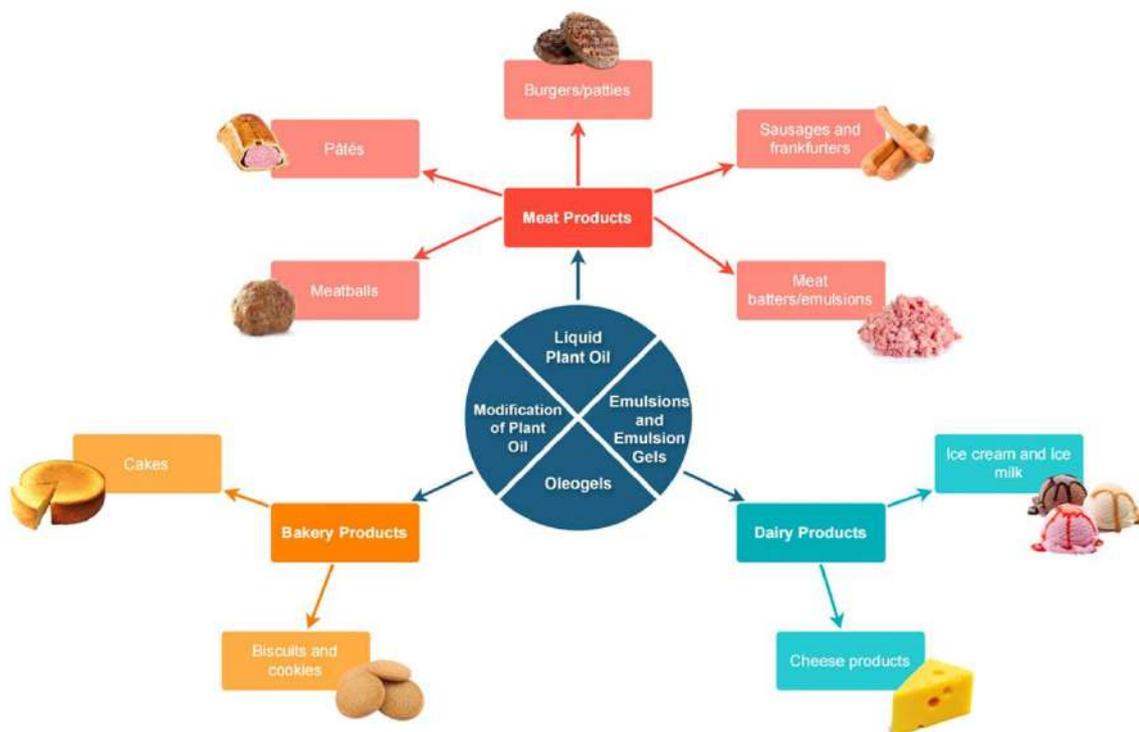


Figura 6. Aplicación de sustitutos de grasa en diferentes productos alimenticios. Fuente: Jia-Wei *et al.*, 2025.

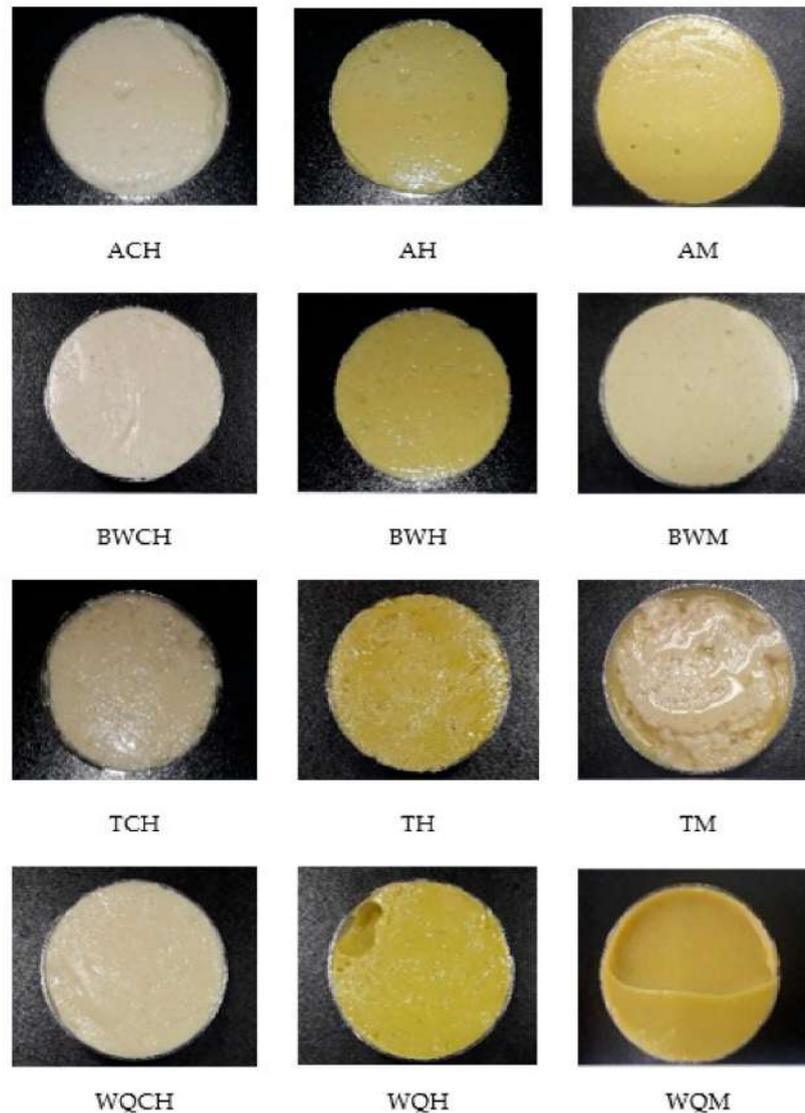


Figura 7. Aspecto de las muestras de emulsiones gelificadas de aceite en agua desarrolladas.
Fuente: Botella-Martínez et al., 2021.

Existen agentes estructurantes comúnmente utilizados en las formulaciones de las emulsiones gelificadas, seleccionados por sus favorables propiedades funcionales y estructurales, como la gelificación, la emulsificación y la capacidad de unión de agua y grasa, y por su valor nutricional (Ren et al., 2022). Para el presente estudio, se han seleccionado como agentes estructurantes la harina de cáscara de naranja liofilizada, la harina de cáscara y semilla de granada liofilizada, la harina de semilla de dátil y la harina de bagazo de chufa desgrasado.

La fibra de las frutas puede considerarse un ingrediente potencial de los alimentos y es utilizada como sustituto de grasa (Viuda-Martos *et al.*, 2012). Las cáscaras de cítricos son ricas en fibra dietética y pueden ser utilizadas como gelificantes, emulsionantes y espesantes (Sanli *et al.*, 2025). Se ha visto en naranja Navel que, reducir el tamaño de partícula de la fibra dietética puede inducir cambios estructurales y de superficie, contribuyendo a una redistribución de fracciones de fibra de insoluble a soluble, y resultando en mejores características fisicoquímicas y funcionales, como son la capacidad de retención de agua, la capacidad de retención de aceite y la capacidad de hinchamiento (Yu *et al.*, 2024). Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el orujo de cítricos es abundante en hidrocoloides y se ha visto que, empleando tratamientos físicos que alteren la estructura cristalina de las fibras de cítricos, se permiten mejorar las propiedades tecnofuncionales del orujo, como son la capacidad de retención de aceite, la capacidad de retención de agua y la capacidad emulsionante de la clementina (Martínez-Martí *et al.*, 2025). En un estudio se obtuvo que el bagazo de granada en polvo puede considerarse un ingrediente potencial en productos alimenticios, pues permite aumentar su contenido en fibra dietética total y mejorar sus propiedades tecnológicas (Viuda-Martos *et al.*, 2012). Actualmente, existen datos limitados disponibles sobre las características composicionales, funcionales y tecnológicas de la semilla de dátil como subproducto. Aun así, en un estudio se observó que el gel compuesto por fibra dietética soluble de semilla de dátil y gelatina puede ser empleado eficazmente como un sustituto de grasa en la elaboración de hamburguesas de carne de res (Essa y Elsebaie, 2022). En este estudio, los resultados que se obtuvieron del análisis de textura, de la relación de hinchamiento, de la capacidad de retención de agua y de la estabilidad de congelación-descongelación, demostraron la obtención de geles funcionales interesantes para el desarrollo de nuevas formulaciones. En otro estudio se observó que la pasta de dátiles presenta un alto contenido de fibra dietética total e insoluble, contribuyendo esto a su capacidad de emulsión y su alta estabilidad de emulsión, y resultando en una mejora de la calidad nutricional y tecnológica, tras su adición en la formulación de productos cárnicos (Sánchez-Zapata *et al.*, 2011). Un subproducto importante tras la extracción del aceite de chufa es la harina de bagazo de chufa, con más del 20 % de fibra dietética, principalmente insoluble (más del 99 %). En comparación con lo expuesto anteriormente sobre las propiedades funcionales atribuidas a la fibra dietética soluble de los

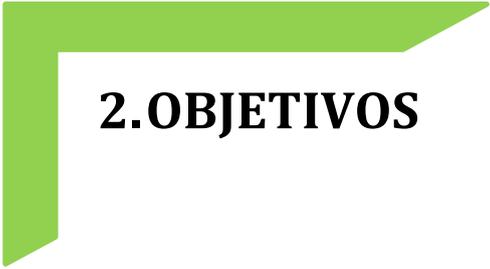
subproductos de cítricos, la fibra dietética insoluble de chufa tiene mayor capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, estabilidad de la emulsión y menor absorción de agua. Por lo que, se ha demostrado su uso para reducir el contenido de grasa en productos cárnicos (Wang *et al.*, 2024).

La estrategia de mejora del perfil lipídico se basa en la naturaleza y composición de los aceites líquidos estructurados. Numerosos estudios evidencian el uso de los aceites vegetales como saludables sustitutos parciales de la grasa animal, al emplearse en emulsiones gelificadas, pudiendo ofrecer beneficios para la salud de los consumidores (Botella-Martínez *et al.*, 2024; Martínez-Martí *et al.*, 2025; Zhou *et al.*, 2025). Cabe destacar que el tipo de aceite vegetal tiene un impacto directo sobre la estabilidad oxidativa y la calidad sensorial del producto final, pudiendo verse afectados de forma perjudicial (Jia-Wei *et al.*, 2025). En este caso, los aceites vegetales seleccionados para llevar a cabo el presente estudio son el aceite de nuez, el aceite de torta de chufa, el aceite de quinoa y el aceite de semillas de calabaza.

Los aceites vegetales comestibles están compuestos principalmente de triglicéridos (98 %), los cuales se componen de una molécula de glicerol y tres ácidos grasos, en su mayoría, ácidos grasos insaturados; y son líquidos a temperatura ambiente (Jia-Wei *et al.*, 2025). La chufa contiene entre 20-36 % de aceite comestible, considerado un aceite saludable por su contenido en ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico (8-12 %) y el ácido oleico (65-76 %), con una composición similar a la del aceite de oliva, el aceite de aguacate y el aceite de avellana; además de contener una cantidad significativa de calcio, magnesio, potasio, y de componentes bioactivos beneficiosos como la vitamina C, vitamina E, fitoesteroles y fenoles (Ijaz *et al.*, 2025; Li *et al.*, 2025). En cuanto a su composición, el aceite de nuez es interesante por tener, en general, un contenido total de ácidos grasos insaturados mayor al 80 %, siendo el ácido linoleico un 50-60 %, el ácido alfa-linolénico un 10-15 % y el ácido oleico un 15-20 %. El contenido en polifenoles es muy bajo (0,15 a 1,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) y contiene Glasregin A y Glasregin B como compuestos fenólicos (Huang *et al.*, 2024). Numerosos estudios han demostrado la efectividad del aceite de semilla de calabaza sobre los parásitos intestinales, los problemas de próstata, la caída del cabello y el efecto anticancerígeno. Éste contiene altos niveles de ácidos grasos insaturados, además de fitoesteroles, escualeno,

tocoferoles y carotenoides. Es decir, posee varias sustancias biológicamente activas con propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antibacterianas, antimutagénicas y citoprotectoras, que contribuyen a varias funciones biológicas beneficiosas para la salud humana (Hegab *et al.*, 2025; Zhang *et al.*, 2025). Y para finalizar los aceites vegetales seleccionados, la quinoa posee un contenido mayor del 80 % de ácidos grasos insaturados y es rico en ácidos grasos linoleico y α -linolénico. En cuanto a su composición en micronutrientes, la quinoa es rica en vitamina E, la cual proporciona estabilidad oxidativa al aceite extraído y protección a los ácidos grasos esenciales en las células del organismo (Marques *et al.*, 2024).

Cabe destacar que para la formulación de emulsiones gelificadas se emplean agentes estructurantes y aceites vegetales con propiedades funcionales significativas. Por lo que, las emulsiones gelificadas no solamente permiten obtener alimentos más saludables desde el punto de vista del contenido en grasas saturadas, sino que, además, permiten obtener alimentos funcionales. Esto se atribuye a la presencia de ingredientes bioactivos saludables y al potencial de éstos para disminuir el riesgo de enfermedades y trastornos crónicos (Zaki *et al.*, 2024).



2.OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

El objetivo general del presente Trabajo Fin de Grado fue caracterizar materias primas de distinta naturaleza, y determinar así su potencial uso en la elaboración de emulsiones gelificadas. Así como, impulsar la investigación de ciertos subproductos de la industria alimentaria para reducir los residuos, y de esta forma, promover la valorización y la sostenibilidad de los subproductos agroalimenticios, aspectos que cobran especial relevancia en la sociedad actual, dado el aumento de la conciencia ambiental.

2.2. Objetivos específicos.

Para alcanzar el objetivo principal, se llevaron a cabo los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la composición química (humedad, proteínas, grasas, cenizas y fibra dietética total) de las harinas obtenidas de la cáscara de naranja, cáscara y semilla de granada, semilla de dátil y bagazo de chufa desgrasado.
2. Analizar las propiedades fisicoquímicas (color, pH y actividad de agua) de las harinas obtenidas de la cáscara de naranja, cáscara y semilla de granada, semilla de dátil y bagazo de chufa desgrasado.
3. Estudiar las propiedades tecnofuncionales (capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento, capacidad emulsificante y estabilidad de la emulsión) de las harinas obtenidas de la cáscara de naranja, cáscara y semilla de granada, semilla de dátil y bagazo de chufa desgrasado.
4. Determinar las propiedades antioxidantes mediante dos metodologías distintas (DPPH y FRAP) de las harinas obtenidas de la cáscara de naranja, cáscara y semilla de granada, semilla de dátil y bagazo de chufa desgrasado.
5. Determinar el perfil lipídico, mediante cromatografía de gases, de los aceites vegetales de semillas de calabaza, nuez, quinoa y torta de chufa.



3.MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material vegetal.

Como materia vegetal para obtener las distintas harinas que fueron analizadas, se emplearon coproductos generados en la industrialización de distintas frutas y tubérculos característicos de la Comunidad Valenciana. Estos coproductos estaban formados por cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) variedad Navel Lane Late, cáscara y semilla de granada (*Punica granatum*) variedad Mollar de Elche, semilla de dátil (*Phoenix dactylifera*) y bagazo de chufa desgrasado (*Cyperus esculentus*).

Las cáscaras de naranja y granada se sometieron a un proceso de lavado con agua corriente durante 30 segundos, se cortaron en cubos de 1x1x1 cm, se congelaron y se liofilizaron en un liofilizador Christ Alpha 2-4 durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, las muestras se sometieron a un proceso de trituración en una cutter vertical, y un posterior tamizado para obtener un tamaño de partícula con un diámetro inferior a 210 μm (Figura 8).

La semilla o hueso de dátil fue secada en una estufa de aire forzado durante 48 horas a 55 °C. Transcurrido este tiempo, las muestras se sometieron a un proceso de trituración en una cutter vertical, y un posterior tamizado para obtener un tamaño de partícula con un diámetro inferior a 210 μm (Figura 8).

El bagazo de chufa fue suministrado por la Universidad de Valencia tras haber sido sometido a un proceso de extracción de la grasa con fluidos supercríticos. Dicho bagazo se sometió a un proceso de trituración en una cutter vertical y un posterior tamizado para obtener un tamaño de partícula con un diámetro inferior a 210 μm (Figura 8).

Los aceites vegetales de semillas de calabaza, nuez y quinoa fueron suministrados por la empresa "Esencias Lozano". El aceite de torta de chufa fue suministrado por la Universidad de Valencia tras haber sido sometido a un proceso de extracción con fluidos supercríticos. Los aceites de semillas de calabaza, nuez y torta de chufa se observan en la Figura 9.



Figura 8. Harinas de cáscara de naranja, cáscara y semilla de granada, semilla de dátil y bagazo de chufa desgrasada (izda. a dcha.) con un $\varnothing < 210 \mu\text{m}$.



Figura 9. Aceites vegetales de semillas de calabaza, torta de chufa y nuez (izda. a dcha.).

3.2. Métodos analíticos para la caracterización de las harinas estudiadas.

3.2.1. Composición química.

3.2.1.1. Grasas.

La determinación del contenido lipídico se realizó de acuerdo con el método oficial de la AOAC 24.005 (AOAC, 2016), utilizando el extractor Soxhlet J.O, Selecta Mo.6003286 (J.O Selecta S.A., Abrera, Barcelona, España). Los resultados se expresaron en g grasa/100 g de muestra. Las muestras se analizaron por triplicado.

3.2.1.2. Proteínas.

Para la determinación del contenido en proteínas, cuyo resultado se expresó en g de proteína/ 100 g de muestra, se realizó según el método AOAC 24.007 (AOAC, 2016). Utilizando el digestor Büchi Digestion Unit modelo 426 y el destilador Büchi Destillation Unit modelo B-316 (Büchi, Suiza). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado

y el factor que se usó fue de 6,25 para convertir el porcentaje de nitrógeno en porcentaje en proteína, el cual fue proporcionado directamente por el programa.

3.2.1.3. Humedad.

La determinación del contenido de humedad se realizó según lo descrito por el método de la AOAC 24.003 (AOAC, 2016), en él se somete a las muestras a una temperatura de 105 °C, hasta alcanzar peso constante. Se llevó a cabo en una estufa modelo P. selecta (Barcelona, España), los resultados se expresaron en g agua/100 g de muestra. La determinación se realizó por triplicado.

3.2.1.4. Cenizas.

El contenido de cenizas se determinó según el método de la AOAC 24.009 (AOAC, 2016), las determinaciones se realizaron por triplicado y el resultado fue expresado g cenizas/ 100 g muestra. Para su determinación se utilizó una mufla Habersal modelo 12- PR1300 PAD (Habersal S.A., Caldes de Montibui, Barcelona, España). Las muestras se pusieron a una temperatura de 550 °C hasta conseguir cenizas de color blanco. Finalmente, este resultado se determina por una diferencia de peso.

3.2.1.5. Fibra dietética total (FDT).

Para la determinación de la fibra dietética, se pesó un gramo de cada muestra, se añadió 50 mL de tampón fosfato y se agitó con ayuda de un agitador magnético. Posteriormente se adicionaron 100 µL de la disolución alfa-amilasa, se tapó con papel de aluminio y se calentó en el baño de agua a una temperatura de 100 °C durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo se sacó el vaso del baño de agua, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se ajustó el pH a $7,4 \pm 0,2$ con 10 mL de NaOH 0,275 N. Seguidamente se añadieron 100 µL de la disolución proteasa y se dejó incubar a 60 °C en el baño de agua durante 30 minutos. Pasado este tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente y se ajustó el pH entre 4,0-4,6 con 11 mL de HCl 0,325 N. Ajustado el pH se añadieron 100 µL de disolución amilogucosidasa y se incubó en el baño con agua durante 30 minutos a 60 °C. Por último, se adicionaron 280 mL de etanol al 95% y se dejó el precipitado en una cámara frigorífica (4 °C) durante 24 horas.

La fibra dietética insoluble se determinó omitiendo la precipitación y los lavados del residuo con etanol. En su lugar el precipitado y los lavados del residuo se realizaron con agua destilada. La fibra dietética soluble se determinó como la diferencia entre ambas. Para los lavados de los residuos en primer lugar se adicionaron 0,5 gramos de tierra de diatomea en diferentes crisoles, se llevaron a la estufa a 130 °C durante 1 hora, se pesaron (W1) y se colocaron en el equipo de filtración CSF, aplicando vacío. La mezcla del vaso se transfirió al crisol y se enjuagó el residuo en el crisol con 20 mL de etanol al 78% (3 veces), 10 mL de etanol al 95% (2 veces) y 10 mL de acetona (2 veces). Posteriormente se colocó el crisol con el residuo y la tierra de diatomea toda la noche en una estufa de aire forzado a 105 °C. Transcurrido este tiempo se dejó enfriar y se pesó (W2). El peso del residuo se obtuvo restando a éste el peso del crisol con la tierra de diatomea (W2-W1). Uno de los residuos duplicados fue sometido a un análisis Kjeldahl para la determinación de proteínas no digeribles, con un factor de conversión de 6,25. El segundo residuo duplicado se incineró en un horno de mufla a 550 °C durante 5 horas. Por último, se dejó enfriar y se pesó (W3). El contenido de cenizas se obtuvo restando a este peso el peso del crisol con la tierra de diatomea (W3-W1).

Las fórmulas empleadas para determinar el contenido de fibra son las que a continuación se muestran:

$$\% \text{ cenizas} = [(W3-W1) / \text{peso del residuo}] \times 100$$

$$\text{Fibra total (TDF)} = \text{fibra insoluble (IDF)} + \text{fibra soluble (SDF)}$$

$$\% \text{ TDF} = [\text{peso residuo control} \times (100 - \% \text{proteínas} - \% \text{cenizas}) - B] / \text{peso muestra}$$

Donde:

$$B = \text{peso residuo control} \times [1 - (\% \text{prot. control} + \% \text{cenizas control}) / 100]$$

3.2.2. Propiedades fisicoquímicas.

3.2.2.1. pH.

Para la determinación del pH, se disolvió 1 gramo de muestra en 10 mL de agua destilada y desionizada. Se determinó el pH de la suspensión mediante un pH-metro GLP 21 Crison (Eutech Instruments Pte Ltd., Singapur). Realizando cada ensayo por triplicado.

3.2.2.2. Actividad de agua (A_w).

La medida de la actividad de agua se realizó por triplicado, utilizando un equipo Novasina Thermoconstanter Srpint TH-500 (Pfäffikon, Suiza). A una temperatura de 25 ± 1 °C. Las muestras se introducían en unas cápsulas de plástico, llamadas cápsulas de Novasina y tras la estabilización se tomó directamente la medida.

3.2.2.3. Color.

El color fue estudiado en las coordenadas CIELAB*, en las cuales la coordenada L^* proporciona resultados de la luminosidad de las muestras, a^* hace referencia a la coordenada verde-rojo y el parámetro b^* a la coordenada amarilla-azul. Se consideró de interés calcular y presentar valores de las magnitudes psicofísicas como el croma (C^*) y tono (h°), cuyo cálculo se realizó mediante las siguientes expresiones:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \qquad h^\circ = \arctan (b^*/a^*)$$

Para su determinación se utilizó un colorímetro Minolta CM-700 (Minolta Camera Co, Osaka, Japón) con el iluminante D65 y el observador 10° . Para las mismas, se usaron cristales de baja reflectancia entre las muestras y el equipo del tipo CR-A51/1829-752 (Minolta Camera Co. Osaka, Japón). Se realizaron 9 medidas por cada muestra según las recomendaciones de la American Meat Science Association (2012).

3.2.3. Propiedades tecnofuncionales.

3.2.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA).

Para llevar a cabo esta determinación, primero se pesaron los tubos de vidrio vacíos (MT), se tararon y se les adicionó aproximadamente 0,5 gramos de muestra (ME). A cada uno de los tubos que contenían la fibra, se les adicionó 10 mL de agua, se agitó en un vortex unos 30 segundos aproximadamente, y se dejaron las muestras a temperatura ambiente durante toda la noche. Al siguiente día, las muestras se centrifugaron durante 20 minutos a una velocidad de 3.000 r.p.m. en una centrífuga Nahita Model 2690. Tras la centrifugación, se eliminó el sobrenadante con una micropipeta de 5 mL. Se procedió a pesar el tubo (MTP) tras eliminar todo el sobrenadante en la medida de lo posible. Realizándose por triplicado esta determinación.

Los resultados de la capacidad de retención de aceite (g agua/g muestra), se determinaron mediante la siguiente expresión:

$$CRA = \frac{MTP - MT - ME}{ME}$$

Donde:

MTP: Masa del tubo y precipitado (g).

MT: Masa del tubo vacío (g).

ME: Masa de la muestra (g).

3.2.3.2. Capacidad de retención de aceite (CRO).

Para la determinación de la CRO, inicialmente se pesaron los tubos de ensayo vacíos (MT), se tararon y se les adicionó aproximadamente 0,4 g de muestra (ME). Tras esto se les añadió 5 mL de aceite de girasol a cada tubo, se agitaron con ayuda de un vortex unos 30 segundos a velocidad media y se dejaron reposar toda la noche a temperatura ambiente. Al siguiente día, las muestras se centrifugaron durante 20 minutos a una velocidad de 3.000 r.p.m. en una centrífuga Nahita Model 2690. Tras la centrifugación, se eliminó el sobrenadante con una micropipeta de 5 mL a cada tubo. Se procedió a pesar dichos tubos (MTP) tras eliminar todo el sobrenadante en la medida de lo posible. Esta determinación se realizó por triplicado.

La capacidad de retención de aceite (g aceite/g muestra), se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$CRA = \frac{MTP - MT - ME}{ME}$$

Donde:

MTP: Masa del tubo y precipitado (g).

MT: Masa del tubo vacío (g).

ME: Masa de la muestra (g).

3.2.3.3. Capacidad de hinchamiento (SWC).

El procedimiento para determinar la SWC fue, en tubos de 10 mL graduados se adicionó aproximadamente 0,5 g de muestra, se midió el volumen que ocupaba cada muestra (V_0) y se anotó junto al peso exacto de fibra añadida. Posteriormente se adicionaron 5

mL de agua destilada, se agitó durante 1 minuto con ayuda de un vortex y se dejaron reposar durante 24 horas a temperatura ambiente. Transcurridas las 24 horas, se midió el volumen final de las muestras (V_1). Esta determinación se realizó por triplicado.

La capacidad de hinchamiento (mL de agua/g de muestra), se determinó mediante la siguiente expresión:

$$SWC = \frac{V_1 - V_0}{P \text{ muestra}}$$

Donde:

V_1 : Volumen de la muestra trascurridas las 24 h (mL).

V_0 : Volumen inicial de las muestras (mL).

3.2.3.4. Capacidad emulsificante (CE).

Se pesó en un vaso de precipitados de 250 mL, aproximadamente 1 gramo de muestra y se le adicionaron 50 mL de agua destilada. Esta mezcla se homogeneizó con un ultraturrax a 8.000 r.p.m. durante 2 minutos. A continuación, a la suspensión anterior se le añadieron 50 mL de aceite de girasol, se volvió a homogeneizar durante 1 minuto a 8.000 r.p.m. Se pasó a tubos de centrifuga graduados, 10 mL de esta mezcla homogeneizada, y se centrifugó a 1.500 r.p.m. durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se midió el volumen de emulsión formada. Esta determinación se realizó por triplicado.

La actividad emulsificante (mL/100 mL de muestra), fue determinada con la siguiente expresión:

$$CE = \frac{V \text{ capa de emulsión}}{V \text{ total en el tubo}} * 100$$

3.2.3.5. Estabilidad de la emulsión (EE).

Las emulsiones formadas en la capacidad emulsificante se calentaron durante 30 minutos a una temperatura de 80 °C. Tras esto, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se llevó a centrifugar a 15.000 rpm durante un tiempo de 5 minutos. Después de centrifugar, se midió el volumen de la emulsión. Esta determinación se realizó por triplicado.

La estabilidad de la emulsión (expresada en porcentaje), fue determinada con la expresión siguiente:

$$EE = \frac{V \text{ emulsión permanente}}{V \text{ emulsión inicial}} * 100$$

3.2.4. Actividad antioxidante.

3.2.4.1. Extracción.

En base a la metodología descrita por [Genskowsky et al. \(2016\)](#), para la extracción, se cogieron 3 gramos de muestra y se introdujeron en un tubo de centrifuga, al cual se le adicionó 30 mL de una mezcla de metanol y agua (80:20). Esta mezcla (con el tubo de centrifuga inmerso en un baño con hielo para evitar pérdidas del disolvente por calentamiento) se llevó al ultraturrax durante 5 minutos con una velocidad de 18.000 r.p.m. Transcurrido este tiempo, se centrifugó durante 10 minutos a 4°C a una velocidad de 8.000 r.p.m. Una vez centrifugado, se recogió el sobrenadante y se llevó a un matraz. Sobre el residuo sólido que quedó tras quitar el sobrenadante, se adicionaron 30 mL de una mezcla de acetona y agua (70:30), se llevó al ultraturrax y a la centrifuga en las mismas condiciones que se han expuesto anteriormente. Tras la centrifugación se recogió el sobrenadante y se mezcló con el anterior y se llevó a un rotavapor hasta sequedad. El residuo obtenido tras esta operación, se resuspendió con 8 mL de metanol. Se hizo pasar por un filtro de membrana de 0,45 µm para eliminar las partículas sólidas que pudieran quedar en suspensión. Estas extracciones se realizaron por triplicado y se conservaron en condiciones de congelación.

3.2.4.2. Actividad antioxidante utilizando el método del radical 2,2'-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DDPH).

El primero de los procedimientos que se llevaron a cabo para determinar la actividad antioxidante fue el método DDPH, que se aplicó a los extractos obtenidos en el apartado 3.2.4.1 (Extracción) según lo dispuesto por [Brand-Williams et al. \(1995\)](#). Se adicionó 0,2 mL de los extractos a diferentes tubos de ensayo para mezclar con 2 mL de una solución metanólica 0,06 mM de DDPH. Los tubos de ensayo se agitaron en un vortex 2 minutos antes de guardarlos en la oscuridad durante 15 minutos. Transcurrido este tiempo, se

midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro HP 8451 (Hewlett Packard). Los datos de absorbancia obtenidos se cuantificaron con una recta de calibrado previamente elaborada con diferentes concentraciones de Trolox. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de Trolox (ET)/g de muestra. La determinación se realizó por triplicado para cada muestra.

3.2.4.3. Actividad antioxidante por reducción del ion férrico (FRAP).

La determinación de la actividad antioxidante por el método FRAP se llevó a cabo utilizando los extractos del apartado 3.2.4.1 (Extracción) y siguiendo el procedimiento descrito por [Oyaizu \(1986\)](#). Se tomó 1 mL de cada uno de los distintos extractos para posteriormente añadir 2,5 mL de tampón fosfato (0,2M, pH 6,6) y 2,5 mL ferricianuro de potasio (1%), estas mezclas se incubaron a 50 °C durante 20 minutos. A continuación, se adicionó 2,5 mL de ácido tricloroacético (10 %) y se agitó durante 2 minutos. De toda esta mezcla se tomó una alícuota de 2,5 mL a la cual se añadió 2,5 mL de agua destilada y 0,5 mL de FeCl₃ (0,1 %). Para terminar, se agitó y dejó en reposo durante 10 minutos antes de medir la absorbancia a una longitud de onda de 700 nm en un espectrofotómetro HP 8451 (Hewlett Packard). Los datos de absorbancia obtenidos se cuantificaron con una recta de calibrado previamente elaborada con diferentes concentraciones de Trolox. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de Trolox (ET)/g muestra. La determinación se realizó por triplicado para cada muestra.

3.3. Métodos analíticos para determinar el perfil de ácidos grasos de los aceites vegetales.

La extracción de la fracción grasa de las distintas muestras se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por [Folch et al. \(1957\)](#). La fase lipídica se metiló según el método AOAC 969.33 (2016). Los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME; por sus siglas en inglés) fueron inyectados en un equipo de cromatografía de gases HP6890 con detector de ionizador de llama y columna capilar Suprewax-280 (Tecknokroma Barcelona, España). Los resultados fueron calculados mediante la utilización de estándares de ácidos grasos y se identificaron por comparación con los tiempos de retención de estos estándares FAME (Supelco 37 componente FAME Mix, Bellefonte, PA, USA). Los análisis

se realizaron por triplicado y los resultados fueron expresados en porcentaje.

3.4. Análisis estadístico.

Una vez obtenidos los resultados de los análisis de composición química, propiedades fisicoquímicas, propiedades tecnofuncionales y actividad antioxidante, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias estadísticas entre las muestras de harina de bagazo de chufa desgrasado, harina de semilla de dátil, harina de cáscara y semilla de granada liofilizada, y harina de cáscara de naranja liofilizada. De forma adicional, se aplicó el mismo procedimiento estadístico a los resultados del perfil de ácidos grasos para evaluar diferencias entre los aceites vegetales de semilla de calabaza, torta de chufa, nuez y quinoa.

Para conocer si existían diferencias estadísticamente significativas entre las muestras se aplicó el test de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$). El análisis se realizó con el programa Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.15.



4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS.

4.1.1. Composición química de las harinas.

En la Tabla 1 se muestra la composición química de la harina de bagazo de chufa desgrasado (HC), la harina de semilla de dátil (HD), la harina de cáscara y semilla de granada liofilizada (HG), y la harina de cáscara de naranja liofilizada (HN). En adelante se hará referencia a las distintas muestras de harina estudiadas utilizando estas siglas.

Tabla 1. Composición química de las cuatro muestras de harina estudiadas.

MUESTRAS	GRASAS	PROTEÍNAS	HUMEDAD	CENIZAS	FDT
<i>Bagazo de chufa desgrasado (HC)</i>	6,87 ± 0,78 ^b	4,33 ± 0,65 ^b	6,80 ± 0,76 ^b	1,53 ± 0,04 ^b	53,41 ± 1,14 ^b
<i>Semilla de dátil (HD)</i>	9,60 ± 0,53 ^a	5,25 ± 0,01 ^{ab}	6,23 ± 0,47 ^b	1,61 ± 0,21 ^b	73,03 ± 1,72 ^a
<i>Cáscara y semilla de granada liofilizada (HG)</i>	7,29 ± 0,77 ^b	6,32 ± 0,06 ^a	11,47 ± 0,58 ^a	3,44 ± 0,48 ^a	31,65 ± 0,67 ^d
<i>Cáscara de naranja liofilizada (HN)</i>	3,07 ± 0,72 ^c	5,17 ± 0,23 ^b	10,29 ± 0,52 ^a	2,80 ± 0,52 ^a	39,88 ± 0,73 ^c

Valores expresados en g/100 g de muestra. FDT: fibra dietética total.
Los resultados son la media ± desviación estándar de tres réplicas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras de harina ($p < 0,05$) según el test de rangos múltiples de Tukey. Letras compartidas indican ausencia de diferencias significativas entre esos grupos.

4.1.1.1. Grasas.

Según la Tabla 1, en general, las muestras de harina estudiadas difieren significativamente entre ellas, a excepción de HC y HG, donde no se observaron diferencias significativas. Son HD y HN las que presentan un mayor y un menor contenido lipídico, respectivamente. En cuanto a HD, se obtuvo un valor de 9,60 g de grasa/100 g de muestra. [Jahan et al. \(2023\)](#) en su estudio obtuvieron un valor inferior para el polvo de semilla de dátil, siendo de 8,06 % en base seca (b.s.) de contenido de grasa (humedad de 9,59 % b.s.). También [Akasha et al. \(2012\)](#) reportaron un valor inferior al obtenido en el presente estudio, siendo de 8,14 % p/p de grasa para el polvo de semilla de palmera datilera. Por otra parte, en cuanto a HG se obtuvo un valor de 7,29 g de grasa/100 g de muestra. [Viuda-Martos et al. \(2012\)](#) obtuvieron un mayor valor, siendo de 20,9 g de grasa/100 g en el bagazo de fruta entera de zumo de granada, cuya extracción involucra los arilos y la cáscara. El elevado contenido en lípidos es debido a la

inclusión de la semilla (29,6 % de grasa), puesto que la cáscara muestra valores de grasa inferiores (3,1 %) (Venkitasamy *et al.*, 2019). Se plantea que la HG empleada en el presente estudio podría contener una menor proporción de semilla, en comparación con la cáscara.

HC obtuvo un valor de 6,87 g de grasa/100 g de muestra. La chufa es un tubérculo dulce rico en grasa (21-25 % de su peso seco total) (Liu *et al.*, 2019). Dado que HC empleada corresponde al subproducto (torta) que queda después de extraer el aceite de la chufa, es evidente que su contenido lipídico se va a ver reducido. Aunque existen datos publicados limitados sobre el contenido de grasa específico para este subproducto (harina de bagazo de chufa desgrasado procedente de la elaboración de aceite de chufa), se sabe que el método de extracción de aceite tiene un efecto importante sobre su composición. La extracción con solventes orgánicos permite un mayor rendimiento de aceite crudo (rendimiento > 95 %), obteniéndose así un subproducto con menor contenido de grasa (Liu *et al.*, 2019). La mayoría de los estudios llevados a cabo tras la extracción del aceite de chufa se centran en la obtención de almidón aislado, permitiendo obtener una película inteligente para la conservación de carne (Wu *et al.*, 2025), así como un agente de carga, estabilizador y espesante en alimentos (Liu *et al.*, 2019; Miao *et al.*, 2021).

Por último, en cuanto a la HN obtuvo el valor significativamente más bajo respecto al resto de muestras, siendo de 3,07 g de grasa/100 g de muestra. Un contenido más reducido publicaron Gasparre *et al.* (2024) en su estudio de la cáscara de naranja, siendo 1,43 g de grasa/100 g b.s. (humedad de 9,51 g/100 g b.s.). También Santamaria *et al.* (2024) y Han *et al.* (2021) obtuvieron un valor inferior de contenido de grasa para el polvo de cáscara de naranja, siendo 1,25 % y 1,95 %, respectivamente.

No se identificó concordancia entre los resultados obtenidos en el presente estudio y los valores reportados por la literatura científica. Estas diferencias podrían atribuirse a distintas variedades del vegetal, variaciones en los procesos de producción o posibles incertidumbres asociadas al procedimiento experimental.

4.1.1.2. Proteínas.

Referente al contenido proteico de las muestras, se puede observar en la Tabla 1 que HG fue la que obtuvo un mayor contenido proteico (6,32 g/100 g de muestra), significativamente diferente con HN y HC. Valores mayores reportaron [Viuda-Martos et al. \(2012\)](#) en el bagazo de fruta entera (10,9 g/100 g). De nuevo se observa que la semilla tiene una composición proteica mayor que la cáscara (13,7 % y 3,1 %, respectivamente) ([Venkitasamy et al., 2019](#)). En cuanto a HD y HN no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las mismas, obteniéndose un contenido proteico similar (5,25 y 5,17 g/100 g de muestra, respectivamente). Hallazgos muy similares obtuvieron [Akasha et al. \(2012\)](#) y [Jahan et al. \(2023\)](#) para el polvo de semilla de dátil, el cual mostró un valor de 5,64 % p/p y 5,25 % b.s. (humedad de 9,59 % b.s.), respectivamente. Referente a HN, [Gasparre et al. \(2024\)](#) señalaron un valor de 6,94 g de proteínas/100 g b.s. para el polvo de cáscara de naranja (humedad de 9,51 g/100 g b.s.). No obstante, [Han et al. \(2021\)](#) y [Santamaria et al. \(2024\)](#) encontraron en su estudio valores similares al obtenido en la muestra analizada, siendo éstos 5,88 % y 5,98 g/100 g b.s. (humedad de 9,51 g/100 g b.s.), respectivamente.

Así mismo, HD tampoco mostró valores significativamente diferentes con HC, la cual presentó el menor contenido proteico (4,33 g/100 g de muestra). Se sabe que el aceite de chufa contiene una composición de ácidos grasos similar al aceite de oliva, además de una fracción insaponificable compuesta por hidrocarburos, ceras, alcoholes triterpénicos, ésteres de esteroides, ésteres alcohólicos superiores, esteroides, tocoferoles, fitosteroides, polifenoles y posiblemente carotenoides ([Ezeh et al., 2014](#); [Mohdaly, 2019](#)). Dado que HC procede del residuo sólido tras la extracción del aceite, se espera que conserve la mayoría de los componentes no lipídicos del tubérculo. Sin embargo, se sabe que eliminar la fracción de aceite cambia la composición química del producto resultante ([Akasha et al., 2012](#)). Por lo que, la fracción de todos los componentes no lipídicos aumentaría ligeramente, en comparación con la chufa entera. En cuanto a la composición proximal del tubérculo entero, [Mohdaly \(2019\)](#) reportó un contenido proteico de 8,45 % b.s. en chufa de Valencia (humedad de 8,66 % b.s.). Por el contrario, [Sánchez-Zapata et al. \(2009\)](#) encontraron un contenido más bajo para la misma, expresado en peso fresco (5,05 g/100 g), y similar al encontrado en la Tabla 1.

Valores similares al del presente estudio obtuvieron [Mohdaly \(2019\)](#) en chufa de Egipto (4,33 % b.s.; humedad de 7,30 % b.s.) y [Ihenetu et al. \(2021\)](#) en chufa de variedad amarilla y marrón (4,2 % y 5,1 %, respectivamente). Esto pone de manifiesto la influencia que puede tener la variedad del vegetal sobre la variabilidad de su composición química.

4.1.1.3. Humedad y cenizas.

Determinar el contenido de humedad y cenizas en un alimento permite evaluar su calidad, seguridad y valor nutricional. El contenido de humedad afecta la textura (fluidez, compresibilidad y cohesividad), la vida útil y es considerado un índice de estabilidad, ya que niveles elevados pueden favorecer su deterioro ([Tirado et al., 2015](#)). Por otra parte, el análisis proximal de cenizas determina solamente el residuo de materia inorgánica, permitiendo estimar el contenido total de minerales presentes en el alimento ([Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación, s.f.](#)).

Según la Tabla 1, el contenido de humedad y cenizas de las muestras estudiadas presentó un comportamiento similar. HG y HN obtuvieron, en ambos parámetros, valores significativamente mayores que HC y HD, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre las mismas. En cuanto a HG, se obtuvieron unos valores de humedad y cenizas de 11,47 g/100 g de muestra y 3,44 g/100 g de muestra, respectivamente. Referente a la humedad, se sitúa entre los valores reportados por [Venkitasamy et al. \(2019\)](#) para el polvo de cáscara (13,7 %) y de semilla de granada (5,8 %). En el mismo estudio se obtuvo un contenido de cenizas de 3,3 % en la cáscara y 1,5 % en la semilla de granada, resultando el valor registrado en el presente estudio mayor al reportado. A su vez, [Teh \(2016\)](#) publicó un nivel de cenizas o minerales de 3,7 % y de 2-3 % para el polvo de cáscara y de semilla, respectivamente. En cambio, [Viuda-Martos et al. \(2012\)](#) reportaron un valor de cenizas de 2,5 g/100 g para el bagazo de fruta entera. Por tanto, el contenido obtenido en el presente estudio para ambos parámetros sugiere que HG podría contener una mayor proporción de cáscara, lo que coincide con el comportamiento observado anteriormente.

En cuanto a la HN, el contenido de humedad y cenizas obtenido fue de 10,29 g/100 g de muestra y 2,80 g/100 g de muestra, respectivamente. Hallazgos ligeramente inferiores publicaron [Gasparre et al. \(2024\)](#) (9,51 y 2,47 g/100 g b.s. para humedad y cenizas,

respectivamente) y [Santamaria et al. \(2024\)](#) (9,51 y 2,23 g/100 g b.s. para humedad y cenizas, respectivamente) en su estudio sobre el polvo de cáscara de naranja. Cabe destacar que la HN analizada fue sometida a un proceso de liofilización y que, debido a la manipulación y al carácter higroscópico de la muestra, podría haberse favorecido un aumento del contenido de humedad por la exposición al ambiente.

Tal como se ha indicado anteriormente, HC y HD presentaron un contenido de humedad y cenizas significativamente menores a las muestras expuestas. En la Tabla 1 se muestra el valor de humedad (6,80 g/100 g de muestra) y cenizas (1,53 g/100 g de muestra) que obtuvo HC. En base a lo expuesto en el apartado 4.1.1.2 (Proteínas), [Mohdaly \(2019\)](#) reportó un valor de humedad ligeramente superior en chufa de Egipto (7,30 % b.s.) y un contenido aún mayor en chufa de Valencia (8,66 % b.s.). En cambio, en el mismo estudio se obtuvo un mayor contenido de cenizas en la chufa de Egipto (2,60 % b.s.), y un valor ligeramente superior al del presente estudio en la chufa de Valencia (1,97 % b.s.). Resultados expresados en peso fresco publicaron [Sánchez-Zapata et al. \(2009\)](#) en su estudio, con valores ligeramente inferiores para la chufa de Valencia, a los encontrados en el presente estudio para HC (6,72 g de humedad/100 g y 1,43 g de cenizas/100 g), lo que coincide con el comportamiento esperado tras la eliminación de la fracción lipídica, mencionado anteriormente. [Ihenetu et al. \(2021\)](#) publicaron un mayor contenido de cenizas para la chufa de variedad amarilla y marrón, siendo este de 2,7 % y 2,5 %, respectivamente. No obstante, el mismo estudio reportó unos valores de humedad considerablemente inferiores a los obtenidos en el presente estudio y a los referidos previamente en la literatura científica (2,9 % en chufa de variedad amarilla y 3,2 % en la variedad marrón). Para llevar a cabo el análisis proximal de ambas variedades de chufa, tras el secado, la molienda y la obtención de las harinas, las mismas se envasaron herméticamente hasta su posterior análisis ([Ihenetu et al., 2021](#)).

Por último, en cuanto a HD, el valor de humedad y cenizas obtenido fue de 6,23 g/100 g de muestra y 1,61 g/100 g de muestra, respectivamente. Resultados inferiores obtuvieron [Akasha et al. \(2012\)](#) en su estudio sobre el polvo de semilla de palmera datilera, siendo estos 5,39 % p/p de humedad y 0,95 % p/p de cenizas. Así mismo, [Jahan et al. \(2023\)](#) obtuvieron un contenido de cenizas aún menor (0,86 % b.s.). Sin embargo, el mismo estudio reportó un valor de humedad considerablemente mayor a los

mencionados (9,59 % b.s.).

Por tanto, se observa la posible influencia de las operaciones de preparación de la muestra, y de almacenamiento y conservación de las mismas, sobre el contenido de humedad resultante.

4.1.1.4. Fibra dietética total (FDT).

La composición química de las harinas estudiadas finaliza con el análisis de la fibra dietética total (FDT). Según la Tabla 1, las harinas resultaron significativamente diferentes, siendo HD la que obtuvo un mayor contenido de FDT (73,03 g/100 g de muestra) y HG el contenido más bajo determinado (31,65 g/100 g de muestra). El resultado del contenido de FDT de HD es muy similar al reportado por [Al-Farsi et al. \(2007\)](#) para las semillas de dátil de las variedades Mabseeli, Um-sellah y Shahal (79,84 g/100 g, 80,15 g/100 g y 77,75 g/100 g, respectivamente). Resultados menores encontraron [Jahan et al. \(2023\)](#) y [Al-Farsi y Lee \(2008\)](#) en su estudio, siendo unos valores de 63,26 % b.s. (humedad de 9,59 % b.s.) y 57,87 g/100 g, respectivamente. Se sabe que la composición de las semillas de dátiles varía según la variedad, la procedencia y los factores ambientales, el período de cosecha y la etapa de maduración, así como el fertilizante empleado durante el cultivo ([Al-Farsi y Lee, 2008](#); [Jahan et al., 2023](#)). La fibra dietética total incluye la fibra soluble e insoluble, y en cuanto a las semillas de dátiles, la fracción mayoritaria corresponde a la fibra insoluble ([Al-Farsi y Lee, 2008](#)) (aproximadamente un 90 %).

Un contenido significativamente menor al resto de harinas estudiadas obtuvo HC, siendo un valor de 53,41 g de FDT/100 g de muestra. En base a lo expuesto en el apartado 4.1.1.2 (Proteínas), [Mohdaly \(2019\)](#) encontró un contenido en FDT de 9,31 % b.s. para la chufa de Valencia (humedad de 8,66 % b.s.) y de 15,47 % b.s. para la chufa de Egipto (humedad de 7,30 % b.s.). En cambio, [Sánchez-Zapata et al. \(2009\)](#) encontraron un contenido mayor en chufa de Valencia (10,30 g/100 g de peso fresco). Considerando que HC es un subproducto de la extracción de aceite de chufa, resulta de interés contrastar estos resultados con el subproducto de la elaboración de leche de chufa (“horchata”), aunque las procedencias y procesos difieran y, por tanto, los valores no sean estrictamente comparables. Se sabe que la horchata de chufa contiene 1,06 g

de FDT/100 g de peso fresco (principalmente fibra soluble), entre otros componentes, mientras que su subproducto alcanza los 59,71 g de FDT/100 g de peso fresco (Sánchez-Zapata *et al.*, 2009), resultando un valor similar al obtenido en este estudio. Por lo que, ambos subproductos tienen una composición elevada en FDT, mayoritariamente fibra insoluble.

Por otra parte, en cuanto a la HN obtuvo un valor de FDT de 39,88 g/100 g de muestra. Valores muy similares encontraron Gasparre *et al.* (2024) en su estudio para el polvo de cáscara de naranja (40,16 g/100 g b.s.; humedad de 9,51 g/100 g b.s.), en donde la fracción mayoritaria correspondía, de nuevo, a la fibra insoluble (31,29 g/100 g b.s.). También Han *et al.* (2021) publicaron un resultado muy similar al encontrado en la Tabla 1 (40,56 % de fibra total), para el polvo de cáscaras de naranjas procedentes de China. Valores más elevados reportaron Dorado *et al.* (2025) (51,60 %), en donde se observa una relación FDI/FDS de 3,87.

En última instancia, en la Tabla 1 se muestra el contenido en FDT obtenido para HG (31,65 g/100 g de muestra), siendo significativamente menor al resto de harinas estudiadas. Viuda-Martos *et al.* (2012) encontraron un contenido de FDT de 50,3 g/100 g en el bagazo de fruta entera de zumo de granada, siendo en este caso la relación FDI/FDS de 1,5. A su vez, Teh (2016) indicó que el orujo de granada entera contiene un 45,6 – 50,3 g/100 g b.s. de FDT. Cabe señalar que el orujo de fruta entera incluye tanto la cáscara como el arilo de la granada. Se ha documentado que el polvo de cáscara de granada contiene un 11,2 % de FDT y el polvo de semilla un 39,5 % (Venkitasamy *et al.*, 2019). En base a los resultados reportados por la literatura científica y los encontrados en el presente estudio, en términos de composición química, es posible plantear que la HG analizada presenta una mayor proporción de cáscara que de semilla, como se ha indicado anteriormente.

4.1.2. Composición fisicoquímica de las harinas.

En la Tabla 2 se muestran los parámetros analizados para la determinación de la composición fisicoquímica de las distintas muestras de harina estudiadas.

Tabla 2. Composición fisicoquímica de las cuatro muestras de harina estudiadas.

MUESTRAS	pH	Aw	COLOR (D65)				
			L*	a*	b*	C*	h°
<i>Bagazo de chufa desgrasado (HC)</i>	5,35 ± 0,01 ^b	0,480 ± 0,006 ^a	79,83 ± 0,61 ^a	2,56 ± 0,12 ^d	15,62 ± 0,29 ^d	15,71 ± 0,30 ^d	80,61 ± 0,39 ^a
<i>Semilla de dátil (HD)</i>	5,40 ± 0,03 ^a	0,480 ± 0,013 ^a	53,43 ± 0,25 ^c	13,32 ± 0,23 ^a	16,26 ± 0,20 ^c	20,94 ± 0,30 ^c	50,71 ± 0,15 ^d
<i>Cáscara y semilla de granada liofilizada (HG)</i>	3,57 ± 0,01 ^d	0,358 ± 0,008 ^c	70,04 ± 0,45 ^b	12,49 ± 0,23 ^b	19,75 ± 0,13 ^b	23,39 ± 0,09 ^b	57,39 ± 0,60 ^c
<i>Cáscara de naranja liofilizada (HN)</i>	4,71 ± 0,02 ^c	0,450 ± 0,012 ^b	80,51 ± 0,38 ^a	9,01 ± 0,28 ^c	40,88 ± 0,39 ^a	41,52 ± 0,42 ^a	77,75 ± 0,30 ^b

Aw: actividad de agua; L*: luminosidad; a*: coordenada rojo/verde; b*: coordenada amarillo/azul; C*: croma; h°: tono.
 Los resultados son la media ± desviación estándar de tres réplicas, a excepción del parámetro de color, siendo nueve réplicas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras de harina (p < 0,05) según el test de rangos múltiples de Tukey.

4.1.2.1. Actividad de agua (A_w) y pH.

La actividad de agua (A_w) representa la disponibilidad del agua contenida en un producto. Este parámetro, junto con el pH, están directamente relacionados con el riesgo de deterioro de los alimentos, ya que influye en el crecimiento de microorganismos, la actividad enzimática y la ocurrencia de las reacciones no enzimáticas (Sánchez-Zapata *et al.*, 2011). En cuanto al pH, en la Tabla 2 se observa que las distintas muestras de harina estudiadas difieren significativamente entre ellas, siendo HD la que obtuvo un mayor valor de pH (pH: 5,70) y HG el menor valor determinado (pH: 3,57). Referente a la A_w , también HD mostró el mayor valor (A_w : 0,480). Ésta no mostró diferencias significativas con HC, la cual obtuvo el mismo valor de A_w que HD, en cambio, sí se encontraron diferencias significativas con el resto de las harinas estudiadas, siendo de nuevo HG la que obtuvo el menor valor analizado (A_w : 0,358).

En lo que respecta a HD, Salomón-Torres *et al.* (2019) estudiaron la semilla de dátil “Medjool”, obteniendo un valor de pH de 6,98. Se sabe que la etapa de maduración de los dátiles tiene influencia sobre el parámetro de pH, debido a cambios en el contenido de ácidos orgánicos; siendo los dátiles menos maduros los que obtienen un pH más bajo por su mayor contenido en ácidos orgánicos (Muñoz-Bas *et al.*, 2024). El tipo de cultivar y las condiciones de crecimiento también influyen sobre el contenido de ácidos orgánicos (Muñoz-Bas *et al.*, 2024). Considerando la pulpa de los dátiles, Salomón-Torres *et al.* (2019) obtuvieron un menor valor de pH en la misma, en comparación con la semilla, atribuyéndose a un mayor contenido de ácidos orgánicos en la pulpa. Por otra parte, la pasta de dátiles presenta valores de actividad de agua inferiores a 0,6 (Ghnimi *et al.*, 2017; Sánchez-Zapata *et al.*, 2011), lo que resulta coherente con la obtención de un valor más bajo en la semilla de dátiles (A_w HD: 0,48), considerando las diferencias en composición y procesamiento entre ambos productos.

No se encontraron diferencias significativas con el resultado de A_w de HC y HD, siendo también un valor de 0,48. Un valor de pH similar, pero significativamente distinto a HD, obtuvo HC (pH: 5,35). Dado que no se disponen de numerosos estudios en la literatura científica los cuales determinen el pH y A_w del subproducto del aceite de chufa, se van

a comparar con los parámetros obtenidos de las chufas enteras. [Obinna-Echem et al. \(2020\)](#) reportaron un valor de pH de 6,23 para la harina de chufa 100 %. No se encontraron valores directos de Aw. Debido a la limitación de resultados, y considerando que ambos subproductos no son estrictamente comparables, se van a contrastar los datos obtenidos en el presente estudio con los reportados sobre el subproducto de la leche de chufa. [Sánchez-Zapata et al. \(2009\)](#) analizaron el subproducto sólido procedente de la elaboración de horchata y obtuvieron unos valores de pH y Aw de 6,73 y 0,99, respectivamente, resultando ser un producto altamente perecedero. Por el contrario, [Lucas-González et al. \(2025\)](#) caracterizaron el coproducto de la leche de chufa desgrasado con CO₂ supercrítico, el cual mostró unos valores de pH y Aw similares a los obtenidos en el presente estudio para HC (5,37 y 0,328, respectivamente). En el mismo estudio indicaron que un valor de pH cercano a la neutralidad podría ser adecuado para emplear al subproducto como una matriz alimentaria neutra en productos cárnicos. A su vez, un valor de Aw por debajo de 0,6 califica a HC como un producto microbiológicamente seguro, por su limitada disponibilidad de agua.

En cuanto a HN, los parámetros de pH y Aw obtenidos resultan significativamente distintos al resto de harinas estudiadas, siendo valores de 4,71 y 0,450, respectivamente. Hallazgos similares obtuvieron [Teixeira et al. \(2020\)](#) para la cáscara de naranjas de la especie *Citrus sinensis*, con un pH de 4,87. En cambio, [Gasparre et al. \(2024\)](#) publicaron una Aw (0,15) considerablemente inferior a nuestro resultado para el polvo de cáscaras de naranjas secas. Considerando el resultado de humedad expuesto en el apartado 4.1.1.3 (Humedad y cenizas), ambos valores se encuentran por encima de los reportados en la literatura científica, lo que podría deberse al carácter higroscópico de HN y a su manipulación, como se ha mencionado anteriormente.

En último lugar, HG obtuvo valores inferiores ($p < 0,05$) al resto de muestras estudiadas, con un pH de 3,57 y una Aw de 0,358. El bagazo de fruta entera de zumo de granada estudiado por [Viuda-Martos et al. \(2012\)](#) obtuvo unos valores de pH y Aw de 4,5 y 0,139, respectivamente. El pH reportado fue más alto que el estudiado, en cambio, la Aw que obtuvieron para el bagazo resultó inferior a la de la Tabla 2, indicando que el riesgo de deterioro era mínimo. Otro estudio llevado a cabo por [Wanderley et al. \(2023\)](#), publicó

datos de pH y Aw para las cáscaras y semillas de granada deshidratadas a distintas temperaturas. A 60 °C, las harinas de cáscaras presentaron un pH de 3,82 y una Aw de 0,362, mientras que las harinas de semillas mostraron un pH de 5,28 y una Aw de 0,228. Por último, [Dewan et al. \(2024\)](#) caracterizaron muestras de polvo de cáscara y semilla de granada en diferentes proporciones. La muestra compuesta por un 90 % de cáscara y un 10 % semilla presentó un pH de 3,76, mientras que la muestra con un 70 % de cáscara y 30 % de semilla mostró un pH de 3,30. El valor de pH de HG se encuentra dentro de este rango. Asimismo, al incrementar la proporción de polvo de semilla por encima del 30 %, se obtenían mayores valores de pH, alcanzando incluso 4,06. En base a la literatura científica consultada y a los resultados obtenidos, se respalda la hipótesis planteada a lo largo de este trabajo, según la cual HG estaría compuesta por una mayor proporción de cáscara que de semilla.

Cabe destacar que un valor de Aw inferior a 0,60 resulta adecuado para la conservación y almacenamiento eficiente debido a la limitación de la disponibilidad de agua para cualquier desarrollo microbiano ([Ghnimi et al., 2017](#); [Sánchez-Zapata et al., 2011](#); [Wanderley et al., 2023](#)). Por lo que, todas las muestras analizadas obtuvieron valores de Aw que garantizan la seguridad alimentaria.

4.1.2.2. Color.

Con respecto a las propiedades de color (Tabla 2), la luminosidad (L^*) fue significativamente mayor en las muestras de HC y HN, sin diferencias significativas entre ellas, mientras que HD presentó el valor más bajo de luminosidad ($p < 0,05$), o lo que es lo mismo, HD fue la muestra más oscura. El comportamiento del resto de propiedades de color fue distinto. En primer lugar, en cuanto a la coordenada rojo/verde (a^*), las harinas estudiadas presentaron diferencias significativas entre ellas, siendo HD la más roja, seguida de HG, HN y HC. Así mismo, también se observaron diferencias desde el punto de vista estadístico para la coordenada amarillo/azul. Sin embargo, en este caso, la HN fue la más amarilla, seguida de HG, HD y HC. Por otro lado, en lo que respecta al croma o saturación de color (C^*), los valores más bajos corresponden a un color más apagado y gris, mientras que valores más altos son más puros, vívidos y saturados. En base a esto, las harinas estudiadas presentaron diferencias significativas entre ellas,

siendo HN la que obtuvo un color más vívido, seguido de HG, HD y HC. Y por último, el tono (h°) presentó valores significativamente más orientados hacia el amarillo en HC y HN, y más hacia el rojo en HG y HD ($p < 0,05$ entre todas las muestras analizadas).

En primer lugar, referente a HD, los valores obtenidos de los parámetros de color fueron: $L^* 53,43$, $a^* 13,32$, $b^* 16,26$, $C^* 20,94$ y $h^\circ 50,71$. [Kamal et al. \(2023\)](#) reportaron valores más bajos para el polvo de semillas de dátiles de la variedad Shishi ($L^* 30,61$, $a^* 11,95$ y $b^* 15,70$), es decir, obtuvieron una harina menos luminosa, rojiza y amarilla. En el mismo estudio se analizaron 18 variedades de semillas de dátiles, las cuales presentaron gran variabilidad en el análisis del perfil de color. Por lo que, se observa la influencia del tipo de cultivar sobre el color de la harina obtenida.

En cuanto a HC, en la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos de los parámetros de color, siendo estos $L^* 79,83$, $a^* 2,56$, $b^* 15,62$, $C^* 15,71$ y $h^\circ 80,61$. [Nedviha y Harasym \(2024\)](#) publicaron valores de $L^* (73,53)$, $a^* (3,83)$ y $b^* (17,30)$ para una harina de chufa 100 %, los cuales resultaron similares a los obtenidos para HC. Si se comparan los resultados de la Tabla 2 con los reportados por [Lucas-González et al. \(2025\)](#) para el coproducto de leche de chufa desgrasado con CO_2 supercrítico, se obtuvieron valores muy similares a los del presente estudio ($L^* 75,52$, $a^* 2,42$, $b^* 14,42$, $C^* 14,63$ y $h^\circ 80,51$), resultando ambos por debajo de los citados para la harina de chufa 100 %. Por lo que, se puede inferir que los subproductos de la chufa resultan más luminosos, menos rojizos y amarillos que el tubérculo. Según exponen [Lucas-González et al. \(2025\)](#), los parámetros de color obtenidos en el presente estudio indican un producto idóneo para aplicar en diversas matrices alimentarias, como son los productos cárnicos y pesqueros.

Por otra parte, HN obtuvo los siguientes valores de parámetros de color: $L^* 80,51$, $a^* 9,01$, $b^* 40,88$, $C^* 41,52$ y $h^\circ 77,75$. Comparando estos con los publicados en la literatura científica ($L^* 75,35$, $a^* 2,73$ y $b^* 52,47$), HN resulta un producto más luminoso, más rojizo y menos amarillo que el polvo de cáscara de naranja estudiado por [Gasparre et al. \(2024\)](#). En cambio, [Teixeira et al. \(2020\)](#) obtuvieron unas cáscaras de naranjas (*Citrus sinensis*) menos luminosas ($L^* 63,50$), más verdes ($a^* -1,50$) y más amarillas ($b^* 48,49$) que HN, lo cual podría evidenciar la influencia de la especie del fruto sobre el color de su cáscara.

En última instancia, HG mostró unos parámetros de color significativamente distintos al resto de muestras estudiadas (L^* 70,04, a^* 12,49, b^* 19,75, C^* 23,39 y h° 57,39). Se sabe que el color de la cáscara y el arilo de la granada puede variar en gran medida cuando el mismo genotipo se cultiva en diferentes regiones (Venkitasamy *et al.*, 2019). Viuda-Martos *et al.* (2012) obtuvieron para el bagazo de fruta entera de zumo de granada, valores de L^* (62,8), a^* (7,3) y b^* (17,3) ligeramente inferiores a los que se muestran en la Tabla 2. A su vez indicaron que las coordenadas a^* y b^* se encuentran influenciadas por la integridad estructural de la fibra y por el contenido y disposición del pigmento, en especial, de los carotenoides; respectivamente. En el mismo estudio reportaron que los parámetros de color obtenidos permitían obtener un producto idóneo como ingrediente en una variabilidad de productos alimenticios y, al igual que HC, en especial en productos cárnicos y pesqueros.

4.1.3. Propiedades tecnofuncionales de las harinas.

Las propiedades tecnofuncionales de las cuatro muestras de harina estudiadas se dan en la Tabla 3. Las propiedades tecnofuncionales de las fibras vegetales están determinadas por la proporción entre fibra insoluble y soluble, el tamaño de las partículas, el método de extracción, la estructura de los polisacáridos presentes en la planta y el tipo de fuente vegetal (Viuda-Martos *et al.*, 2012).

Tabla 3. Propiedades tecnofuncionales de las cuatro muestras de harina estudiadas.

MUESTRAS	CRA	CRO	SWC	CE	EE
Bagazo de chufa desgrasado (HC)	9,32 ± 0,14 ^a	5,61 ± 0,24 ^a	4,55 ± 0,62 ^b	29,33 ± 4,16 ^b	71,02 ± 6,12 ^b
Semilla de dátil (HD)	1,86 ± 0,09 ^d	0,98 ± 0,03 ^d	1,14 ± 0,12 ^d	54,00 ± 1,73 ^a	6,17 ± 0,97 ^c
Cáscara y semilla de granada liofilizada (HG)	2,52 ± 0,04 ^c	1,50 ± 0,07 ^c	2,43 ± 0,18 ^c	55,33 ± 0,58 ^a	6,63 ± 2,13 ^c
Cáscara de naranja liofilizada (HN)	6,01 ± 0,08 ^b	2,00 ± 0,03 ^b	7,62 ± 0,21 ^a	54,33 ± 1,16 ^a	95,88 ± 1,07 ^a

CRA: capacidad de retención de agua (g agua/g muestra); CRO: capacidad de retención de aceite (g aceite/g muestra); SWC: capacidad de hinchamiento (mL agua/g muestra); CE: capacidad emulsificante (mL/100 mL muestra); EE: estabilidad de la emulsión (%).
Los resultados son la media ± desviación estándar de tres réplicas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras de harina ($p < 0,05$) según el test de rangos múltiples de Tukey.

4.1.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de hinchamiento (SWC).

La CRA se refiere a la capacidad de un material para retener agua frente a fuerzas externas (centrifugación o compresión), y es una propiedad funcional clave de la fibra dietética, la cual retiene agua tanto por fenómenos de adsorción como absorción, quedando una parte de esta como agua libre. Las fibras solubles presentan generalmente una mayor CRA que las fibras insolubles. Además, valores elevados de CRA pueden asociarse a una mayor luminosidad en los productos a los que se incorporan (Viuda-Martos *et al.*, 2012). A su vez, SWC también proporciona información sobre el comportamiento de los coproductos ricos en fibra en un determinado sistema alimentario (Lucas-González *et al.*, 2025). Es por ello por lo que hay que tener en consideración ambas propiedades de hidratación.

Referente a los resultados obtenidos en el estudio de las muestras de harinas de distinta procedencia (Tabla 3), las propiedades CRA y SWC mostraron diferencias significativas entre las distintas muestras. HC presentó la mayor CRA, mientras que HD registró el valor más bajo ($p < 0,05$). En cuanto a la SWC, HN mostró la mayor capacidad, siendo nuevamente HD la que obtuvo el valor mínimo ($p < 0,05$). En primer lugar, HC presentó un valor de CRA de 9,32 g agua/g muestra y SWC de 4,55 mL agua/g muestra. Si se comparan los resultados obtenidos con la literatura científica, Nedviha y Harasym (2024) indicaron unos valores de CRA y SWC de 2,78 g agua/g b.s. y 4,65 g agua/g b.s. para una harina de chufa 100 %, respectivamente. En el mismo estudio publicaron la relación inversa entre el contenido de grasa y la CRA, lo que puede explicar el valor más bajo en su muestra. Por ello, se van a contrastar los resultados con el coproducto de leche de chufa desgrasado con CO₂ supercrítico, considerando que no son estrictamente comparables. Lucas-González *et al.* (2025) reportaron valores inferiores a HC, obteniendo las propiedades CRA y SWC los siguientes resultados: 8,90 g agua/g muestra y 2,91 mL agua/g muestra, respectivamente. Por lo que, podría presentar una asociación directa entre la eliminación de la grasa del subproducto y el aumento de la CRA. El bajo SWC que obtuvieron podría estar relacionado con el reducido contenido de fibra soluble, tal como se indica en el estudio.

En segundo lugar, HN presentó un valor de CRA de 6,01 g agua/g muestra y el mayor valor de SWC analizado (7,62 mL agua/g muestra; $p < 0,05$). Dado su bajo contenido graso (Tabla 1), es esperable que HN exhiba una mayor CRA en comparación con HD y HG, las cuales mostraron contenidos de grasa superiores. Este comportamiento se confirma con los resultados obtenidos. En cuanto a SWC, y según la literatura científica consultada, HN presentaría una menor proporción de fibra soluble que HG, por lo que, se esperaría un valor de SWC superior en esta última. Sin embargo, puesto que los resultados obtenidos no coinciden con lo esperado, podría explicarse por el mayor contenido de grasa de HG. El bagazo seco de zumo de naranja estudiado por [Gasparre et al. \(2024\)](#) presentó una CRA de 4,91 g/g, siendo el valor más alto entre las muestras que analizaron. Este resultado podría atribuirse a su mayor contenido de pectina ([Gasparre et al., 2024](#); [Han et al., 2021](#); [Teixeira et al., 2020](#)). [Dorado et al. \(2025\)](#) reportaron mayores valores para el polvo de naranja comercial (aproximadamente CRA 9 g agua/ g muestra y SWC 11 mL agua/g muestra).

Por otra parte, HG obtuvo un menor valor de CRA (2,52 g agua/g muestra) y SWC (1,50 mL agua/g muestra), en comparación con las muestras anteriores ($p < 0,05$). Según lo expuesto anteriormente, esto podría estar atribuido con su mayor contenido de grasa (Tabla 1). [Viuda-Martos et al. \(2012\)](#) reportaron la CRA del bagazo de fruta entera de zumo de granada, con un valor de 4,9 g agua/g fibra seca. Cabe destacar que, en el bagazo obtenido del zumo, podrían quedar residuos de pulpa, la cual tiende a ser más rica en fibra soluble que HG, aumentando así la CRA. No obstante, [Dewan et al. \(2024\)](#) mostraron la CRA del polvo de cáscara de granada seca y de semilla, con unos resultados de 4,24 y 4,47 veces su propio peso, respectivamente. Estas discrepancias podrían deberse a diferencias en la variedad y composición de las muestras, metodologías o incertidumbres experimentales.

En última instancia, la muestra HD presentó los niveles más bajos de CRA y SWC ($p < 0,05$), con valores de 1,86 g agua/g muestra y 1,14 mL agua/g muestra. Considerando que HD mostró el contenido más alto de grasa (Tabla 1) y que, según la literatura, aproximadamente el 90 % de FDT es fibra insoluble ([Al-Farsi y Lee, 2008](#)), esto podría explicar los bajos valores obtenidos. Por el contrario, [Jahan et al. \(2023\)](#) reportaron mayores valores de CRA (2,56 g agua/g) y SWC (5,24 g agua/g) para el polvo de semilla

de dátil. [Muñoz-Tebar et al. \(2024\)](#) estudiaron harina de semilla de dátil de distinta granulometría, en donde la muestra con un tamaño inferior a 210 μm presentó una CRA de 2,25 g agua/g muestra y SWC de 25 mL/g muestra. Ante el contraste de resultados, es posible que las diferencias se deban a la variabilidad metodológica o a incertidumbres experimentales. Aun así, en su estudio reportaron que el valor de CRA alcanzado permitía considerar esta harina como un posible ingrediente en la formulación de alimentos, resultando un valor no excesivamente alejado del observado en la Tabla 3.

4.1.3.2. Capacidad de retención de aceite (CRO).

La CRO depende, principalmente, de las características de la superficie del polvo, de la densidad de carga total y de la hidrofobicidad de las partículas de fibra. A diferencia de la CRA, que se relaciona principalmente con la fibra soluble, una mayor CRO suele asociarse con un mayor contenido de fibra insoluble ([Lucas-González et al., 2025](#); [Viuda-Martos et al., 2012](#)).

En la Tabla 3 se presentan los valores de CRO obtenidos para las distintas muestras de harina, los cuales mostraron diferencias estadísticamente significativas. Las muestras siguieron el mismo comportamiento que la CRA, siendo HC y HD las que mostraron una mayor y menor CRO, respectivamente. En primer lugar, HC obtuvo un valor de CRO de 5,61 g aceite/g muestra. Según [Nedviha y Harasym \(2024\)](#), la CRO para una harina de chufa 100 % fue de 2,72 g aceite/g b.s. En cambio, [Lucas-González et al. \(2025\)](#) reportaron un valor similar al del presente estudio para el coproducto de leche de chufa desgrasado con CO_2 supercrítico, con 5,92 g aceite/g muestra. Esta mayor capacidad podría atribuirse a la mayor proporción de fibra insoluble, en comparación con el tubérculo original.

Con respecto a la CRO de HN (2,00 g aceite/g muestra; $p < 0,05$), [Gasparre et al. \(2024\)](#) reportaron un valor similar (1,88 g aceite/g muestra). En el estudio observaron la misma tendencia que en el caso anterior, en la que el bagazo seco del zumo de naranja retuvo más aceite que otras muestras debido a su mayor contenido de fibra dietética, que lo retiene a través de la rugosidad superficial, las fuerzas de van der Waals y las interacciones hidrofóbicas. Publicaron un valor inferior para el polvo comercial de cáscaras de naranja (aproximadamente 1,6 g aceite/g muestra).

El resultado de CRO para la muestra HG fue significativamente menor a las muestras anteriores, con un valor de 1,50 g aceite/g muestra. [Viuda-Martos et al. \(2012\)](#) reportaron una mayor cifra para el bagazo de fruta entera de zumo de granada (5,9 g aceite/g muestra). Considerando que los autores señalaron que ese valor implicaba una baja CRO en matrices alimentarias, se podría estimar que la muestra HG presenta una CRO muy reducida.

Por último, en cuanto a la CRO de la muestra HD, obtuvo nuevamente el nivel más bajo, en comparación con el resto de las muestras, con un valor de 0,98 g aceite/g agua ($p < 0,05$). [Jahan et al. \(2023\)](#) y [Muñoz-Tebar et al. \(2024\)](#) reportaron valores de 1,31 mL/g y de 1,40 g aceite/g muestra ($\emptyset < 210 \mu\text{m}$) para el polvo de semilla de dátil, respectivamente. Según la literatura científica, podría decirse que la muestra HD no presenta una buena capacidad para ligar componentes oleosos, pudiéndose emplear para otros fines distintos a la elaboración de emulsiones gelificadas ([Muñoz-Bas et al., 2024](#)).

4.1.3.3. Capacidad emulsificante (CE) y estabilidad de la emulsión (EE).

La capacidad emulsificante y la estabilidad de la emulsión son propiedades tecnofuncionales clave en matrices alimentarias con fases inmiscibles, como el agua y el aceite, donde se requiere la formación y mantenimiento de emulsiones estables. Según los resultados obtenidos (Tabla 3), la muestra HC obtuvo la menor CE (29,33 mL/100 mL muestra; $p < 0,05$), en comparación con el resto de las muestras, entre las cuales no se observaron diferencias estadísticas significativas. HC presentó valores bajos de CE pero altos de EE (71,02 %), en comparación con el resto de las muestras estudiadas. Hallazgos similares publicaron [Lucas-González et al. \(2025\)](#) para el coproducto de leche de chufa desgrasado con CO_2 supercrítico (CE 3,83 mL aceite/mL muestra y EE 81,49 %). El mismo estudio reportó que, debido al bajo contenido de proteínas y fibra soluble en el subproducto, y considerando que una elevada CE se relaciona con la interacción entre estos componentes, dicho subproducto presentó valores bajos de CE. En consecuencia, se sugiere que la muestra HC presenta una asociación equivalente.

Por otra parte, HN presentó la mayor CE y EE, con valores de 54,33 mL/100 mL muestra y 95,88 %, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre las

muestras HN, HG y HD. Según el estudio llevado a cabo por [Martínez-Navarrete et al. \(2023\)](#), el residuo seco de zumo de naranja, consistente en la cáscara y la pulpa desechadas, mostró menor CE (8 %) pero una EE del 100 %. Sin embargo, estudiaron los polvos de orujo de naranja deshidratados a distintas temperaturas, obteniéndose un valor muy similar de CE para los polvos tratados a 60 °C y 70 °C (53,84 % y 55,25 %, respectivamente). Se sabe que la forma de las partículas es un parámetro importante que afecta la propiedad emulsionante de las fibras, el cual podría resultar alterado con la temperatura de secado del polvo ([Afrin et al., 2022](#)). Dado que las fibras con una CE superior al 50 % pueden considerarse buenos agentes emulsionantes ([Wong y Cheung, 2005](#)), se plantea que los resultados obtenidos en el presente estudio indicarían que HN podría servir como agente emulsionante.

En cuanto a la actividad emulsionante de HG, en la Tabla 3 se observa que la muestra también presentó una CE (55,33 mL/100 mL muestra) significativamente mayor que HC. En cambio, HG no presentó una EE importante, alcanzando un valor menor al de las muestras expuestas previamente (6,63 %; $p < 0,05$). Resultados contrastantes reportaron [Viuda-Martos et al. \(2012\)](#) para el bagazo de fruta entera de zumo de granada, con unos valores de CE y EE de 30,7 mL/100 mL y 90,7 mL/100 mL, respectivamente; o lo que es lo mismo, una EE del 90,7 %. Considerando que los autores señalaron que esa muestra obtuvo bajos niveles de CE y EE debido a su bajo contenido proteico (10,9 g/100 g), esta diferencia podría ayudar a explicar el comportamiento observado en HG.

Para finalizar el análisis de la actividad emulsionante, en la Tabla 3 se observa el mismo comportamiento entre la muestra HD y HG, expuesta anteriormente, donde HD presentó la mayor CE (54,00 mL/100 mL) pero el menor nivel de EE (6,17 %), en comparación con la muestra HC ($p < 0,05$). Mediante la incorporación de polisacáridos solubles y hemicelulosa extraídos de las semillas de dátil, [Ranasinghe et al. \(2022\)](#) demostraron que estos derivados presentaban mayores capacidades emulsionantes. Por lo que, se podría estimar que la baja proporción de fibra soluble en la muestra HD, explicaría su baja estabilidad de la emulsión generada. Existen datos limitados sobre la CE y la EE de la harina de semilla de dátil, y por ello, se contrastaron los resultados obtenidos con la pasta de dátil. [Sánchez-Zapata et al. \(2011\)](#) publicaron una CE de 57

mL/100 mL y una EE de 98,59 mL/100 mL, o lo que es lo mismo, una EE del 98,59 %. Sin embargo, en el estudio no encontraron correlación entre estos altos valores y el bajo contenido proteico de la pasta de dátiles (2,12 g/100 g b.s.).

En general, los resultados obtenidos sugieren que la composición en fibra soluble y el contenido proteico podrían ser uno de los factores determinantes en la estabilidad de la emulsión.

4.1.4. Actividad antioxidante de las harinas.

Para finalizar el estudio sobre la caracterización de las distintas muestras de harina seleccionadas, se determinó la actividad antioxidante de las mismas. La actividad antioxidante es un parámetro ampliamente utilizado para evaluar la capacidad de ciertos compuestos de neutralizar radicales libres. Los frutos, especialmente los de regiones templadas, son reconocidos por su alto contenido de compuestos antioxidantes, entre ellos los fenólicos y flavonoides, cuya acción puede ser aditiva o sinérgica. Para determinar esta actividad se emplearon el ensayo de eliminación del radical DPPH y el método FRAP. El primero se basa en la capacidad de los antioxidantes para donar electrones o átomos de hidrógeno al radical DPPH·, mientras que el segundo evalúa el poder reductor de los antioxidantes mediante la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} . Estos métodos pueden verse afectados por diversos factores experimentales. Además, se ha observado que el estado de maduración del fruto influye significativamente en su actividad antioxidante, debido a cambios en el contenido de compuestos bioactivos como vitamina C, carotenoides y polifenoles ([Vázquez-Ovando et al., 2022](#)).

En la Tabla 4 se recogen los resultados obtenidos en los métodos analíticos empleados para la determinación de la actividad antioxidante de las distintas muestras de harina estudiadas.

Tabla 4. Actividad antioxidante de las cuatro muestras de harina estudiadas.

MUESTRAS	DPPH	FRAP
<i>Bagazo de chufa desgrasado (HC)</i>	1,59 ± 0,05 ^c	4,89 ± 0,32 ^c
<i>Semilla de dátil (HD)</i>	27,79 ± 3,50 ^b	270,18 ± 79,42 ^b
<i>Cáscara y semilla de granada liofilizada (HG)</i>	132,48 ± 17,77 ^a	709,44 ± 128,32 ^a
<i>Cáscara de naranja liofilizada (HN)</i>	4,78 ± 0,26 ^c	19,80 ± 0,35 ^c

Valores expresados en mg de equivalente de Trolox/g muestra (mg ET/g muestra).
DPPH: método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl); FRAP: método por reducción del ion férrico (Ferric Reducing Antioxidant Power).
Los resultados son la media ± desviación estándar de tres réplicas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las distintas muestras de harina ($p < 0,05$) según el test de rangos múltiples de Tukey.

Desde el punto de vista estadístico, todas las muestras de harina estudiadas mostraron diferencias significativas respecto a la actividad antioxidante, sea cual fuere el método analítico empleado. La muestra HG fue la que presentó la mayor actividad antioxidante, frente a la muestra HC que obtuvo valores significativamente más bajos.

En cuanto a HG, se obtuvieron valores de 132,48 mg ET/g muestra para el método DPPH y de 709,44 mg ET/g muestra en el caso del método FRAP. [Hasnaoui et al. \(2014\)](#) publicaron un estudio sobre la cáscara de granada de diferentes cultivares, entre los cuales, uno de los cultivares dulces presentó valores de actividad antioxidante soluble de 2350,90 $\mu\text{mol Trolox/g}$ en el método DPPH y de 1721,57 $\mu\text{mol Trolox/g}$ por el método FRAP, por lo que, la muestra HG presentó valores inferiores y superiores en el método DPPH y FRAP, respectivamente. En las granadas, al igual que en muchas otras frutas y verduras, la actividad antioxidante está relacionada con el contenido total de compuestos fenólicos. Estudios previos han demostrado que las cáscaras de granada contienen una alta concentración de compuestos antioxidantes, y debido a su riqueza en polifenoles, poseen una fuerte capacidad antioxidante ([Hasnaoui et al., 2014](#); [Shwartz et al., 2009](#)). [Zheng et al. \(2023\)](#) publicaron valores de actividad antioxidante del zumo y cáscara de granada de Italia por el método DPPH, en donde obtuvieron 18,69 $\mu\text{mol equivalente Trolox/mL}$ y de aproximadamente 30 $\mu\text{mol Trolox/g}$, respectivamente. Estos resultan considerablemente inferiores a los obtenidos en el presente estudio. Aun así, el estudio evidenció una diferencia significativa en la actividad antioxidante entre el zumo de granada y la cáscara, siendo esta última la que aporta mayor capacidad antioxidante. [Teh \(2016\)](#) estudió la capacidad antioxidante mediante el método DPPH de cinco cultivares de granada cultivados en California, con resultados que variaron de

241,23 a 562,43 mg ET/g y 2,45 a 4,52 mg/g para las fracciones soluble en cáscara y soluble en semilla, respectivamente, superando los valores observados en la Tabla 4.

En segundo lugar, la muestra HD presentó unos valores de 27,79 mg ET/g muestra mediante el método DPPH y de 270,18 mg ET/g muestra por el método FRAP, significativamente distintos al resto de muestras estudiadas. Se sabe que las semillas de dátil contienen una buena cantidad de fenoles y flavonoides, cuya concentración se relaciona positivamente con la actividad antioxidante; así como de compuestos antioxidantes (Bouhlali *et al.*, 2017; Jahan *et al.*, 2023). En el estudio de Djaoudene *et al.* (2021), los resultados de actividad antioxidante determinada por el método DPPH oscilaron entre 578,08 y 810,69 mg ET/g de extracto de semilla de dátiles, siendo estos considerablemente superiores al encontrado en el presente estudio. De manera opuesta, Bouhlali *et al.* (2017) informaron que la capacidad antioxidante medida con el ensayo FRAP, de los extractos de semillas de dátiles obtenidos de las variedades Medjool y Bousthammi osciló entre 10,96 y 22,86 mmol ET/100 g, respectivamente. Y a su vez, Muñoz-Tebar *et al.* (2024) reportaron valores todavía más bajos, alcanzando cifras de 2,35 mg ET/g para DPPH y 4,91 mg ET/g de harina de semilla de dátil (granulometría inferior a 0,21 mm) en el caso del método FRAP. También Najjar *et al.* (2022) reportaron valores considerablemente inferiores a los del presente estudio, estudiaron el poder antioxidante del polvo de semillas de seis variedades de dátiles, con valores que oscilaron entre 193,1 y 212,03 µg ET/g para DPPH y de 385,53 a 1368,25 µg ET/g en el caso del ensayo FRAP.

La muestra HN presentó valores significativamente más bajos a las muestras expuestas previamente, con una actividad antioxidante de 1,59 mg ET/g muestra para DPPH y de 4,89 mg ET/g en el caso del ensayo FRAP. Chen *et al.* (2020) informaron en su estudio la actividad antioxidante de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), con valores que oscilaron entre 29,67 y 58,69 µmol ET/g b.s. para DPPH y de 14,49 a 18,53 µmol ET/g b.s. en el caso del ensayo FRAP. En otro estudio, Wang *et al.* (2017) estudiaron la capacidad antioxidante del flavedo de la naranja, resultando en valores de 15,34 mg ET/g b.s. para DPPH y de 11,94 mg ET/g b.s. en el caso de FRAP. Asimismo, analizaron el albedo, cuyos valores fueron significativamente inferiores: 5,88 mg ET/g b.s. para DPPH y 7,28 mg ET/g b.s. para FRAP. Cabe destacar que, aunque el flavedo presenta una mayor

actividad antioxidante que el albedo, este último se encuentra en mayor proporción dentro de la cáscara de la naranja. La literatura consultada mostró valores superiores a los obtenidos en el presente estudio, para ambos ensayos analíticos, tanto DPPH como FRAP. Sin embargo, se encontraron hallazgos más cercanos en el estudio de [Barros et al. \(2012\)](#), el cual informó de unos valores de 600-700 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ para DPPH, los cuales concuerdan con la Tabla 4; y de 3000-3750 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ para FRAP.

En última instancia, fue la muestra HC la que presentó la menor actividad antioxidante de entre todas las muestras de harina estudiadas, con valores de 1,59 mg ET/g muestra para el ensayo DPPH, y de 4,89 mg ET/g muestra en el caso de FRAP. De acuerdo con la literatura consultada hasta el momento, no se dispone de estudios científicos que reporten específicamente la actividad antioxidante de la harina de bagazo de chufa desgrasado utilizando los métodos DPPH y FRAP expresados como equivalentes de Trolox. Por ello, se van a contrastar los resultados con los publicados para las chufas enteras. [Nedviha y Harasym \(2024\)](#) informaron de la actividad antioxidante de la harina de chufa 100 %, con un valor de 962,3 mg ET/g b.s. para el método DPPH. Valores contrastantes obtuvieron [Hernández-Olivas et al. \(2022\)](#) en su estudio sobre la harina integral y el aceite de chufa. En primer lugar, la harina integral de chufa presentó valores de 0,84 mg ET/g b.s. para DPPH y de 3,46 mg ET/g b.s. para FRAP. Por otra parte, el aceite de chufa mostró valores significativamente inferiores, de 0,29 mg ET/g b.s. para DPPH y de 1,60 mg ET/g b.s. en el caso de FRAP. Aunque es evidente que existe una gran diferencia entre los resultados obtenidos para HC y los reportados por la literatura científica, se sabe que las harinas de los subproductos de la industria de los aceites vegetales tienen una mayor actividad antioxidante que las harinas y los granos enteros ([Multescu et al., 2022](#)), lo que concuerda con los resultados obtenidos en la muestra HC.

Debido a la complejidad de los procesos de oxidación, no existe un método único capaz de reflejar de forma integral el perfil antioxidante. En base a los resultados obtenidos y a la variabilidad de resultados encontrados en la literatura consultada, se observa la influencia del método y la expresión de resultados empleados, así como de la variedad de la materia prima a estudiar y del proceso de extracción de la muestra; además de otros factores intrínsecos y extrínsecos que pueden afectar el potencial antioxidante.

4.2. PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LOS ACEITES VEGETALES.

En la Tabla 5 se muestra el perfil de ácidos grasos de los siguientes aceites vegetales: aceite de semillas de calabaza (ASC), aceite de torta de chufa (AC), aceite de nuez (AN) y aceite de quinoa (AQ). En adelante se hará referencia a los distintos aceites vegetales estudiados utilizando estas siglas.

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos de los cuatro aceites vegetales estudiados.

NOMBRE COMÚN	Nº CARBONOS	ACEITE DE SEMILLAS DE CALABAZA (ASC)	ACEITE DE TORTA DE CHUFA (AC)	ACEITE DE NUEZ (AN)	ACEITE DE QUINOA (AQ)
Ácido butírico	C4:0	0,19 ± 0,06 ^a	0,19 ± 0,12 ^a	0,19 ± 2,00·10 ^{-3 a}	*
Ácido láurico	C12:0	*	*	0,02 ± 1,00·10 ^{-3 b}	0,13 ± 4,00·10 ^{-3 a}
Ácido mirístico	C14:0	0,11 ± 3,00·10 ^{-3 b}	0,10 ± 0,01 ^b	0,06 ± 4,00·10 ^{-3 c}	0,18 ± 2,00·10 ^{-3 a}
Ácido palmítico	C16:0	12,33 ± 0,08 ^b	13,65 ± 0,27 ^a	6,62 ± 0,23 ^d	8,85 ± 0,06 ^c
Ácido palmitoleico	C16:1	0,11 ± 1,00·10 ^{-3 b}	0,30 ± 0,01 ^a	0,07 ± 0,01 ^c	0,11 ± 1,00·10 ^{-3 b}
Ácido margárico	C17:0	0,11 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,03 ^a	0,05 ± 4,00·10 ^{-3 a}	*
Ácido esteárico	C18:0	5,50 ± 2,00·10 ^{-3 a}	4,34 ± 0,01 ^b	2,70 ± 0,05 ^d	3,83 ± 3,00·10 ^{-3 c}
Ácido oleico (ω9)	C18:1	28,83 ± 0,04 ^b	69,61 ± 0,32 ^a	14,40 ± 0,02 ^c	29,36 ± 0,07 ^b
Ácido linoleico (ω6)	C18:2 (n-6)	51,96 ± 0,04 ^b	10,29 ± 0,05 ^d	61,38 ± 0,11 ^a	50,80 ± 0,10 ^c
Ácido α-linolénico o ALA (ω3)	C18:3 (n-3)	0,35 ± 0,01 ^c	0,31 ± 0,01 ^c	14,12 ± 0,11 ^a	5,58 ± 0,04 ^b
Ácido γ-linolénico o GLA (ω6)	C18:3 (n-6)	*	*	0,16 ± 0,02 ^b	0,26 ± 1,00·10 ^{-3 a}
Ácido araquídico	C20:0	0,41 ± 1,00·10 ^{-3 b}	0,68 ± 0,01 ^a	0,07 ± 3,00·10 ^{-3 c}	*
Ácido eicosenoico	C20:1	*	0,22 ± 0,01 ^a	0,23 ± 0,01 ^a	*
Ácido behénico	C22:0	0,10 ± 0,04 ^a	0,14 ± 0,05 ^a	*	*
Ácido lignocérico	C24:0	*	*	*	0,25 ± 1,00·10 ⁻³

Valores expresados en porcentaje (%).
 (*) No se detectó ese ácido graso en la muestra.
 Los resultados son la media ± desviación estándar de tres réplicas. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre las distintas muestras de aceite (p < 0,05) según el test de rangos múltiples de Tukey.

El perfil de ácidos grasos del AQ mostró diferencias estadísticamente significativas respecto a los otros aceites analizados. El ácido láurico (C12:0) y el ácido γ -linolénico o GLA (C18:3, ω 6) se encontraron solamente en AN y AQ, siendo, en términos comparativos, mayores en AQ ($p < 0,05$), pues sus cantidades absolutas resultaron bajas. Respecto a los ácidos grasos detectados en todos los aceites estudiados, AQ presentó diferencias estadísticamente significativas en todos los casos, a excepción del ácido palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1, ω 9), que mostraron el mismo valor que ASC ($p > 0,05$). El ácido mirístico (C14:0) fue significativamente mayor en AQ, y el ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), linoleico (C18:2, ω 6) y α -linolénico (C18:3, ω 3) obtuvieron valores más bajos ($p < 0,05$). Por otra parte, el ácido lignocérico (C24:0) solamente se encontró en AQ. Considerando la composición de ácidos grasos de AQ en sí, en general, el ácido linoleico (C18:2, ω 6), el ácido oleico (C18:1, ω 9) y el ácido α -linolénico (C18:3, ω 3) representaron el ≈ 85 % de los ácidos grasos totales, con valores aproximados de 51 %, 29 % y 6 %, respectivamente. También se encontró un porcentaje considerable de ácidos grasos saturados, incluyendo un ≈ 9 % de ácido palmítico (C16:0) y un ≈ 4 % de ácido esteárico (C18:0), así como una pequeña fracción ($< 0,3$ %) de un ácido graso poliinsaturado de la serie omega-6, este es el GLA. Por otra parte, el ácido láurico (C12:0), el ácido mirístico (C14:0), el ácido palmitoleico (C16:1) y el ácido lignocérico (C24:0) representaron en total < 1 %. En base a todo el perfil de ácidos grasos obtenido, AC obtuvo unos valores aproximados de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de ≈ 13 %, ≈ 30 % y ≈ 58 %, respectivamente. Lo que da lugar a una relación ω 6/ ω 3 de 8,2. Estos resultados coinciden con lo descrito por [Chen *et al.* \(2019\)](#) y [Benito-Román *et al.* \(2018\)](#) para el aceite de quinoa.

En segundo lugar, se exponen los resultados obtenidos para ASC. En este caso, ASC, AC y AN presentaron los mismos valores para el ácido butírico (C4:0) y el ácido margárico (C17:0) ($p > 0,05$), y también en estos tres se detectó el ácido araquídico (C20:0) ($p < 0,05$). El ácido behénico (C22:0) se detectó solamente en ASC y AC ($p > 0,05$). En relación con los ácidos grasos comunes a todos los aceites estudiados, ASC presentó diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los casos. Las excepciones fueron el ácido mirístico (C14:0) y el ácido α -linolénico (C18:3, ω 3), cuyos valores fueron iguales

en AC ($p > 0,05$), así como el ácido palmitoleico y oleico mencionados anteriormente, que coincidieron con AQ. El ácido esteárico (C18:0) fue significativamente mayor en ASC, y el ácido palmítico (C16:0) y linoleico presentaron valores más bajos ($p < 0,05$). Referente al perfil y composición de ácidos grasos de ASC, el ácido linoleico ($\approx 52\%$ C18:2, $\omega 6$), el ácido oleico ($\approx 29\%$ C18:1, $\omega 9$) y el ácido α -linolénico (C18:3, $\omega 3$) representaron el $\approx 81\%$ de los ácidos grasos totales, un porcentaje ligeramente inferior a AQ debido a que el valor de ácido α -linolénico ($\approx 0,4\%$ C18:3, $\omega 3$) fue significativamente más bajo. Dado que tampoco se detectaron ácidos grasos poliinsaturados de las series omega-3 y omega-6, se obtuvo una relación $\omega 6/\omega 3$ considerablemente mayor a la anterior, de 147,6. Como AGS mayoritarios se encontraron el ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0), con cifras del $\approx 12\%$ y $\approx 6\%$, respectivamente. El resto de los ácidos grasos detectados (butírico C4:0, mirístico C14:0, palmitoleico C16:1, lignocérico C24:0, margárico C17:0, araquídico C20:0, y behénico C22:0) representaron un $\approx 1\%$ del total. En resumen, ASC presentó una distribución aproximada de AGS, MUFA y PUFA del $\approx 19\%$, $\approx 29\%$ y $\approx 52\%$, respectivamente.

Finalmente, al comparar con la literatura científica ([Zhang et al., 2025](#)), el perfil lipídico obtenido para ASC concuerda con lo reportado, situándose dentro de los rangos descritos y destacándose como un aceite rico en ácidos grasos insaturados. Además, estos autores señalaron que la composición de ácidos grasos del aceite de semilla de calabaza puede verse influenciada por factores ambientales (clima, suelo y área de cultivo), genéticos (variedad de calabaza) y tecnológicos (métodos de extracción), afectando especialmente al contenido de ácido oleico y ácido linoleico.

Además de la significancia estadística observada para ciertos ácidos grasos entre los distintos tipos de aceite, expuesta previamente, el perfil de ácidos grasos de ASC fue, en general, similar al observado para AC. En este último se detectó, además, el ácido eicosenoico (C20:1), cuyo porcentaje fue equivalente al observado en AN ($p > 0,05$). Respecto a los ácidos grasos comunes en todos los aceites analizados, AC mostró las concentraciones más elevadas en los siguientes casos: ácido palmítico (C16:0), ácido palmitoleico (C16:1) y ácido oleico (C18:1, $\omega 9$) ($p < 0,05$). Por el contrario, presentó valores significativamente inferiores de ácido esteárico (C18:0) y la menor

concentración de ácido linoleico (C18:2, ω 6) ($p < 0,05$). El ácido araquídico (C20:0) se identificó en ASC, AC y AN, siendo AC el aceite con mayor concentración ($p < 0,05$). Como se ha comentado, AC destacó por su alta concentración de ácido oleico (C18:1, ω 9) con un ≈ 70 %, el contenido más bajo de ácido linoleico (≈ 10 % C18:2, ω 6), así como un $\approx 0,3$ % de ácido α -linolénico (C18:3, ω 3); representando estos un ≈ 80 % del total de ácidos grasos. Los AGS mayoritarios fueron el ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0), con valores que alcanzaron el ≈ 14 % y el ≈ 4 %, respectivamente. El resto de los ácidos grasos (butírico C4:0, mirístico C14:0, palmitoleico C16:1, lignocérico C24:0, margárico C17:0, araquídico C20:0, behénico C22:0 y eicosenoico C20:1), se detectaron en proporciones minoritarias, sumando entre todos ellos aproximadamente un 1,6 % del total. Por tanto, el perfil lipídico de AC, según el grado de insaturación, fue de ≈ 19 % AGS, ≈ 70 % MUFA y ≈ 11 % PUFA, destacando su elevado contenido de omega-9 o ácido oleico (C18:1) y presentando un ratio ω 6/ ω 3 de 33,4.

Se sabe que la fracción de aceite del tubérculo de chufa es comparable al aceite de oliva en su perfil de ácidos grasos, dominado principalmente por el ácido oleico (Ezeh *et al.*, 2016). Los resultados obtenidos para AC concuerdan con los reportados por Ezech *et al.* (2014), Ezech *et al.* (2016) y Mohdaly (2019). Ezech *et al.* (2016) destacaron que factores como el origen de los tubérculos, la variabilidad genética, la edad del tejido, la temperatura y el estrés oxidativo pueden provocar variaciones en el contenido lipídico de las semillas oleaginosas. Por otro lado, el alto contenido de MUFA resulta deseable tanto por sus posibles beneficios para la salud como por su mayor estabilidad oxidativa. En este sentido, la baja proporción de PUFA en AC sería favorable desde el punto de vista de la vida útil, ya que disminuye la susceptibilidad a la peroxidación lipídica.

En última instancia, AN presentó el perfil de ácidos grasos con el mayor contenido de PUFA observado ($p < 0,05$), destacando el ácido linoleico (≈ 61 % C18:2, ω 6) y el ácido α -linolénico (≈ 14 % C18:3, ω 3). En contraste, mostró la concentración más baja de ácido oleico (≈ 14 % C18:1, ω 9) entre todas las muestras ($p < 0,05$). No obstante, la suma total de estos tres ácidos grasos representó ≈ 89 % del perfil lipídico. Asimismo, AN presentó las concentraciones más bajas de ácido palmítico (C16:0) y ácido esteárico (C18:0), con valores de ≈ 7 % y ≈ 3 %, respectivamente. Se identificó nuevamente el GLA o ácido γ -linolénico (C18:3, ω 6), aunque en menor proporción respecto a AQ (≈ 3 %; $p < 0,05$). Las

fracciones minoritarias de ácido láurico (C12:0), ácido mirístico (C14:0), ácido palmitoleico (C16:1) y ácido araquídico (C20:0) también mostraron las concentraciones más bajas detectadas ($p < 0,05$), con una representación conjunta de $\approx 0,2$ %. No se observaron diferencias significativas en la presencia de ácido butírico (C4:0), ácido margárico (C17:0) y ácido eicosenoico (C21:0) respecto a los aceites donde se detectaron, alcanzando un $\approx 0,45$ % del total de ácidos grasos. En conjunto, AN mostró el contenido más bajo en AGS (≈ 10 %) y MUFA (≈ 15 %), y el más alto en PUFA (≈ 76 %) de todos los aceites estudiados, lo que resultó en una relación $\omega 6/\omega 3$ de 4,4. Estos resultados coinciden con los reportados por [Calvo *et al.* \(2023\)](#), quienes observaron valores de 10 % AGS, 16 % MUFA y 74 % PUFA. Hallazgos similares fueron reportados por [El Idrissi *et al.* \(2024\)](#), con un ratio $\omega 6/\omega 3$ en el rango de 3,25 a 3,70.



5.CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

1. Las muestras de harina presentaron diferencias significativas en su composición química, siendo la harina de semilla de dátil la que mostró el mayor contenido en fibra dietética total y en grasas, mientras que la harina de cáscara y semilla de granada destacó por su contenido en proteína y en actividad antioxidante, lo que sugiere una alta concentración de compuestos fenólicos o bioactivos en este subproducto.
2. En cuanto a las propiedades tecnofuncionales, la harina de bagazo de chufa desgrasado presentó la mayor capacidad de retención de agua y aceite, mientras que la harina de cáscara de naranja mostró los valores más altos de capacidad de hinchamiento y estabilidad de la emulsión, con diferencias estadísticamente significativas respecto al resto de muestras.
3. Las propiedades de color variaron significativamente entre las harinas estudiadas, siendo la muestra de cáscara de naranja liofilizada la que presentó los valores más altos de luminosidad (L), coordenada amarilla (b), saturación de color (C*) y tono (h°), mientras que la muestra de semilla de dátil fue la menos luminosa.
4. Todas las harinas obtuvieron valores de actividad de agua (Aw) inferiores a 0,60, lo que permite clasificarlas como microbiológicamente estables y adecuadas para su conservación.
5. En el análisis del perfil de ácidos grasos de los aceites vegetales, el aceite de nuez presentó el mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), especialmente ácido linoleico y ácido α -linolénico, mientras que el aceite de torta de chufa destacó por su alto contenido de ácido oleico (MUFA) y menor proporción de PUFA. Los aceites de semillas de calabaza y de quinoa presentaron un perfil intermedio con notable presencia de ácido linoleico.
6. El estudio logró cumplir con el objetivo general de caracterizar materias primas de distinta naturaleza para determinar su potencial uso en formulaciones alimentarias, proporcionando conocimiento detallado sobre composición, funcionalidad y

actividad antioxidante.



6.BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- Afrin, S.M., Acharjee, A., & Sit, N. (2022). Convective drying of orange pomace at different temperatures and characterization of the obtained powders. *Journal of Food Science and Technology*, 59(3), 1040-1052. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05108-2>
- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2022). *Resultados de la evaluación final del cumplimiento de los acuerdos del Plan de colaboración para la mejora de la composición de los alimentos y bebidas y otras medidas 2020. Estudio de composición de los alimentos y bebidas de los sectores de fabricación y distribución y análisis de las ofertas de menús y productos alimenticios en centros y establecimientos de restauración y distribución automática en 2021*. Ministerio de Consumo. Consultado el 20 de julio de 2025, de https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/evaluacion_final_reduccion_nutrientes.pdf
- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2024). *Estudio ALADINO 2023: Estudio sobre Alimentación, Actividad Física, Desarrollo Infantil y Obesidad en España 2023*. Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030. Consultado el 20 de julio de 2025, de https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/ALADINO_AESAN.pdf
- Akasha, I.A., Campbell, L. & Euston, S.R. (2012). Extraction and Characterisation of Protein Fraction from Date Palm Fruit Seeds. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6, 10-25.
- Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., & Al-Rawahy, F. (2007). Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and their by-products. *Food Chemistry*, 104(3), 943-947. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.051>
- Al-Farsi, M.A., & Lee, C.Y. (2008). Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds. *Food Chemistry*, 108(3), 977-985. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.009>
- Barros, H.R.d.M., Ferreira, T.A.P.d.C. & Genovese, M.I. (2012). Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*, 134(4), 1892-1898. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.090>
- Benito-Román, O., Rodríguez-Perrino, M., Sanz, M.T., Melgosa, R. & Beltrán, S. (2018). Supercritical carbon dioxide extraction of quinoa oil: Study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality. *The Journal of Supercritical Fluids*, 139, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.05.009>

- Botella Martínez, C.M. (2024). Formulación de emulsiones gelificadas con aceites saludables y harinas de pseudocereales para la sustitución de grasa en productos cárnicos [Tesis Doctoral, Universidad Miguel Hernández]. <https://hdl.handle.net/11000/35686>
- Botella-Martínez, C., Pérez-Álvarez, J.A., Fernández-López, J. & Viuda-Martos, M. (2024). Innovative formulation in pâté using a gelled emulsion of hemp oil (*Cannabis sativa* L.) as fat replacer. *LWT*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116630>
- Botella-Martínez, C., Pérez-Álvarez, J.A., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J. & Viuda-Martos, M. (2021). Assessment of chemical, physicochemical, and lipid stability properties of gelled emulsions elaborated with different oils chia (*Salvia hispanica* L.) or hemp (*Cannabis sativa* L.) and pseudocereals. *Foods*, 10(7), 1463. <https://doi.org/10.3390/foods10071463>
- Bouhlali, E.d.T., Alem, C., Ennassir, J., Benlyas, M, Mbark, A.N., Zegzouti, Y.F. (2017). Phytochemical compositions and antioxidant capacity of three date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds varieties grown in the South East Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4), 350-357. <https://doi.org/10.1016/j.issas.2015.11.002>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25, 30.
- Calvo, F., Trentacoste, E. & Silvente, S. (2023). Influence of irrigation regime and seasonal temperatures on nut quality and the oil fatty acid profile of walnuts (*Juglans regia* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(8). <https://doi.org/10.1016/j.issas.2023.07.004>
- Chen, Q., Wang, D., Tan, C., Hu, Y., Sundararajan, B. & Zhou, Z. (2020). Profiling of flavonoid and antioxidant activity of fruit tissues from 27 Chinese local citrus cultivars. *Plants*, 9(2), 196. <https://doi.org/10.3390/plants9020196>
- Chen, Y.S., Aluwi, N.A., Saunders, S.R., Ganjyal, G.M. & Medina-Meza, I.G. (2019). Metabolic fingerprinting unveils quinoa oil as a source of bioactive phytochemicals. *Food Chemistry*, 286, 592-599. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.016>
- Dewan, A., Dawra, S., Kaushik, N., Singh, A., Thakur, S., Kaur, S. & Xavier, J.R. (2024). Process characterization for tisane development using pomegranate waste: an herbal drink optimization strategy. *Sustainable Food Technology*, 2, 806-815. <https://doi.org/10.1039/D3FB00202K>
- Djaoudene, O., Mansinhos, I., Gonçalves, S., Jara-Palacios, M. J., Bachir Bey, M., & Romano, A. (2021). Phenolic Profile, Antioxidant Activity and Enzyme Inhibitory Capacities of Fruit and Seed Extracts from Different Algerian Cultivars of Date (*Phoenix dactylifera* L.) Were Affected by in Vitro Simulated Gastrointestinal Digestion. *South African Journal of Botany*, 137, 133-148. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.015>

- Dorado, C., Zhao, W., Wood, D., & Plotto, A. (2025). Properties of steam exploded orange peel fiber as compared to commercial citrus fiber and peel powders. *Sustainable Food Technology*, 3(3), 665-676. <https://doi.org/10.1039/d4fb00286e>
- El Idrissi, Z.L., El Guezane, C., Boujemaa, I., El Bernoussi, S., Sifou, A., El Moudden, H., Ullah, R., Bari, A., Goh, K.W., Goh, B.H., Bouyahya, A., Harhar, H. & Tabyaoui, M. (2024). Blending cold-pressed peanut oil with omega-3 fatty acids from walnut oil: Analytical profiling and prediction of nutritive attributes and oxidative stability. *Food Chemistry: X*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101453>
- Essa, R.Y. & Elsebaie, E.M. (2022). New fat replacement agent comprised of gelatin and soluble dietary fibers derived from date seed powder in beef burger preparation. *LWT*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113051>
- Eurostat. (2024). *Overweight and obesity – BMI statistics*. Statistics Explained. Consultado el 20 de julio de 2025, de [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Overweight and obesity - BMI statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Overweight_and_obesity_-_BMI_statistics)
- Ezeh, O., Gordon, M. H., & Niranjana, K. (2014). Tiger nut oil (*Cyperus esculentus* L.): A review of its composition and physico-chemical properties: Tiger nut oil (*Cyperus esculentus* L.). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(7), 783-794. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300446>
- Ezeh, O., Gordon, M. H., & Niranjana, K. (2016). Enhancing the recovery of tiger nut (*Cyperus esculentus*) oil by mechanical pressing: Moisture content, particle size, high pressure and enzymatic pre-treatment effects. *Food Chemistry*, 194, 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.150>
- Feng, Y., Zhang, Y., Huang, K., Li, S., Cao, H. & Guan, X. (2025). Application of fat replacers in low-fat starch-based foods: Type, formulation and action mechanism on food quality. *International Journal of Biological Macromolecules*, 309(Pt 3). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142855>
- Folch, J., Lees, M. y Stanley, G. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal Of Biological Chemistry*, 226(1), 497-509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5)
- Gasparre, N., Garzon, R., Marín, K., & Rosell, C.M. (2024). Exploring the integration of orange peel for sustainable gluten-free flatbread making. *LWT – Food Science and Technology*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115969>
- Genskowsky, E., Puente, L.A., Pérez-Álvarez, J.A., Fernández-López, J., Muñoz, L.A., Viuda-Martos, M. (2016). Determination of polyphenolic profile, antioxidant activity and antibacterial properties of maqui [*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz] a Chilean blackberry. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 96, 4235-4242.

- Ghnimi, S., Umer, S., Karim, A., & Kamal-Eldin, A. (2017). Date fruit (*Phoenix dactylifera* L.): An underutilized food seeking industrial valorization. *NFS Journal*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.12.001>
- Han, L., Zhang, J., & Cao, X. (2021). Effects of orange peel powder on rheological properties of wheat dough and bread aging. *Food Science & Nutrition*, 9(2), 1061-1069. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2080>
- Hasnaoui, N., Wathelet, B. & Jiménez-Araujo, A. (2014). Valorization of pomegranate peel from 12 cultivars: Dietary fibre composition, antioxidant capacity and functional properties. *Food Chemistry*, 160, 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.089>
- Hegab, D.Y., El-Sharkawy, N.I., Moustafa, G.G., Abd-Elhakim, Y.M., Said, E.N., Metwally, M.M.M., & Saber, T.M. (2025). Pumpkin seeds oil rescues colchicine-induced neurotoxicity in rats via modifying oxidative stress, DNA damage, and immunoexpression of BDNF and GFAP. *Tissue & Cell*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2025.102792>
- Hernández-Olivas, E., Asensio-Grau, A., Calvo-Lerma, J., García-Hernández, J., Heredia, A. & Andrés, A. (2022). Content and bioaccessibility of bioactive compounds with potential benefits for macular health in tiger nut products. *Food Bioscience*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101879>
- Ihenetu, S.C., Ibe, F.C. & Inyamah, P.C. (2021). Comparative study of the properties of yellow and brown *Cyperus esculentus* L. *World News of Natural Sciences*, 35, 25-37.
- Ijaz, H., Sun, S., Abdi, G. & Aadil, R.M. (2025). Production of one novel low-calorie structured lipid using tiger nut oil by enzymatic transesterification. *Applied Food Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100944>
- Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL). (s.f.). *BAT. Servicio Físico-Químico*. Consultado el 22 de junio de 2025, de <https://www.cial.uam-csic.es/servicios/bat/bat-fisico-quimico/>
- Jahan, E., Nupur, A. H., Majumder, S., Chandra Das, P., Aunsary, L., Aziz, M.G., Islam, M.A., & Rahman Mazumder, M.A. (2023). Physico-chemical, textural and sensory properties of breads enriched with date seed powder. *Food and Humanity*, 1, 165-173. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.05.012>
- Jia-Wei, K., Fu, M., AsyruI-Izhar, A.B., Suryaningsih, L., Utama, D.T., Alirezalu, K. & Ismail-Fitry, M.R. (2025). The role of plant oils/lipids as innovative fat replacers in various food products: A review. *Applied Food Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101010>

- Kamal, H., Habib, H.M., Ali, A., Show, P.L., Koyande, A.K., Kheadr, E., & Ibrahim, W.H. (2023). Food waste valorization potential: Fiber, sugar, and color profiles of 18 date seed varieties (*Phoenix dactylifera*, L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(2), 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.issas.2022.11.001>
- Li, Z.C., Zhang, Z.S., Xia, Y., Han, J.T., Chang, H.Z. & Wang, H.M. (2025). Extraction of tiger nut oil using ultrasound-assisted immiscible binary solvents and its effect on the quality of extracted oil and starch. *Ultrasonics Sonochemistry*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107191>
- Liu, X.X., Liu, H.M., Li, J., Yan, Y.Y., Wang, X.D., Ma, Y.X. & Q., G.Y. (2019). Effects of various oil extraction methods on the structural and functional properties of starches isolated from tigernut (*Cyperus esculentus*) tuber meals. *Food Hydrocolloids*, 95, 262-272. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.044>
- Lucas-González, R., Botella-Martínez, C., Salgado-Ramos, M., Pallarés, N., Martínez-Culebras, P.V., Barba, F.J., & Fernández-López, J. (2025). Upcycling supercritical-CO₂-defatted tiger nut milk Co-products into pork burgers: A sustainable fat replacer with enhanced quality properties. *Future Foods: A Dedicated Journal for Sustainability in Food Science*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100542>
- Marques, B.L.M., Passos, T.S., Dantas, A.I., de Lima, M.A.A., Moreira, S.M.G., Rodrigues, V.M., do Nascimento Dantas, M.R., Lopes, P.S., Gomes, A.P.B., da Silva Fernandes, R., Júnior, F.H.X., Sousa Júnior, F.C. de, & de Assis, C.F. (2024). Nanoencapsulation of quinoa oil enhanced the antioxidant potential and inhibited digestive enzymes. *Food Research International*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115066>
- Martínez-Martí, J., Sanz, T., Hernando, I. & Quiles, A. (2025). Emulsion gels structured with clementine pomace: a clean-label strategy for fat reduction. *Food Hydrocolloids*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111471>
- Martínez-Navarrete, N., García-Martínez, E. & Camacho, M.d.M. (2023). Characterization of the Orange Juice Powder Co-Product for Its Valorization as a Food Ingredient. *Foods*, 12(1), 97. <https://doi.org/10.3390/foods12010097>
- Mensink, R.P., Zock, P.L., Kester, A.D.M. & Katan, M.B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(5), 1146-1155. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.5.1146>
- Miao, W.B., Ma, S.Y., Peng, X.G., Qin, Z., Liu, H.M., Cai, X.S., & Wang, X.D. (2021). Effects of various roasting temperatures on the structural and functional properties of starches isolated from tigernut tuber. *LWT – Food Science and Technology*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112149>

- Mohdaly A.A.R.A.A. (2019). Tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) oil. In: Ramadan, M. (eds.) *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*. Springer, Cham (pp. 243-269). https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_11
- Multescu, M., Marinas, I.C., Susman, I.E. & Belc, N. (2022). Byproducts (flour, meals, and groats) from the vegetable oil industry as a potential source of antioxidants. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(3), 253. <https://doi.org/10.3390/foods11030253>
- Muñoz-Bas, C., Muñoz-Tebar, N., Candela-Salvador, L., Sayas-Barberá, E., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J.A., & Fernández-López, J. (2024). Development of value-added products suitable for food applications from fresh date fruit (*Confitera* cv.) and its co-products. *Food and Bioprocess Technology*, 17(5), 1265-1277. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03189-9>
- Muñoz-Tebar, N., Candela-Salvador, L., Pérez-Álvarez, J.A., Lorenzo, J.M., Fernández-López, J., & Viuda-Martos, M. (2024). Date (*Phoenix dactylifera* L. cv. Medjool) seed flour, a potential ingredient for the food industry: Effect of particle size on its chemical, technological, and functional properties. *Plants*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/plants13030335>
- Najjar, Z., Kizhakkayil, J., Shakoor, H., Platat, C., Stathopoulos, C. & Ranasinghe, M. (2022). Antioxidant Potential of Cookies Formulated with Date Seed Powder. *Foods*, 11, 448. <https://doi.org/10.3390/foods11030448>
- Nedviha, S., & Harasym, J. (2024). Functional and antioxidative characteristics of soft wheat and tiger nut (*Cyperus esculentus*) flours binary blends. *Foods*, 13(4), 596. <https://doi.org/10.3390/foods13040596>
- Obinna-Echem, P.C., Wachukwu-Chikaodi, H.I., & Dickson, O.A. (2020). Functional properties of tigernut and Cowpea flour blends. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(6). <https://doi.org/10.24018/ejfood.2020.2.6.173>
- Organización Mundial de la Salud (2025). *Obesidad y sobrepeso*. Consultado el 20 de julio de 2025, de <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/obesity-and-overweight>
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction: Antioxidant activity of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japan Journal of Nutrition*, 44(6), 307-315.
- Ranasinghe, M., Manikas, I., Maqsood, S., & Stathopoulos, C. (2022). Date components as promising plant-based materials to be incorporated into baked goods—A review. *Sustainability*, 14(2), 605. <https://doi.org/10.3390/su14020605>
- Ren, Y., Huang, L., Zhang, Y., Li, H., Zhao, D., Cao, J. & Liu, X. (2022). Application of emulsion gels as fat substitutes in meat products. *Foods*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/foods11131950>

- Salomón-Torres, R., Ortiz-Uribe, N., Valdez-Salas, B., Rosas-González, N., García-González, C., Chávez, D., Córdova-Guerrero, I., Díaz-Rubio, L., Haro-Vázquez, M.D.P., Mijangos-Montiel, J.L., Morales-Maza, A., Mahadevan, P., & Krueger, R. (2019). Nutritional assessment, phytochemical composition and antioxidant analysis of the pulp and seed of medjool date grown in Mexico. *PeerJ*, 7, e6821. <https://doi.org/10.7717/peerj.6821>
- Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Peñaranda, M., Fuentes-Zaragoza, E., Sendra, E., Sayas, E., & Pérez-Alvarez, J.A. (2011). Technological properties of date paste obtained from date by-products and its effect on the quality of a cooked meat product. *Food Research International*, 44(7), 2401-2407. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.034>
- Sánchez-Zapata, E., Fuentes-Zaragoza, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J.A. (2009). Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk ("Horchata") byproducts and its physicochemical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7719-7725. <https://doi.org/10.1021/jf901687r>
- Sanli, I., Ozkan, G., & Şahin-Yeşilçubuk, N. (2025). Green extractions of bioactive compounds from citrus peels and their applications in the food industry. *Food Research International*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116352>
- Santamaria, M., Ruiz, M., Garzon, R., & Rosell, C.M. (2024). Comparison of vegetable powders as ingredients of flatbreads: technological and nutritional properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(10), 7203-7212. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17441>
- Shwartz, E., Glazer, I, Ya'akov, I.B., Matityahu, I., Bar-Ilan, I., Holland, D.& Amir, R. (2009). Changes in chemical constituents during the maturation and ripening of two commercially important pomegranate accessions. *Food Chemistry*, 115(3), 965-973. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.036>
- Teh, H.E. (2016). *Extraction and characterization of functional components from fruit and vegetable processing waste* [Tesis doctoral, University of California]. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/extraction-characterization-functional-components/docview/1833195502/se-2?accountid=10336>
- Teixeira, F., Santos, B.A.d., Nunes, G., Soares, J.M., Amaral, L.A.d., Souza, G.H.O., Resende, J.T.V., Menegassi, B., Rafacho, B.P.M., Schwarz, K., Santos, E.F.d. & Novello, D. (2020). Addition of Orange Peel in Orange Jam: Evaluation of Sensory, Physicochemical, and Nutritional Characteristics. *Molecules*, 25(7). <https://doi.org/10.3390/molecules25071670>
- Tirado, D.F., Montero, P.M. y Acevedo, D. (2015). Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de Varias Matrices Alimentarias. *Información Tecnológica*, 26(2). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=en

- Vasilopoulou, D., Markey, O., Kliem, K.E., Fagan, C.C., Grandison, A.S., Humphries, D.J., Todd, S., Jackson, K.G., Givens, D.I. & Lovegrove, J.A. (2020). Reformulation initiative for partial replacement of saturated with unsaturated fats in dairy foods attenuates the increase in LDL cholesterol and improves flow-mediated dilatation compared with conventional dairy: the randomized, controlled REplacement of SaturatEd fat in dairy on Total cholesterol (RESET) study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 111(4), 739-748. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz344>
- Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J.D., García-Cabrera, K.E. y Velázquez-Ovalle, G. (2022). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales*, 9(1), 9-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Venkitasamy, C, Zhao, L., Zhang, R. & Pan, Z. (2019). Chapter 8 – Pomegranate. *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*, 181-216. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00008-3>
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Martín-Sánchez, A., Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C. & Pérez-Álvarez, J.A. (2012). Chemical, physico-chemical and functional properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) bagasses powder co-product. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 220-224. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.029>
- Wanderley, R.O.S., de Figueirêdo, R.M.F., Queiroz, A.J.M., dos Santos, F.S., Paiva, Y.F., Ferreira, J.P.L., de Lima, A.G.B., Gomes, J.P., Costa, C.C., da Silva, W.P., Santos, D.D.C., Maracajá, P.B. (2023). The Temperature Influence on Drying Kinetics and Physico-Chemical Properties of Pomegranate Peels and Seeds. *Foods*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/foods12020286>
- Wang, X.X., Wang, L.Y., Li, S.M., & Zhou, Z.K. (2024). Amelioration of tiger nut insoluble dietary fiber as a partial substitute for fat in meat emulsions: Techno-functional properties and in vitro protein digestibility. *Food Research International*, 197(Pt 1). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115167>
- Wang, Y., Qian, J., Cao, J., Wang, D., Liu, C., Yang, R., Li, X. & Sun, C. (2017). Antioxidant capacity, anticancer ability and flavonoids composition of 35 citrus (*Citrus reticulata* Blanco) varieties. *Molecules*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/molecules22071114>
- Wong, K.H. & Cheung, P.C.K. (2005). Dietary fibers from mushroom sclerotia: 1. Preparation and physicochemical and functional properties. *J Agric Food Chem.*, 53(24). <https://doi.org/10.1021/jf0510788>
- Wu, X., Zhang, J., Gong, X., Hu, X.Y., Zhang, X., Zhang, B. & Zhang, Q. (2025). A smart composite film derived from high amylose tigernut starch: Integrating antimicrobial and pH-indicating properties for beef preservation applications. *Food Chemistry: X*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102552>

- Yu, L., Wen, D., Tan, M., Wang, B., Wu, W., & Zhang, Y. (2024). Physicochemical and structural properties of soluble dietary fibres in navel orange peel modified by superfine grinding and their immunomodulatory activities. *Food Chemistry Advances*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100752>
- Zaki, A.H., Saleh Gazwi, H.S., Hamed, M.M., Galal, S.M., Almehmadi, A.M., Almuraee, A.A., Alqurashi, A.F., & Yassien, E.E. (2024). The synergistic potential of orange peel extract: A comprehensive investigation into its phenolic composition, antioxidant, antimicrobial, and functional fortification properties in yogurt. *Food Chemistry: X*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101458>
- Zhang, G., Guo, J. & Guo, J. (2025). A sustainable approach in pumpkin seed oil processing line: Recent advances in pumpkin seed oil and oil processing by-products. *Food Chemistry: X*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102259>
- Zhang, G., Guo, J., & Guo, J. (2025). A sustainable approach in pumpkin seed oil processing line: Recent advances in pumpkin seed oil and oil processing by-products. *Food Chemistry: X*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102259>
- Zheng, W., Gao, B., Zhu, H. & Zhu, L. (2023). Chemical Compositions and Antioxidant Activities of Thirty-Seven Typical Pomegranates Grown in China. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2023/9915770>
- Zhou, L., Ali, I., Goh, B.H., Fu, J.Y., Manickam, S., Tang, S.Y. & Shen, Q. (2025). Enhancing meat emulsion gels with soy protein fibril and red palm oil Pickering emulsions: The role of emulsification techniques in chicken fat substitution. *LWT*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117348>



ANEXOS

En este apartado se presentan herramientas estadísticas en forma de representaciones gráficas, elaboradas mediante el software RStudio, las cuales complementan el análisis realizado y contribuyen a una interpretación más profunda de los resultados obtenidos. Las Figuras A.1 - A.5 muestran un Biplot de análisis de componentes principales (PCA), el cual permite visualizar la distribución de las muestras según los componentes principales, así como la contribución de las variables. También se representan diagramas de caja con análisis de varianza (ANOVA) y prueba post hoc de Tukey (Figuras A.6 – A.9). Estos permiten comparar grupos y detectar diferencias significativas entre medias. Para finalizar, en la Figura A.10 se incluye un mapa de calor con agrupamiento jerárquico (Clustered Heatmap), que permite visualizar simultáneamente la intensidad de las variables en cada muestra, así como identificar patrones de similitud mediante agrupamiento.

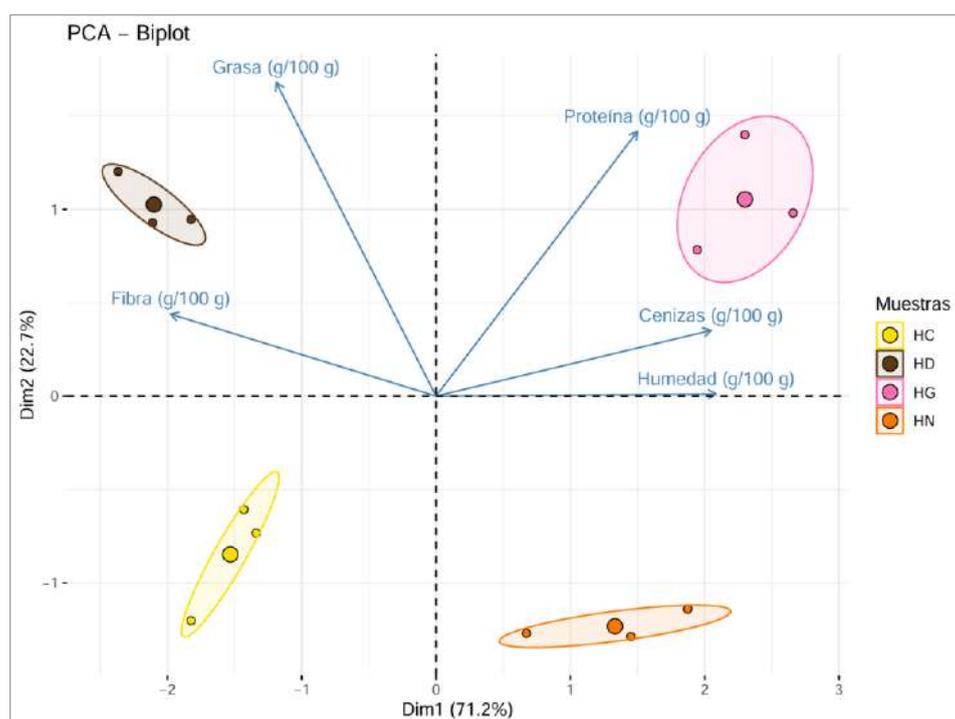


Figura A. 1. Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de la composición química de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada).
Fuente: Elaboración propia.

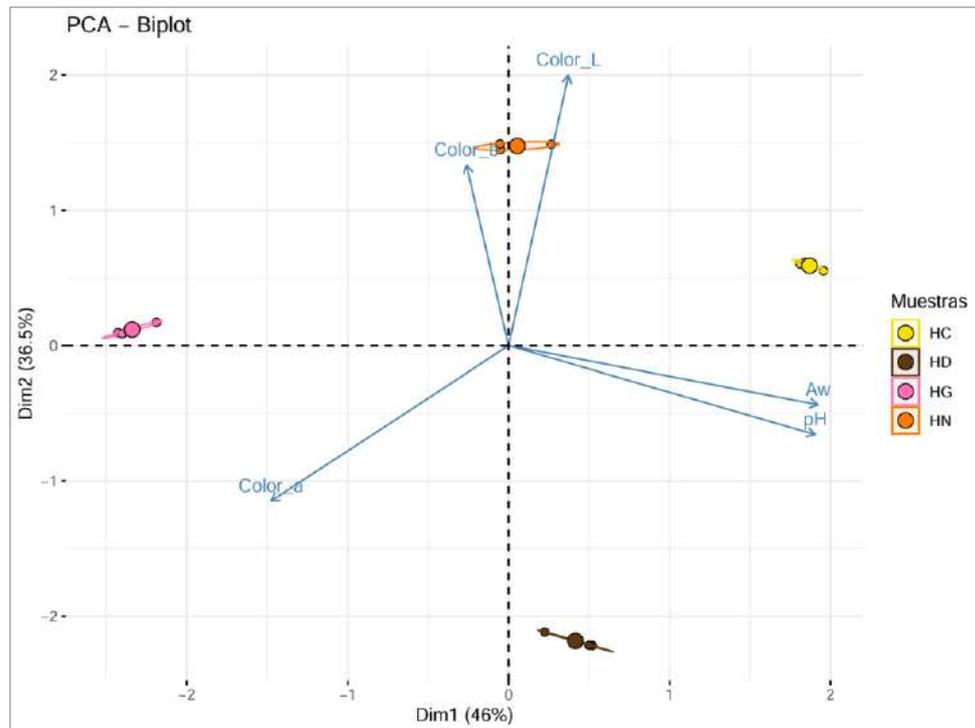


Figura A. 2. Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades fisicoquímicas de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: *Elaboración propia*.

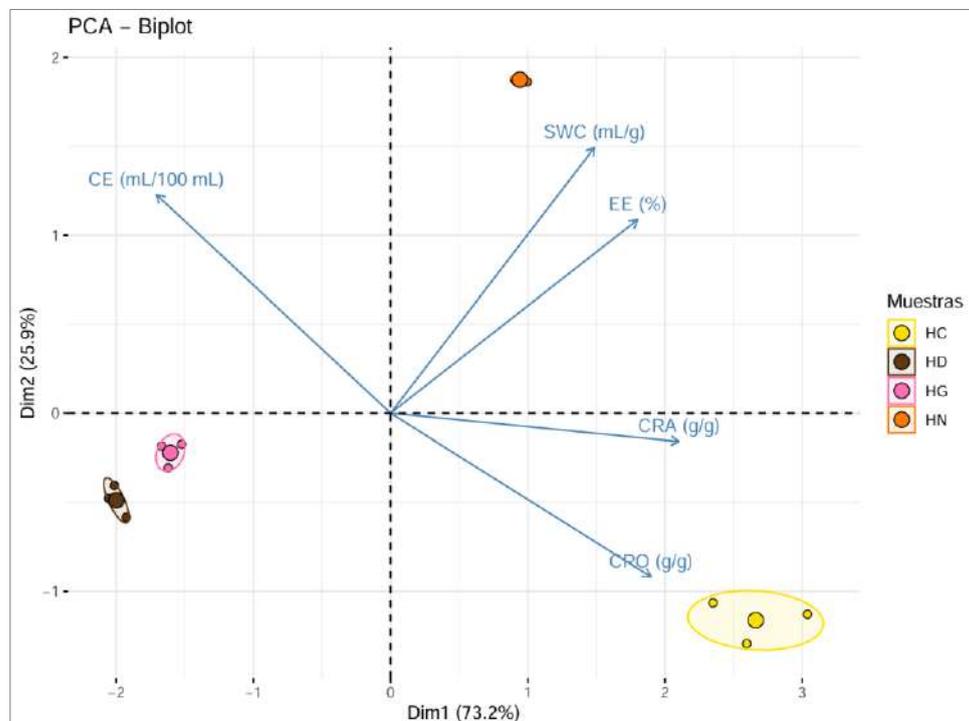


Figura A. 3. Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades tecnofuncionales de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: *Elaboración propia*.

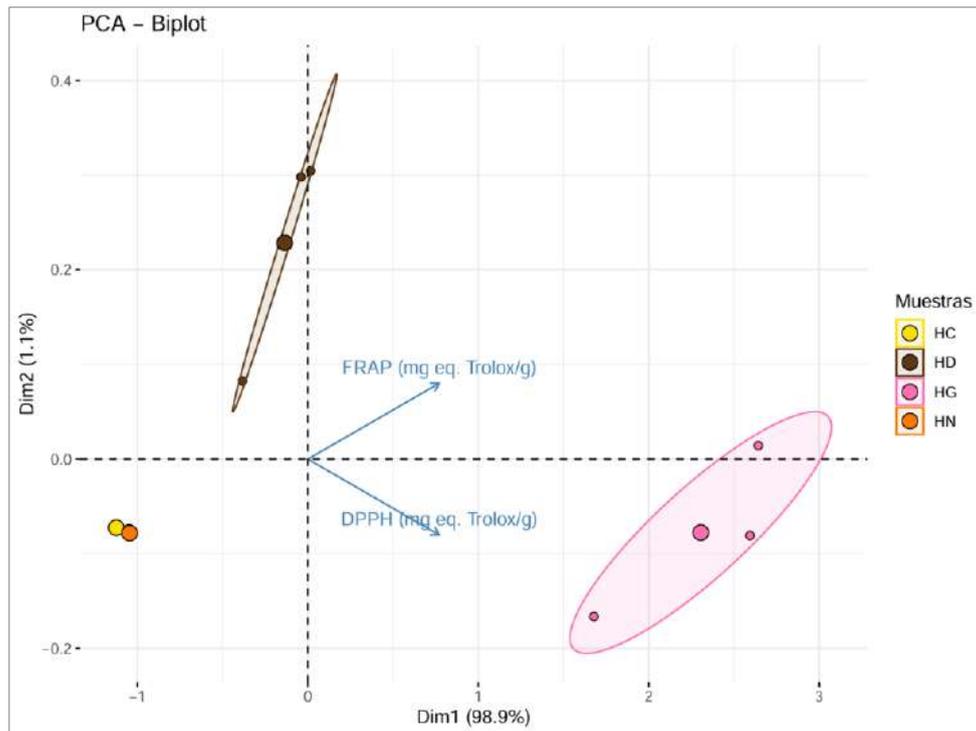


Figura A. 4. Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de la actividad antioxidante de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: *Elaboración propia.*

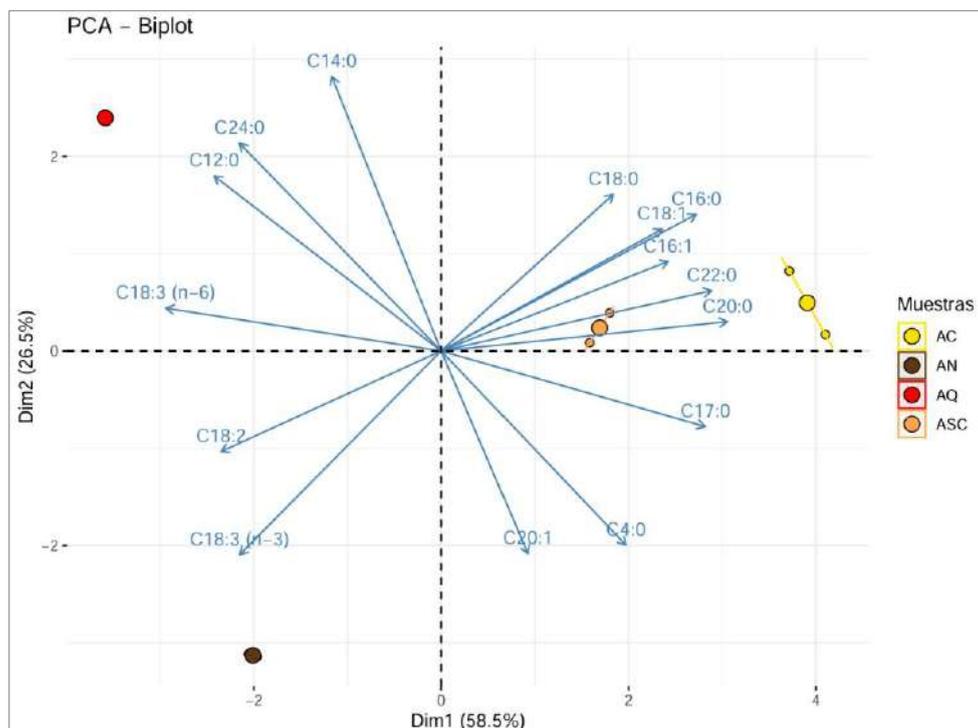


Figura A. 5. Biplot de análisis de componentes principales (PCA) del perfil de ácidos grasos de los cuatro aceites vegetales estudiados: AC (aceite de torta de chufa), AN (aceite de nuez), AQ (aceite de quinoa) y ASC (aceite de semillas de calabaza). Fuente: *Elaboración propia.*

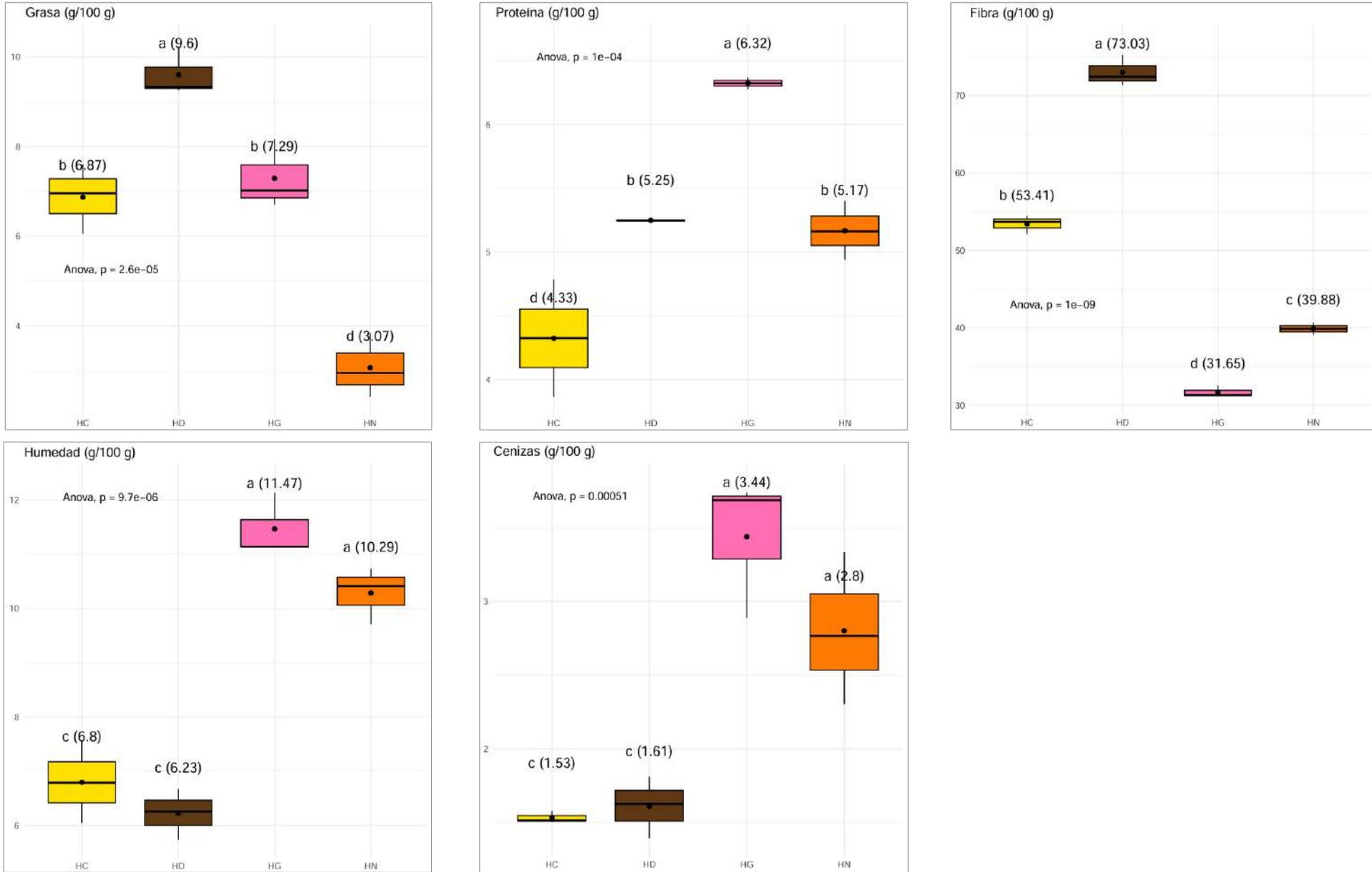


Figura A. 6. Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de la composición química de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: *Elaboración propia*.

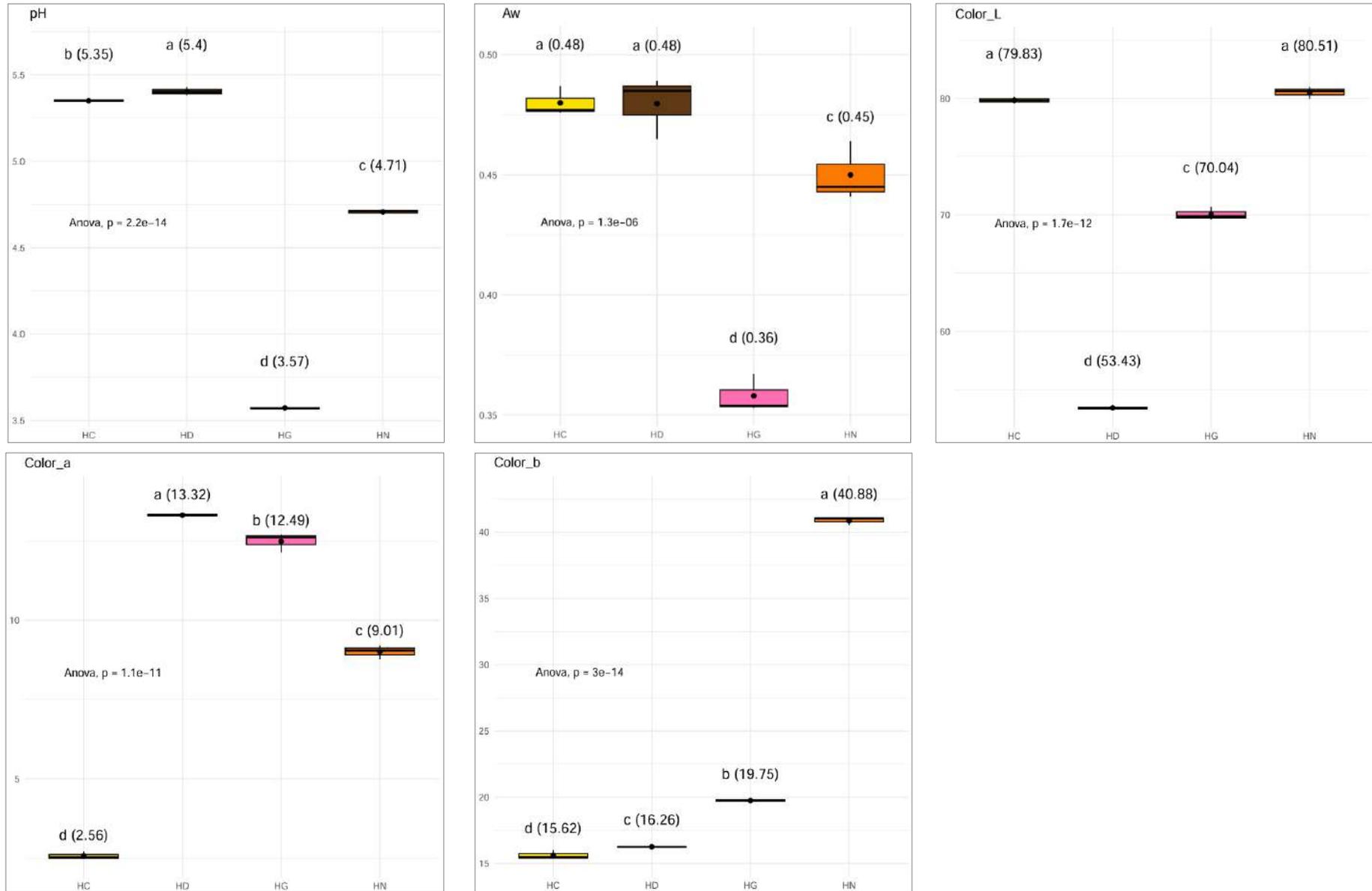


Figura A. 7. Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de las propiedades fisicoquímicas de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: *Elaboración propia*.

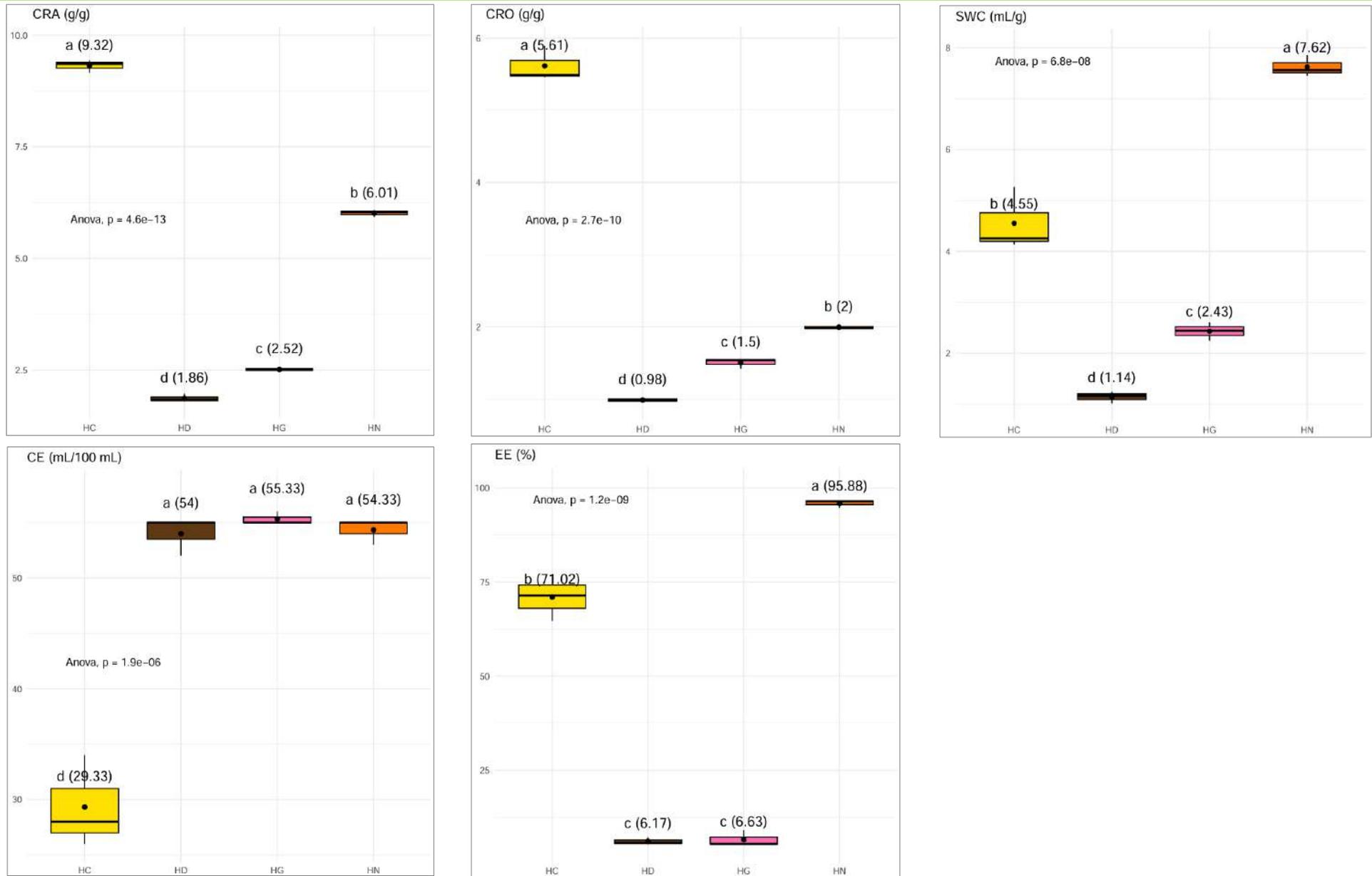


Figura A. 8. Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de las propiedades tecnofuncionales de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: *Elaboración propia*.

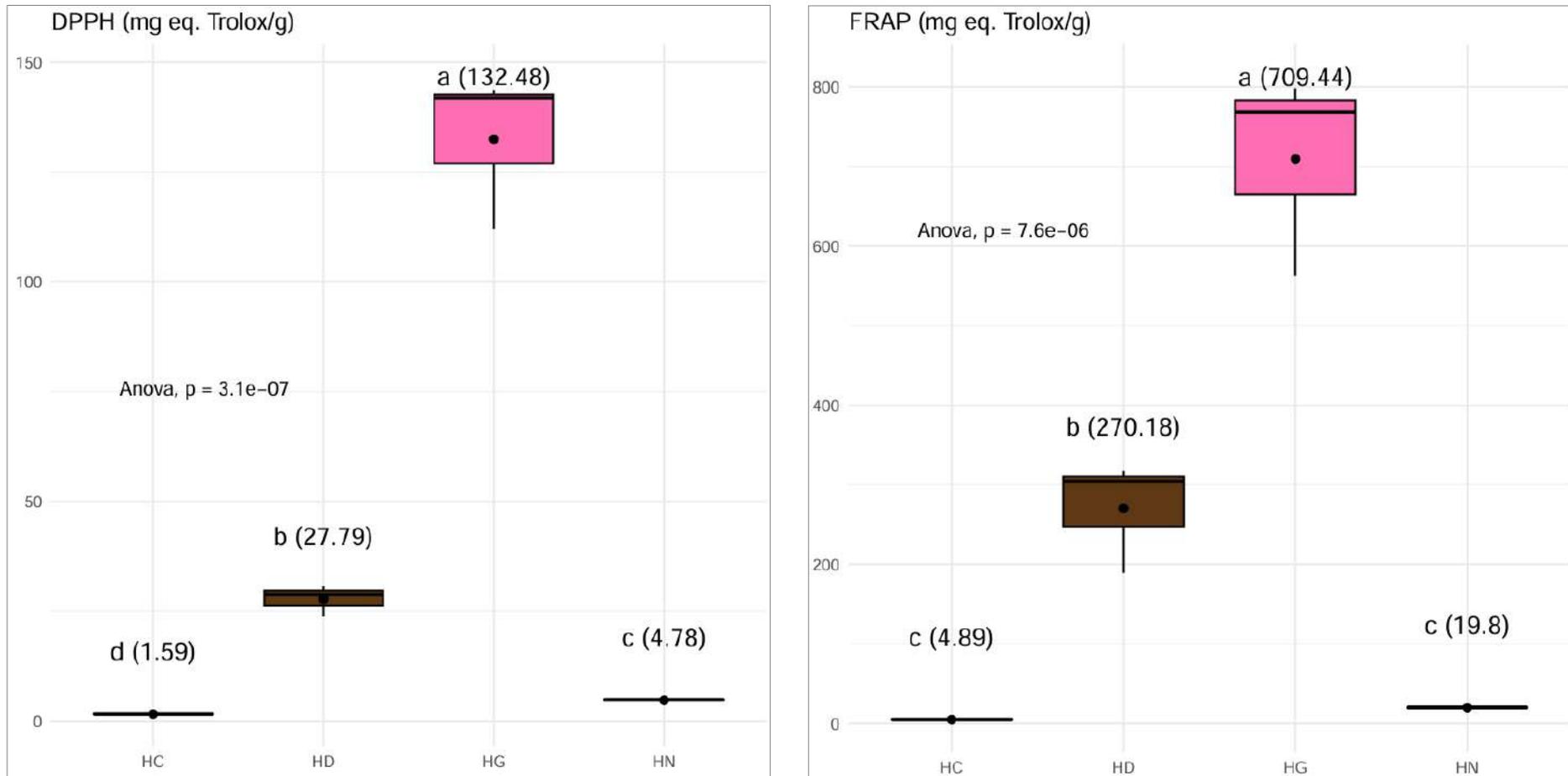


Figura A. 9. Diagramas de caja con ANOVA y prueba de Tukey de la actividad antioxidante de las cuatro muestras de harina estudiadas: HC (harina de bagazo de chufa desgrasado), HD (harina de semilla de dátil), HG (harina de cáscara y semilla de granada liofilizada) y HN (harina de cáscara de naranja liofilizada). Fuente: *Elaboración propia.*

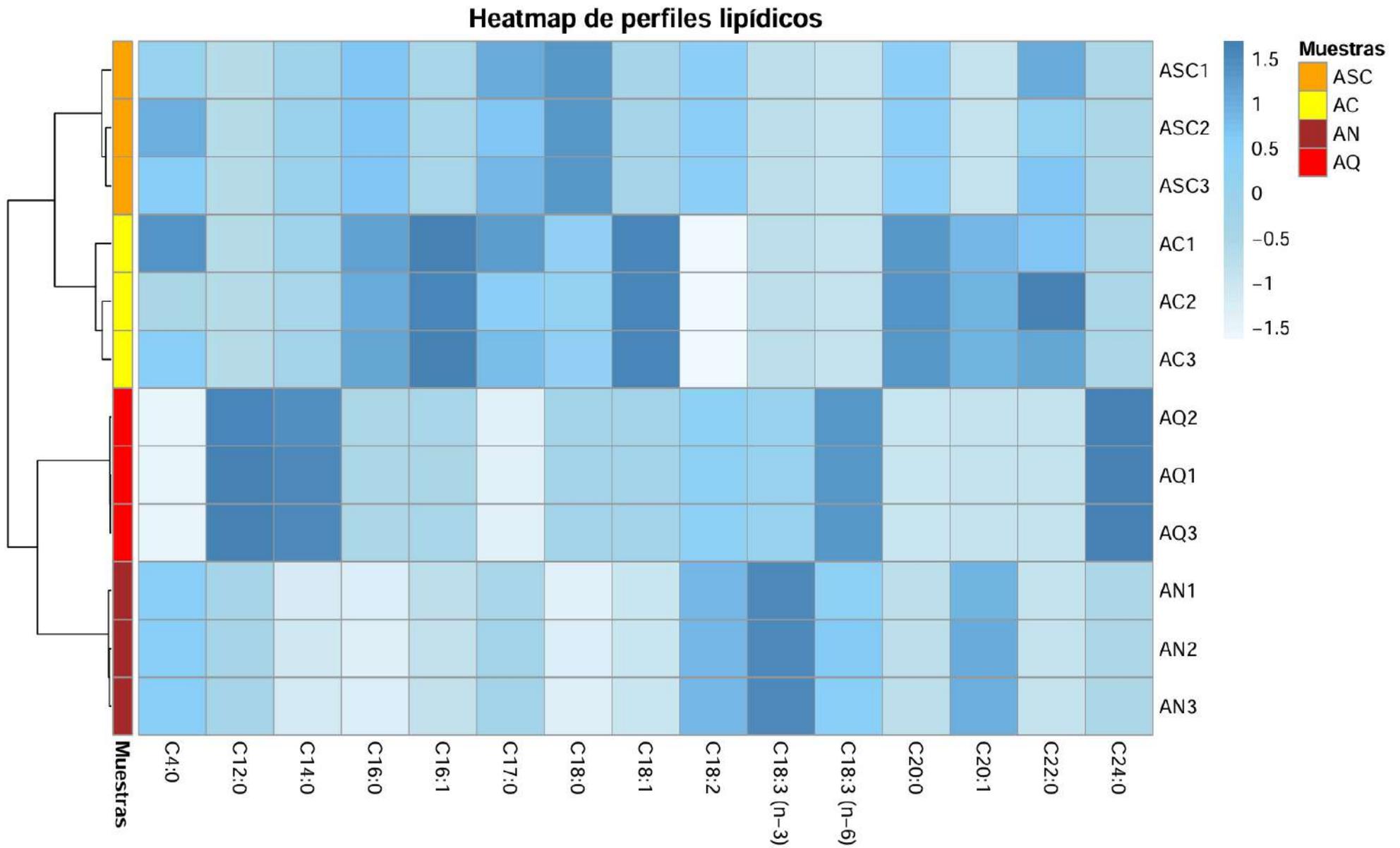


Figura A. 10. Mapa de calor con agrupamiento jerárquico del perfil de ácidos grasos de los cuatro aceites vegetales estudiados: AC (aceite de torta de chufa), AN (aceite de nuez), AQ (aceite de quinoa) y ASC (aceite de semillas de calabaza). *Fuente: Elaboración propia.*