



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Coordinadores y socios:

eAfoBy

# Valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria mediante métodos innovadores y sostenibles

Proyecto n.º: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



Co-funded by  
the European Union



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



La presente guía está dirigida a especialistas del sector agroalimentario con el objetivo de recoger información útil sobre la valorización de subproductos de la cadena de valor

Material editado con el apoyo del proyecto:  
“Valorización de los subproductos de la cadena agroalimentaria  
mediante métodos innovadores y sostenibles”  
Proyecto n.º: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

*“El apoyo de la Comisión Europea a la producción de esta publicación no constituye una aprobación de su contenido, que refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Agencia Nacional y la Comisión no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella”.*



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSIDADE DO PORTO



Co-funded by  
the European Union

Coordinator and partners

## COORDINADOR DEL PROYECTO

### **UNIVERSITATEA DE STIINTE AGRICOLE SI MEDICINA VETERINARA CLUJ NAPOCA.**

Dra. María Simona Chis

Dra. Adriana Păucean

Dra. Anca Corina Farcas

Dra. Simona María Man

Dra. Anamaría Pop

## ENTIDADES SOCIAS

### **P1. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Dra. Purificación García Segovia

Dr. Javier Martínez Monzó

Dra. Marta Igual Ramo

Dra. Carolina Contreras Monzón

### **P2. UNIVERSIDADE DO PORTO**

Dra. Beatriz Oliveira

Dra. Helena Ferrerira

Dra. Anabela Costa

### **P3. UNIVERSITATEA DE STIINTELE VIETII "REGELE MIHAI I"**

Dra. Ersilia- Alexa

Dra. Mónica Negrea

Dr. Ionel Jianu

### **P4. ROMPAN. FEDERACIÓN RUMANA DE LA INDUSTRIA DE LA MOLIENDA, PANADERÍA Y PRODUCTOS DE LA HARINA**

Dra. Daniela Victorita Voica

Ing. Dana Avram

D<sup>a</sup> Dana Marin



UNIVERSITAT  
POLITECNICA  
DE VALÈNCIA



Coordinator and partners



Co-funded by  
the European Union

# Índice

**Capítulo 1: Introducción a los subproductos de la cadena agroalimentaria**

**Capítulo 2: Fuentes de subproductos en cadenas agroalimentarias**

**Capítulo 3: Tecnologías innovadoras y sostenibles de valoración**

**Capítulo 4: Estrategias de Valoración para Potenciar el Potencial Nutricional y Funcional**

**Capítulo 5: Bioaccesibilidad y biodisponibilidad**



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



# Capítulo 1: Introducción a los subproductos de la cadena agroalimentaria



Co-funded by  
the European Union



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

## ÍNDICE:

1. Conceptos básicos
2. Legislación europea



Co-funded by  
the European Union

# Concepto de sistema alimentario circular, cero residuos y subproducto

**Sistema alimentario circular:** significa producir alimentos de forma menos dañina y más regenerativa. También se extiende a empresas alimentarias, chefs y nacionales, integrando restos de comida en sus platos, aplicando intercambios de alimentos o empaquetando los alimentos para usar menos plástico y materiales más biodegradables.

**Cero residuos:** pretende replantear la forma en que producimos y consumimos para preservar el valor y la energía incrustados en los recursos de nuestro planeta, permitiendo, al tiempo, que la civilización prospere. Mientras que la gestión de residuos busca convertirlos en recursos, el cero residuos consiste en evitar que los recursos se conviertan en residuos.

**Subproducto:** es un producto secundario derivado de un proceso de producción, de fabricación o de reacción química; no es el producto o servicio principal que se produce.

# Concepto de sostenibilidad y economía circular

**Sostenibilidad:** deriva etimológicamente del verbo francés soutenir, que significa "sostener" o "sostener", reflejando su énfasis fundamental en mantener y sostener sistemas a lo largo del tiempo.

En la actualidad se entiende como una integración sistémica y equilibrada del rendimiento económico, social y medioambiental, que tiene en cuenta explícitamente la equidad y los impactos dentro y entre generaciones.

**Economía circular:** un sistema regenerativo en el que los insumos de recursos, la generación de residuos, las emisiones y las pérdidas de energía se minimizan mediante la ralentización, el cierre y la reducción de los flujos de materiales y energía, logrados mediante el diseño de productos duraderos y estrategias como las 5 R (rechazar, reducir, reutilizar, reparar y reciclar).

# Concepto de subproductos agro o residuos agro

Los subproductos agroalimentarios o residuos agrícolas se obtienen principalmente de la producción, cosecha y procesamiento agrícola en zonas agrícolas y de industrias de procesamiento de alimentos como la extracción de oleaginosas, cervecería, producción de malta, molienda de cereales y procesamiento de frutas y verduras.

Subproductos de la industria de procesamiento de frutas y verduras, residuos y residuos de cultivos, subproductos de la industria del azúcar, almidón y confitería, subproductos de destilerías y cervecerías, subproductos de la industria de molienda de cereales y legumbres, y de la industria petrolera

# Concepto de digestión *in vivo*, *in vitro* e *in silico*

La **digestión *in vivo*** se realiza en organismos vivos. Es muy complejo desde una perspectiva biológica, pero también costoso y con fuertes implicaciones éticas.

La **digestión *in vitro*** implica una simulación en laboratorio. Es un método reproducible, ético y más barato.

La **digestión *in silico*** es una simulación computacional. Es útil para la predicción teórica, pero depende del modelo.

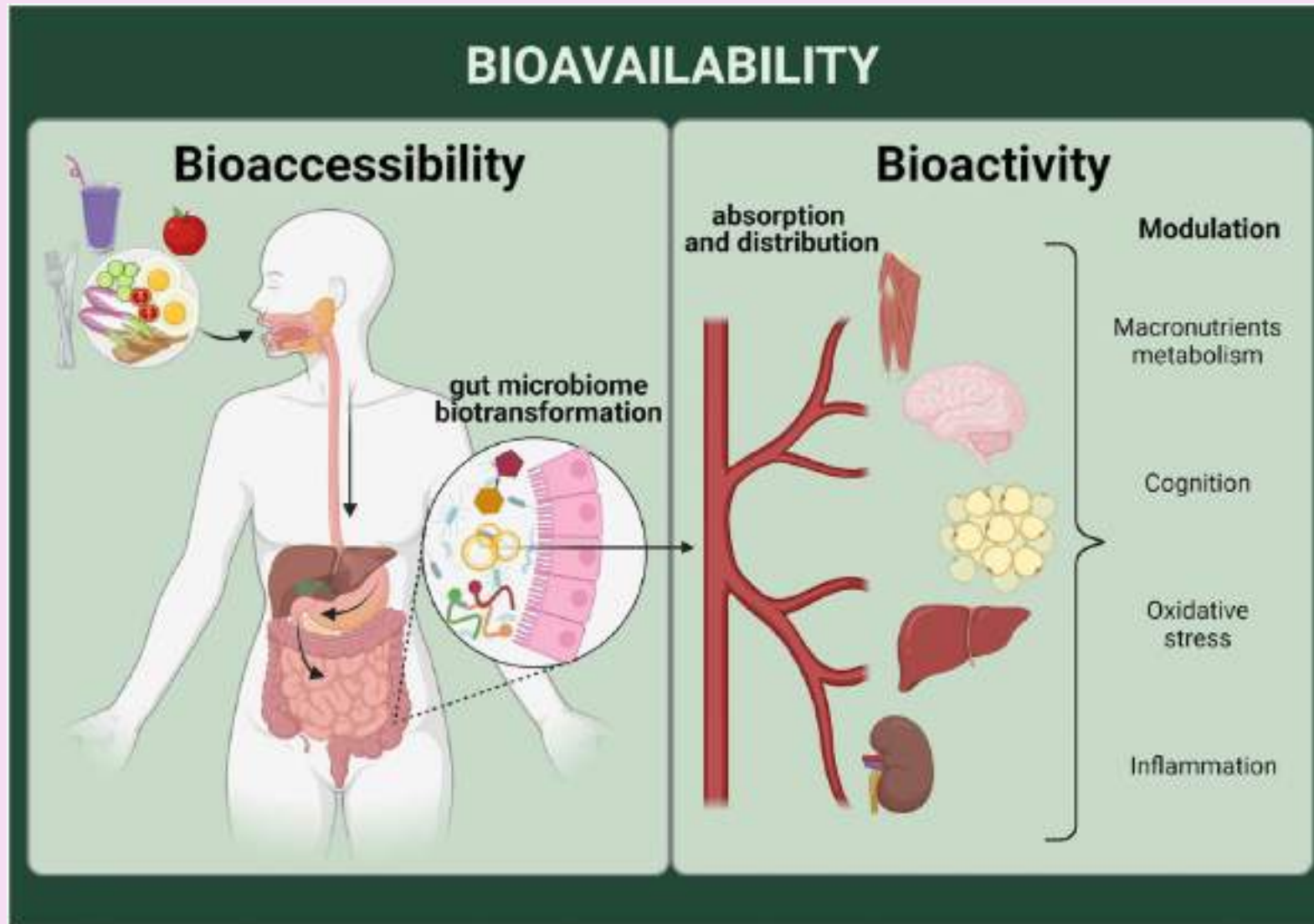
# Bioaccesibilidad, biodisponibilidad y bioactividad

**Biodisponibilidad:** la fracción absorbida y disponible para funciones fisiológicas o para almacenamiento.

**Bioaccesibilidad:** la fracción de un compuesto que se libera de la matriz alimentaria y queda disponible para su absorción.

**Bioactividad:** la capacidad de un compuesto para generar un efecto biológico beneficioso tras su absorción.

# Relación entre estos conceptos clave



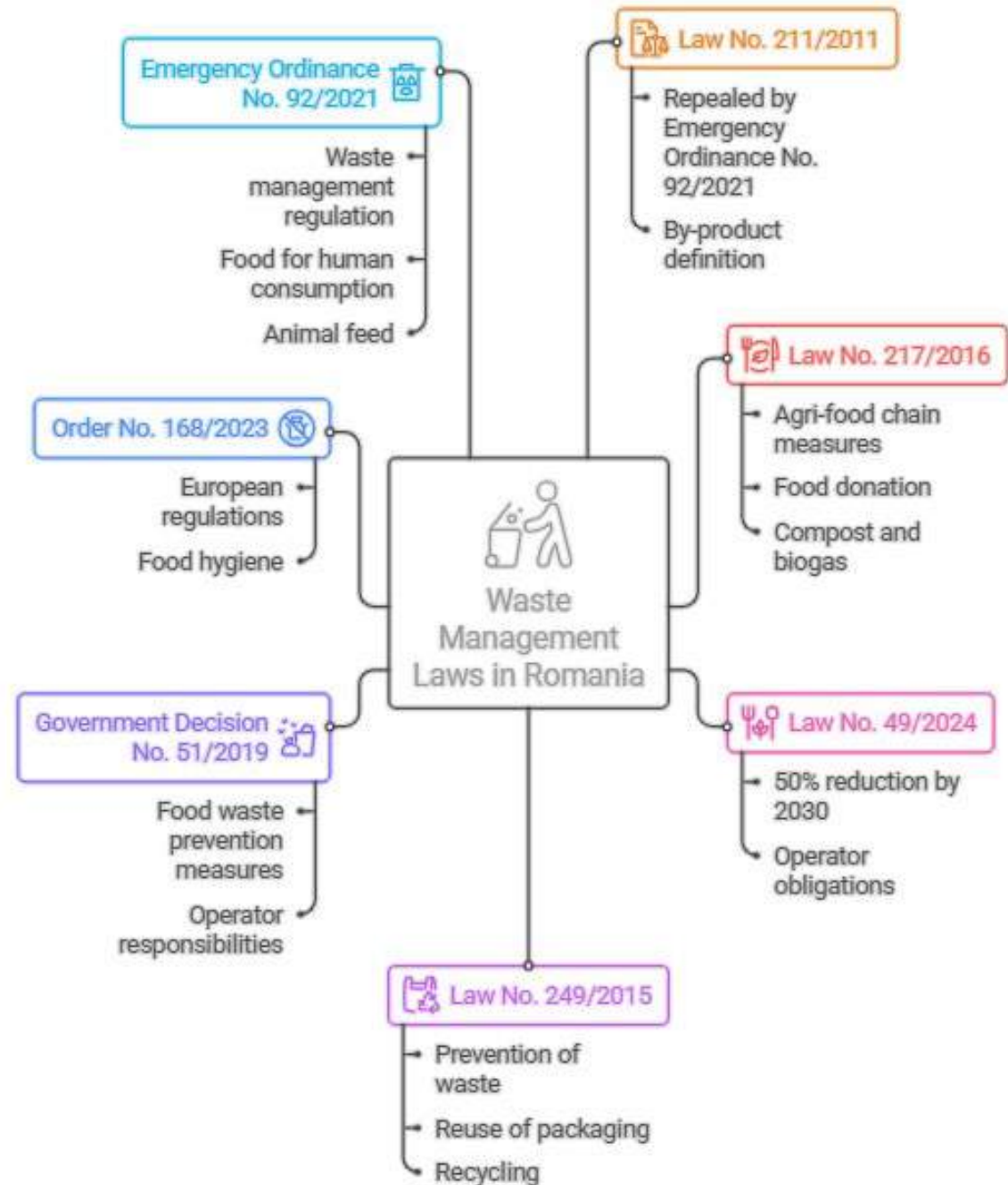
Rodrigues, D. B., et al.(2022). [Figure 1. Background and definitions] [Image]. In Trust your gut: Bioavailability and bioaccessibility of dietary compounds. Current Research in Food Science, 5, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.002>. Licence: [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

## 2. Legislación europea

### European legislation:

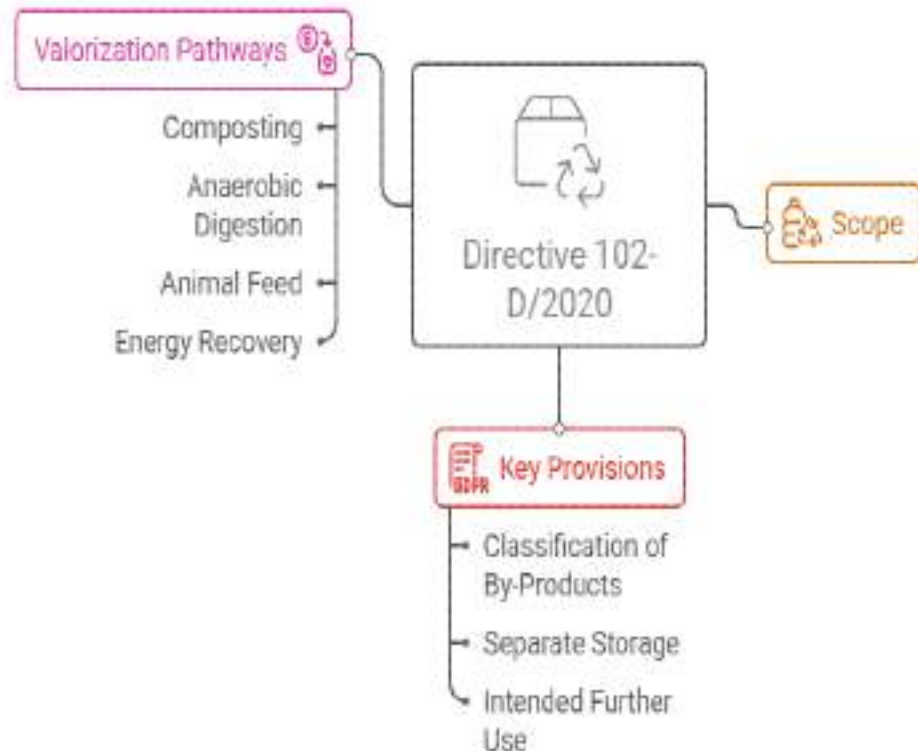
- **Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999** on landfill
- **Directive 2008/98/EC** of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives
- **Directive (EU) 2018/851** of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste
- **Directive (EU) 2018/850** of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 1999/31/EC on waste disposal
- **Commission Delegated Decision (EU) 2019/1597 of 3 May 2019** supplementing Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council with regard to the common methodology and minimum quality requirements for the uniform measurement of food waste levels.
- **Regulation (EC) no. 178/2002** - General principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and establishing procedures in the field of food safety

## 2.1. Legislación nacional rumana sobre la valoración y almacenamiento de subproductos de la cadena agroalimentaria



## 2.2. Legislación nacional portuguesa sobre la valoración y almacenamiento de subproductos de la cadena agroalimentaria

Directive 102-D/2020: Waste Management and By-Product Valorization

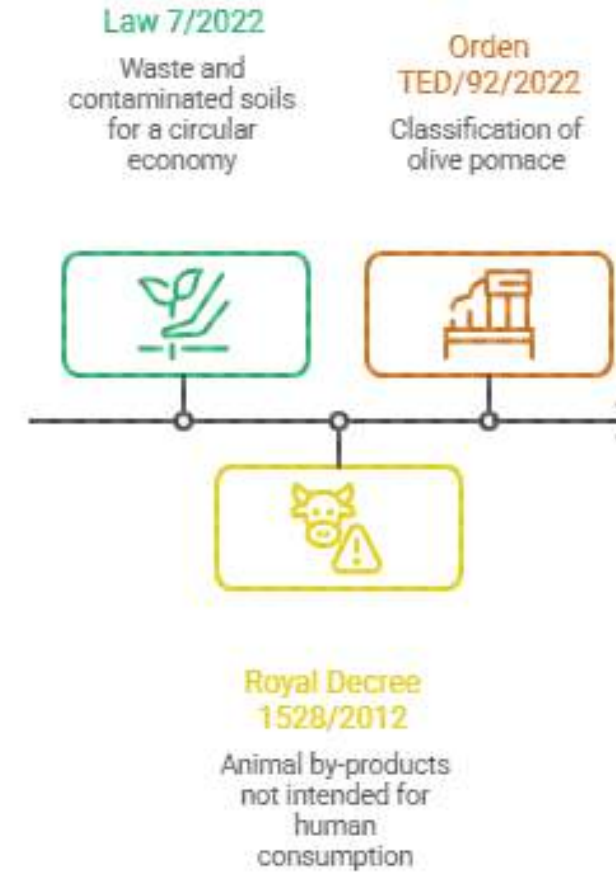


Directive 152-D/2017: Consolidated Waste Management Systems Regime



## 2. 3. Legislación nacional española sobre la valoración y almacenamiento de subproductos de la cadena agroalimentaria

### Key Spanish Environmental Legislation Enacted on 8 April 2022





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



## Capítulo 2: Fuentes de subproductos en las cadenas agroalimentarias



Co-funded by  
the European Union



# ÍNDICE

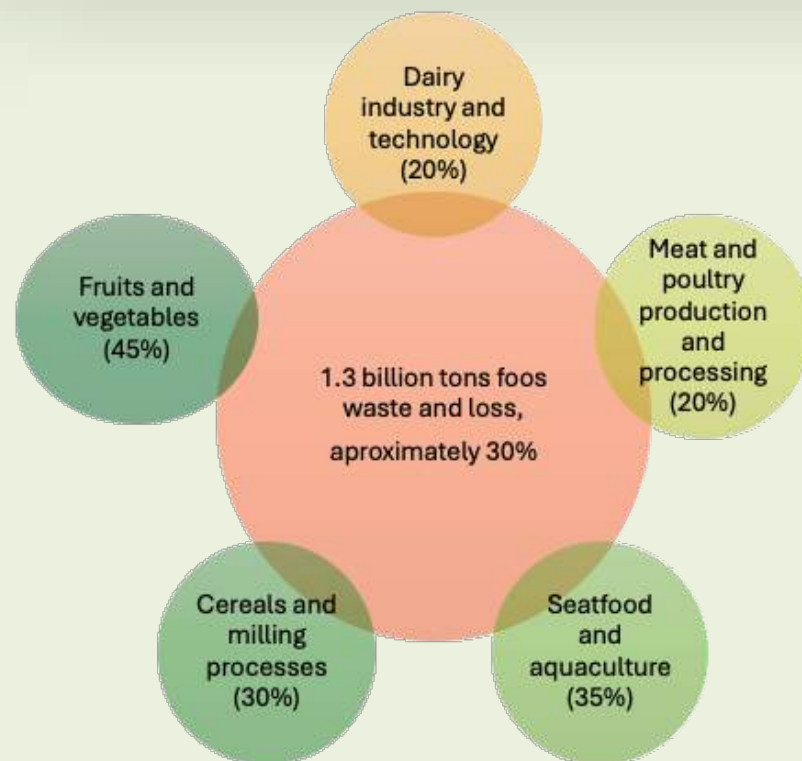
1. Clasificación de los subproductos de la cadena agroalimentaria.
2. Importancia de gestionar eficientemente los subproductos.
3. Casos de estudio.

# 1. Clasificación

- Categorías principales:
  - De origen vegetal (cáscaras de frutas, residuos vegetales, salvado de cereales)
  - De origen animal (huesos, grasa, suero)
  - Mezclados (residuos de fermentación, subproductos de comidas listas para comer)



## Estimación de la pérdida y desperdicio anual global de alimentos por parte del sector primario



Brennan et al., 2024.

<https://doi.org/10.3390/foods13030427>



## Subproductos clave en la industria alimentaria europea

**Industria vinícola:** orujo de uva, semillas y raspones.

**Industria del aceite de oliva:** bagazo de oliva, aguas residuales.

Industria cafetera: silverskin,

Industria cerealera: salvado, germen, granos rotos

Procesamiento de frutas y verduras: pelajes, sedas, pulpa

Industria cervecera: orujo

Procesamiento de la leche: suero, residuos de fermentación

Procesamiento de carne: sangre, huesos, pieles

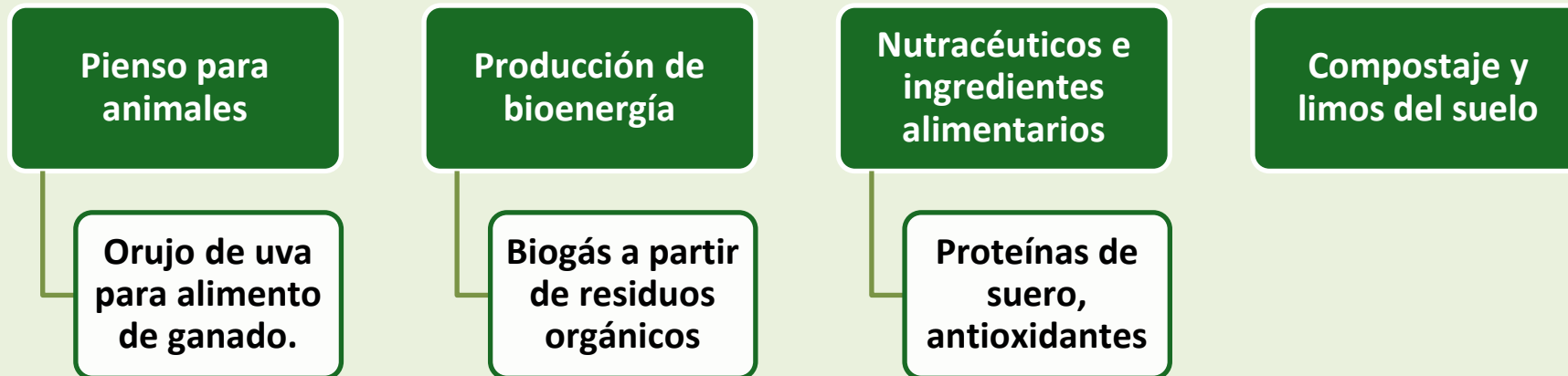


## 2. Importancia de los subproductos de la cadena agroalimentaria

- Beneficios económicos: fuentes alternativas de ingresos
- Impacto medioambiental: Reducción de residuos y emisiones
- Economía circular: Reutilización de subproductos para biocombustibles, piensos animales, bioplásticos e ingredientes para nuevos alimentos

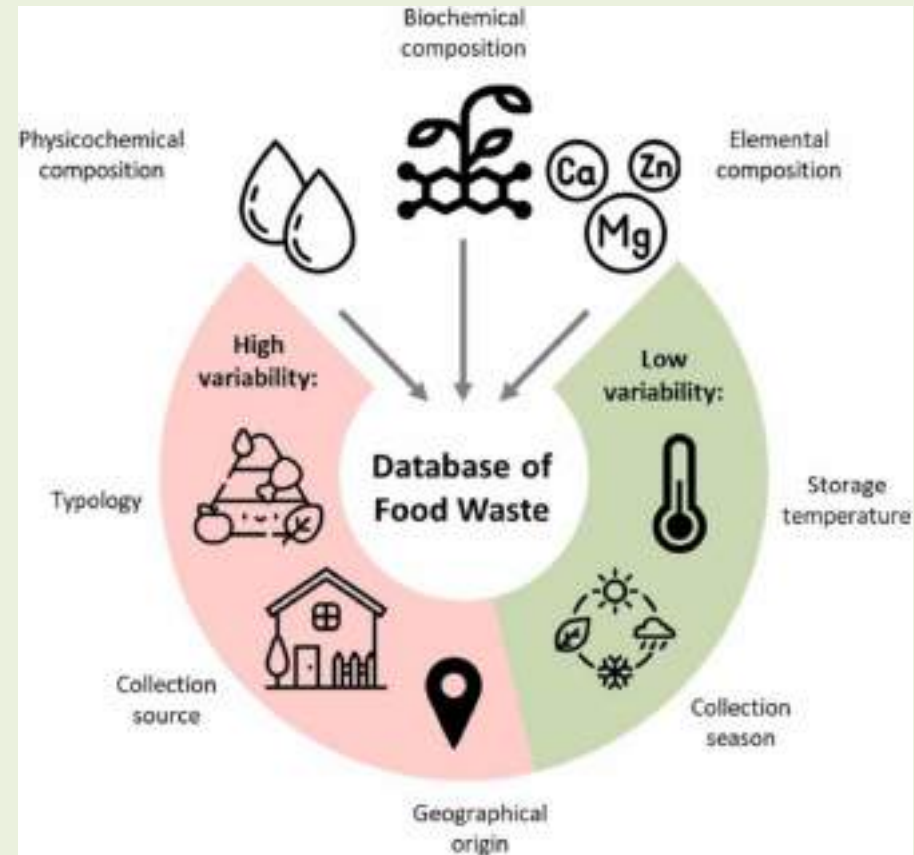


# Estrategias de valoración para subproductos



# Desafíos en la gestión de subproductos

- Problemas de almacenamiento: Riesgo de contaminación microbiana
- Transporte y logística: Altos costes
- Restricciones regulatorias: Cumplimiento de las leyes de seguridad alimentaria y gestión de residuos




Moonsamy et al., 2024.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.08.012>

# Requisitos de almacenamiento para subproductos de origen vegetal

- Control de humedad y temperatura
- Normas de seguridad microbiana
- Requisitos de embalaje y etiquetado

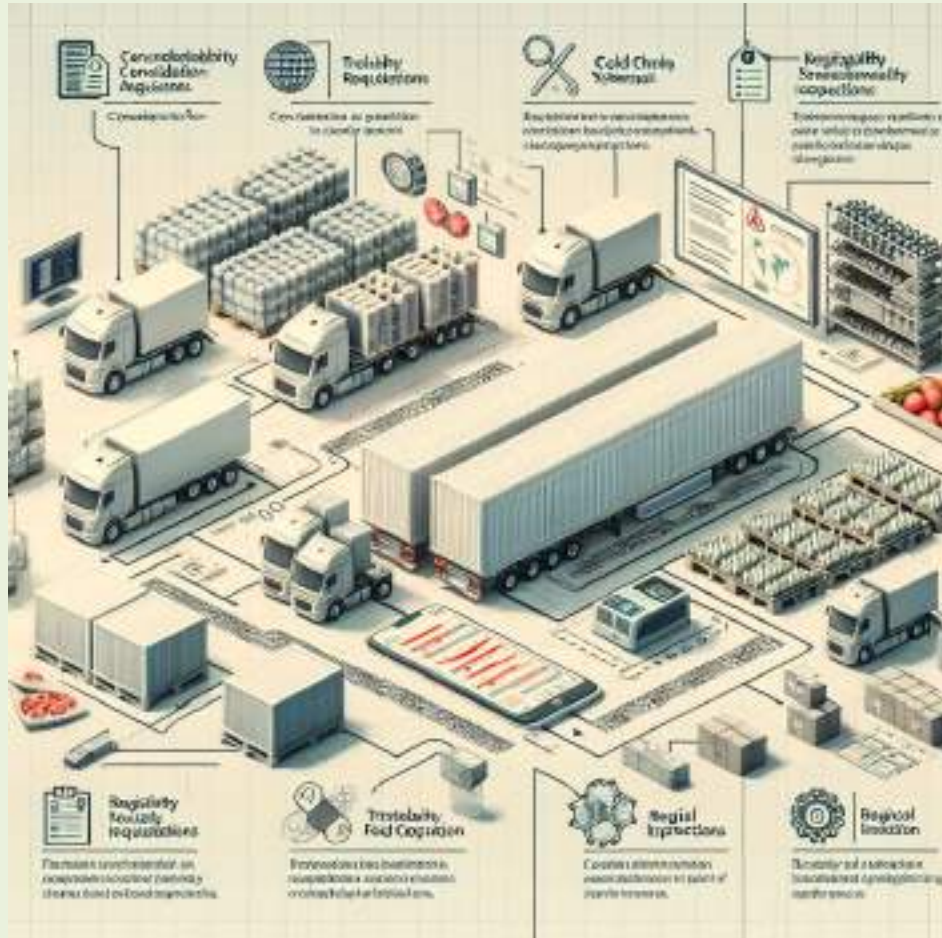




# Requisitos de almacenamiento para subproductos de origen animal

- Categorización bajo el Reglamento 1069/2009:
  - Categoría 1: Alto riesgo (debe incinerarse)
  - Categoría 2: Riesgo intermedio (fertilizantes, biogás)
  - Categoría 3: Bajo riesgo (pienso para animales, cosméticos)
- Refrigeración y contención

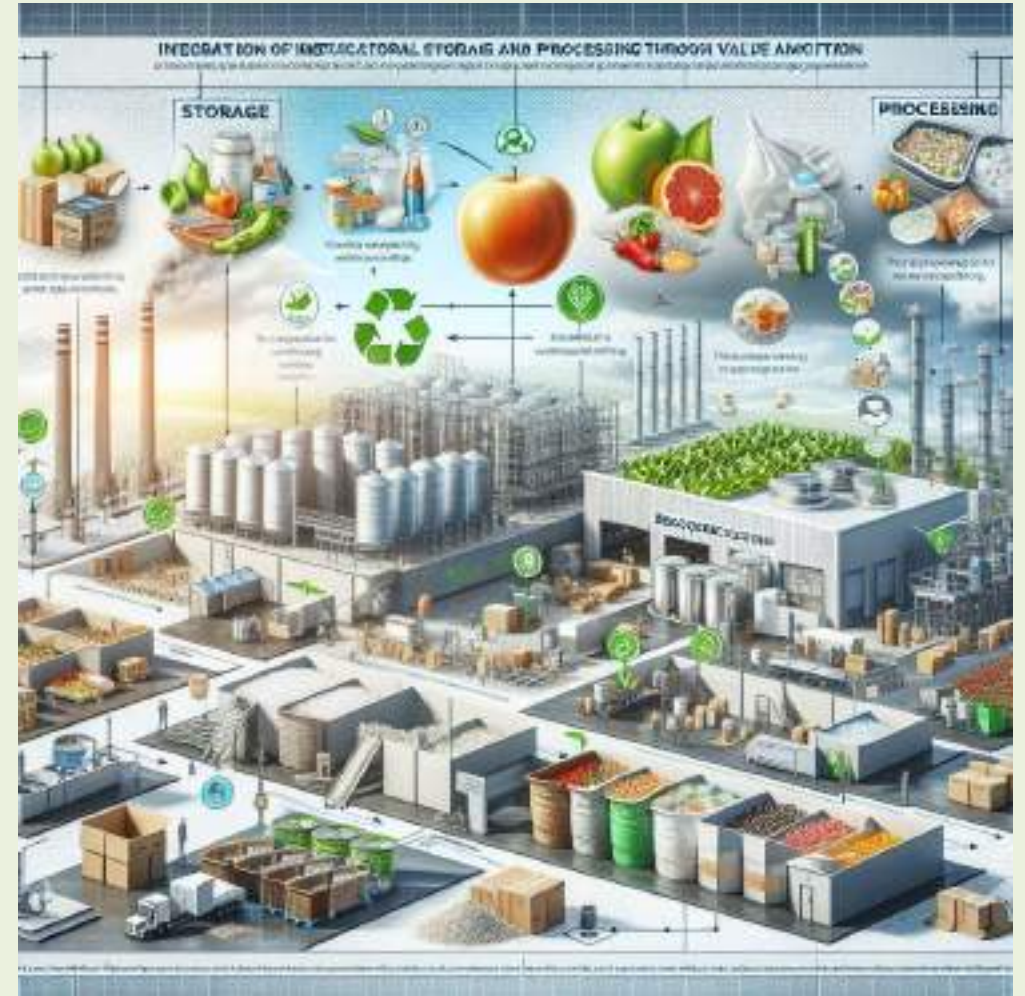
# Almacenamiento y transporte de subproductos – Consideraciones logísticas



- Requisitos de la cadena de frío
- Sistemas de trazabilidad
- Inspecciones regulatorias

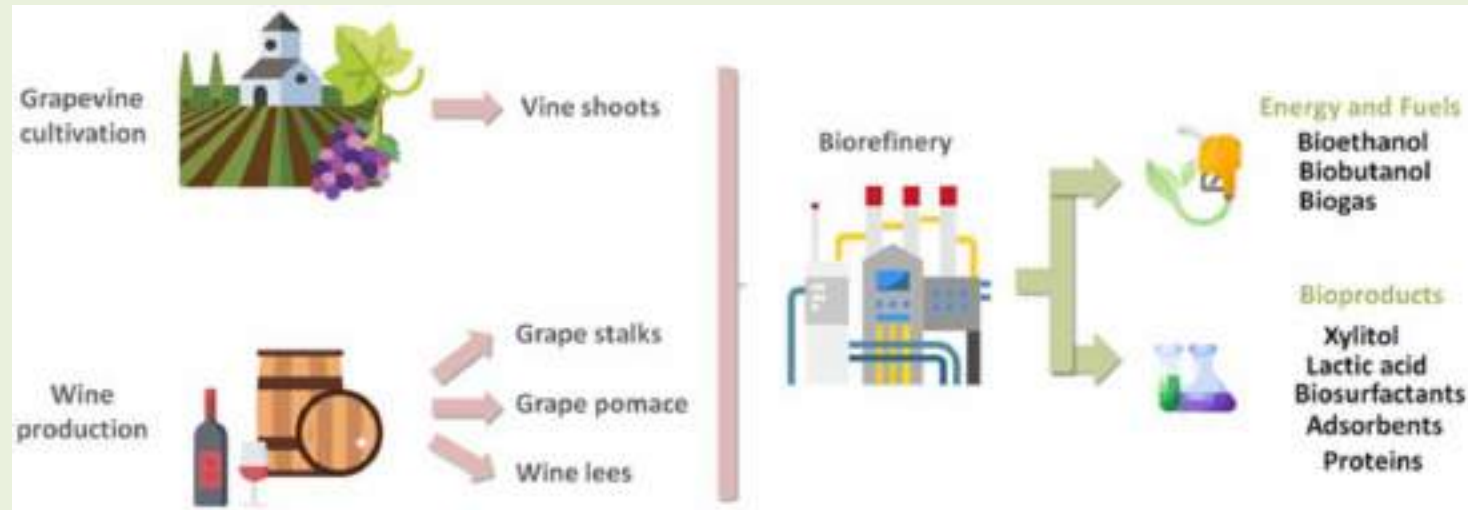
# Enfoque de sostenibilidad y economía circular

- Integración de almacenamiento y procesamiento para añadir valor
- Reducción del desperdicio alimentario mediante la reutilización de subproductos
- Envases sostenibles e iniciativas de reducción de residuos





### 3. CASOS DE ESTUDIO

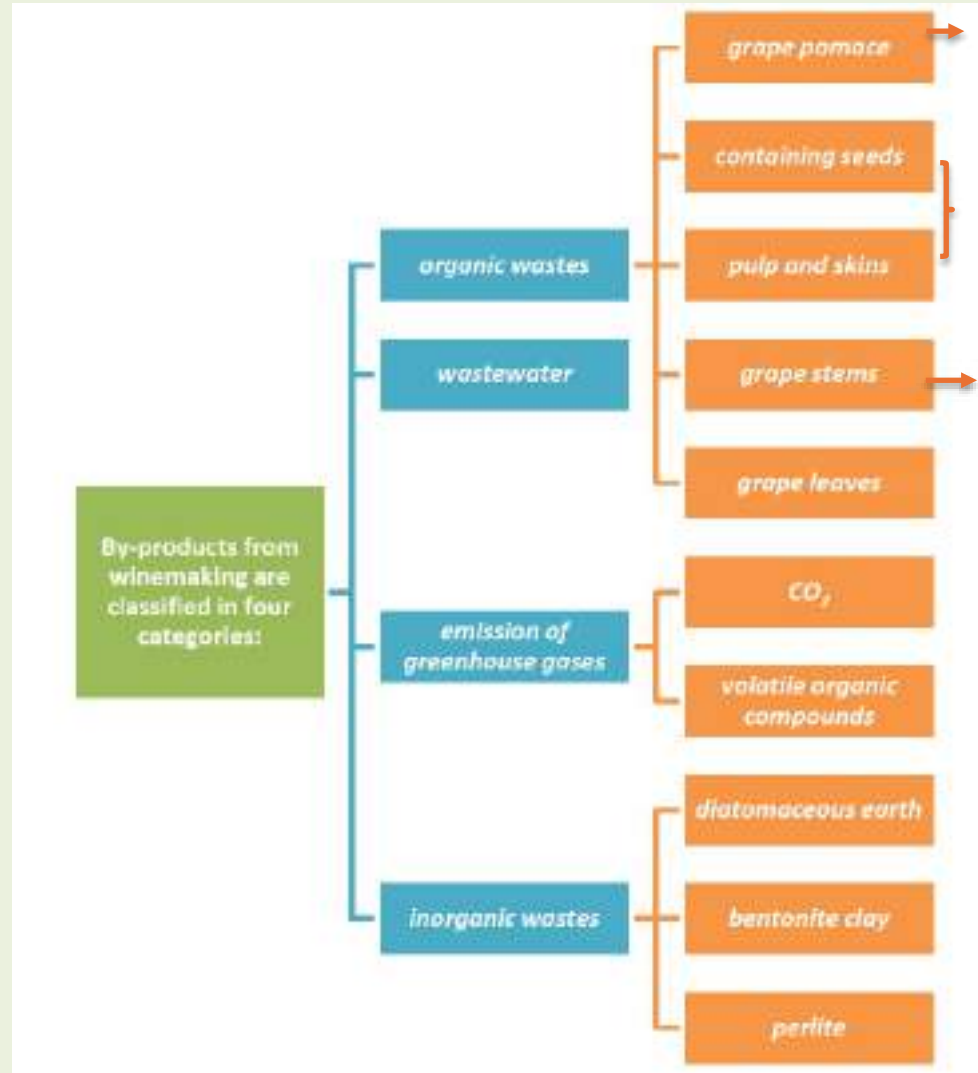


Contreras et al., 2022 <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.005>

## Industria vinícola

- Principales subproductos: brotes de viña, raspones de uva, orujo uva, semillas, lías de vino, tartratos
- Requisitos de almacenamiento: Control de temperatura, aireación
- Aspectos legislativos: normas de higiene de la UE, normativas de eliminación de residuos

# Subproductos de la industria vinícola



**El orujo de uva** se considera el principal subproducto de la producción de vino, representando entre el 25 y el 45% de la cosecha, compuesto principalmente por pieles, semillas y pulpa obtenidas tras la operación de prensado.

**La piel y las semillas** representan aproximadamente el 13% de las uvas procesadas y son especialmente una fuente rica en polifenoles con múltiples beneficios para la salud.

**Los raspones de la uva** se eliminan al inicio del proceso y constituyen hasta el 25 % de los residuos totales en el sector vitivinícola. Representa el material menos caracterizado desde el punto de vista de su valioso contenido en compuestos bioactivos



# Orujo de uva

El orujo de uva es el principal subproducto sólido formado durante las fases de prensado y fermentación de la producción del vino.

Esta está compuesta por las pieles, semillas y tallos que quedan tras la elaboración del vino, constituyendo el 20-30% del peso de las uvas procesadas.

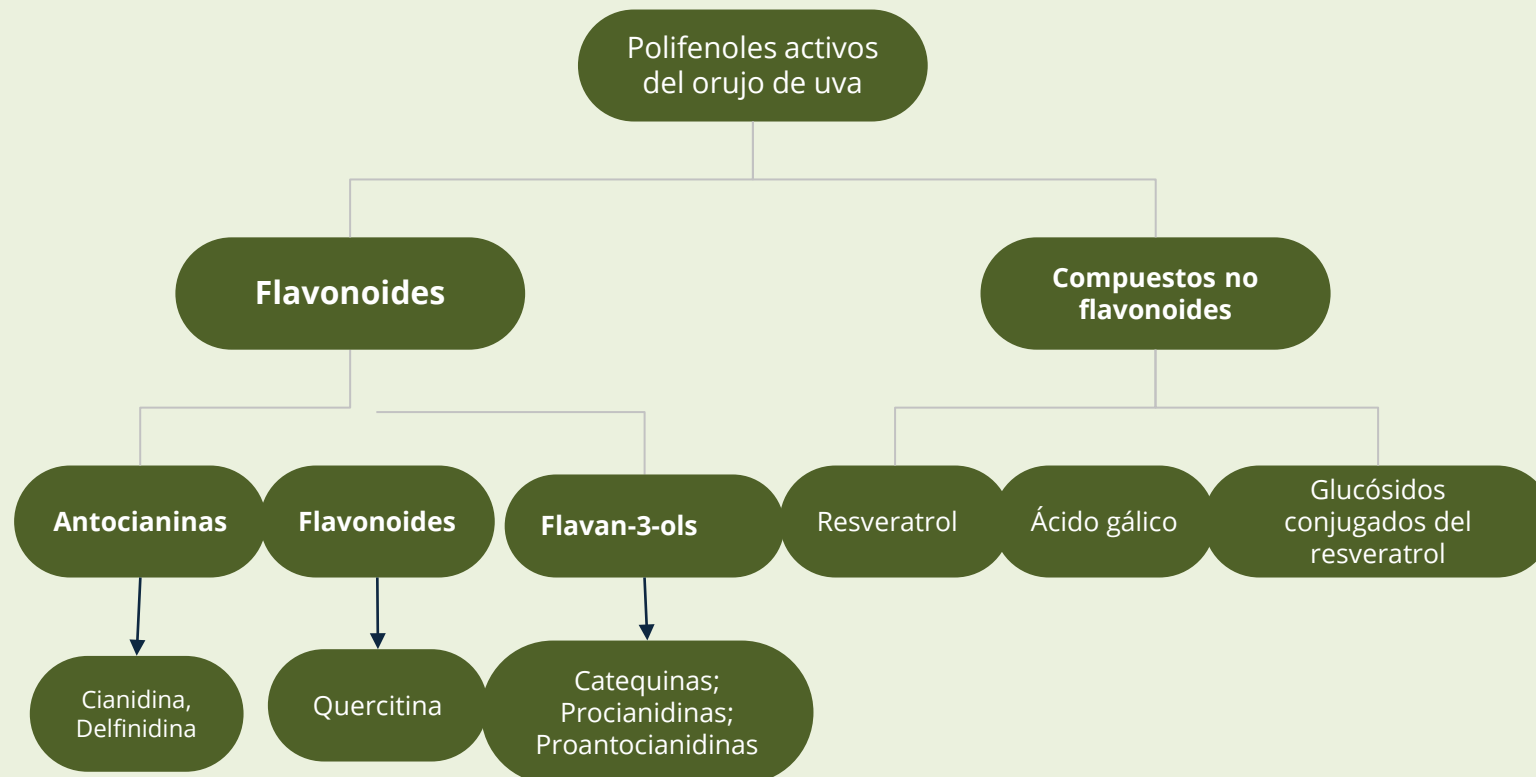
Este porcentaje depende de la variedad, las prácticas vitivinícolas, los factores medioambientales y las técnicas de vinificación.



# Orujo de uva

Elaboración de vino

Orujo de uva

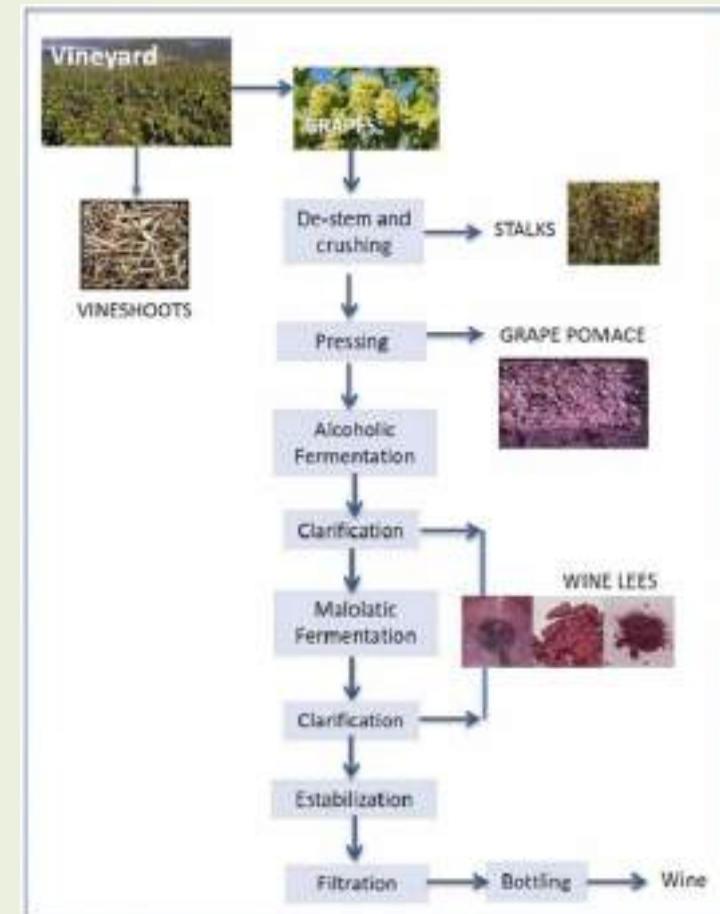


Características de los extractos de orujo obtenidos de cuatro variedades de uva (Borgoña, Pinot Noir, Riesling italiano y Feteasca).

Variedad de uva	Condición del orujo	Contenido de humedad (%)	Polifenoles
<b>Burgund</b>	Fresco	62.44	Mayor contenido de polifenoles en semillas
<b>White Feteasca</b>	Fresco	54.55	Contenido relativamente alto de polifenoles
<b>Pinot Noir</b>	Secado al sol (7 días, 30–32°C)	7.19	Menor pérdida de materia seca, concentración de polifenoles
<b>Italian Riesling</b>	Secado al sol (7 días, 30–32°C)	6.51	Polifenoles presentes a pesar del secado

Teixeira A., Baenas N., Dominguez-Perles R., Barros A., Rosa E., Moreno D.A., Garcia-Viguera C. Natural Bioactive Compounds from Winery By-Products as Health Promoters: A Review. Int J Mol Sci. 2014, 15(9): 15638–15678 **DOI:** 10.3390/ijms150915638

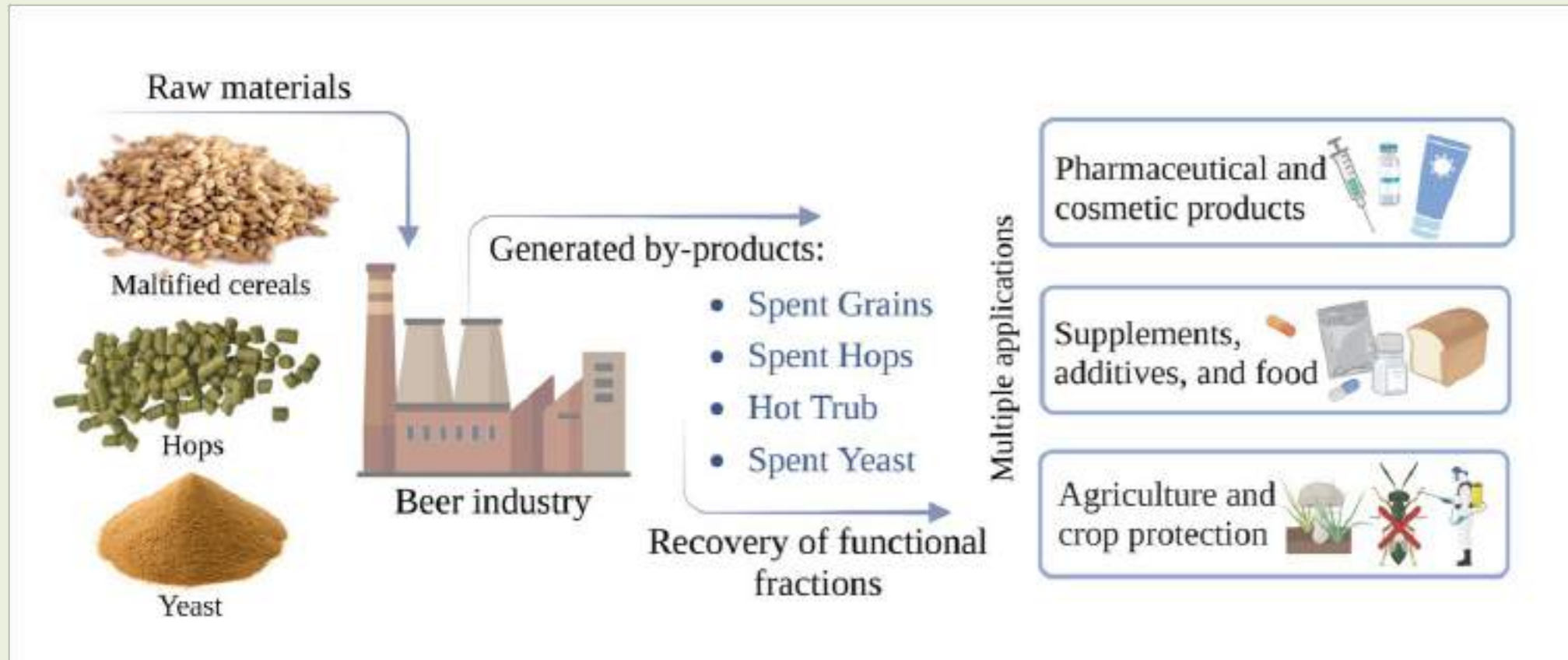
Diagrama de flujo de procesos para la industria vinícola.



Contreras et al., 2022  
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.005>

# Industria cervecera

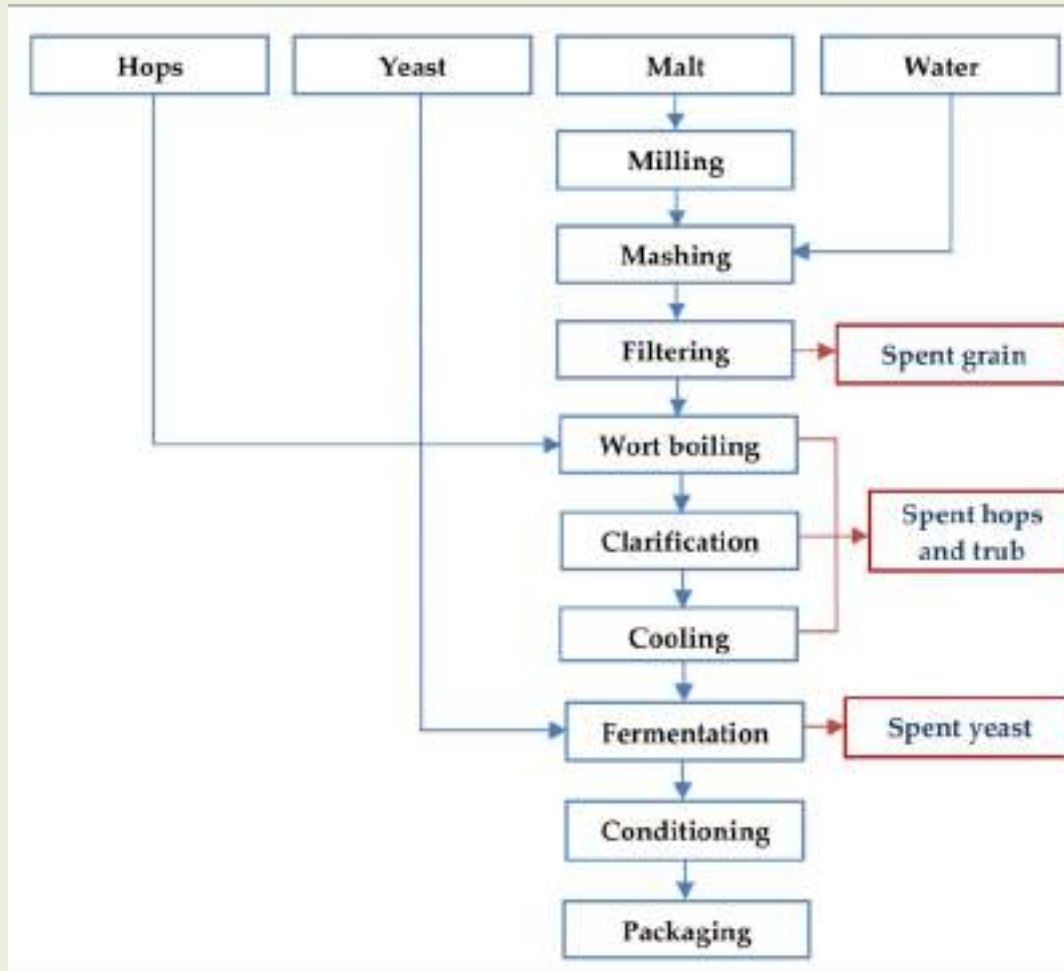
Los principales subproductos generados por la industria cervecera



Salanță et al., 2023, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100876>

# Industria cervecera

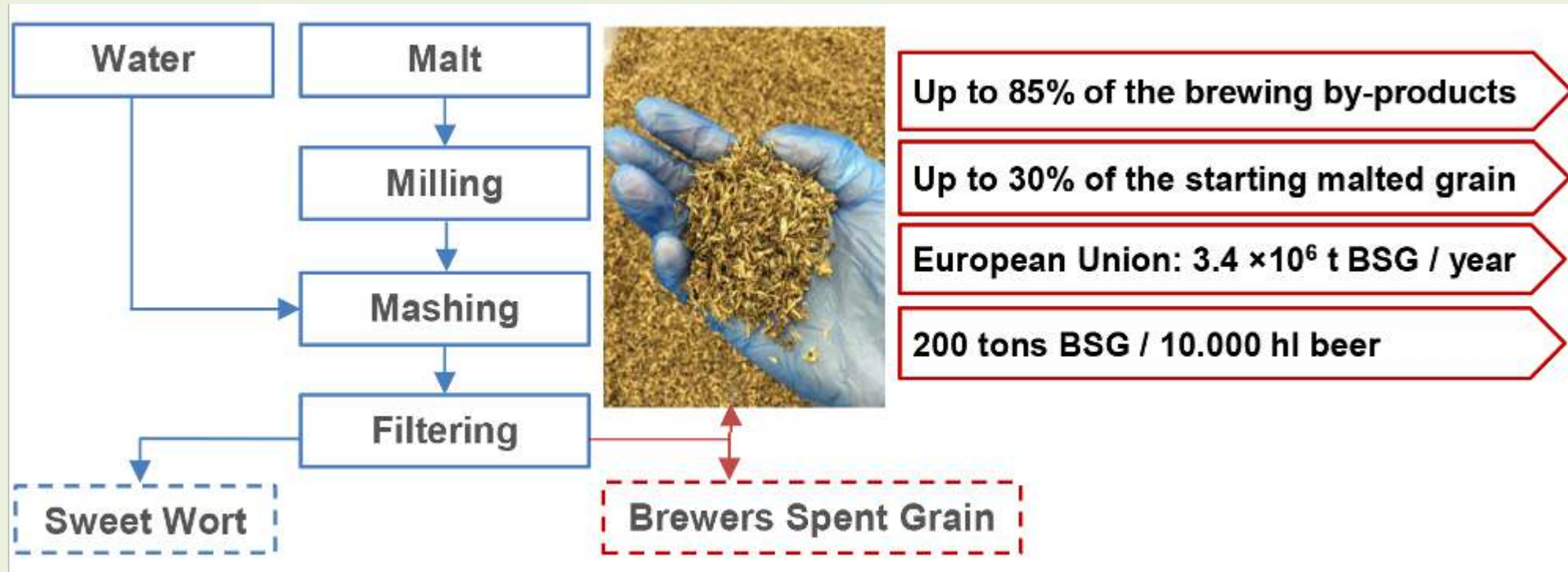
Los principales subproductos generados por la industria cervecera



Representación esquemática del proceso de elaboración y los subproductos generados. Fuente: original

# Industria cervecera

Los principales subproductos generados por la industria cervecera



Los principales subproductos generados por la industria cervecera, fuente: original

BSG = cáscara de grano de cebada en la mayor proporción, pequeñas fracciones de pericarpo y fragmentos de endospermo y otros compuestos residuales que no se convirtieron en azúcares fermentables durante el proceso de maceración

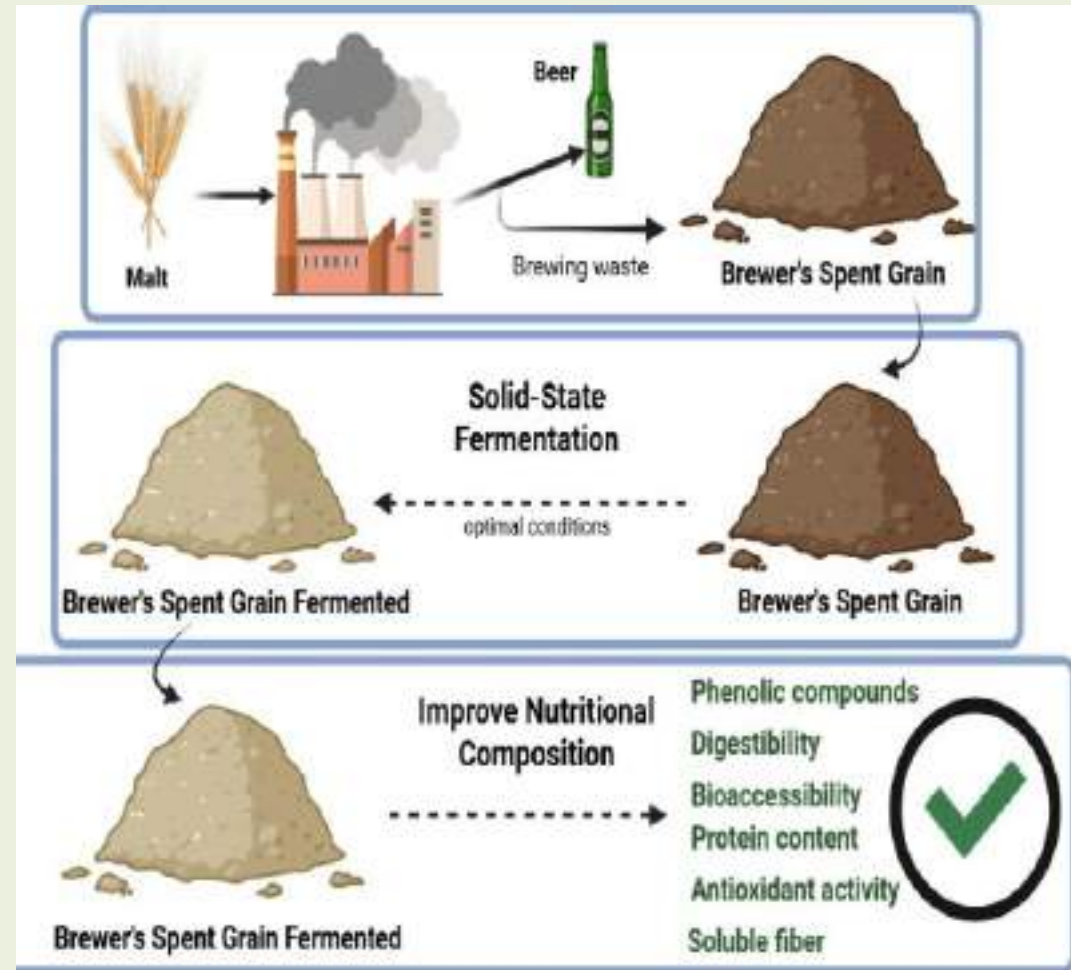
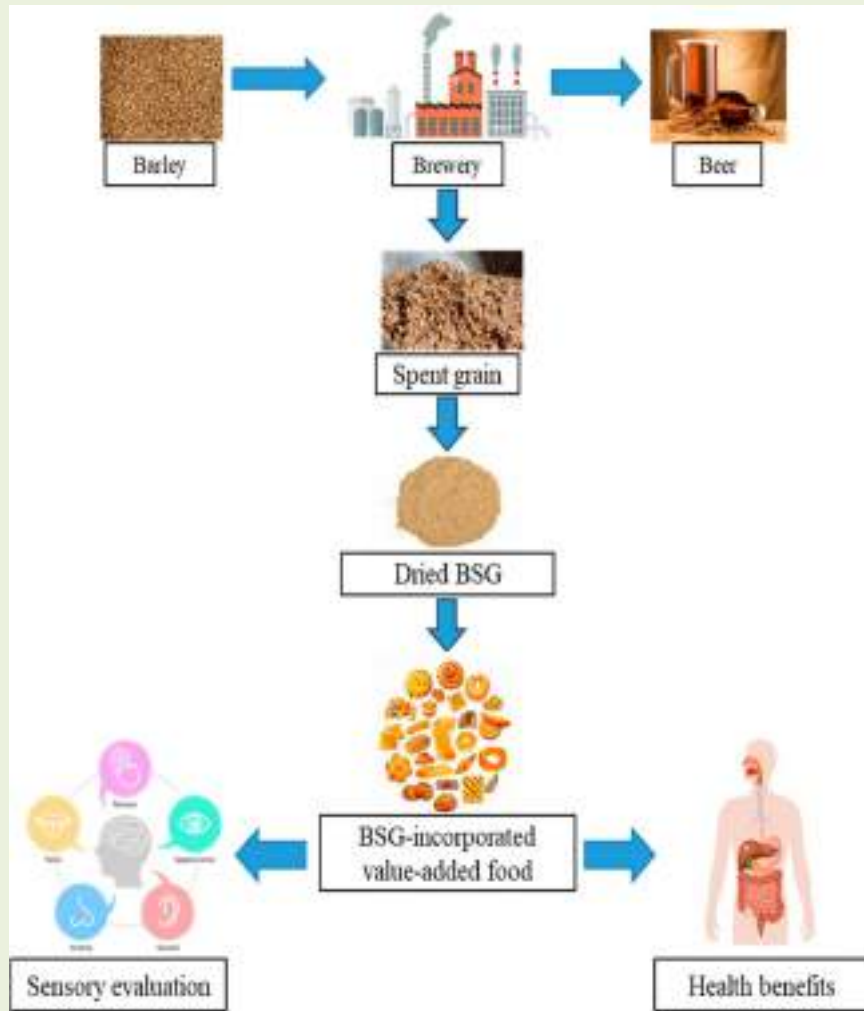
# Industria cervecera

## Compuestos fenólicos totales y valores RSA para BSG seco y diferentes materias primas

Muestra	Fenoles totales (mg GAE/100)	Flavonoides (mg QE/100 g FW)	Inhibición de DPPH (%)
Cebada	133.93±2.45	6.17±0.11	43.17±0.07
Malta Pilsner	148.42±0.51	5.28±0.13	46.36±0.1
Malta de Caramunich	256.42±6.18	10.72±0.18	57.87±0.07
Malta carafa	335.88±4.41	8.97±0.16	42.07±0.02
<b>BSG seco</b>	<b>284.20±3.07</b>	<b>13.16±0.27</b>	<b>55.95±0.28</b>
Harina de trigo	21.12±1.42	2.85±0.10	32.74±0.24
Harina integral de trigo	64.68±3.48	3.18±0.15	37.54±0.36

# Industria cervecera

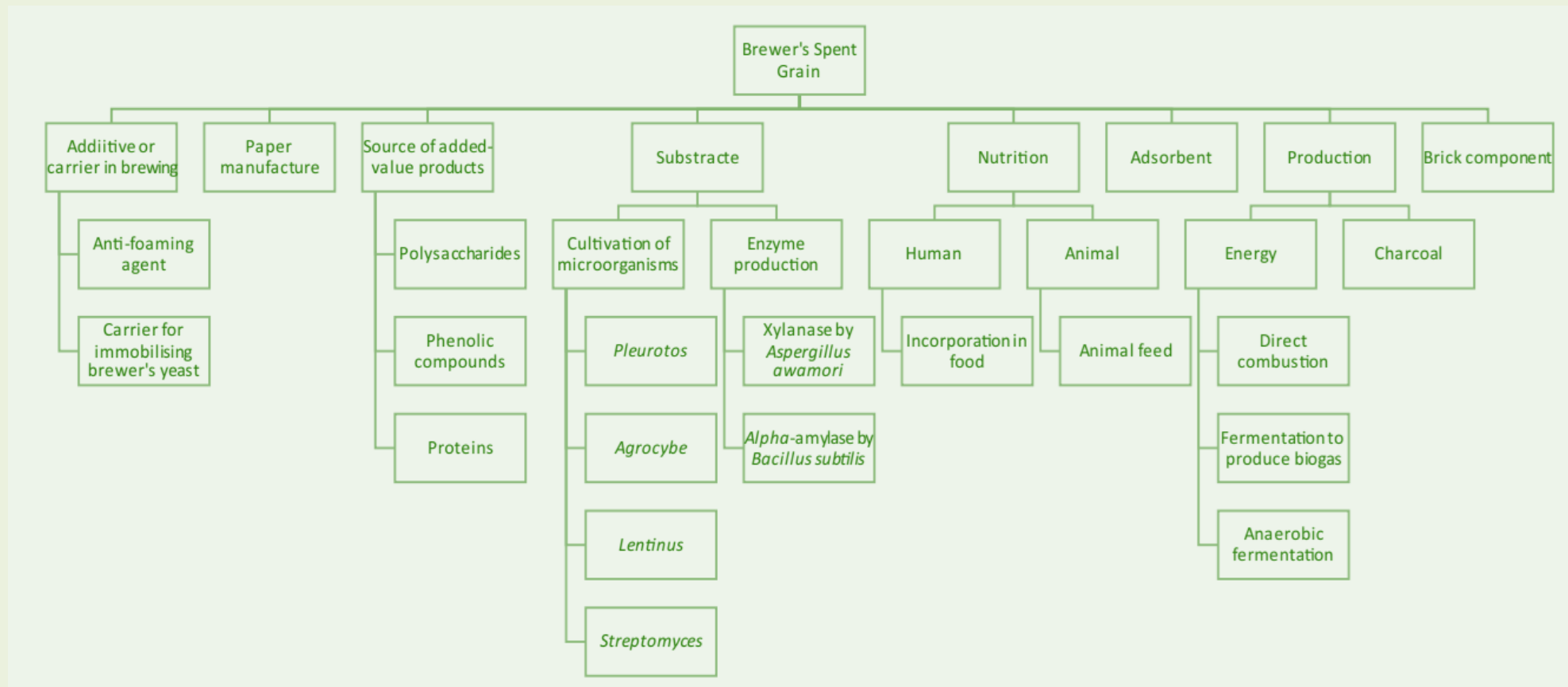
Posible aplicación de residuos y subproductos cerveceros en procesos biotecnológicos



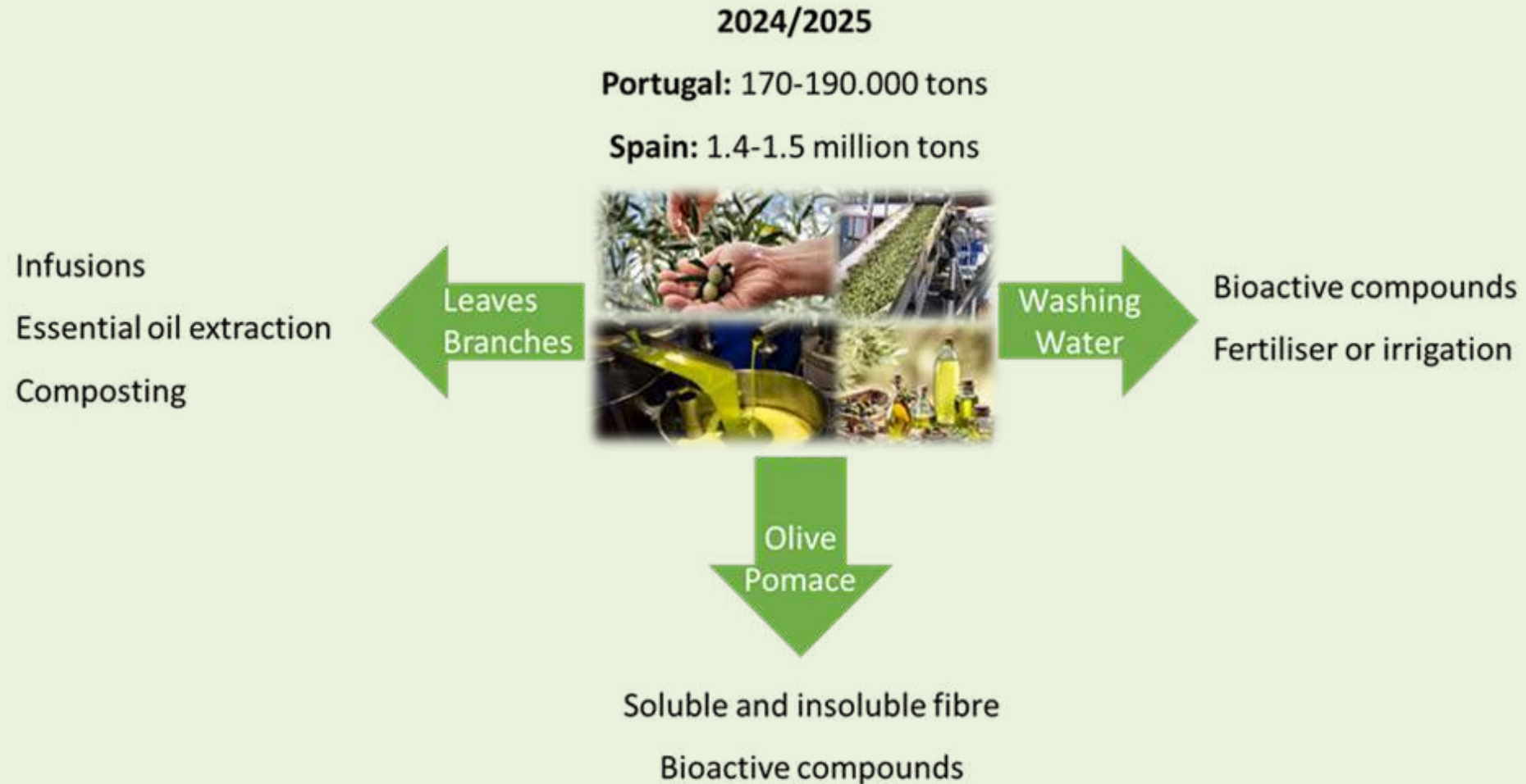
Barrera-Leon et al. 2025, <https://doi.org/10.3390/recycling10050170>

Eche et al. 2025, *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods14162900>

# Usos de subproductos del grano



# Industria del aceite de oliva



## Olive oil production at the mill of Alfândega da Fé, Trás-Os-Montes, Portugal

## 2-Phase system



fuelle: original

**Fresh pitted olive pomace**  
(crushed olive paste, "without" oil)



**Composition:**

- ≈60–70% water
- ≈2–3% fat
- Pulp
- Skin

**Olive pomace is mainly used for:**

- Animal feed
- Biomass production
- Composting
- Biofuel production



**Olive Oil Production in Portugal – 2024: 170,000–180,000 tons**

The second-largest olive oil production ever recorded in Portugal, according to OLIVUM (Association of Olive Growers and Mills of Portugal)

Approximately **1,700,000 tons of olive pomace** were generated

**Phytotoxic**

**Environmental hazard**



**Bioactive compounds**

**Hydroxytyrosol**

- Inhibits lipid peroxidation
- Offers protection against neurodegenerative diseases
- Exhibits antimicrobial activity

**Tyrosol**

- ↓ Inflammation
- ↓ Oxidative stress

**Tabla 1.** Composición próxima de del alperujo de oliva.

<b>g/100 g</b>	<b>Moisture</b>	<b>Total protein</b>	<b>Ash</b>	<b>Total fat</b>	<b>Total fiber</b>	<b>Remaining carbohydrates</b>
Dry weight	-	6.3 ± 0.8	2.7 ± 0.0	3.6 ± 0.1	44.0 ± 0.9	43.4 ± 1.6
Fresh weight	60.9 ± 0.3	2.5 ± 0.3	1.1 ± 0.0	1.4 ± 0.0	17.2 ± 0.3	16.9 ± 0.3

The results are presented in g/100 g of sample in fresh or dry weight, as mean ± standard deviation ( $n = 3$ ).

**Tabla 2.** Perfil de vitamina E del del alperujo de

<b>μg/100 g</b>	<b>α-tocopherol</b>	<b>α-tocotrienol</b>	<b>β-tocopherol</b>	<b>γ-tocopherol</b>	<b>δ-tocopherol</b>	<b>Total vitamin E</b>
Dry weight	4133 ± 138	62 ± 1	50 ± 1	97 ± 2	17 ± 0	4360 ± 143
Fresh weight	1614 ± 54	24 ± 0	20 ± 1	38 ± 1	7 ± 0	1703 ± 56

The results are presented in μg/100 g of sample in fresh or dry weight, as mean ± standard deviation ( $n = 3$ ).

**Table 3.** Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante del alperujo de olivo.

<b>Sample</b>	<b>TPC</b>	<b>TFC</b>	<b>HTC</b>	<b>FRAP</b>	<b>DPPH•-SA</b>
	<b>g GAE/100 g</b>	<b>g CE/100 g</b>	<b>g/100 g</b>	<b>g FSE/100 g</b>	<b>g TE/100 g</b>
Dry weight	3.08 ± 0.13	2.69 ± 0.03	0.36 ± 0.00	4.43 ± 0.57	1.53 ± 0.06
Fresh weight	1.20 ± 0.05	1.05 ± 0.01	0.14 ± 0.00	1.73 ± 0.22	0.60 ± 0.02

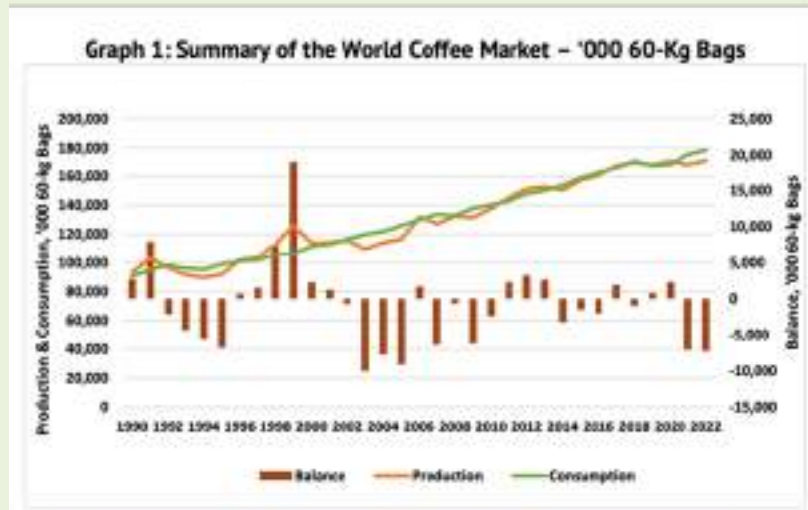
TPC, Total phenolics content; TFC, Total flavonoids content; HTC, Hydroxytyrosol content; FRAP, Ferric reducing antioxidant power; DPPH•-SA, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging ability; GAE, Gallic acid equivalents; CE, Catechin equivalents; FSE, Ferrous sulphate equivalents; TE, Trolox equivalents. The results are presented as mean ± standard deviation ( $n = 3$ ).

**Table 4.** Perfil de ácidos grasos del alperujo de oliva.

Fatty acids (relative %)	Olive pomace
Myristic (C14:0)	0.03 ± 0.00
Palmitic (C16:0)	11.18 ± 0.08
Palmitoleic (C16:1)	0.59 ± 0.03
Heptanoic (C17:0)	0.10 ± 0.00
Stearic (C18:0)	2.82 ± 0.15
Oleic (C18:1n9c)	73.07 ± 0.40
Linoleic (C18:2n6c)	9.97 ± 0.47
Arachidic (C20:0)	0.51 ± 0.05
α-linolenic (C18:3n3)	0.92 ± 0.10
cis-11-Eicosenoic (C20:1n9)	0.38 ± 0.01
Behenic (C22:0)	0.28 ± 0.04
Lignoceric (C24:0)	0.16 ± 0.02
∑ SFA	15.07 ± 0.15
∑ PUFA	10.89 ± 0.46
∑ MUFA	74.03 ± 0.31
MUFA/PUFA	6.81 ± 0.33

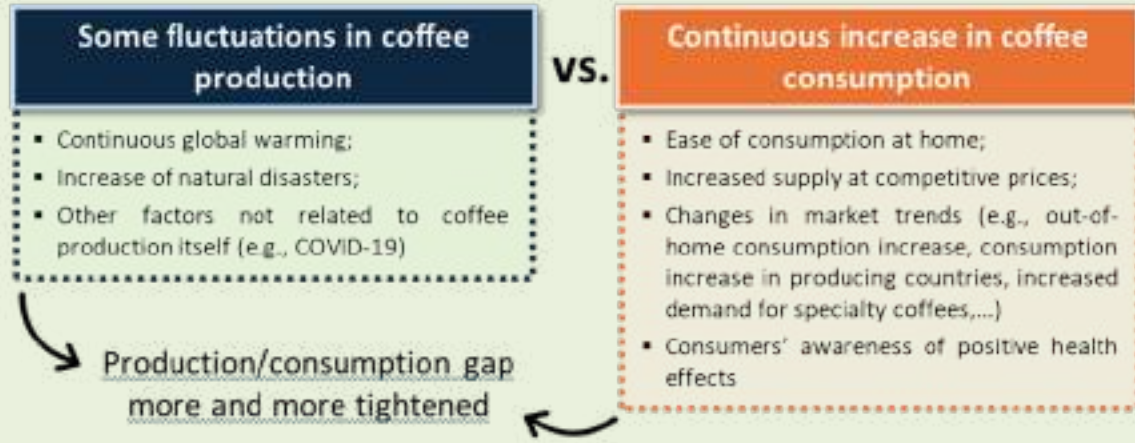
SFA, Saturated fatty acids; MUFA, Monounsaturated fatty acids; PUFA, Polyunsaturated fatty acids. The results are expressed in relative % as mean ± standard deviation ( $n = 3$ ) in dry weight.

# Industria del café



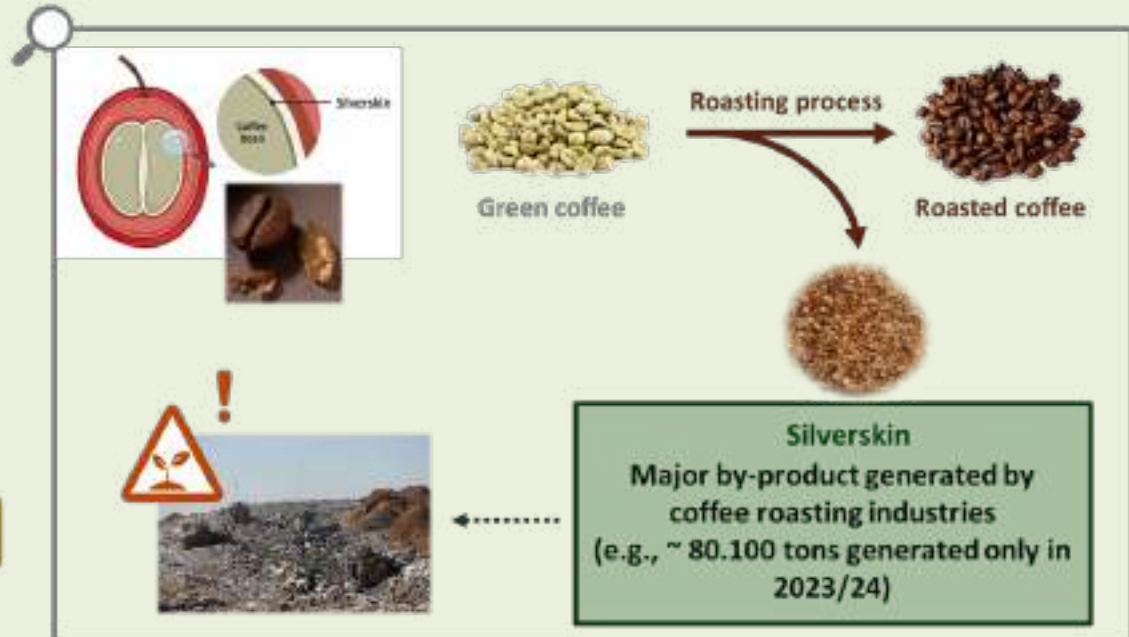
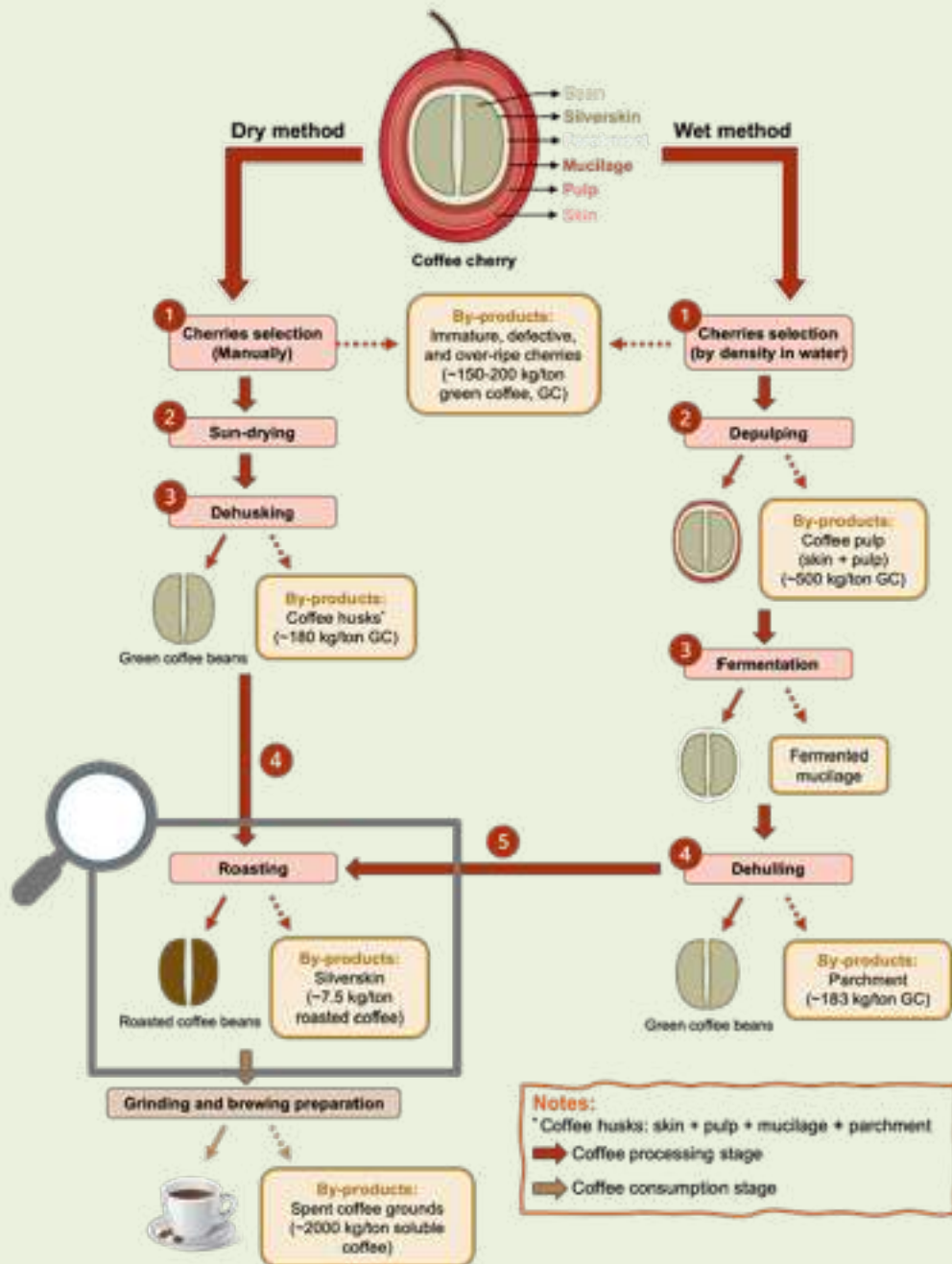
**Table I: Summary of the World Coffee Market**

	Million 60-Kg Bags					
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24
<b>Production</b>	169.8	168.4	170.8	168.0	168.2	178.0
<b>Consumption</b>	171.2	168.6	169.9	176.6	173.1	177.0
<b>Balance</b>	-1.3	-0.2	0.9	-8.6	-4.9	1.0
	Growth Rates, Year-on-Year					
<b>Production</b>	5.9%	-0.9%	1.4%	-1.7%	0.1%	5.8%
<b>Consumption</b>	3.3%	-1.5%	0.8%	4.0%	-2.0%	2.2%



Fuente: Barreto Peixoto JA et al. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2023; 22: 287-332; ICO (2023). *Coffee Report and Outlook – April 2023*; ICO (2023). *Coffee Report and Outlook – December 2023*.

# Sostenibilidad de la cadena de café - ¿Qué es el café silverskin y por qué estudiarlo?



Fuente: Barreto Peixoto JA et al. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2023; 22: 287-332; Bessada S et al. Sci Total Environ. 2018; 645: 1021-1028 doi: 10.1111/1541-4337.13069

# Sostenibilidad de la cadena de café – ¿Qué es el café silverskin y por qué estudiarlo?

**Table 1.** Composición nutricional de los subproductos del café (% dw).

	Silverskin
Ash	9.47 ± 0.06
Protein	16.31 ± 0.12
Fat	2.91 ± 0.09
Total dietary fiber	65.87 ± 0.00
Insoluble dietary fiber	56.86 ± 0.00
Soluble dietary fiber	9.01 ± 0.00
Available carbohydrates	5.44 ± 0.24



**Table 2.** Compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante in vitro (inhibición DPPH• y ensayos FRAP) de los subproductos del café (g/100 g dw).

	Silverskin
TPC (CGAE)	1.28 ± 0.01
TFC (CE)	0.70 ± 0.01
FRAP (FSE)	4.05 ± 0.12
DPPH•-SA (TE)	0.19 ± 0.05

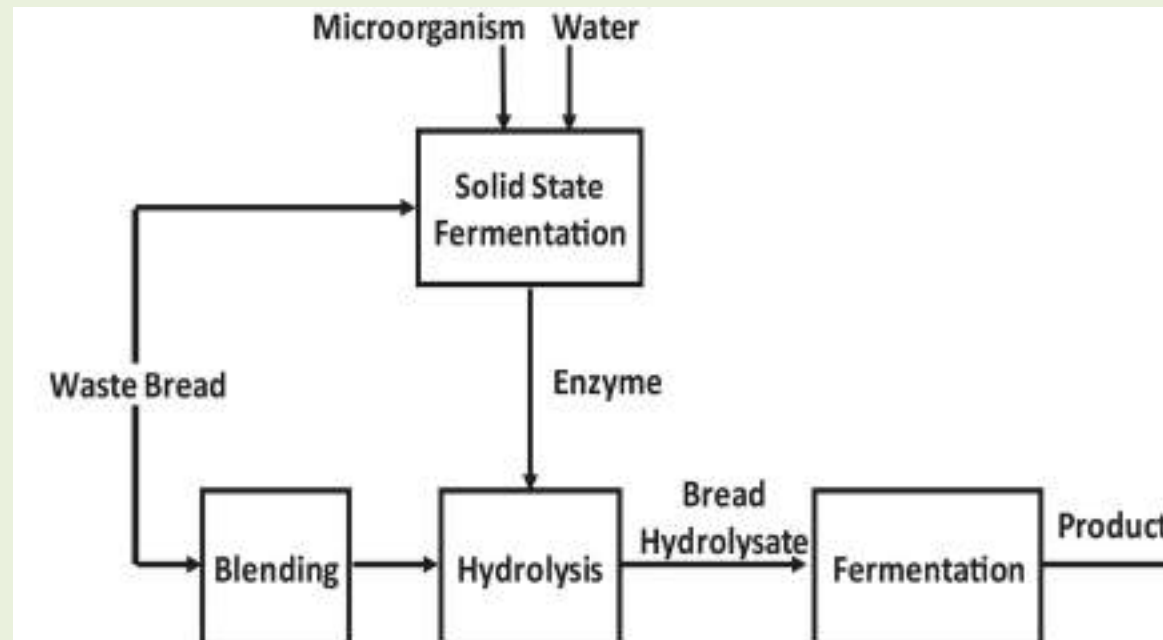
Los resultados son la media de 3 experimentos independientes ± SD. En cada línea, diferentes letras en adócesis representan diferencias significativas entre muestras ( $p < 0,05$ ). TPC, contenido total de fenólicos; CGAE, equivalentes en ácido clorogénico; TFC, contenido total de flavonoides; CE, equivalentes a catequinas; FRAP, poder antioxidante reductor del hierro; FSE, equivalentes sulfatos ferrosos; DPPH•-SA, actividad de eliminación radical de 2,2 difenilo-1-picrilhidralizilo; TE, equivalentes a Trolox. CQA, ácido cafeoilquinico; HMF, 5-hidroximetilfural; s.d., no detectado.

**Table 3.** Contenido de cafeína (g/100 g), ácidos cafeoilquinicos (mg/100 g) y de 5-hidroximetil-furfural (mg/100 g) de los subproductos del café.

	Silverskin
Caffeine	0.71 ± 0.02
3-CQA	9.44 ± 0.22
5-CQA	52.53 ± 0.83
4-CQA	17.71 ± 0.30
HMF	39.52 ± 1.07

# Pan e industria panadera

- Principales subproductos: cortezas de pan, salvado de trigo y granos gastados.
- Condiciones de almacenamiento: ventilación adecuada, control de humedad para prevenir moho, control de temperatura
- Desafíos regulatorios: normativas europeas sobre residuos alimentarios, directrices de reprocesamiento, normas de higiene





## Procesamiento de cereales

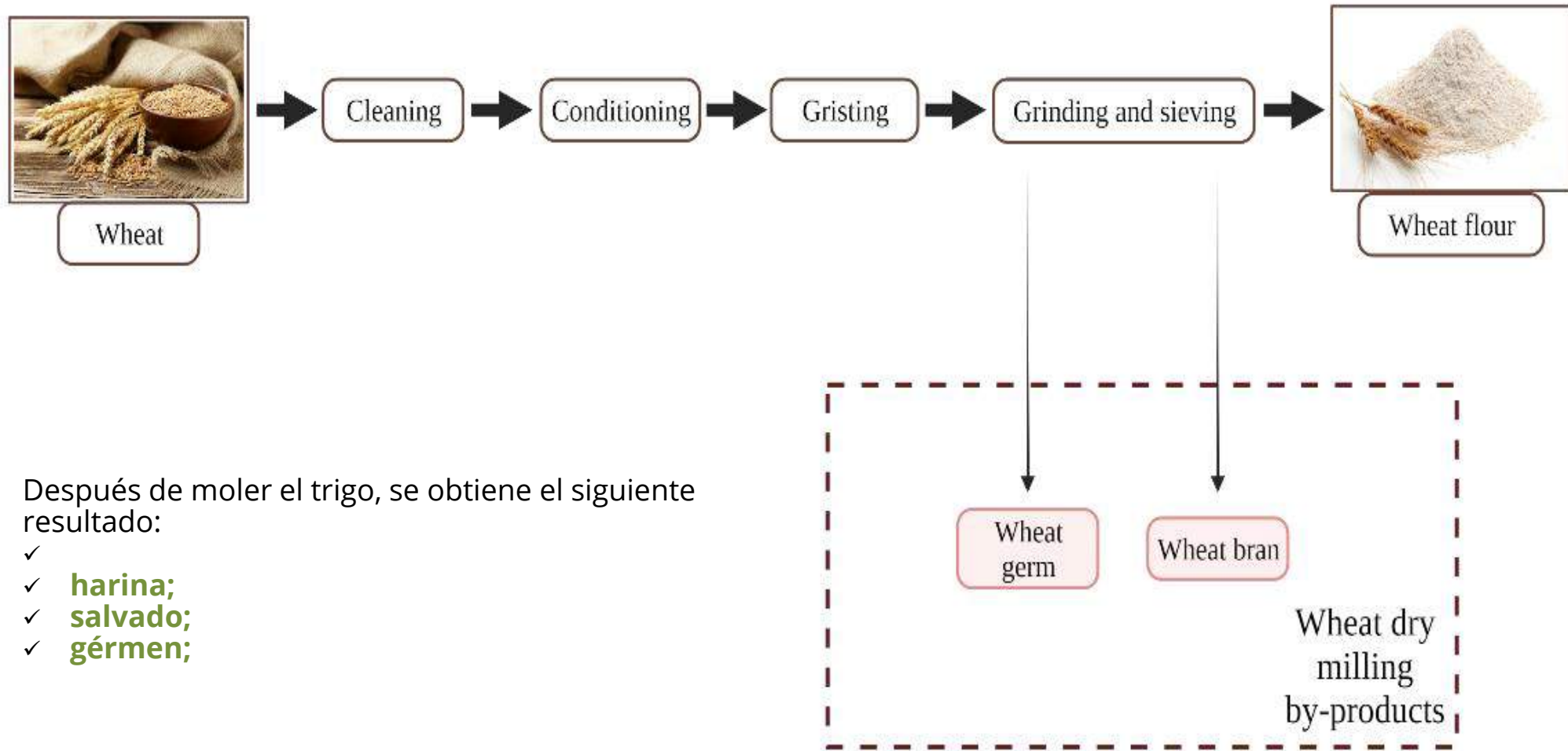
Tipos de subproductos de cereales:

- ✓
- ✓ **Subproductos del trigo;**
- ✓ **Subproductos del maíz;**
- ✓ **Subproductos del arroz;**
- ✓ **Otros subproductos de cereales.**

Dependiendo del proceso de molienda (molienda seca o húmeda), el valor nutricional final de los subproductos varía mucho.

Por lo tanto, las fracciones obtenidas durante la molienda seca o húmeda pueden encontrar muchas aplicaciones en productos alimentarios y no alimentarios, además de su uso solo como pienso.

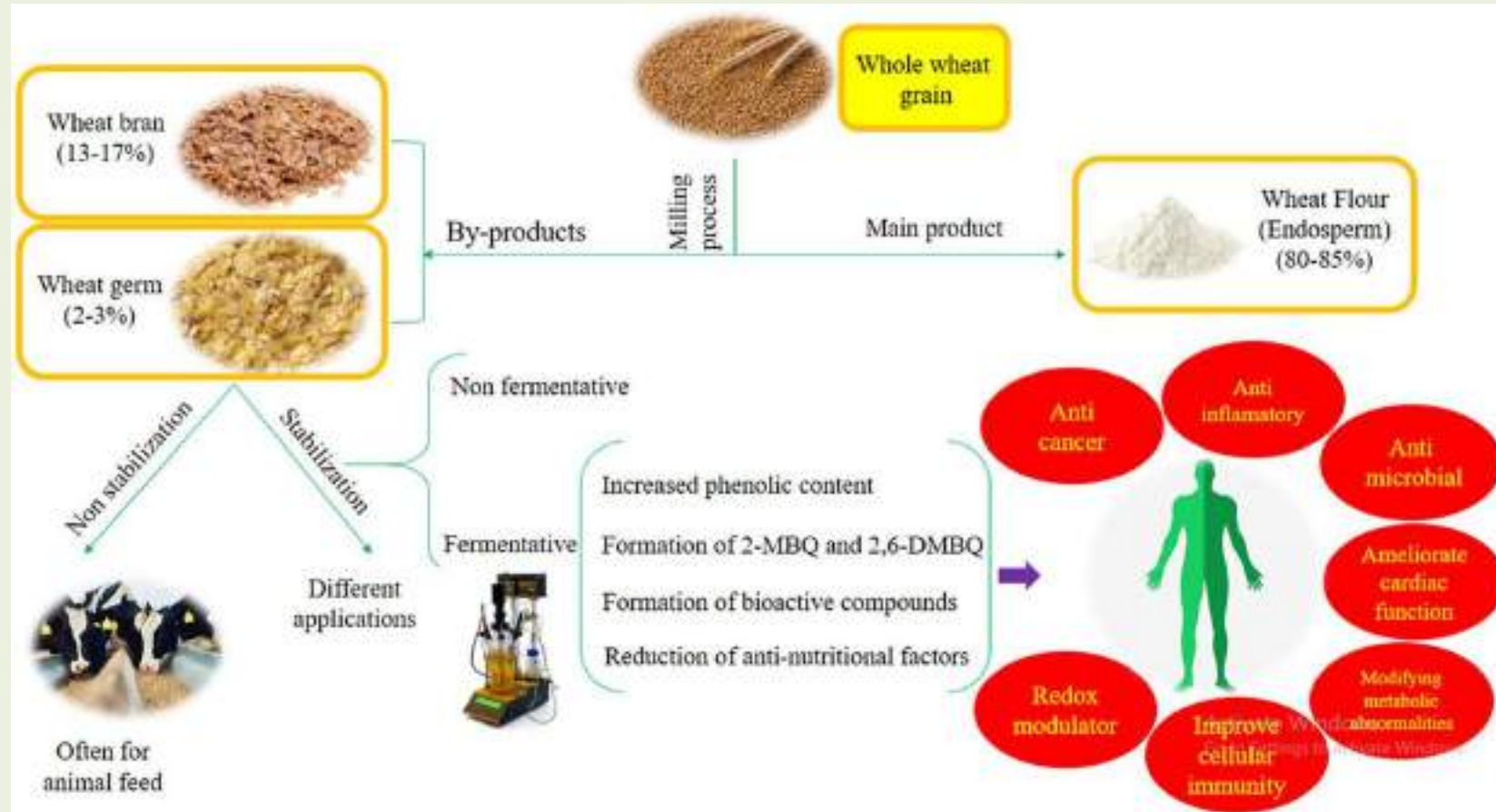
# Subproductos del trigo



Después de moler el trigo, se obtiene el siguiente resultado:

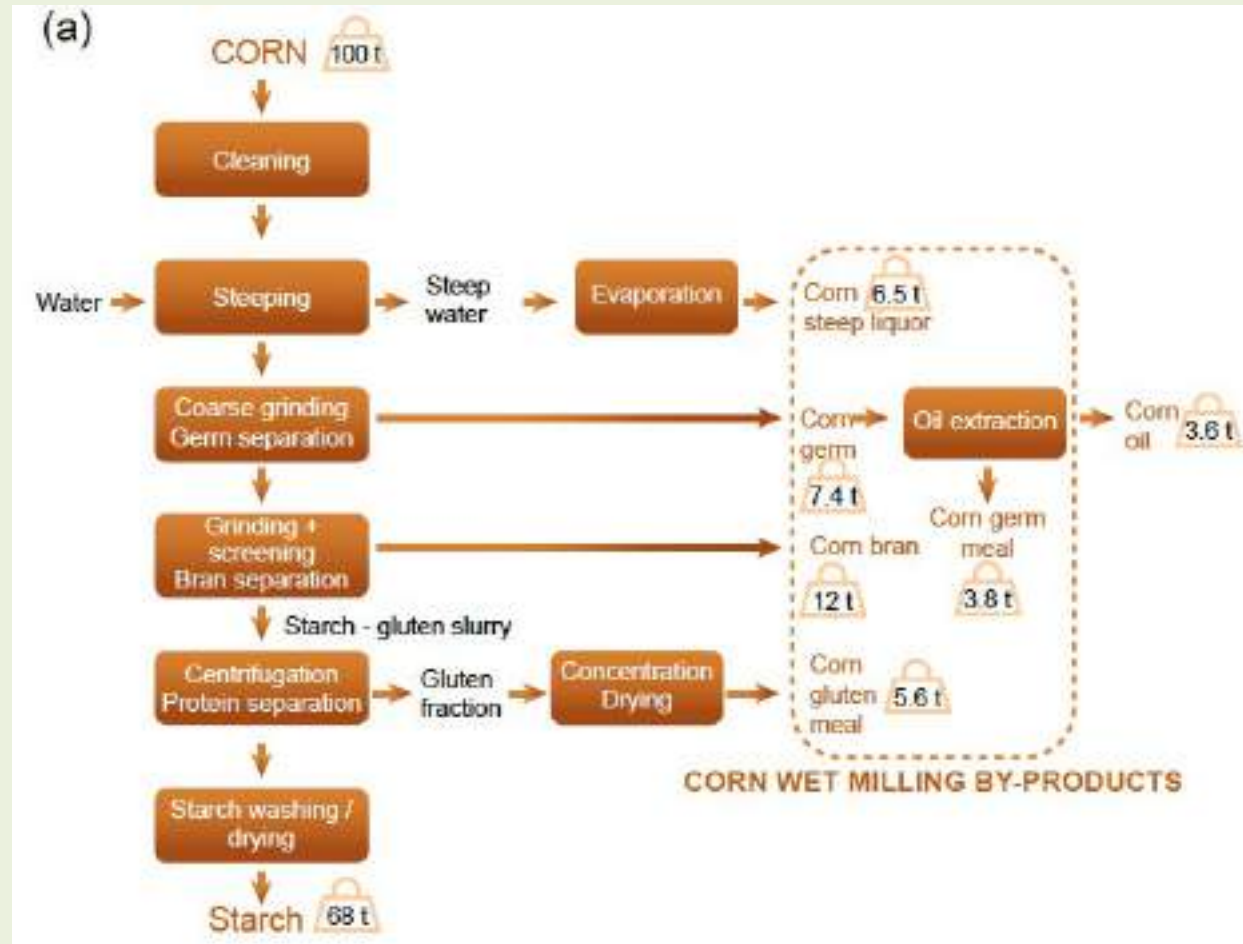
- ✓
- ✓ **harina;**
- ✓ **salvado;**
- ✓ **gérmen;**

# Valorización de subproductos del trigo



Khosroshah, E.D. et al., 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.12.001>

# Subproductos del maíz



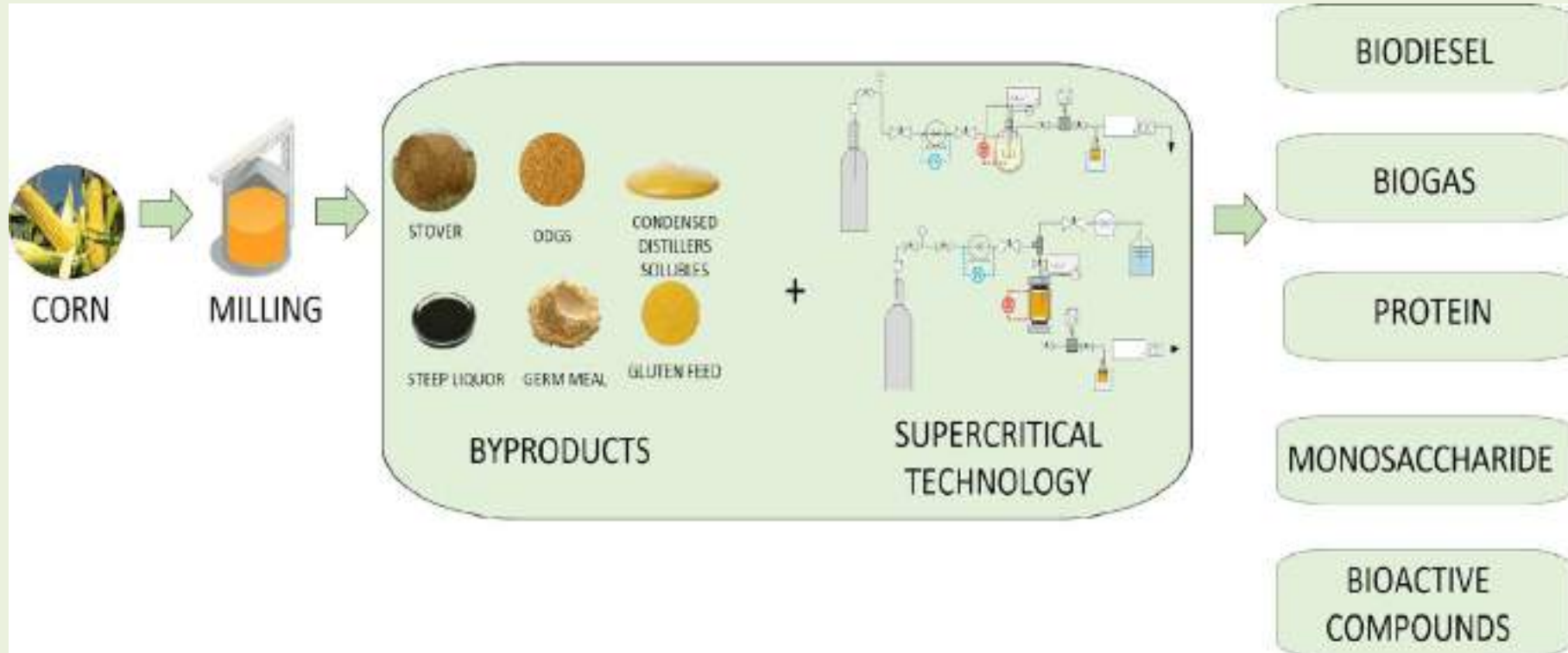
Después de moler el maíz, se obtiene el siguiente resultado:

- ✓
- ✓ **Almidón** (fracciones de endospermas)
- ✓ **Salvado**
- ✓ Otros subproductos, como el licor infusionado de maíz, el germen de maíz (harina y aceite), **el salvado de maíz y la harina de gluten de maíz.**

**Tipos de subproductos resultados tras el procesamiento del maíz**

(Dapčević-Hadnađev, T. et al., 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00002-2>)

# Valorización de subproductos del maíz

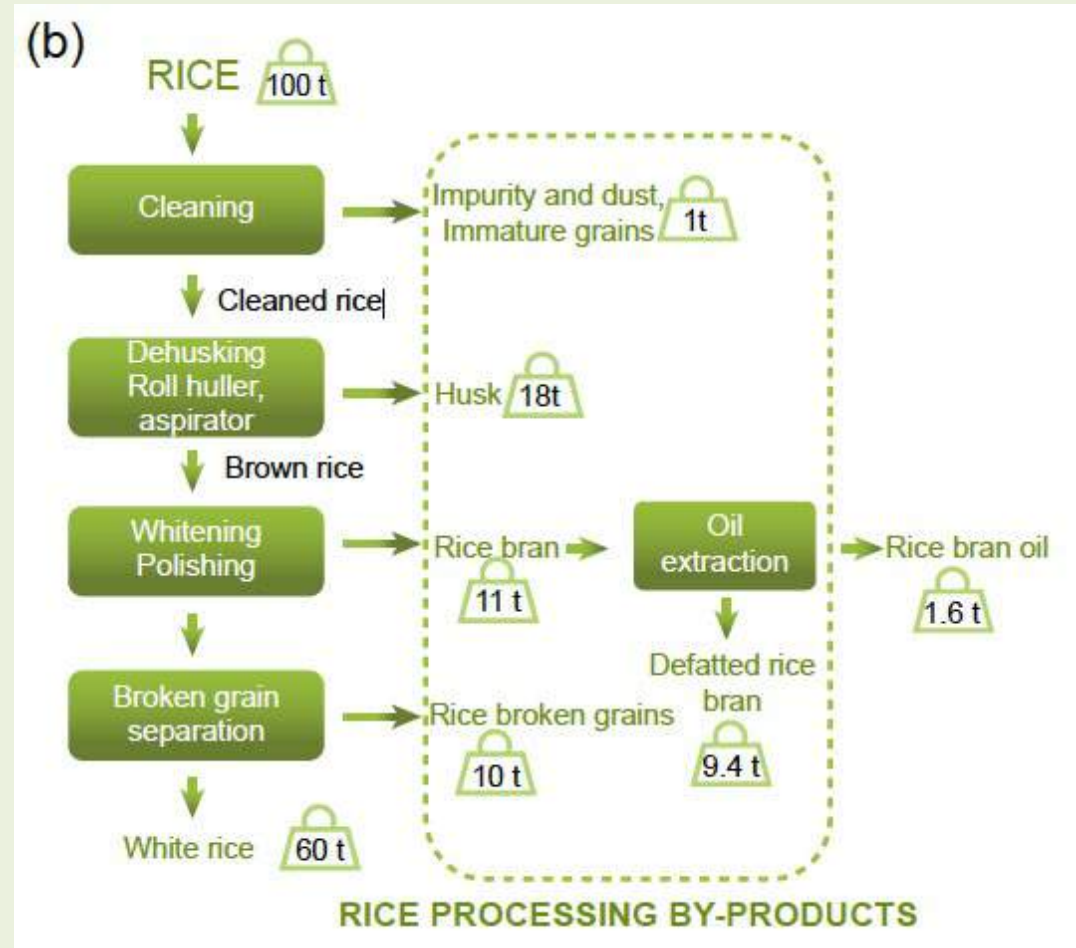


Santana, A.L. et al., 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11010289>

# Subproductos del arroz

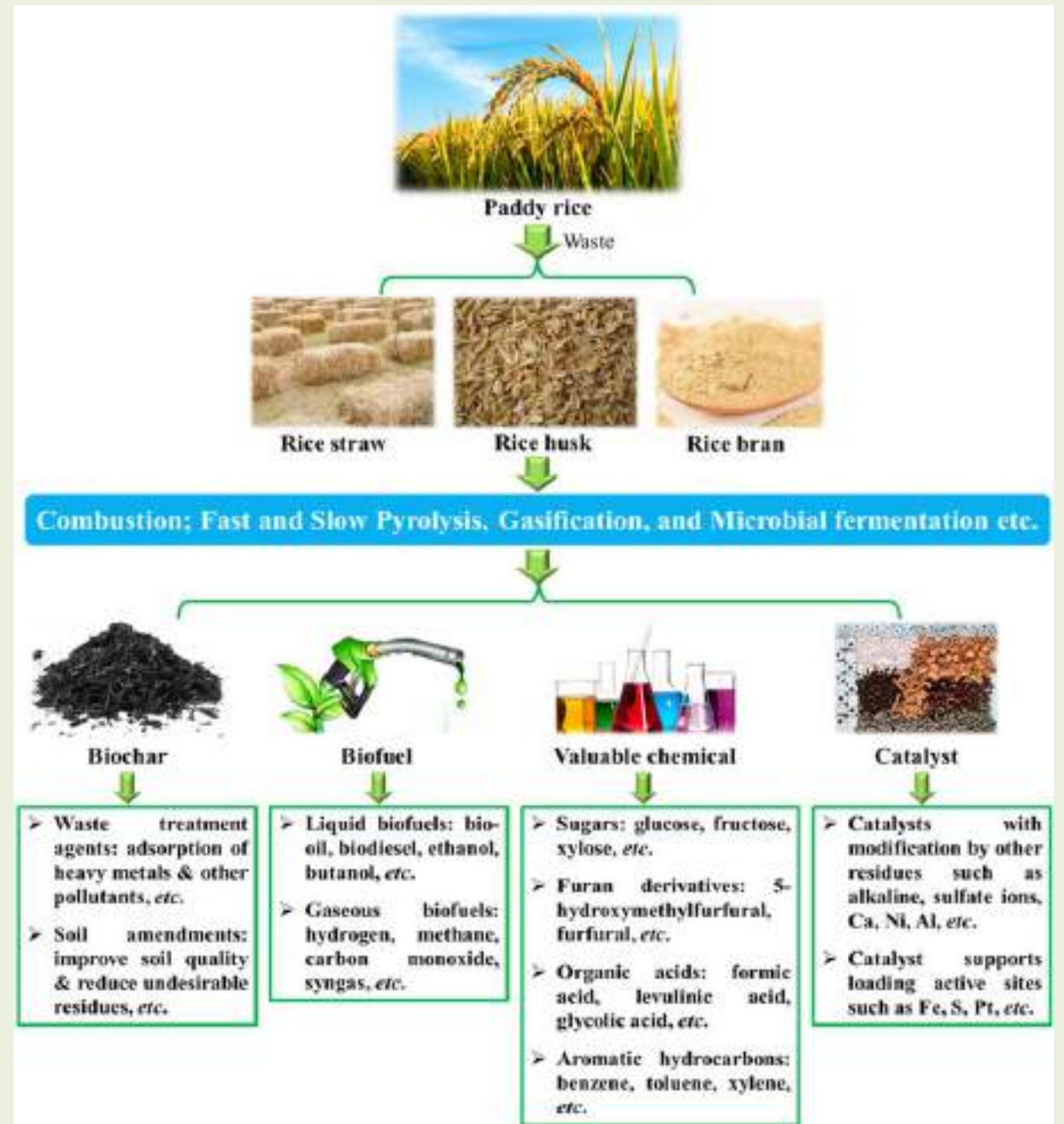
Después de moler el arroz, se obtienen los siguientes resultados:

- ✓ endospermo de arroz o arroz blanco;
- ✓ cáscara de arroz;
- ✓ salvado de arroz;
- ✓ germen de arroz.

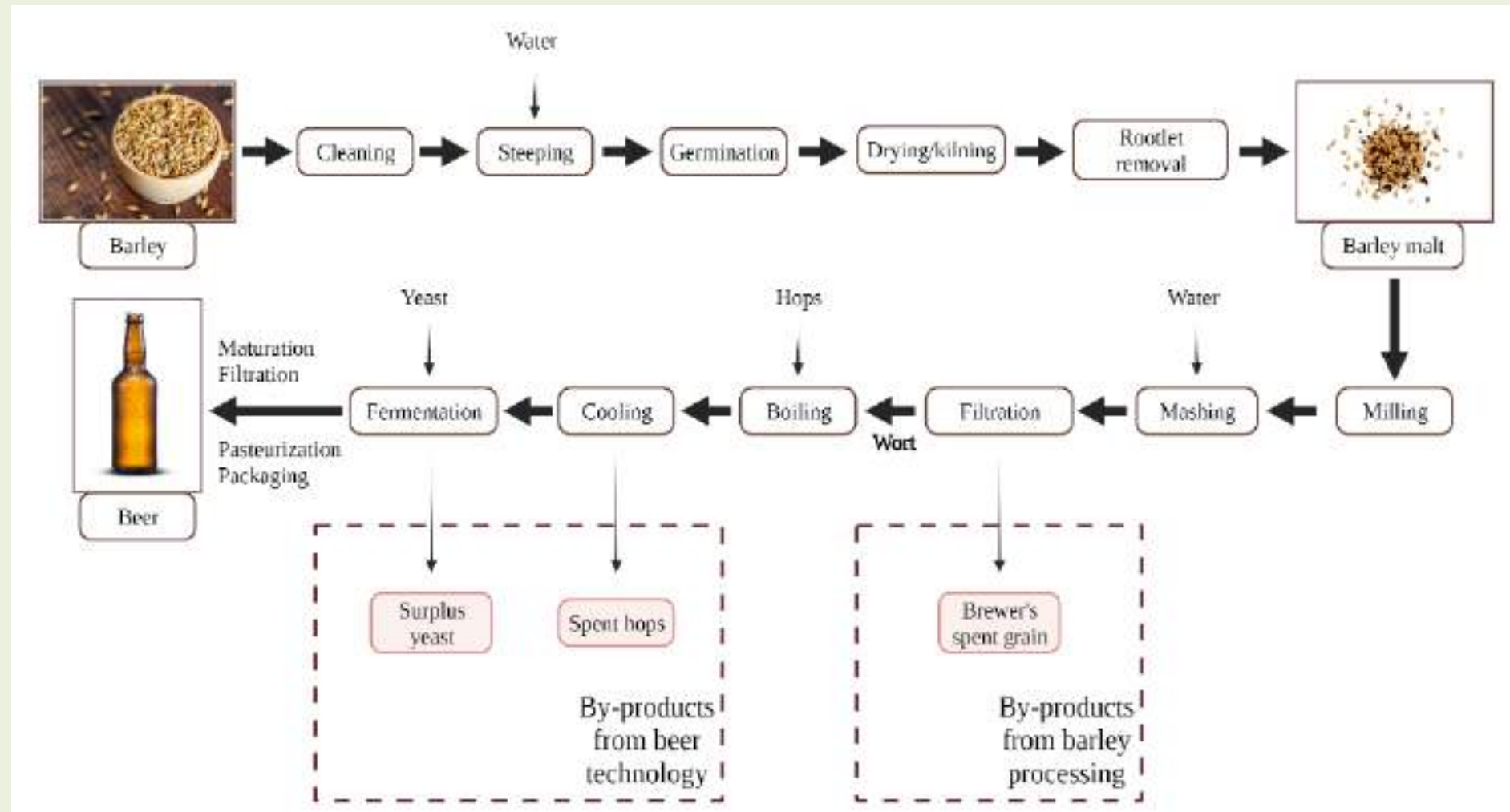


**Tipos de subproductos resultados tras el procesamiento del arroz**  
(Dapčević-Hadnađev, T. et al., 2018). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00002-2>)

# Valorización de subproductos del arroz



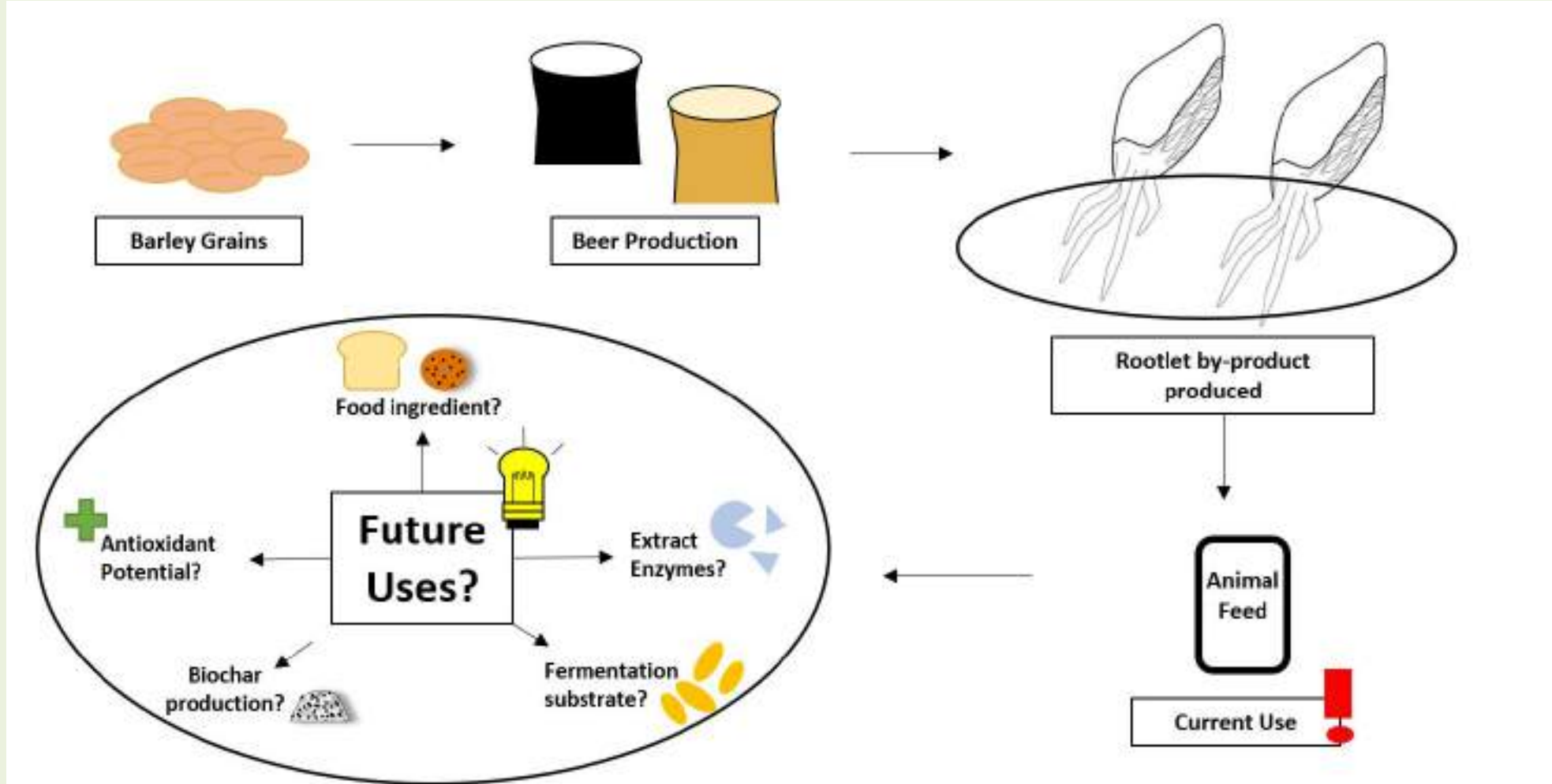
# Subproductos tras el procesamiento de la cebada



**Tipos de subproductos resultados tras el procesamiento de la cebada**

(Farcas, A. et al., 2021. <https://doi.org/10.3390/nu13113934>)

# Valorización de subproductos del grano de cebada

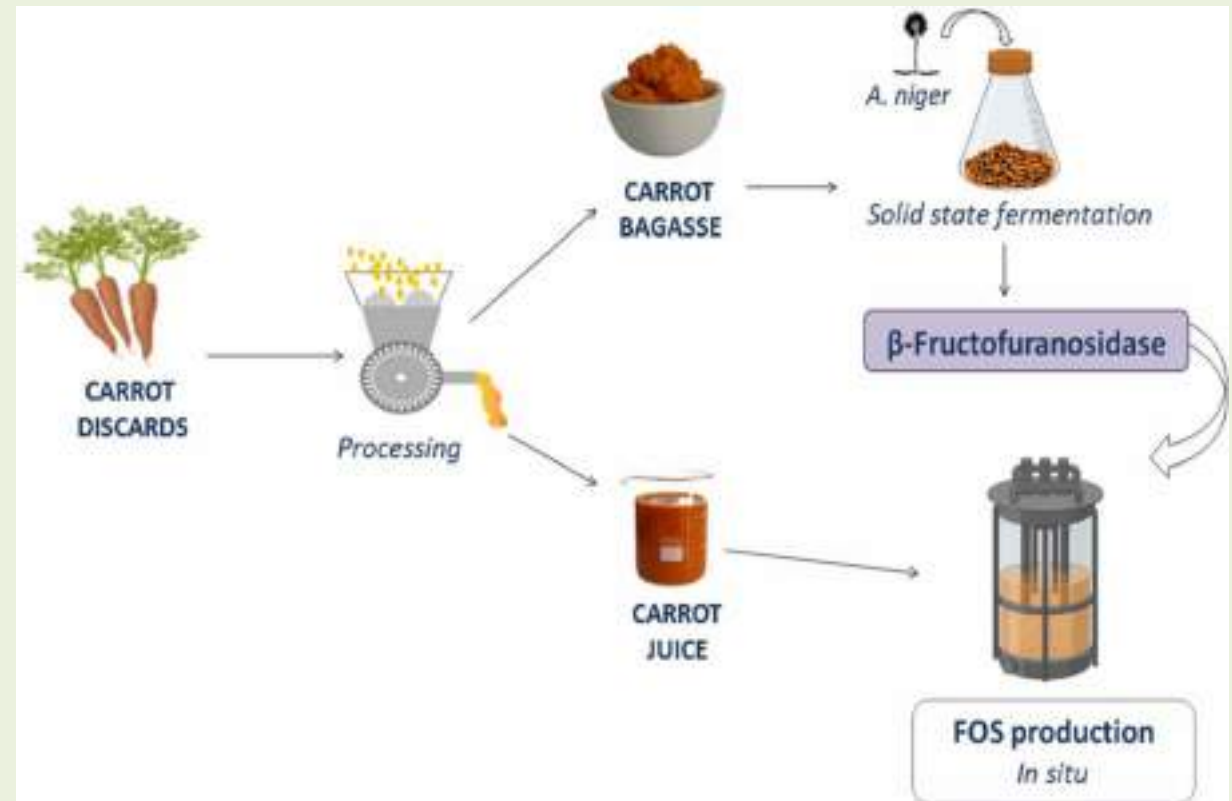


# Procesamiento de frutas y verduras

Principales subproductos: cáscaras, pulpa, semillas, tallos.

Condiciones de almacenamiento: almacenamiento en frío para subproductos perecederos, secado para conservación a largo plazo, humedad controlada

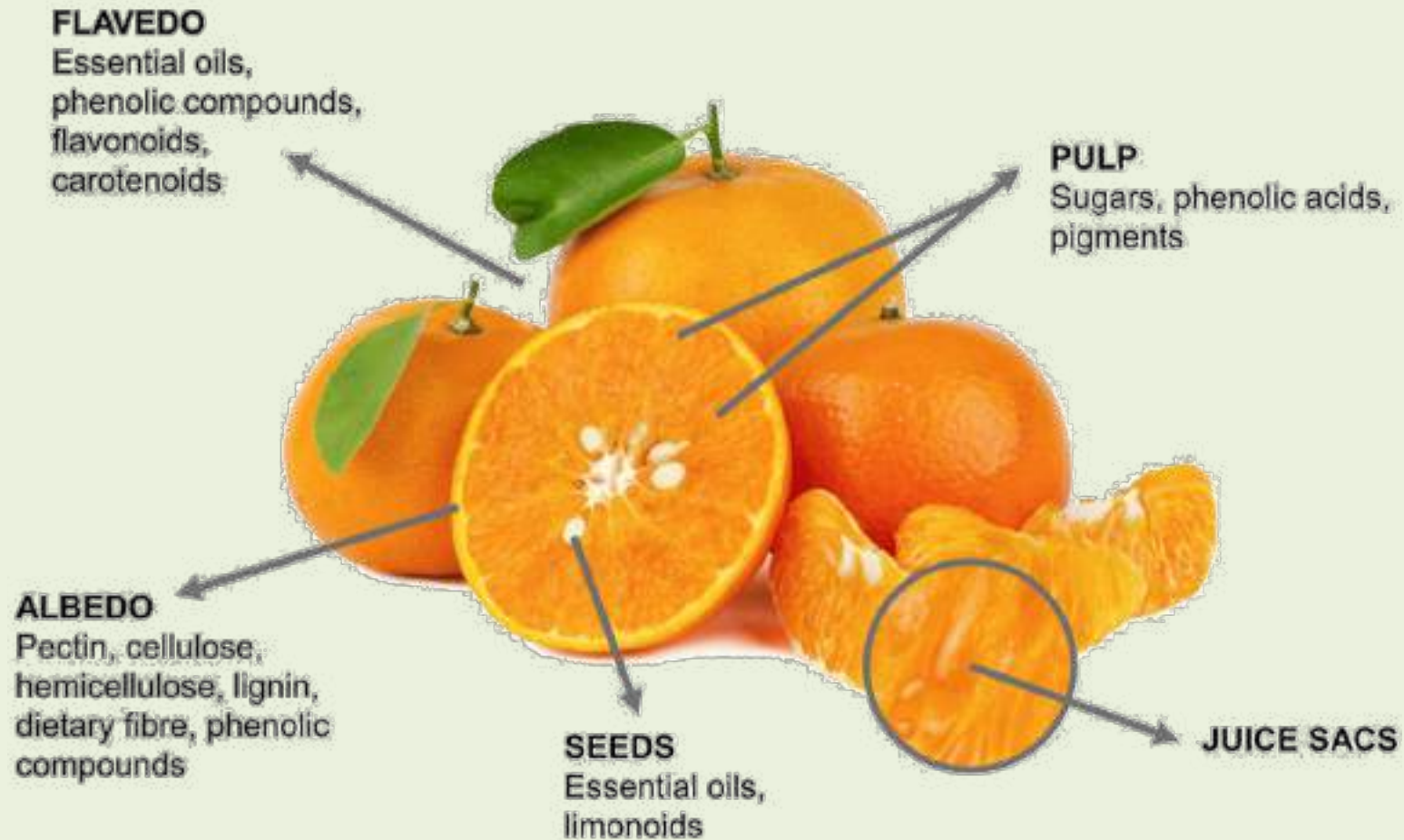
Desafíos regulatorios: normativas sobre gestión de residuos, directrices sobre compostaje y biocombustibles, normas de trazabilidad.



Guerra et al, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.01.011>



# Subproductos en el procesamiento de cítricos



# Subproductos basados en el procesamiento de cítricos

## Residuos sólidos

1

**Pulpa, cáscara, semillas y albedo** (la parte blanca de la cáscara).

2

**Origen:** Principalmente se genera tras la extracción del zumo y durante los procesos de pelado y segmentación.

3

**Usos potenciales:** Fuente de fibra dietética, pectina, aceites esenciales, biocombustibles, harina para alimentación animal y compostaje.

## Residuos líquidos

**Lavar aguas residuales, prensar agua y suero de zumos.**

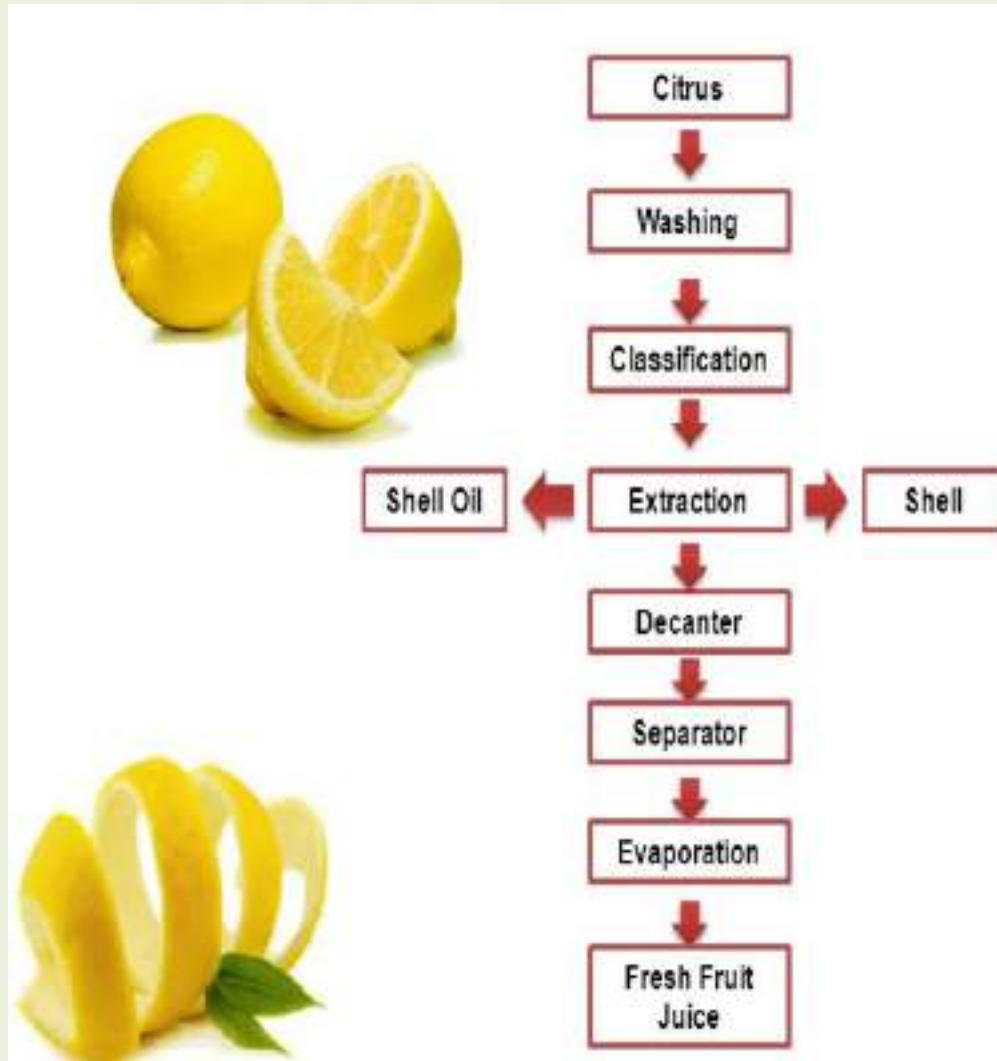
**Origen:**

- Derivado de la producción de zumos, extracción de aceites esenciales y procesos de extracción basados en disolventes.

**Usos potenciales:**

- Recuperación de compuestos fenólicos, extracción antioxidante, fermentación para producción de biogás o bioetanol, y tratamiento de aguas residuales.

# Proceso de extracción de jugos



## **Lavado y clasificación:**

Los cítricos se lavan para eliminar suciedad, pesticidas y contaminantes.

La clasificación se realiza para eliminar frutos dañados o inmaduros.

## **Despegado y extracción:**

Las frutas se prensan (para naranjas, pomelos) o se pelan mecánicamente (para limones, limas).

El zumo se extrae mediante prensado o métodos centrífugos.

Este paso genera residuos de pulpa y peeling.

## **Separación y filtración:**

El jugo extraído se filtra para eliminar el exceso de pulpa.

La pulpa restante contiene fibras, azúcares y compuestos bioactivos.

## Composición pulpa

**Agua (85-90%).** Le da una textura suave y contribuye a su naturaleza perecedera.

**Azúcares** (glucosa, fructosa, sacarosa, ~5-10%). Aporta dulzura natural.

**Fibra (soluble e insoluble, ~5-8%).** Importante para la salud intestinal y las propiedades prebióticas.

### **Compuestos bioactivos:**

**Flavonoides** (hesperidina, naringina).  
Propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

**Vitaminas (vitamina C, complejo B).** Esencial para las funciones inmunitarias y metabólicas.

## Composición Piel

**Celulosa y hemicelulosa (40-50%).**  
Componentes estructurales, útiles para la producción de fibras.

**Pectina (20-30%).** Se utiliza como agente gelificante en las industrias alimentaria y farmacéutica.

**Aceites esenciales (~2-5%).** Contienen limoneno, utilizado en cosméticos, perfumes y productos de limpieza.

**Compuestos fenólicos.** Potentes antioxidantes con beneficios para la salud.



## BAGAZO

### Origen: Prensado y filtración

El bagazo es el residuo fibroso que queda tras la extracción del zumo.

Consiste principalmente en celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que la convierte en una valiosa fuente de fibra dietética.

### Usos potenciales:

Pienso para animales: Debido a su contenido en fibra y carbohidratos.

Biocombustibles: Se utilizan para producir bioetanol y biogás.

Compostaje y enriquecimiento del suelo: Proporciona materia orgánica a los suelos agrícolas.

Producción de papel y bioplásticos: Su contenido en fibra lo convierte en materia prima para envases biodegradables.



## SEMILLAS

Las semillas de cítricos contienen entre un 20 y un 40% de aceite, un 5 - 10 % de proteínas (aminoácidos esenciales), flavonoides y tocoferoles.

Extracción de aceite de semilla de cítricos: prensado en frío, extracción con disolventes o extracción supercrítica de CO<sub>2</sub>

### Aplicaciones industriales:

Cosmética: El aceite de semilla de cítricos se utiliza en productos para el cuidado de la piel por sus efectos antioxidantes e hidratantes.

Nutracéuticos: Ricos en ácidos grasos omega-3 y omega-6, beneficiosos para la salud del corazón.

Industria alimentaria: Se utiliza como aceite de cocina o ingrediente en alimentos funcionales.

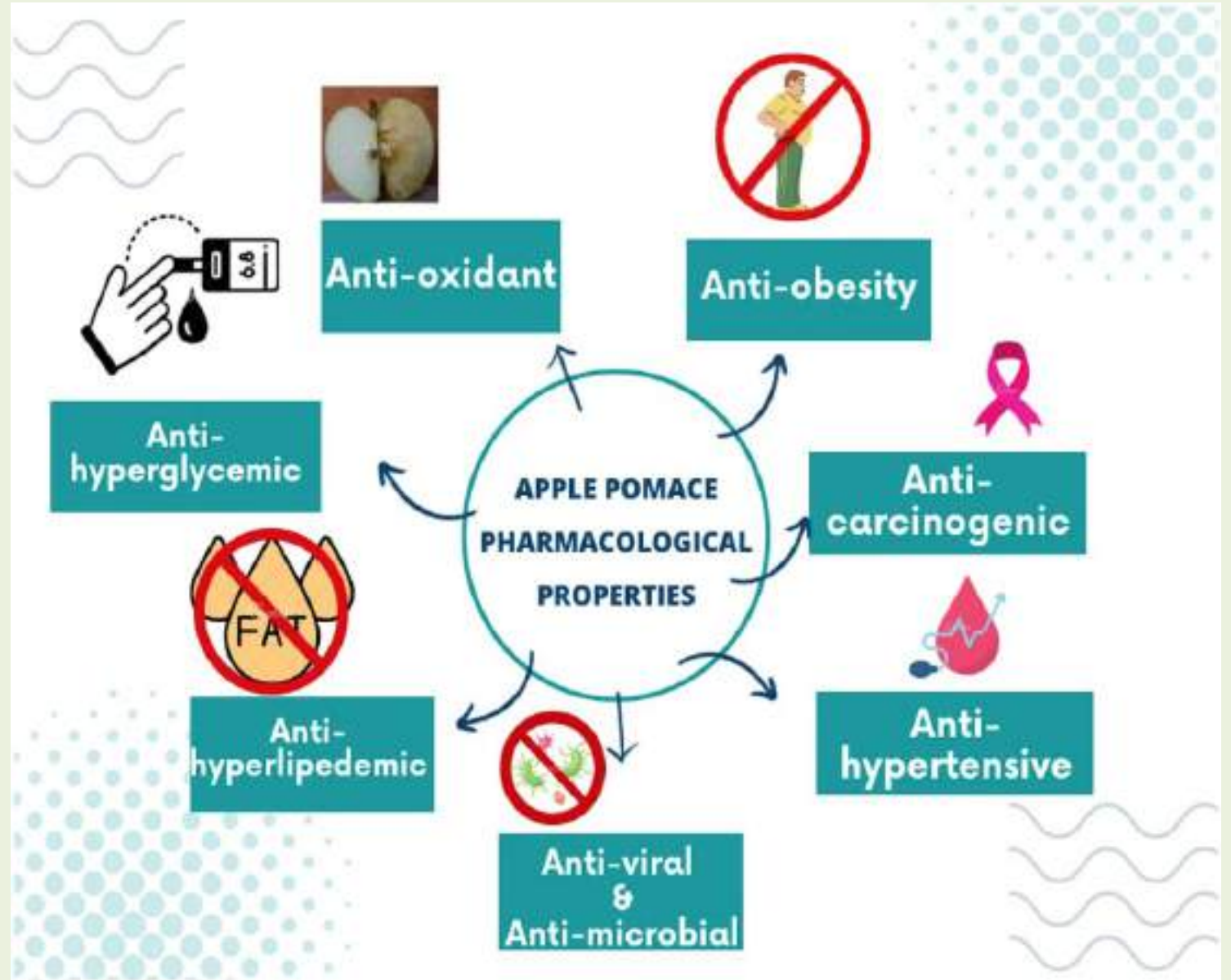
# Subproductos basados en el procesamiento de manzana

A pesar de su importancia en términos de consumo, la recuperación de bioproductos sigue siendo modesta.



Representación esquemática de los pasos de extracción y procesamiento del zumo de manzana y sus principales subproductos, Fernandez et al., 2024

# Subproductos de manzana

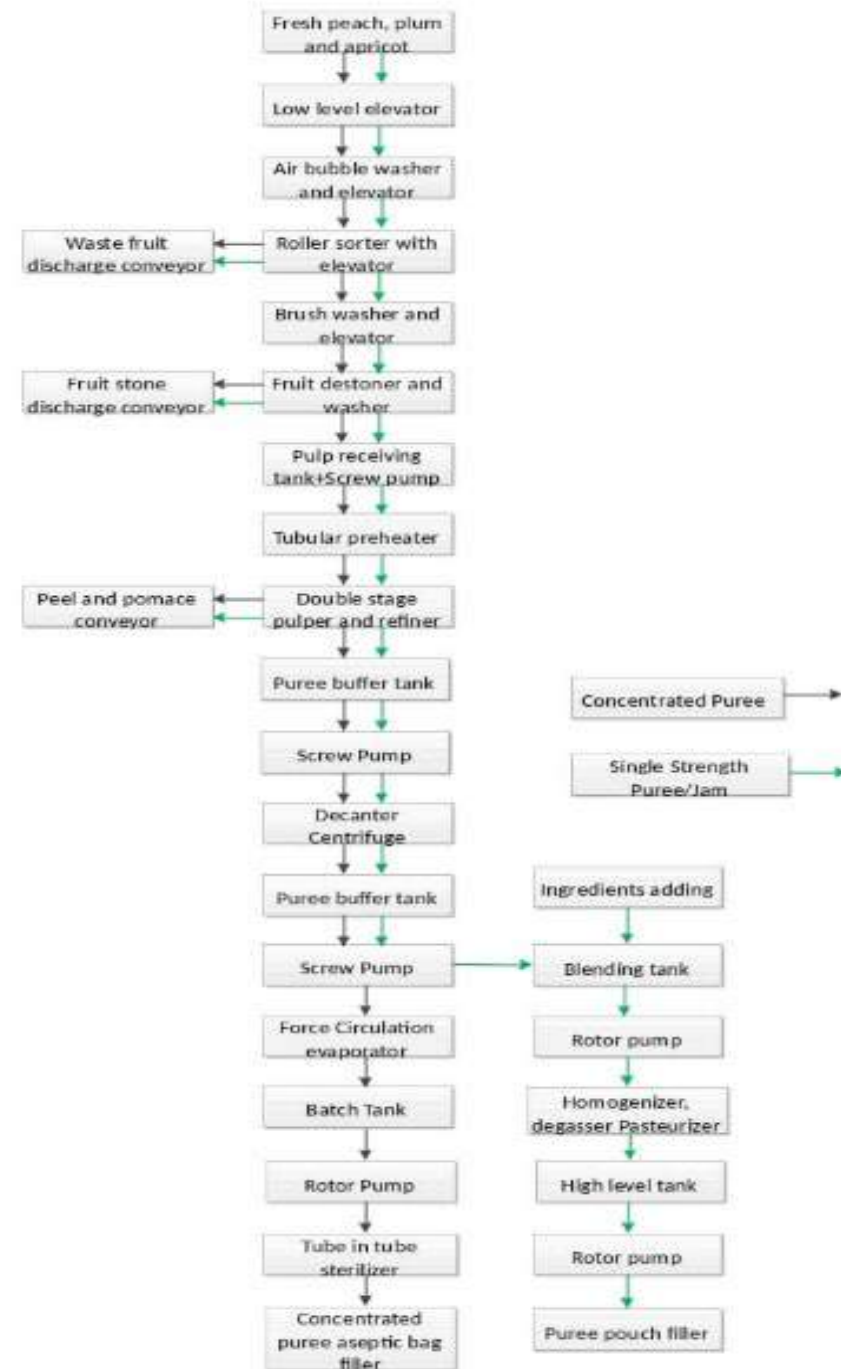


Kauser, et al., 2024. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100598>

# Subproductos de la ciruela

Durante el procesamiento industrial de ciruelas, se producen y desechan toneladas de ciruela (residuos de pastel prensado de la industria del zumo), semillas (huesos) y desechos de destilería de brandy (pulpa/cáscaras de frutas gastadas).

Además, durante el procesamiento en frutos secos, mermeladas y zumos, se generan toneladas de huesos de fruta (subproductos agroindustriales).



# Subproductos de huesos de ciruela



Rodríguez-Blázquez, S et al, 2024. <https://doi.org/10.3390/ijms25021236>

# Subproductos de la destilería "Tuica" - Compuestos bioactivos



## "Tuica" distillery by-products

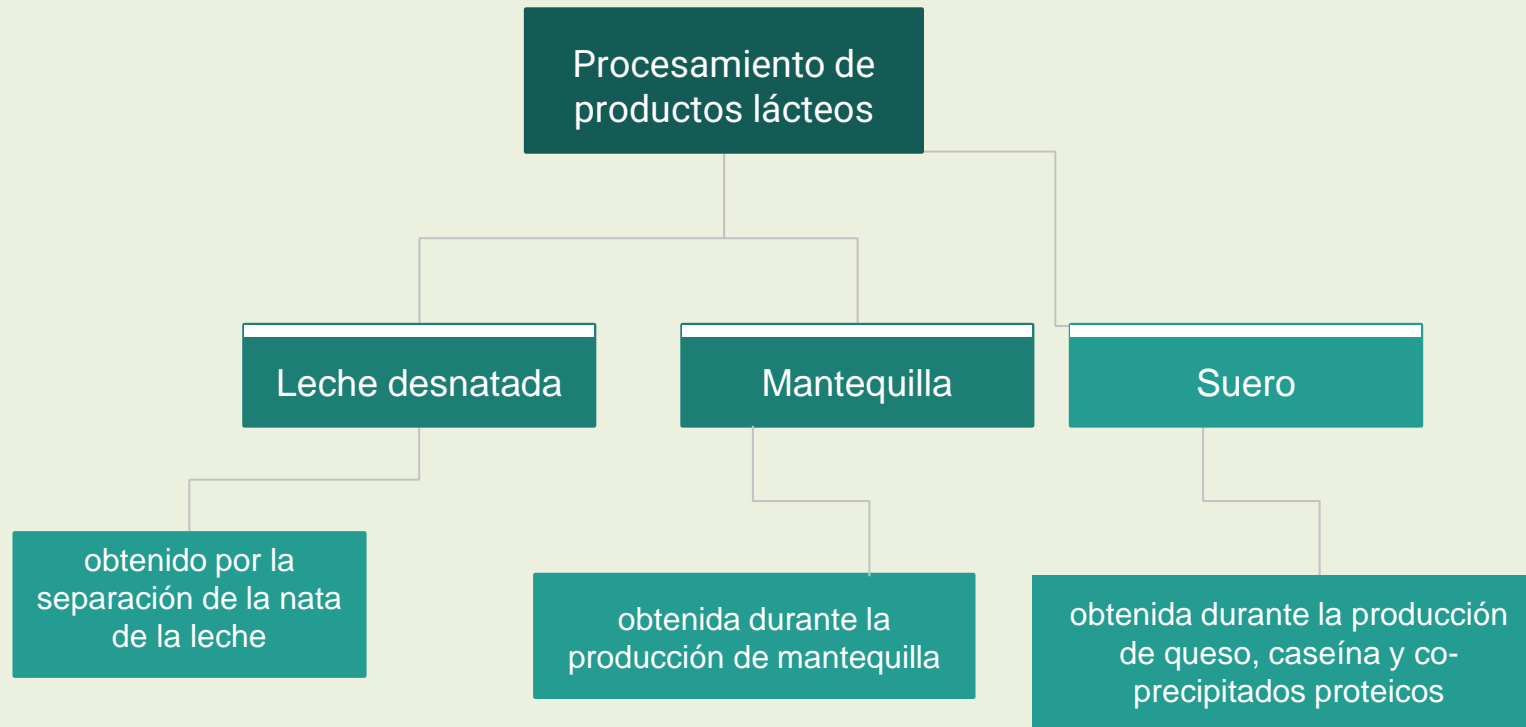
- seeds (stones)
- spent fruit: pulp/  
peels

---

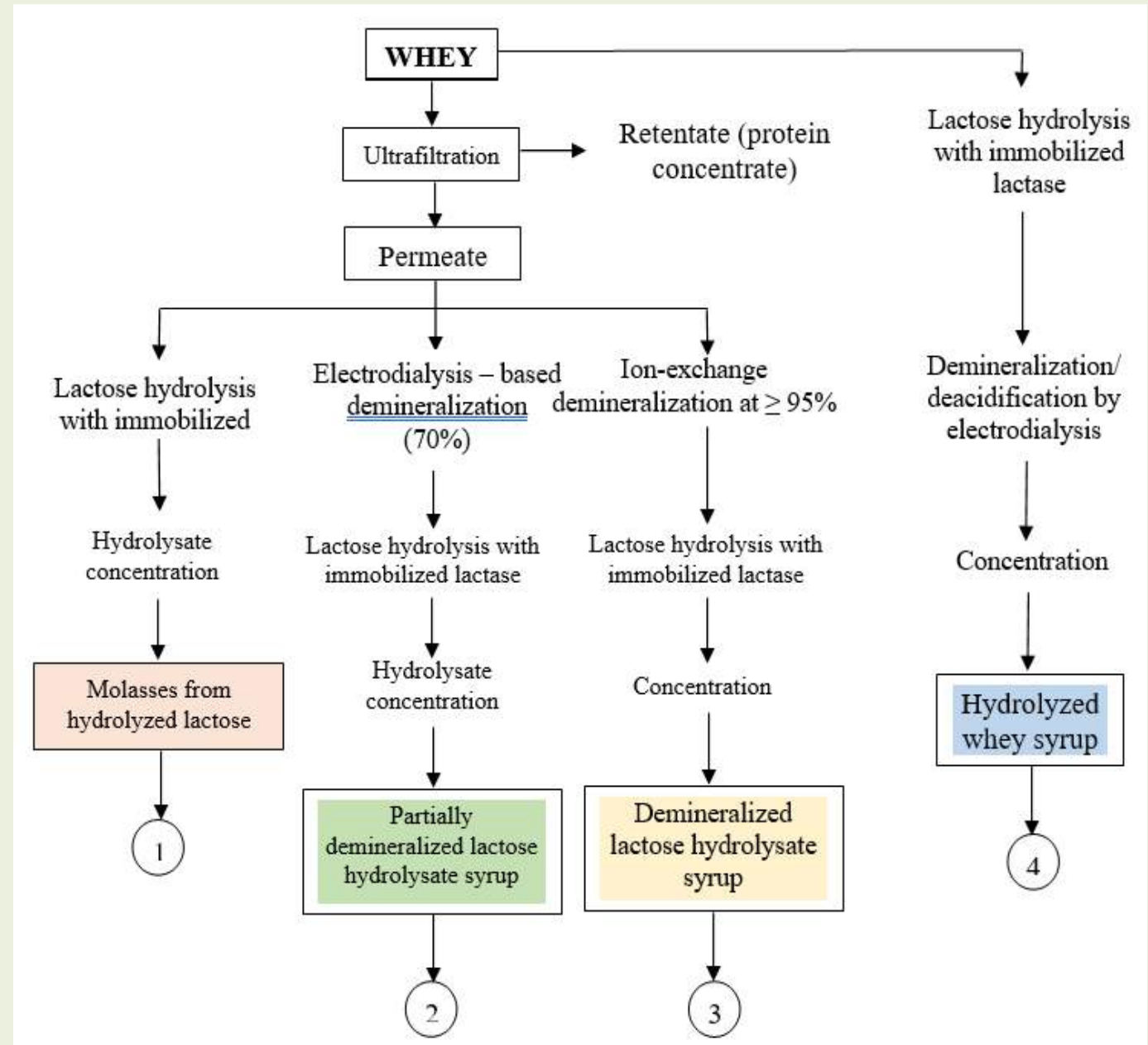
Antioxidants  
Proteins  
Peptides, amino acids  
Dietary fiber  
Novel carbohydrates  
Unsaturated lipids  
Phytosterol  
Vitamins, minerals

---

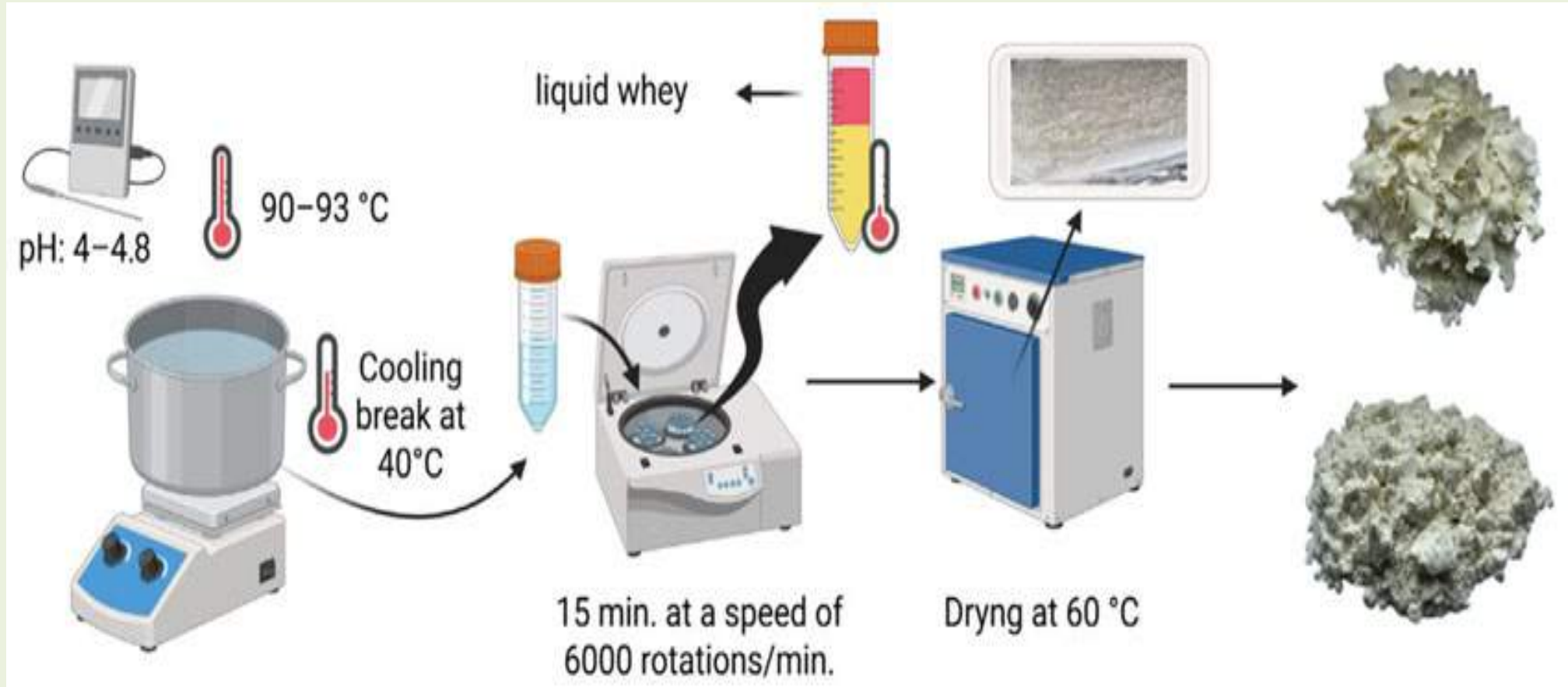
# Subproductos lácteos



# Diagrama de flujo tecnológico para procesamiento de suero y permeado



# PROCESAMIENTO DEL SUERO EN POLVO



# PROPIEDADES DEL SUERO

- \* $\alpha$ -lactalbumin
- \* $\beta$ -lactoglobulin
- \*Immunoglobulins

High-quality complete protein (all essential amino acids).

Typical composition:

- \*0.6–0.8% proteins;
- \*4.5–5% lactose
- \*0.5–0.6% minerals

- \*Vitamins (B2 and B12),
- \*Minerals (calcium and phosphorus)

**Functional Properties**

- \*Excellent **solubility**
- \***Emulsifying** capacity
- \***Foaming** capacity
- \***Antioxidant** activity
- \***Antimicrobial** activity

# Características del suero obtenidas del procesamiento de leche de vaca

## Las principales características químicas del suero

Constituyentes(%)	Suero dulce	Suero ácido
Agua	93 - 94	94 - 95
Materia seca	6 - 7	5 - 6
Lípidos	0 - 0,3	0 - 0,1
Proteínas	0,8 - 0,1	0,8 - 0,1
Lactosa	4,5 - 4,9	3,8 - 4,2
Sustancias minerales	0,5 - 0,7	0,7 - 0,8
Ácido láctico	traces	0,8

### Características físico-químicas

- **Densidad (p):** 1.023 g/cm<sup>3</sup>
- **Acidez:** 100 °T
- **Materia seca:** mínimo 6.3%

### Características microbiológicas

El suero de leche es un medio propicio para el desarrollo de diversos tipos de microorganismos. Según el origen del suero, los microorganismos presentes pueden ser muy diversos. Los más frecuentes son: mohos, levaduras, bacterias del ácido láctico, bacterias coliformes y bacterias butíricas.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

# Capítulo 3: Tecnologías innovadoras y sostenibles de valoración



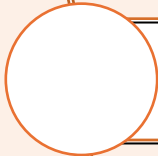
# Metodologías para valorar subproductos



**1. Secado:** Esta operación es una alternativa bien conocida para obtener productos secos con larga vida útil, reduciendo significativamente las pérdidas durante los periodos de cosecha y reduciendo los costes de tratamiento de los residuos resultantes. Los tipos de secado utilizados son: secado convencional en horno al, secado por convección con aire caliente, secado al vacío en horno, acondicionamiento por liofilización y secado por pulverización.



**2. Encapsulación:** es un proceso en el que un material de núcleo se integra en material de pared de grado alimentario. Las tecnologías de microencapsulación y encapsulación se refieren a las técnicas utilizadas para atrapar sustancias sólidas, líquidas o gaseosas dentro de una matriz de recubrimiento continua, formando cápsulas que varían en tamaño desde la escala micrómetro hasta milímetro.



**3. Extracción:** separa componentes específicos (solutos) de una mezcla sólida o líquida utilizando un disolvente selectivo, basado en diferencias de solubilidad



**4. Fermentación:** es un término de ingeniería utilizado para describir los procesos que utilizan un cambio químico inducido por microorganismos, en particular bacterias, levaduras o mohos, que produce un producto específico, que suele incluir la aireación potenciadora la proliferación de microorganismos.

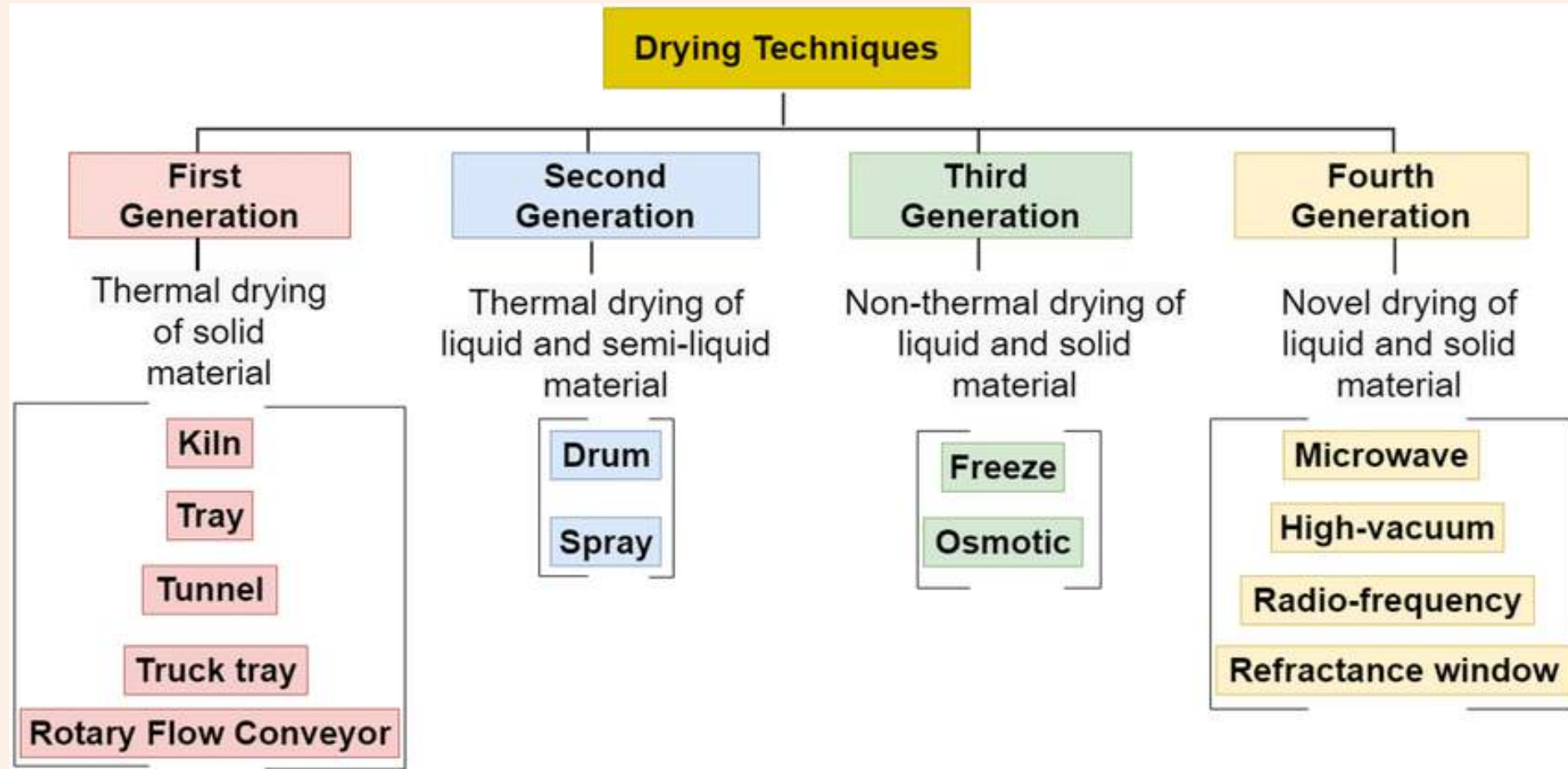


**5. Extrusión.** consiste en forzar un material alimentario a alta presión y temperatura a través de una matriz o dado, para obtener perfiles de sección transversal constante y longitud indefinida



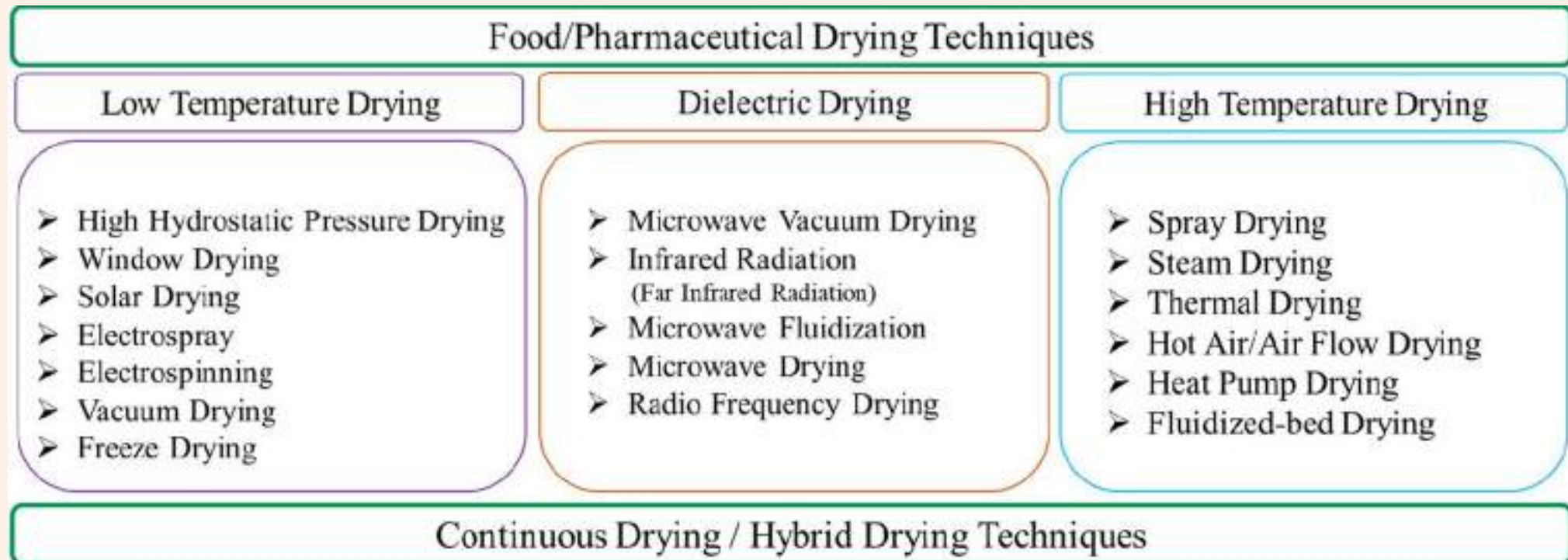
**6. Envases de alimentos:** Los residuos agroindustriales son una alternativa para desarrollar materiales de embalaje biodegradables, renovables y sostenibles para responder a la creciente demanda de soluciones respetuosas con el medio ambiente en el sector alimentario.

# 1. TÉCNICAS de SECADO: Evolución



# Técnicas de secado categorizadas según el tipo de sistema de calefacción:

## Mecanismos de secado basados en bajas temperaturas, altas temperaturas y dieléctricos



Fathi et al., 2021. DOI:10.1111/1541-4337.12898

# Métodos convencionales de secado



## Secado en tambores

- ✓ Se aplica vapor para aumentar la temperatura interna superficial del tambor.
- ✓ El material se adhiere a los tambores mientras se pulveriza y se seca en su interior.
- ✓ El grado de separación entre los tambores, la presión del vapor y la velocidad de rotación del tambor puede modificarse para lograr la salida requerida.



## Secado en estufa

- ✓ Un producto se extiende en bandejas o estanterías y se controla el calor y el flujo de aire para eliminar la humedad.
- ✓ Límites: procesamiento por lotes, secado desigual, pérdida de calidad, mayor requisito de espacio para la instalación del equipo, aplicación limitada.



## Secado en horno de aire caliente

- Se utiliza para producir polvos, frutas secas para la fabricación de alimentos, la panadería o como ingredientes en diversos productos.
- Se cree que es un proceso exitoso para conservar la calidad y el sabor mientras elimina la humedad de forma eficiente.
- Las limitaciones son relativamente lentas, especialmente para materiales con alto contenido de humedad, y lleva un tiempo considerable. El proceso puede requerir mucha energía para procesos de secado a gran escala y puede conducir a un mayor nivel



## Secado solar

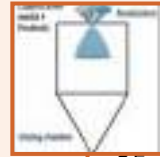
- ✓ Utilizado para productos como verduras, frutas, tabaco, té, café, fruta, frutas secas, cereales y arroz, necesita una energía a baja temperatura y ha desempeñado un papel vital en la vida humana y la tecnología desde tiempos antiguos.
- ✓ El secado solar no depende solo de la energía solar. También puede aplicarse en combinación con otras fuentes de energía como el combustible.
- ✓ Además, el secado solar proporciona mayor eficiencia, uniformidad, ahorro energético y menos espacio

# Métodos convencionales de secado



## Secado al vacío

- ✓ Un método valioso para producir concentrados y polvos secos de alta calidad, preservando el sabor y contenido nutricional originales.
- ✓ El secado al vacío funciona a una temperatura baja en comparación con la mayoría de los métodos de secado y ayuda a preservar el sabor natural, el color y el contenido nutricional.
- ✓ El secado al vacío se realiza en condiciones de presión reducida que reducen el punto de ebullición del agua y facilitan la evaporación del agua a una temperatura más baja, evitando daños por calor al polvo producido.



## Secado por pulverización

- ✓ Es un método muy común y versátil utilizado para secar productos líquidos.
- ✓ Ventajas: calidad de producción, estabilidad en estantería con sabor y color preservados
- ✓ Las principales características del secado por pulverización incluyen su capacidad de secado rápido que lo hace adecuado para la producción a mayor escala, el control del tamaño de partículas del polvo seco según requisitos específicos, su exposición corta al calor, su mayor vida útil y su versatilidad frente a diversos productos, incluyendo bebidas instantáneas, aromatizantes e ingredientes en la industria alimentaria
- ✓ Etapas: (1) atomización de la alimentación de entrada; (2) mezcla de gotas (pulverizando gas, aire/nitrógeno neutro) y humedad libre/recubierta; (3) rociar la mezcla, el aire y la gota hasta la boquilla; y (4) recuperación de productos



## Liofilización

- Proceso utilizado para eliminar la humedad, preservando su estructura, sabor y contenido nutricional y bioactivo mediante el proceso de sublimación.
- Este método es una comodidad para aplicaciones industriales.
- Ventajas: conservación de calidad, mayor estabilidad en estantería, mejor capacidad de rehidratación, baja densidad volumétrica y menos posibilidades de contaminaciones microbianas.
- Limitaciones: coste de equipos y procesamiento, tiempo, consumo energético, complejidad del equipo, etc., son algunos de los factores para el uso de la liofilización a nivel industrial pequeño
- Es un proceso de tres pasos, que incluye congelación (entre  $-70$  y  $-80^{\circ}\text{C}$  de modo que todos los componentes tengan una estructura de hielo cristalino), primaria (que elimina por sublimación el agua de la solución) y secado secundario (elimina el agua restante, unida a un hidrato cristalino o a un sólido amorfo).



## Secado en lecho fluidizado

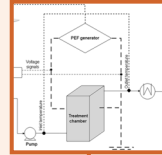
- Fluidización. Funciona mediante la alimentación continua de partículas húmedas que entran en contacto con una superficie cálida o aire caliente que se sopla, para mantener el material fluidizado. El secado fluidizado de cama se utiliza en las industrias alimentaria, farmacéutica y química para secar polvos húmedos y cápsulas/partículas sólidas.
- El secador de cama fluida proporciona una transferencia eficiente de calor y masa, un tiempo de secado corto, una alta velocidad de secado, una alta eficiencia y una condensación uniforme.
- Las unidades de operación requieren alta potencia térmica, alto caudal de gas fluidizante y alta tasa de transporte de sólidos hacia y desde el secador.

# Métodos novedosos de secado y ventajas



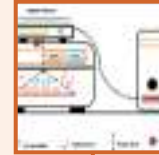
## Liofilización por spray

- ✓ Es un método de secado innovador y avanzado utilizado para preservar las características y calidad de diversos materiales, incluyendo polvos, productos farmacéuticos y biomateriales.
- ✓ Este proceso combina los elementos de secado por aspersión y liofilización para lograr un secado rápido manteniendo la integridad de los materiales secados.
- ✓ Las ventajas respecto a los métodos convencionales de secado son la rápida congelación del polvo seco en spray, la minimización de la exposición al calor, mayor relación de rehidratación, baja densidad a granel y peso ligero, lo que hace adecuado para su almacenamiento y transporte, además de reducir el riesgo de contaminaciones microbianas y cualquier daño oxidativo para preservar su color, textura, componentes nutricionales y bioactivos



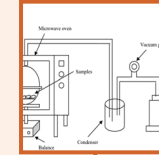
## Secado por campo eléctrico pulsado (PEF)

- ✓ Consiste en la aplicación de pulsos de alto voltaje al alimento colocado entre dos electrodos. El secado con PEF se considera una técnica innovadora que incluye la combinación de la tecnología PEF con el proceso de secado. El pulso eléctrico provoca la permeabilización de la membrana celular y permite que el agua intercelular salga libremente, que luego se seca principalmente mediante aspersión o liofilización.
- ✓ Ventajas: ayuda a retener el sabor, el color, los componentes nutricionales y bioactivos al minimizar la exposición al calor durante el secado. Acelera el proceso de secado al aumentar la movilidad del agua intercelular, lo que puede reducir significativamente el tiempo de secado.



## Secado por microondas

- son técnicas novedosas de secado que utilizan la energía de microondas para eliminar la humedad de las matrices de alimentos preservando su calidad y características. Cuando la comida se expone al microondas, las ondas electromagnéticas la penetran y producen calor, lo que provoca la vaporización del agua.
- Utiliza equipos eléctricos no convencionales con una frecuencia en el rango de 108–1010 Hz. El mecanismo de calentamiento MW, también conocido como calentamiento a granel, genera calor en todo el material convirtiendo energía en calor cuando la frecuencia MWa interactúa con el material.
- Ventajas: se seca rápido y eficientemente, lo que lo hace adecuado para una producción a mayor velocidad. Las microondas proporcionan un resultado de calentamiento uniforme y controlado



## Secado al vacío por microondas

- ✓ El microondas con radiofrecuencia entre 300 y 30.000 MHz se utiliza en las técnicas de secado al vacío de MW como fuente de calor en lugar de los sistemas de calefacción convencionales.
- ✓ El MW proporciona energía uniforme en todo el material y disolvente debido a la humedad vaporizante en la capa interna de los poros del material. Además, el secado al vacío en MW podría ser casi un 50% más rápido y eficiente gracias al secado combinado al vacío (vacío a alta presión) para ayudar a eliminar la humedad.
- ✓ Ventajas: proporciona productos con textura homogénea y de alta calidad, además de mantener la composición química del material en comparación con el secado al vacío convencional. VMW se ha utilizado más recientemente en la industria alimentaria para funciones de calentamiento, extracción, secado y esterilización.

# Métodos novedosos de secado y ventajas



## Secado infrarrojo

- ✓ Las longitudes de onda infrarrojas, de alrededor de 1–6  $\mu\text{m}$ , interactúan con la capa interna del producto, promoviendo el aumento de temperatura y, en consecuencia, la evaporación de la humedad
- ✓ La radiación infrarroja lejano (FIR), debido a su capacidad para permitir una distribución uniforme del calor, se está aplicando como opción de secado.
- ✓ Debe tenerse en cuenta que el secado FIR es más rápido que el secado al aire caliente, más caro y consume más energía que el liofilizado, y tiene una tasa de secado mayor en comparación con las técnicas convencionales.
- ✓ La técnica de secado FIR se utiliza en lugar del secado convencional en las industrias farmacéutica y alimentaria, especialmente en procesamiento de frutas, verduras y carne, debido a su menor coste energético y mayor rapidez.



## Secado hidroconductivo

es un proceso de secado novedoso que transmite calor directamente de una superficie calentada al material. El material retiene calor, aumentando el calor interno y provocando la evaporación de la humedad.

El secado de CHD consiste en extender uniformemente el material sobre una cinta transportadora de plástico transparente resistente al calor y exponerlo a radiación infrarroja de una longitud de onda especificada. Esto resulta en una penetración y calentamiento eficientes sin sobrecalentar ni dañar el producto.

El calentamiento continuamente hace que el agua se evapore, produciendo polvo seco. Los polvos de CHD tienen cualidades clave como la conservación de calidad, eficiencia energética, reducción de la oxidación, personalización e higiene.



## Secado por fluido supercrítico

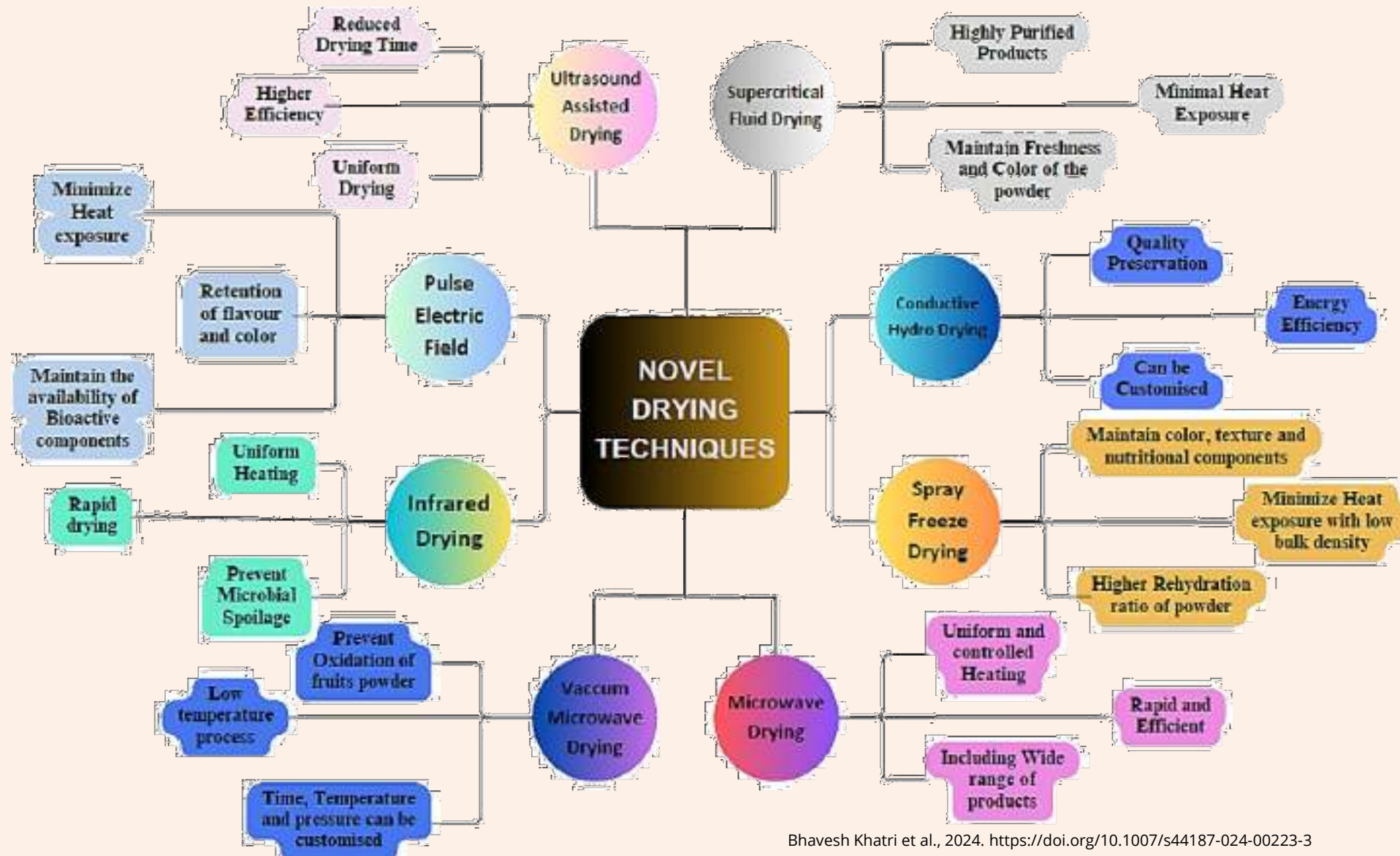
para fabricar polvos. Tiene múltiples aplicaciones, incluyendo zumo de fruta en polvo para bebidas instantáneas, fabricación de alimentos y suplementos dietéticos. El CO<sub>2</sub> se emplea como fluido supercrítico, mostrando propiedades líquidas y gaseosas a presiones y temperaturas específicas. La temperatura y la presión se regulan para expandir el fluido supercrítico, lo que resulta en la precipitación de componentes y la separación del CO<sub>2</sub> del polvo seco. El CO<sub>2</sub> es naturalmente no tóxico, lo que hace que esta técnica sea ideal para crear productos de alta pureza. Una exposición mínima al calor reduce la oxidación, manteniendo la frescura y el color del polvo.



## Fluidización por microondas

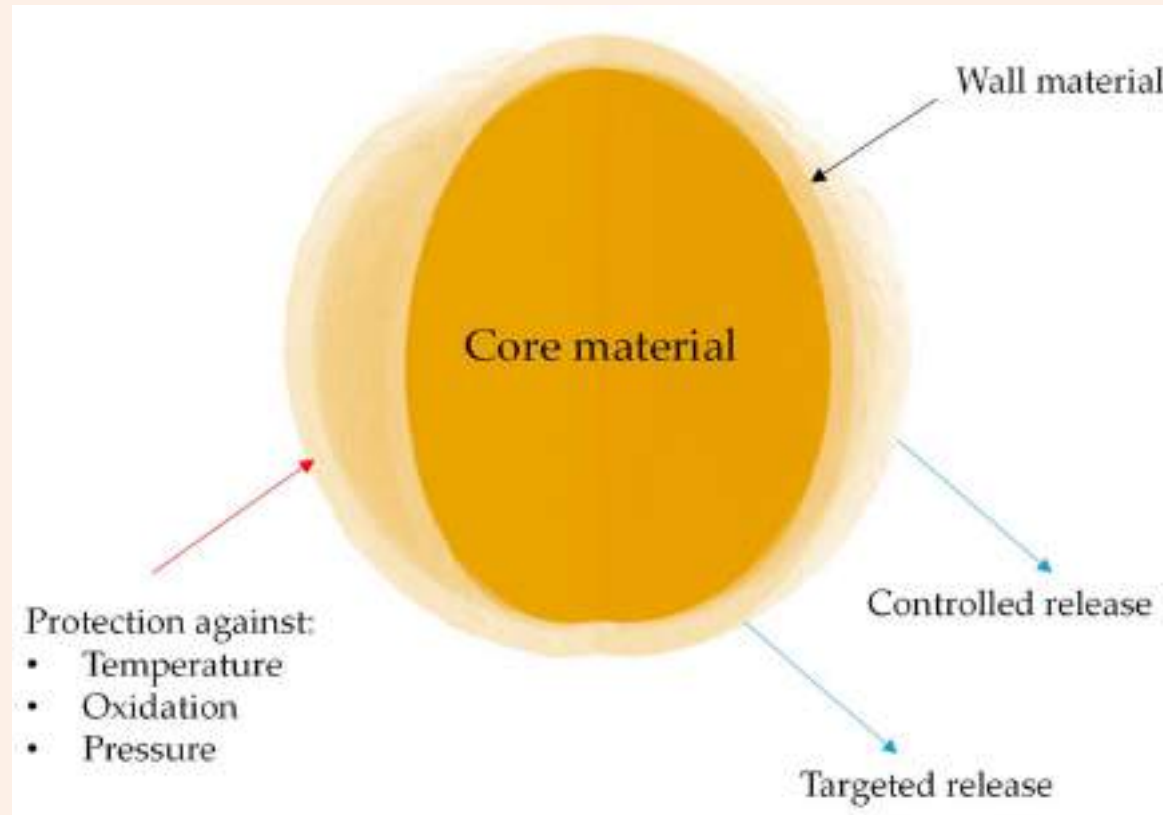
- ✓ Utiliza MW en lugar de los generadores de calor tradicionales en secadores de cama fluidizada. La radiación electromagnética es la fuente de energía, lo que provoca una vibración interna (energía) que calienta el material e induce la humedad interna desde el interior hacia el exterior.
- ✓ La temperatura de secado es similar a la del secado al aire caliente, pero pasa más rápido, lo que resulta en un secado más rápido.
- ✓ La tecnología de fluidización de MW se declara una técnica eficaz, segura y práctica para secar verduras y frutas frescas y para mejorar la uniformidad de las muestras y la eficiencia del secado.

# Ventajas de utilizar métodos novedosos de secado en la producción de polvo

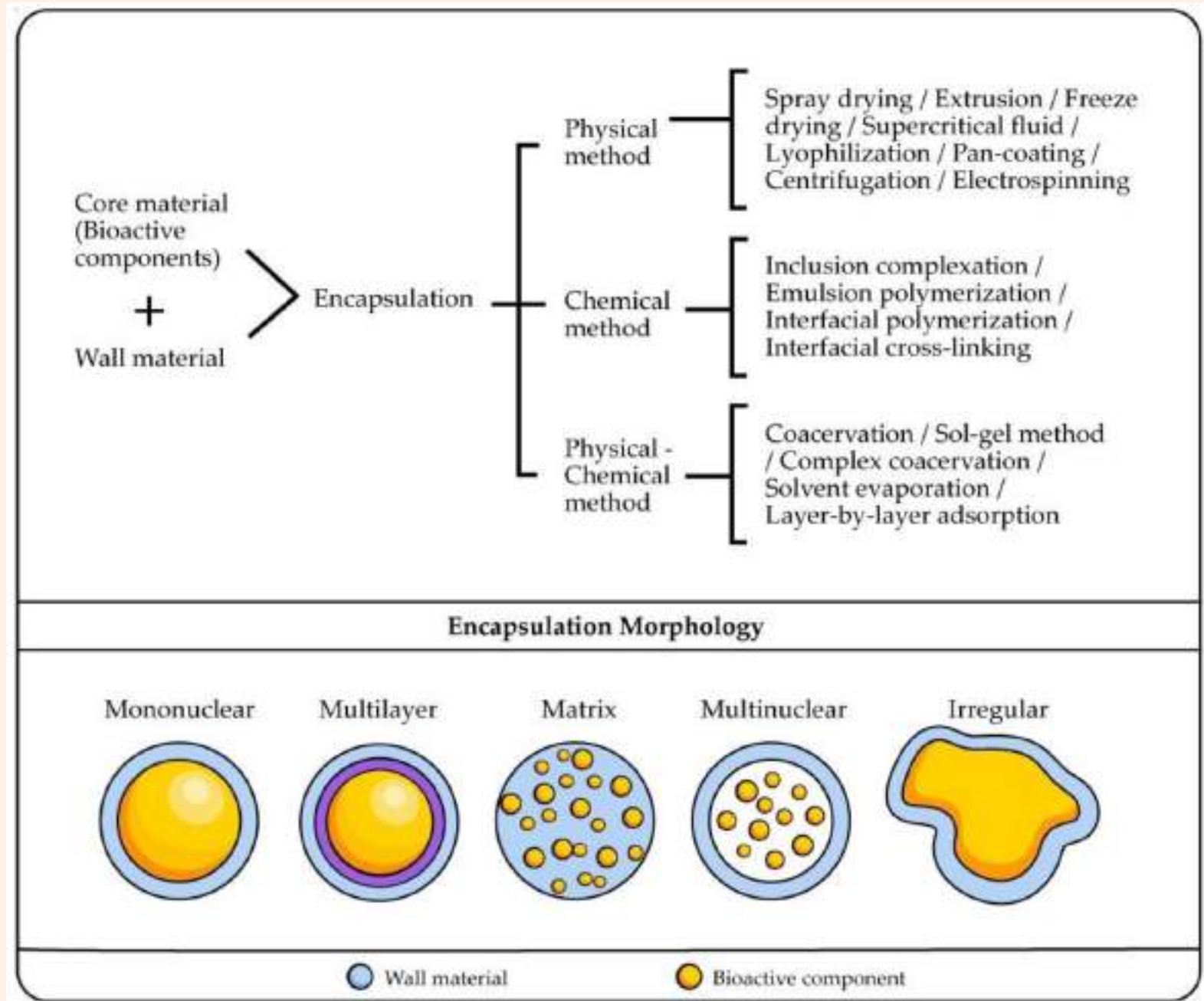


## 2. ENCAPSULACIÓN de subproductos

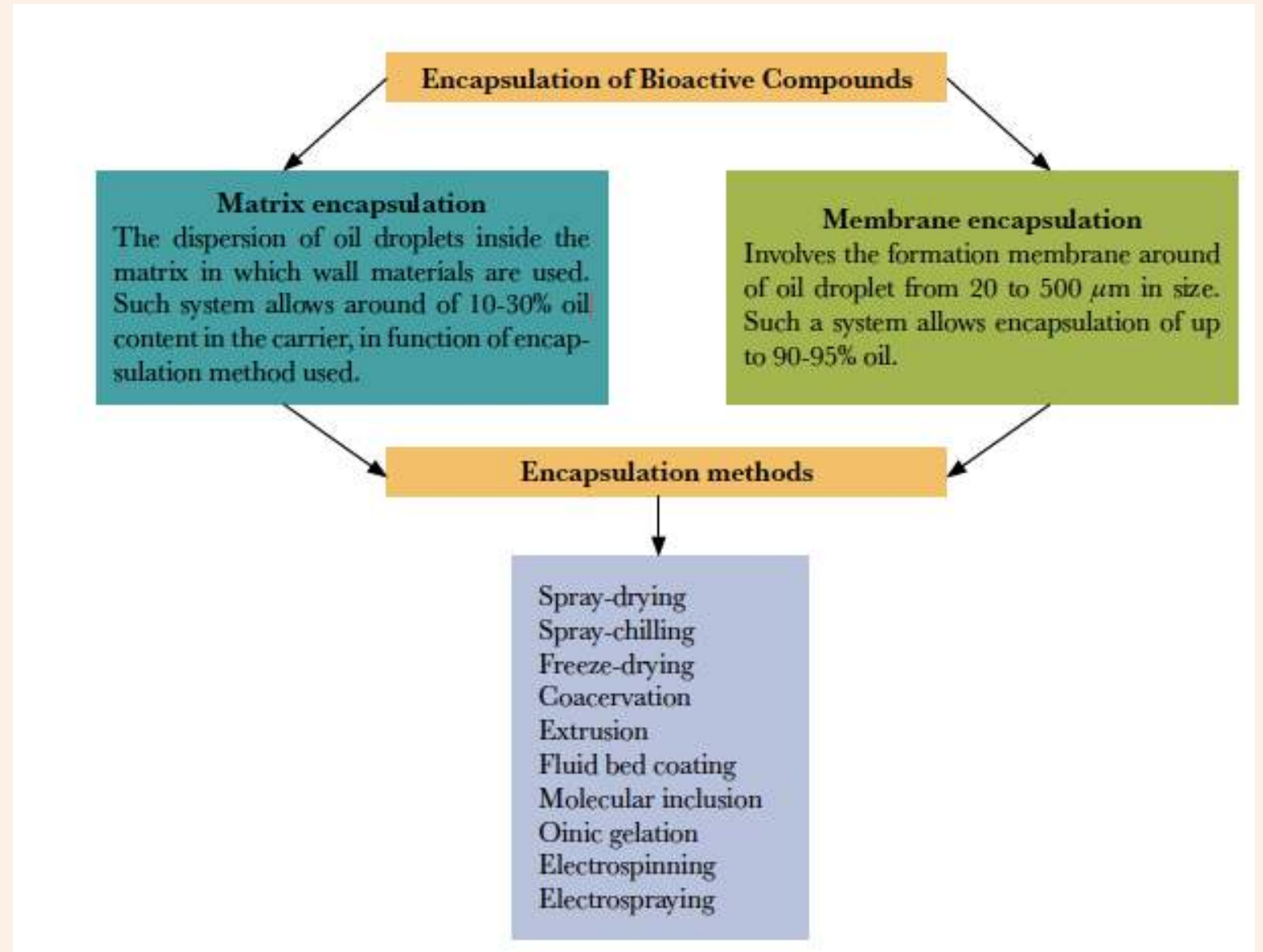
Concepto básico de microencapsulación para compuestos bioactivos



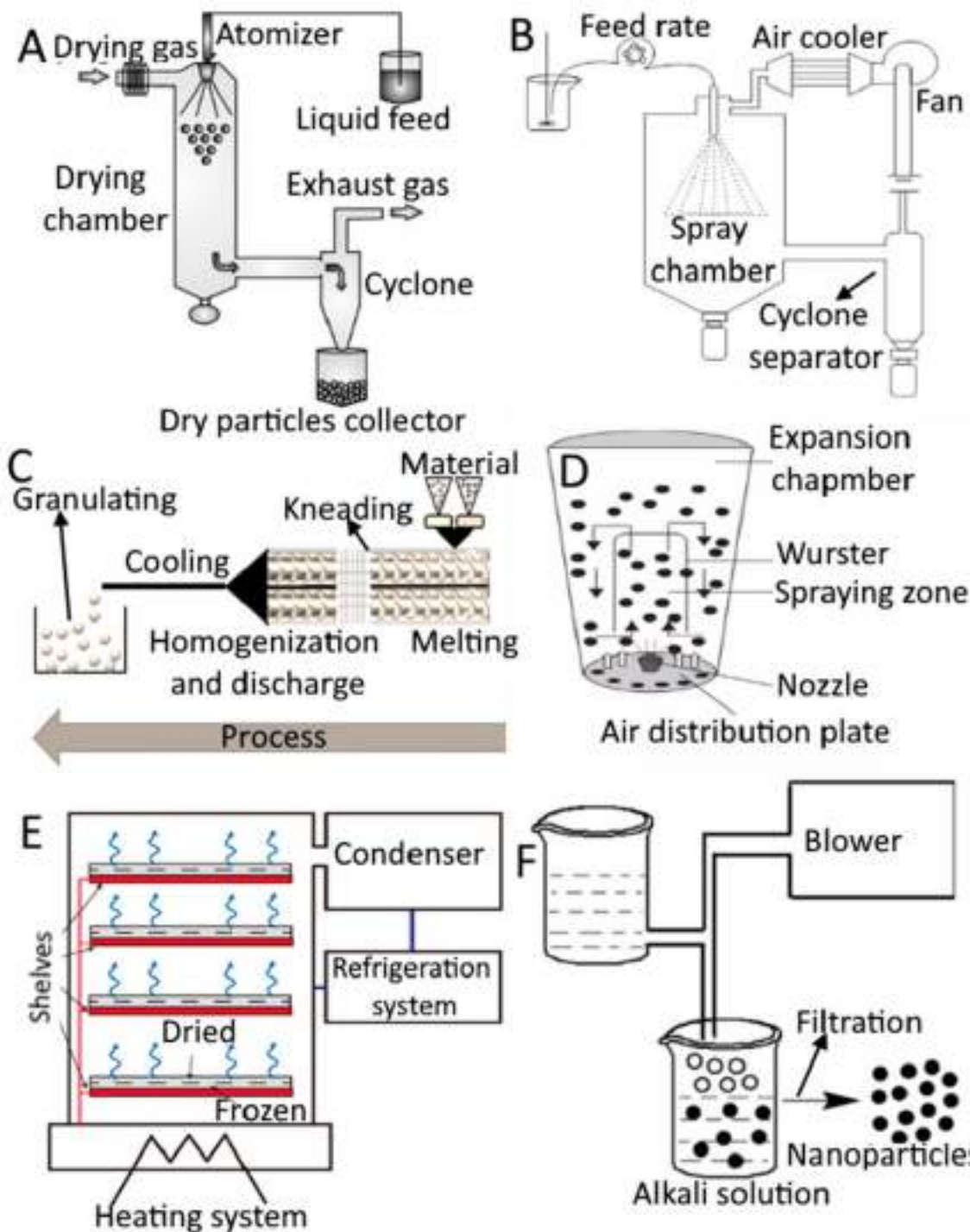
# Clasificación general de la encapsulación



# Métodos de encapsulación



# Métodos para la encapsulación



- A. Secado por pulverización
- B. Enfriamiento/enfriamiento por pulverización
- C. Extrusión
- D. Recubrimiento de lecho fluidizado
- E. Liofilización
- F. Coacervación

## MICROENCAPSULATION

### MEAT

Preservatives, fat replacement, sensory improvement, functional food

### MILK

Sensory improvement, functional food, preservatives



### FRUITS

Functional food (probiotics and prebiotics), sensory improvement

### CEREALS

Functional food (prebiotics and probiotics), sensory improvement

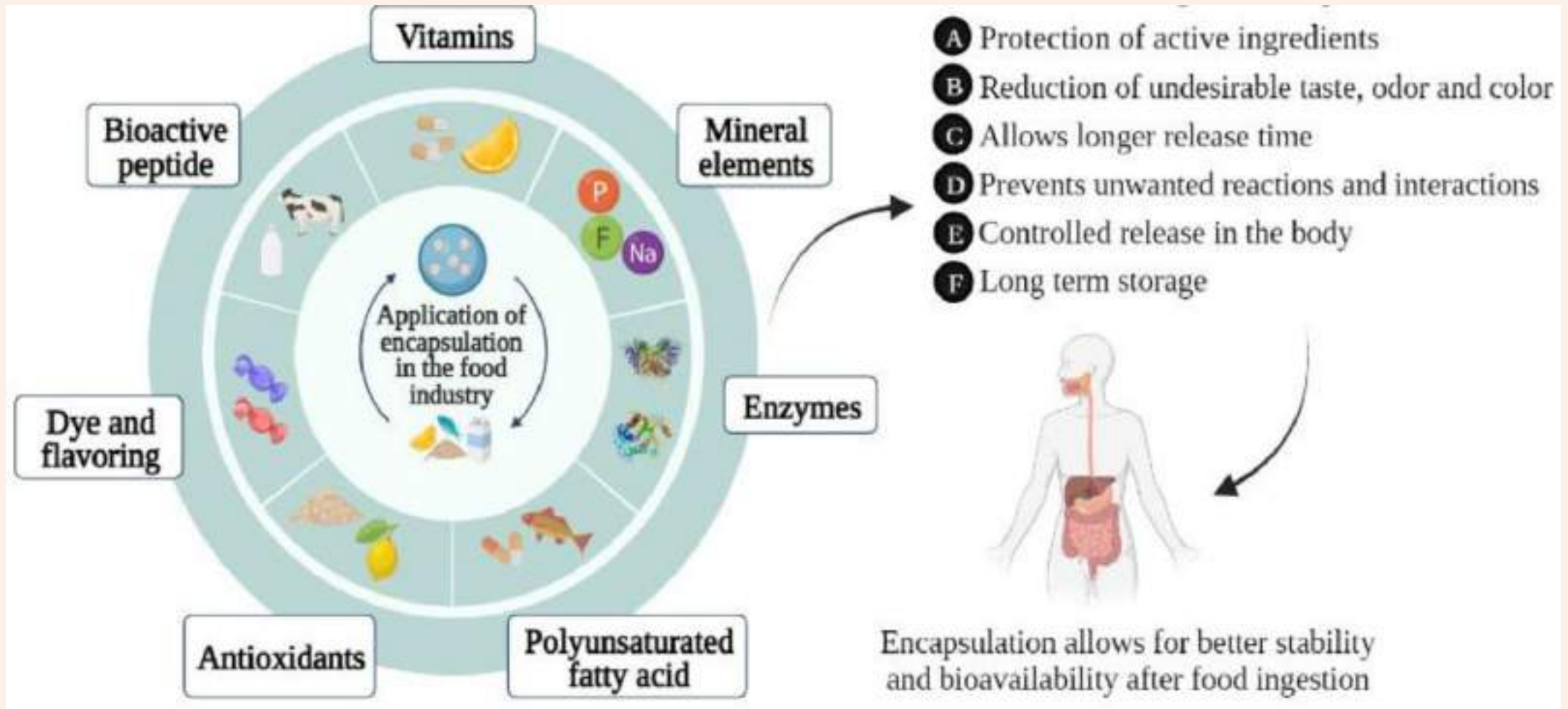
### OTHERS

Beer (functional food)

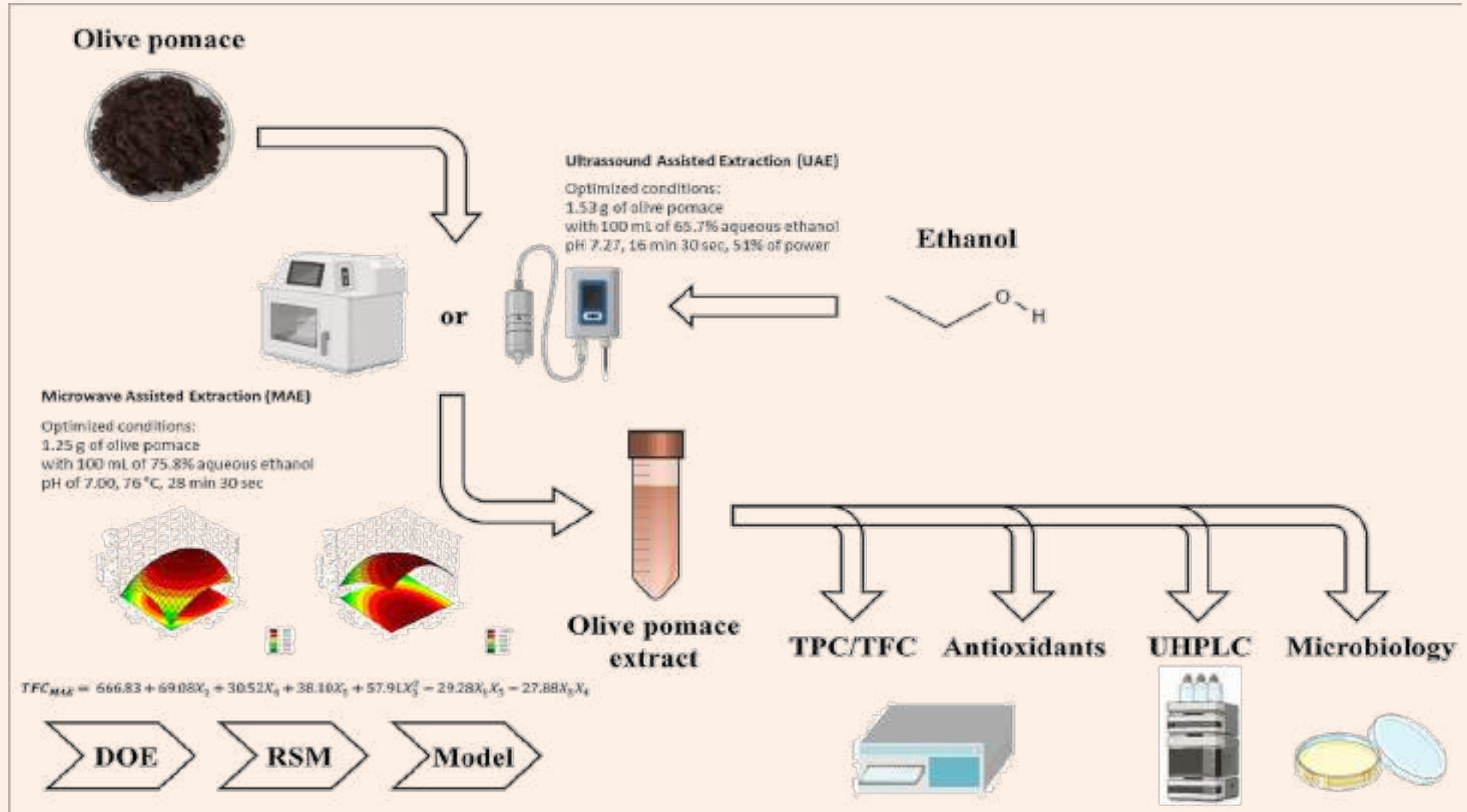
## IN FOOD

(Calderón-Oliver et al., 2022. 10.3390/molecules2705149)

# Las principales ventajas de la encapsulación



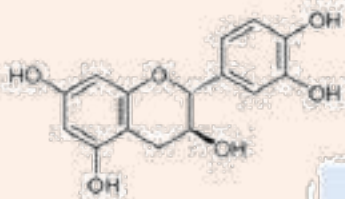
# 3. Tecnologías de EXTRACCIÓN



# 3. Tecnologías de EXTRACCIÓN

## Microwave Assisted Extraction (MAE)

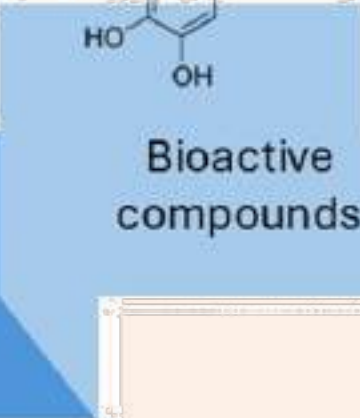
Optimized conditions:  
1.25 g of olive pomace  
with 100 mL of 75.8% aqueous ethanol  
pH of 7.00, 76 °C, 28 min 30 sec



Agri-food industry



By-products valorization



Bioactive compounds

## Ultrasound Assisted Extraction (UAE)

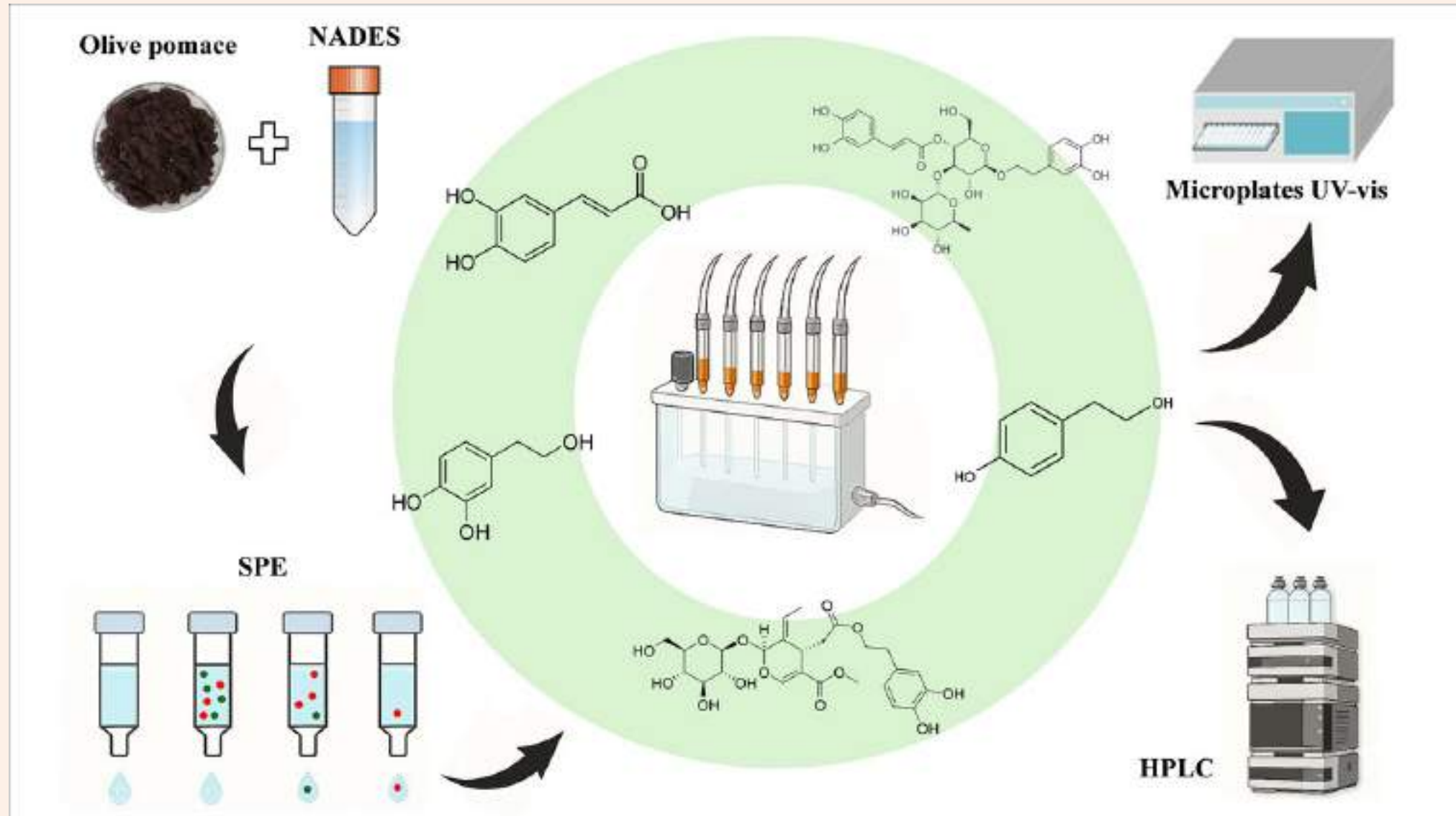
Optimized conditions:  
1.53 g of olive pomace  
with 100 mL of 65.7% aqueous ethanol  
pH 7.27, 16 min 30 sec, 51% of power



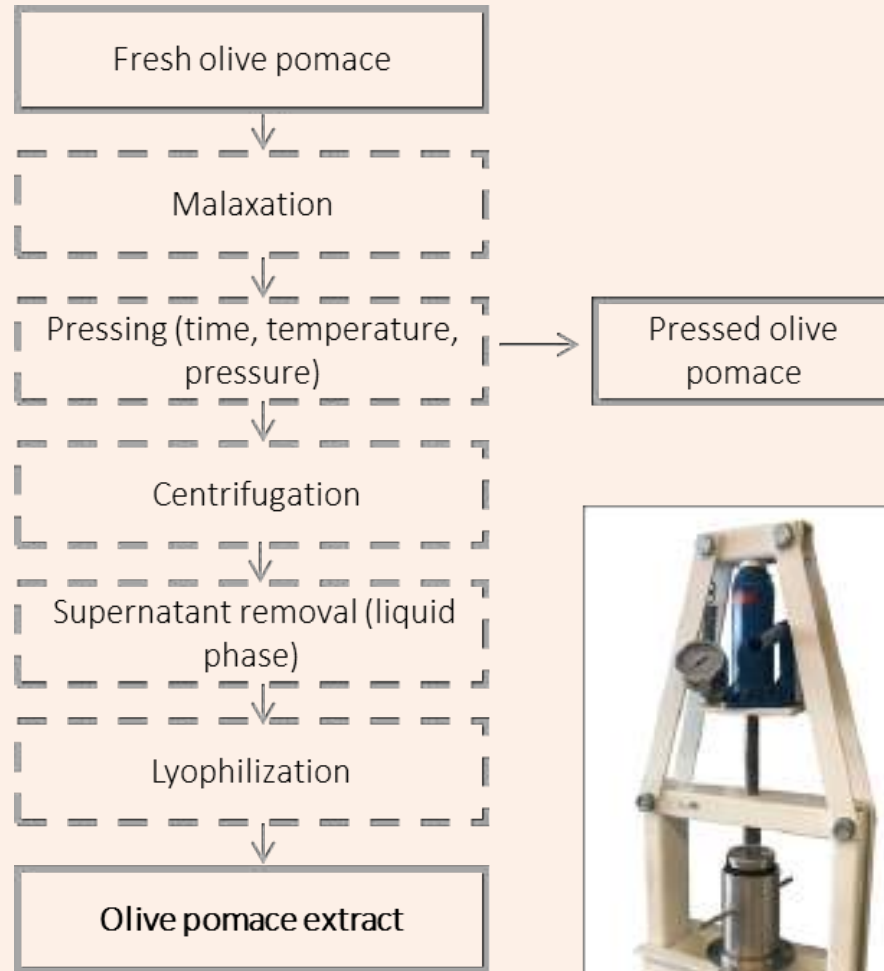
Circular economy

Fuente:original

# 3. Tecnologías de EXTRACCIÓN



# 3. Tecnologías de EXTRACCIÓN



Food Bioscience 61 (2024) 104759

Contents lists available at ScienceDirect

**Food Bioscience**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/fbio](http://www.elsevier.com/locate/fbio)

**Comprehensive analysis of the phytochemical composition and antitumoral activity of an olive pomace extract obtained by mechanical pressing**

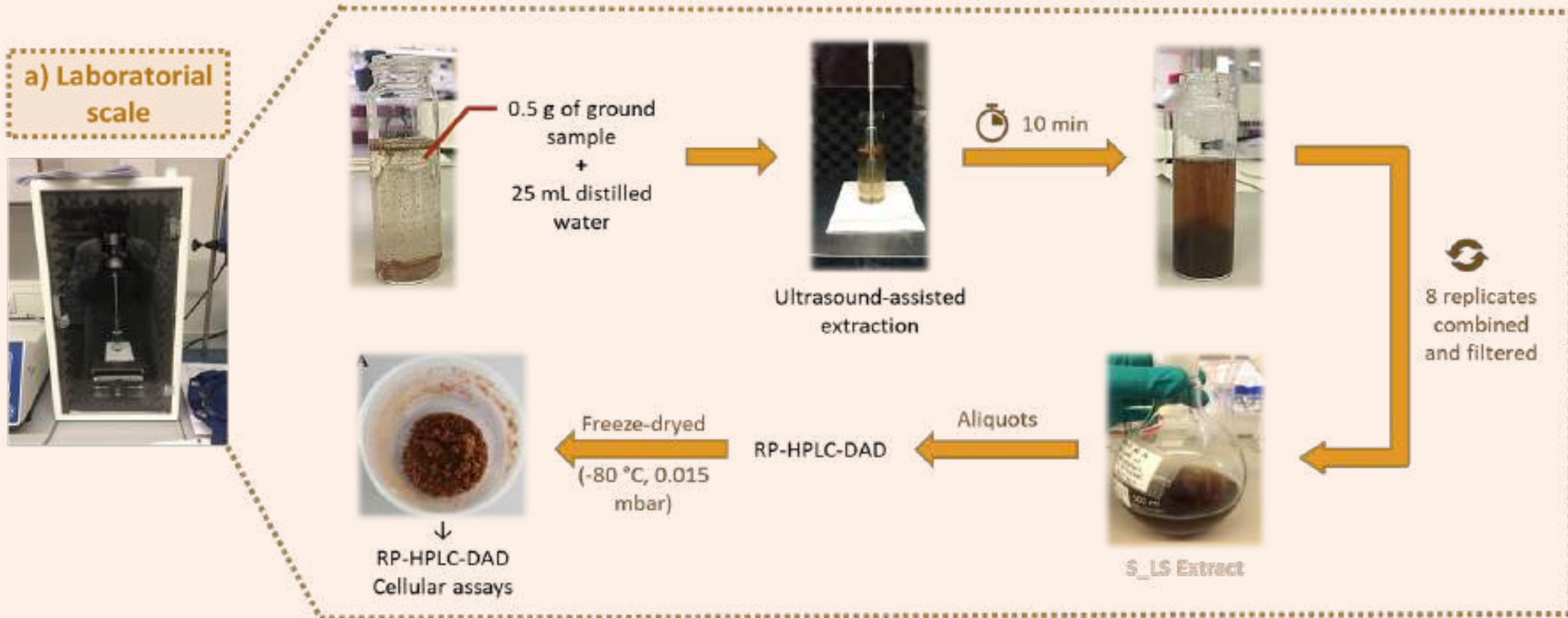
Diana Melo Ferreira <sup>a</sup>, Juliana Barreto-Peixoto <sup>a</sup>, Nelson Andrade <sup>a,b</sup>, Susana Machado <sup>a</sup>, Cláudia Silva <sup>a,b</sup>, Joana C. Lobo <sup>a</sup>, Maria A. Nunes <sup>a</sup>, Gerardo Álvarez-Rivera <sup>c,d</sup>, Elena Ibáñez <sup>c</sup>, Alejandro Cifuentes <sup>c</sup>, Fátima Martel <sup>b,d</sup>, M. Beatriz P.P. Oliveira <sup>a</sup>, Rita C. Alves <sup>a,c</sup>

<b>Total fat (g/100 g)</b>	7.99 ± 0.05	<b>Ash (g/100 g)</b>	11.4 ± 0.02
<b>Total vitamin E (mg/100 g)</b>	2.0 ± 0.4	<b>Total protein (g/100 g)</b>	0.94 ± 0.02
<b>α-tocopherol</b>	1.8 ± 0.4	<b>Total carbohydrates (g/100 g)</b>	79.71 ± 0.03
<b>α-tocotrienol</b>	0.065 ± 0.001	<b>Brix of sugar (%)</b>	28.1 ± 0.8
<b>β-tocopherol</b>	0.049 ± 0.002	<b>pH</b>	5.40 ± 0.03
<b>γ-tocopherol</b>	0.09 ± 0.01	<b>Total phenolics (g GAE/100 g)</b>	2.9 ± 0.1
<b>Palmitic acid (C16:0) (relative %)</b>	12.69 ± 0.06	<b>Hydroxytyrosol (mg/100 g)</b>	215 ± 9
<b>Stearic acid (C18:0) (relative %)</b>	3.05 ± 0.01	<b>Total flavonoids (g CE/100 g)</b>	2.29 ± 0.08
<b>Oleic acid (C18:1n9c) (relative %)</b>	72.14 ± 0.04	<b>FRAP (g FSE/100 g)</b>	2.3 ± 0.1
<b>Linoleic acid (C18:2n6c) (relative %)</b>	9.31 ± 0.05	<b>DPPH (g TE/100 g)</b>	1.0 ± 0.2
		<b>ABTS (g TE/100 g)</b>	0.193 ± 0.001

Fuente: Ferreira DM et al. Food Biosci. 2024; 61: 104759 doi: 10.1016/j.fbio.2024.104759

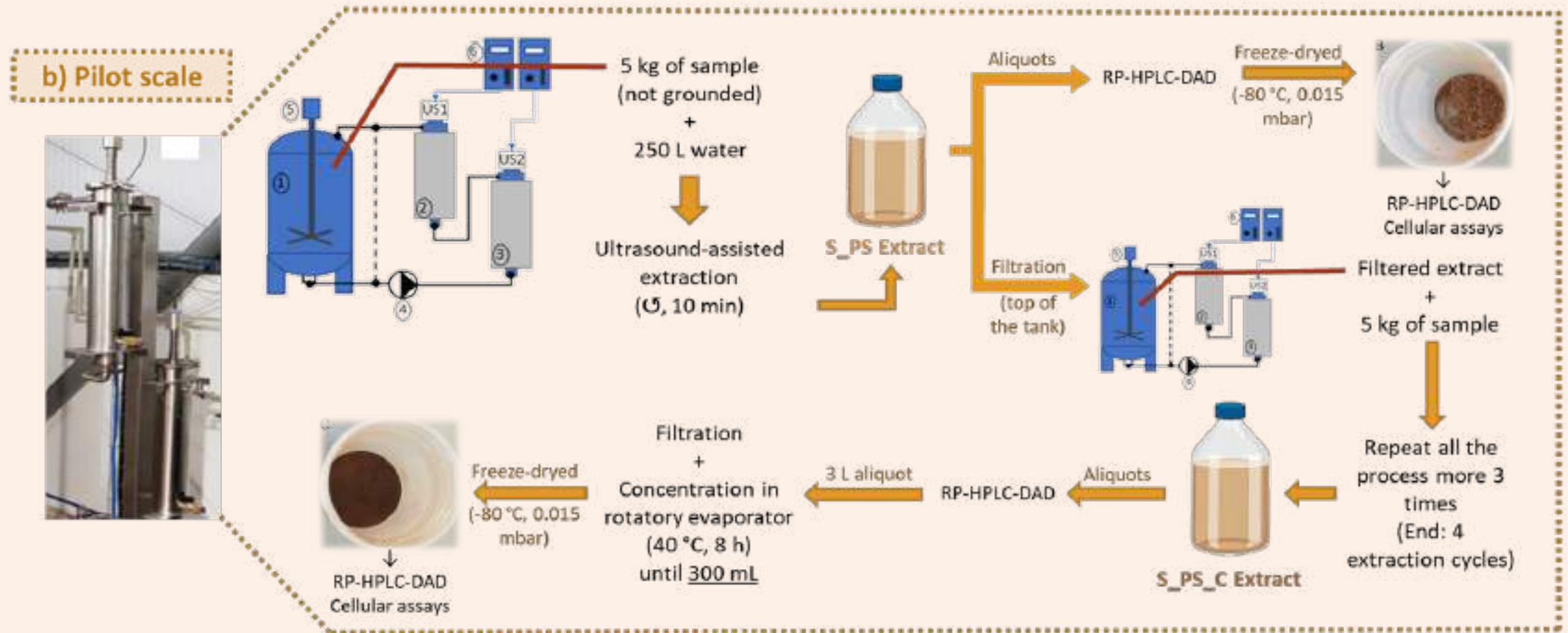
# 3. Tecnologías de EXTRACCIÓN

## 1) Extracts preparation by Ultrasound-assisted extraction (UAE)

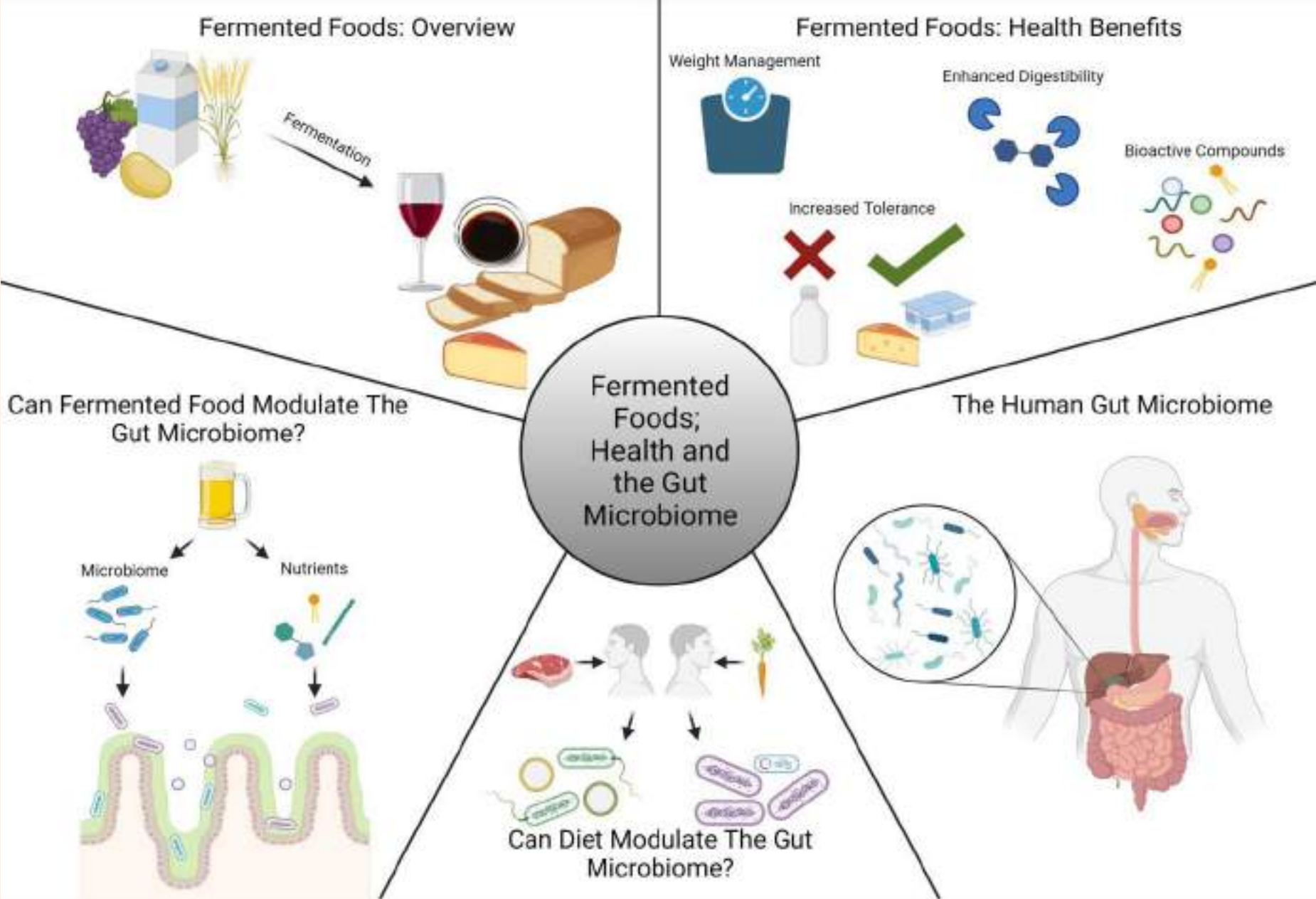


# 3. Tecnologías de EXTRACCIÓN

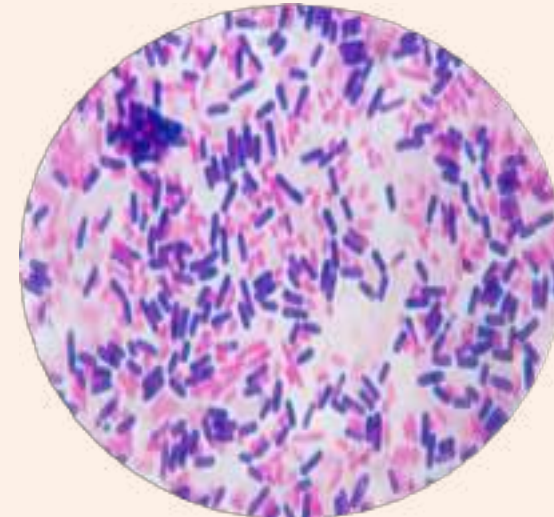
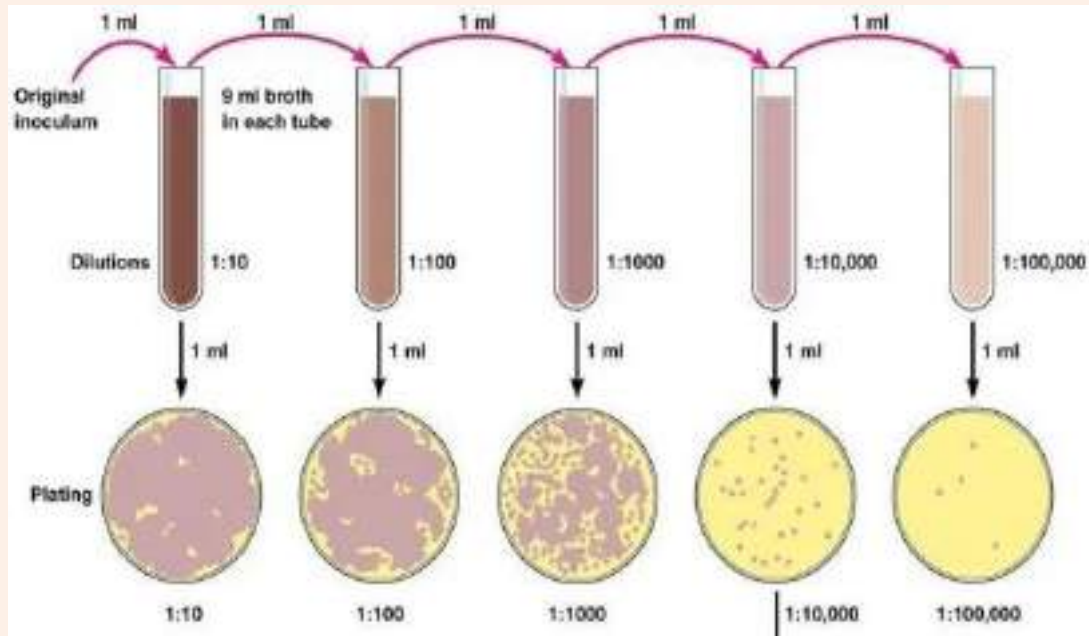
## 1) Extracts preparation by Ultrasound-assisted extraction (UAE)







# Pasta de orujo olivo: microbiota nativa



Se evaluó el recuento total de microorganismos, mediante la dispersión superficial en medios de cultivo adecuados y condiciones de incubación para caracterizar el tipo de microorganismos presentes

## Principales

- Bacterias – Lactobacilli
- Levaduras

# Potencial de la fermentación del orujo olivo para valorización como nuevo ingrediente alimenticio

Los subproductos del aceite de oliva son ricos en compuestos bioactivos que pueden favorecer el crecimiento de bacterias intestinales beneficiosas.

Tras la fermentación, estos subproductos pueden producir alimentos funcionales simbióticos o ingredientes alimentarios relevantes para la salud y el bienestar intestinal, también debido a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias asociadas a los polifenoles presentes. Estos compuestos ayudan a estimular el crecimiento de probióticos, mejorando la salud intestinal y produciendo enzimas y metabolitos beneficiosos que mejoran el microbioma intestinal. Este enfoque también puede ser ventajoso para obtener bebidas funcionales simbióticas de bajo contenido alcohólico que sean bien aceptadas por los consumidores.

**Este enfoque permitirá añadir valor a los subproductos, como una práctica sostenible y regenerativa**

**Nutrición**

**Buena modulación de microbioma**

**Microbiota intestinal saludable**



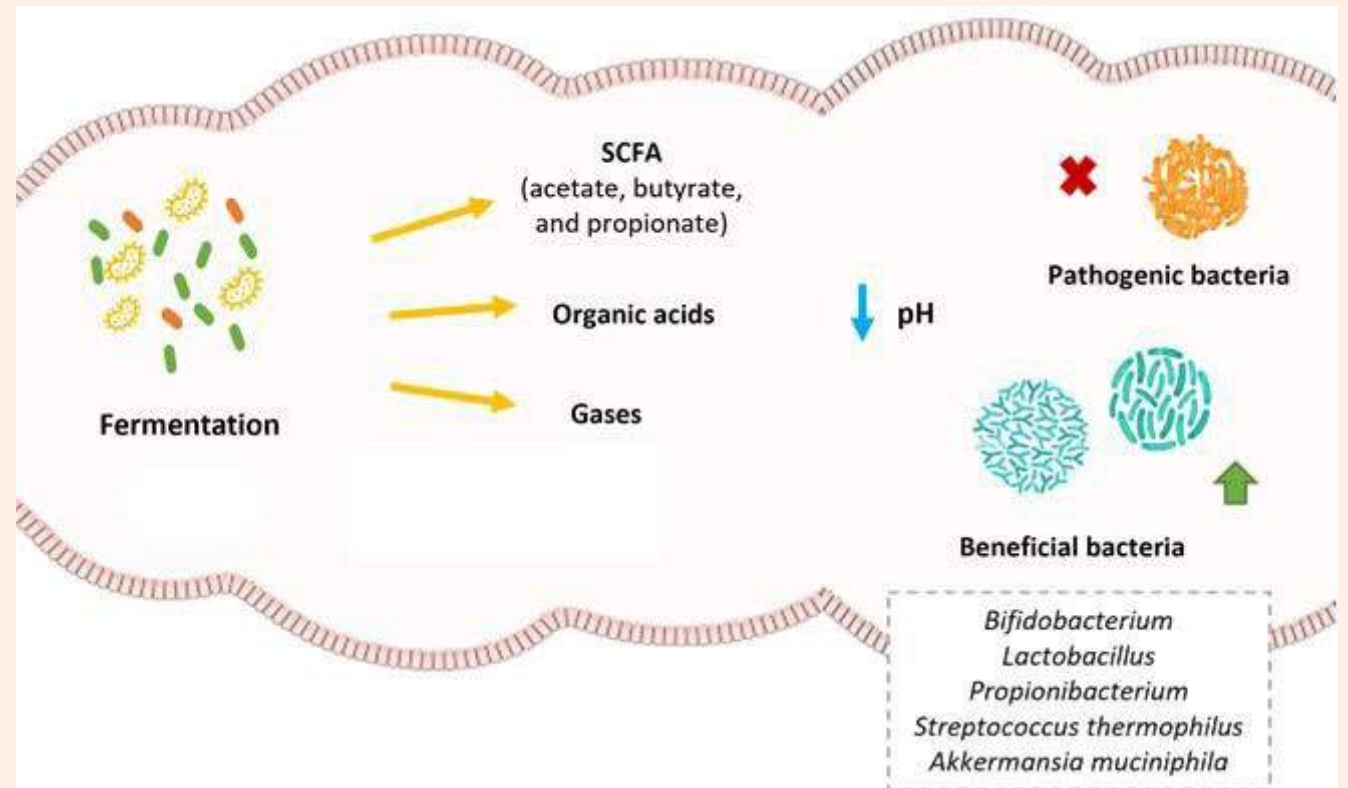
# Subproductos del café fermentado



Los prebióticos son sustratos utilizados selectivamente por microorganismos que favorecen la salud del huésped.

Los prebióticos deben cumplir tres requisitos:

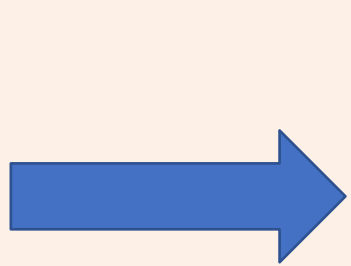
- **resistente al ácido gástrico**, a la hidrólisis por enzimas mamíferas y a la absorción;
- Metabolizada por la microbiota intestinal y estimula selectivamente el crecimiento y/o la actividad de las bacterias con efectos beneficiosos para la salud;
- no causar efectos negativos al huésped, como por ejemplo, el crecimiento de microorganismos patógenos



Machado et al., 2023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2181761>

# 5. Procesamiento por extrusión de alimentos

- Procesamiento a temperatura



**Frío**

Se obtienen productos con alta densidad y alta humedad, como galletas, magdalenas, caramelos o salchichas.

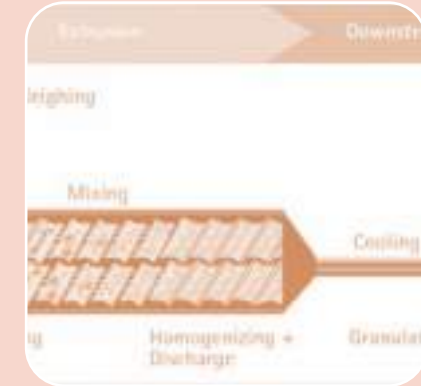
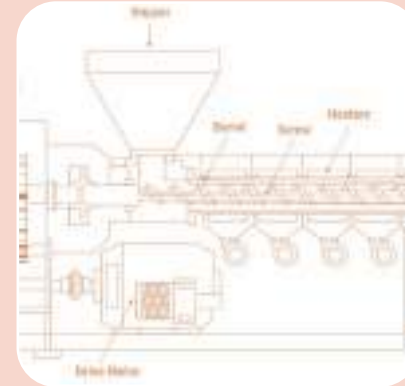
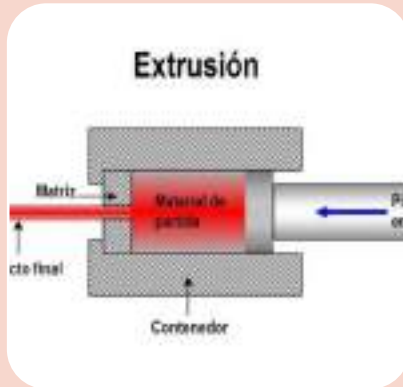


**Aplicar calor**

Se obtienen productos de baja densidad y baja humedad, como los aperitivos.



# Extrusoras por sistema mecánico



## Pistón

- El sencillo de los extrusores.
- Consiste en un solo pistón que fuerza el material a través de un agujero
- Diseñado para una entrega precisa y sus usos en la industria de confitería y carne.

## Rodillo

- Consiste en dos que giran en sentido contrario.
- La diferencia entre los Rolls está controlada.
- Se pueden obtener diversos productos modificando la separación, la velocidad de rotación y la superficie del rodillo.
- Para galletas saladas, galletas duras, etc. También para la producción de escamas (después de hornearlas).

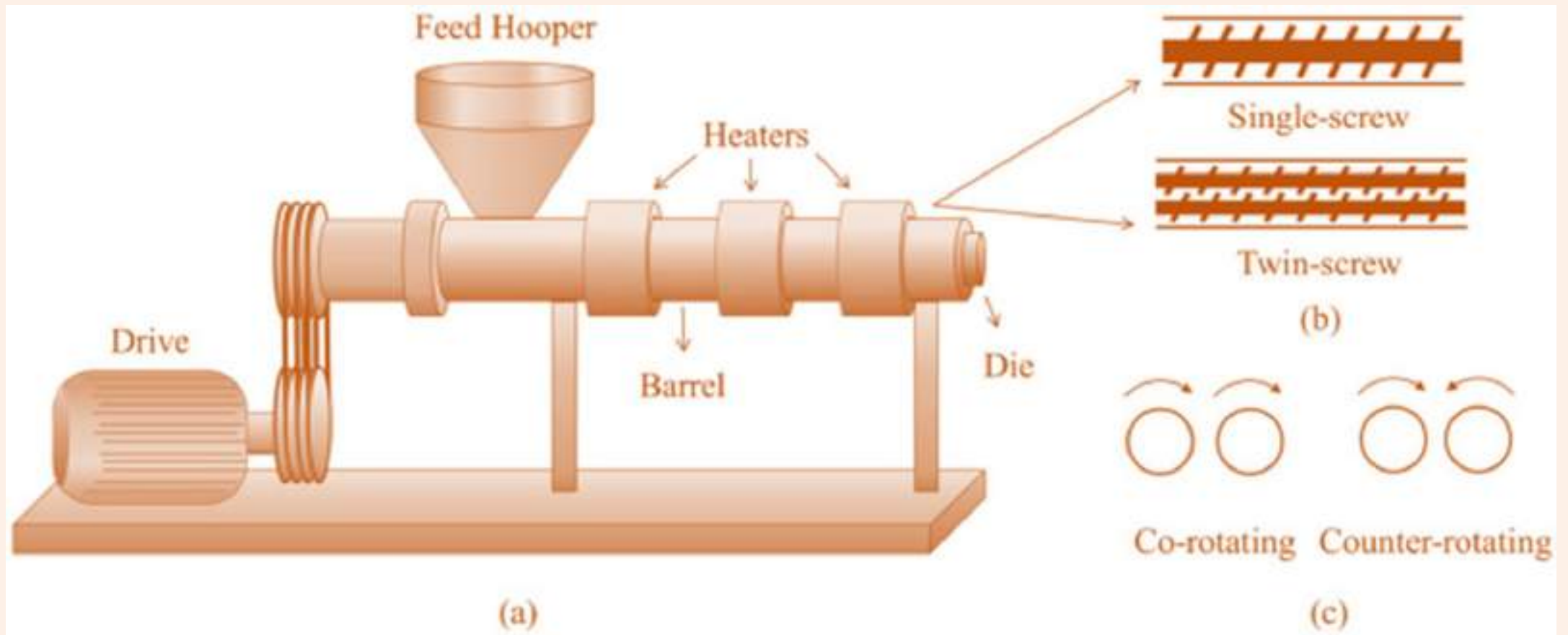
## Tornillo único

- Significa que t
- Aquí solo hay un tornillo dentro del cañón.
- La relación longitud-diámetro (L/D) varía entre 2:1 y 25:1
- (es la relación entre el diámetro del tornillo y la longitud del cañón).
- Tiene tres secciones dentro del cañón: sección de alimentación, sección de transición y sección de medición.

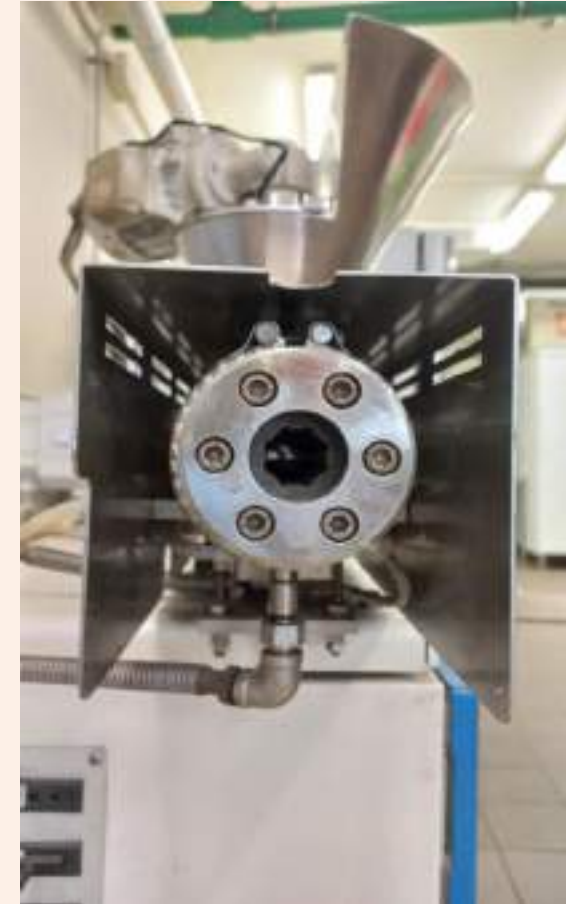
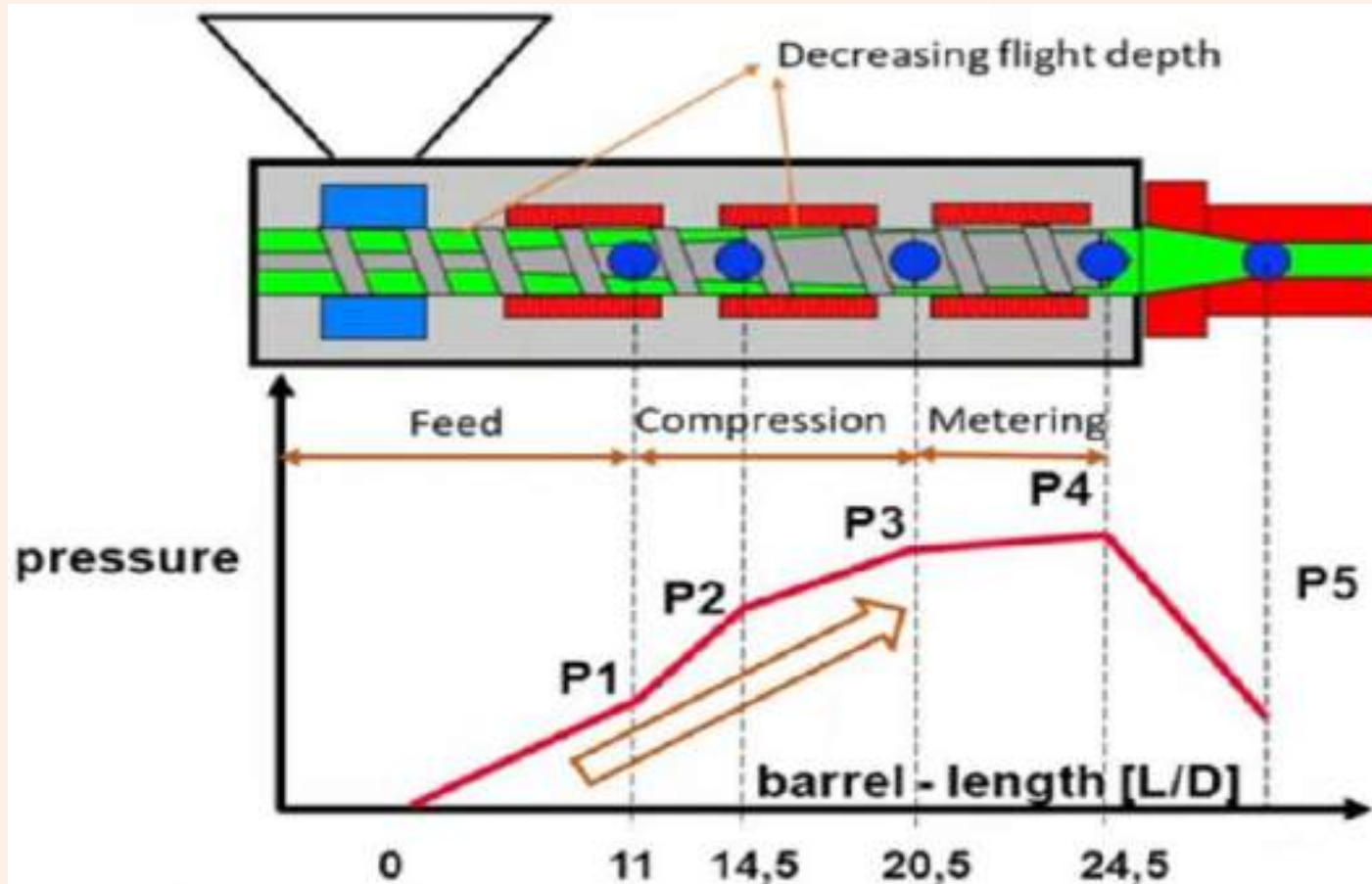
## Doble tornillo

- Hay dos tornillos dentro del cañón cerrado.
- Barril, con apertura superior tipo concha (fácil de cambiar).
- Revestimientos de cañón reemplazables (velocidad)
- Tornillos y piezas montadas en una línea.
- Que se joda la eyección.
- En un tornillo (12-17% de grasas) frente a doble tornillo (18-22% de grasas) y mejor unión con el resto de componentes.
- Amplia gama de humedad (más bronceado al 30%).

# Extrusoras de tornillo



# Extrusor de un solo tornillo

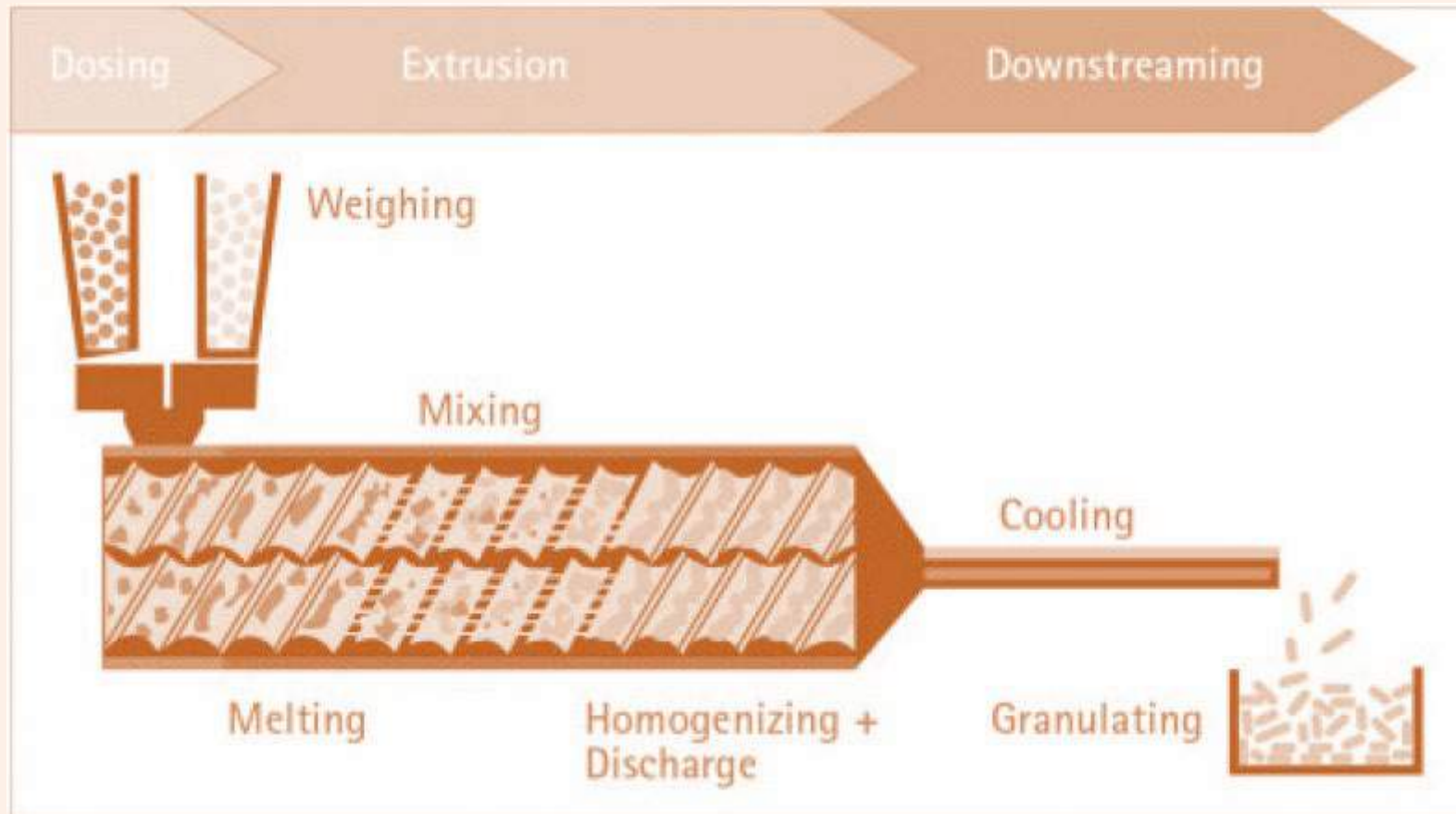


Sección de alimentación: tiene tornillos de carga profunda que ayudan a transportar el material hacia adelante

Sección de compresión: El material se cocina parcialmente y se somete a alta presión

Sección de dosificación: Recibe el material comprimido, homogeneizarlo y forzarlo a través del chip a presión constante

# Extrusora de doble tornillo



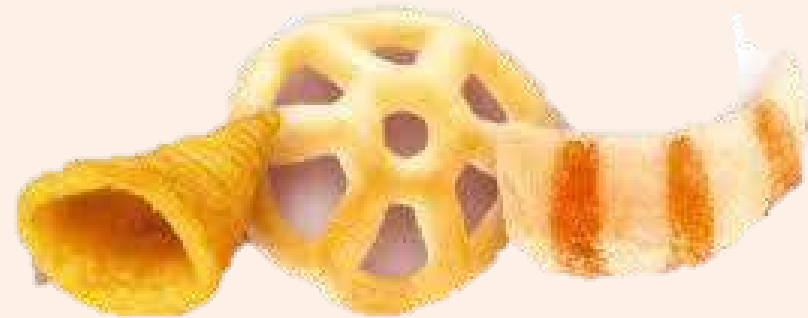
# Extrusora de doble tornillo

En la industria alimentaria,  
los sistemas de doble  
tornillo se utilizan más  
debido a su flexibilidad.



# Operaciones múltiples - un solo equipo

- La extrusión aplicando calor es una operación de procesamiento termomecánica que combina varias operaciones unitarias:
  - Mezcla
  - Amasado
  - Cizallamiento
  - Calefacción
  - Formación
  - Secado parcial
  - Etcetera.



# Ventajas

- Los sistemas de extrusión reducen el espacio ocupado en la planta de procesamiento de alimentos, permitiendo menores costes operativos y energéticos.

## Reducción de espacio



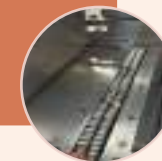
- La extrusión tiene un coste de procesamiento menor que otros métodos de cocción. Menos materias primas, mano de obra e inversión de capital.

## Bajo coste



- Es posible ofrecer una variedad de productos cambiando los ingredientes menores y las condiciones de funcionamiento del extrusor.

## Adaptabilidad



- El proceso es continuo y puede ocurrir en poco tiempo (< 1 minuto).

## Velocidad



- La extrusión puede modificar proteínas (animales y vegetales), harinas y otros alimentos para producir una variedad de productos alimenticios.

## Nuevos alimentos



- La extrusión puede automatizarse completamente.

## Control automático



- Debido a que la extrusión es un proceso continuo en poco tiempo, minimiza la degradación de los nutrientes alimenticios mientras mejora la digestibilidad de proteínas y almidones. (también reducir enzimas indeseables, microorganismos, antinutrientes, etc.)

## Productos de alta calidad



- Formas, texturas, colores, diferentes apariencias, etc., lo cual no es fácil de producir con otros métodos de producción.

## Amplia gama



# Ingredientes

**Ingredientes más usados para extrusión**

**Alimentos ricos en almidón**



Harinas de cereales como trigo, maíz, arroz, etc.

**Alimentos ricos en proteínas**



Aislados de proteínas de soja, girasol, verduras y cereales

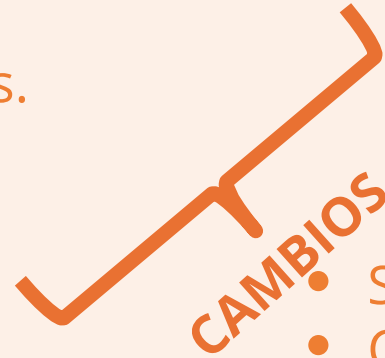
## **Ingredientes complementarios:**

- Extractos de plantas
- Productos funcionales
- Sales
- Legumbres
- Insectos (hormigas, grillos, etc.)
- Subproductos



# Mejora de las propiedades funcionales de los alimentos

- La extrusión afecta a la estructura y composición de las proteínas.
- Desnaturalización.
- Formación de enlaces.



- Solubilidad
- Capacidad de retención de agua
- Gelificación
- Texturizado
- Emulsificación



Sustituto de la carne



# Mejora de las propiedades funcionales de los alimentos

- Desnaturalización e inactivación de factores antinutricionales.
- Algunas verduras tienen un alto valor nutricional, pero altas concentraciones de factores antinutritivos.

- Las condiciones utilizadas en la extrusión mejoran la idoneidad de estos alimentos vegetales para el consumo humano.
  - Aflatoxinas.
  - Gelificación de proteínas vegetales.
  - Saponinas
  - Lectinas,
  - Inactivación enzimática
  - Etcetera.



# 6. ENVASES DE ALIMENTOS A PARTIR DE SUBPRODUCTOS ALIMENTARIOS

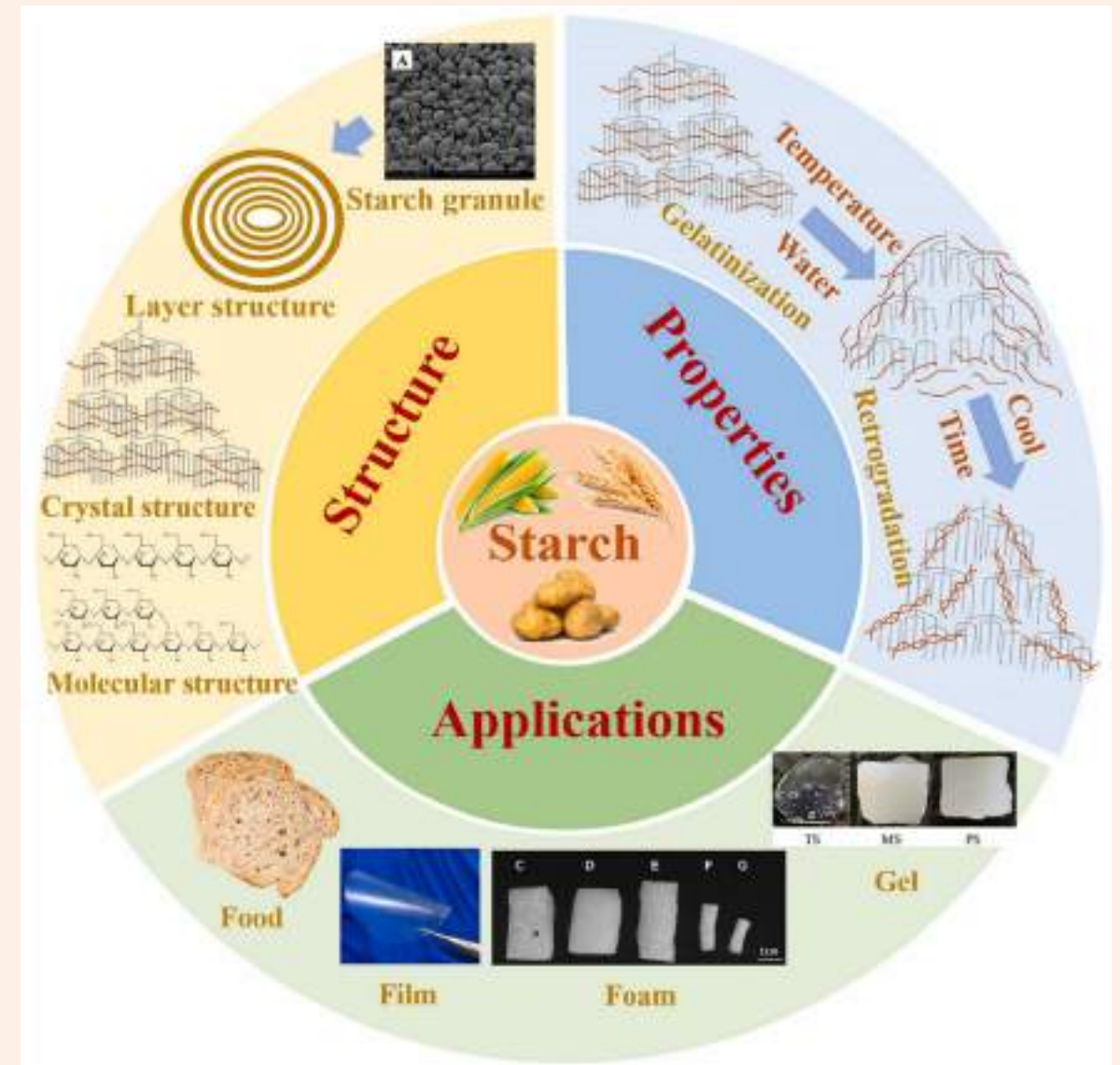


Carvalho, et al., 2025. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100275>

# Subproductos de cereales para envasado

- El almidón es una buena fuente de material biodegradable para envases de alimentos, procedente de **trigo, maíz, arroz y patatas**. Se considera ampliamente un sustituto sostenible del plástico para los envases de alimentos.
- Además, diversos alimentos, como **frutas, verduras, aperitivos y productos secos**, pueden envasarse utilizando almidón como película biodegradable

Kolybaba, et al., 2021. DOI:[10.13031/2013.41300](https://doi.org/10.13031/2013.41300)



Composition, characteristics, and uses of starch

Cheng, H.; et al., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108364>

# El proceso de obtención del envasado de almidón de maíz



Cosecha el maíz, remojándolo en agua para separar el endospermo de la fibra y el gluten. Los granos de maíz se remojan en agua caliente y solución de dióxido de azufre, que los descompone en almidón, proteína y fibra.

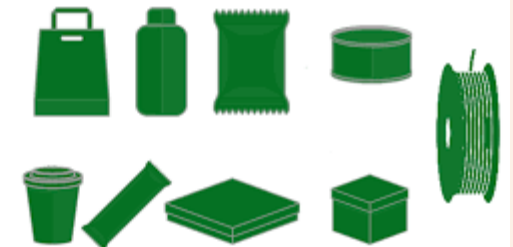
El mezclado líquido se centrifuga para eliminar el aceite de maíz, dejando almidón puro.

Se añaden enzimas al maicena, convirtiéndolo en azúcares simples.

Se introducen cultivos bacterianos en los azúcares, fermentándolos hasta convertirlos en ácido láctico. Las moléculas de láctico en el ácido se unen para formar cadenas poliméricas, dando lugar al ácido poliláctico.

A partir de esta mezcla se producen pellets de plástico de PLA. Luego se funden y moldean en formas específicas para diversas aplicaciones.

Una vez fijado y enfriado, el embalaje terminado se retira de su molde y está listo para su transporte y venta.



<https://www.greencompostables.com/blog/cornstarch-packaging>

# Tipos de envasado de almidón de maíz

El almidón de maíz puede moldearse en diferentes formas y tipos de envases para servir a diversos fines prácticos:



Contenedores tipo concha



Bandejas de carne



Bolsas de comida resellables



Cajas de bebidas

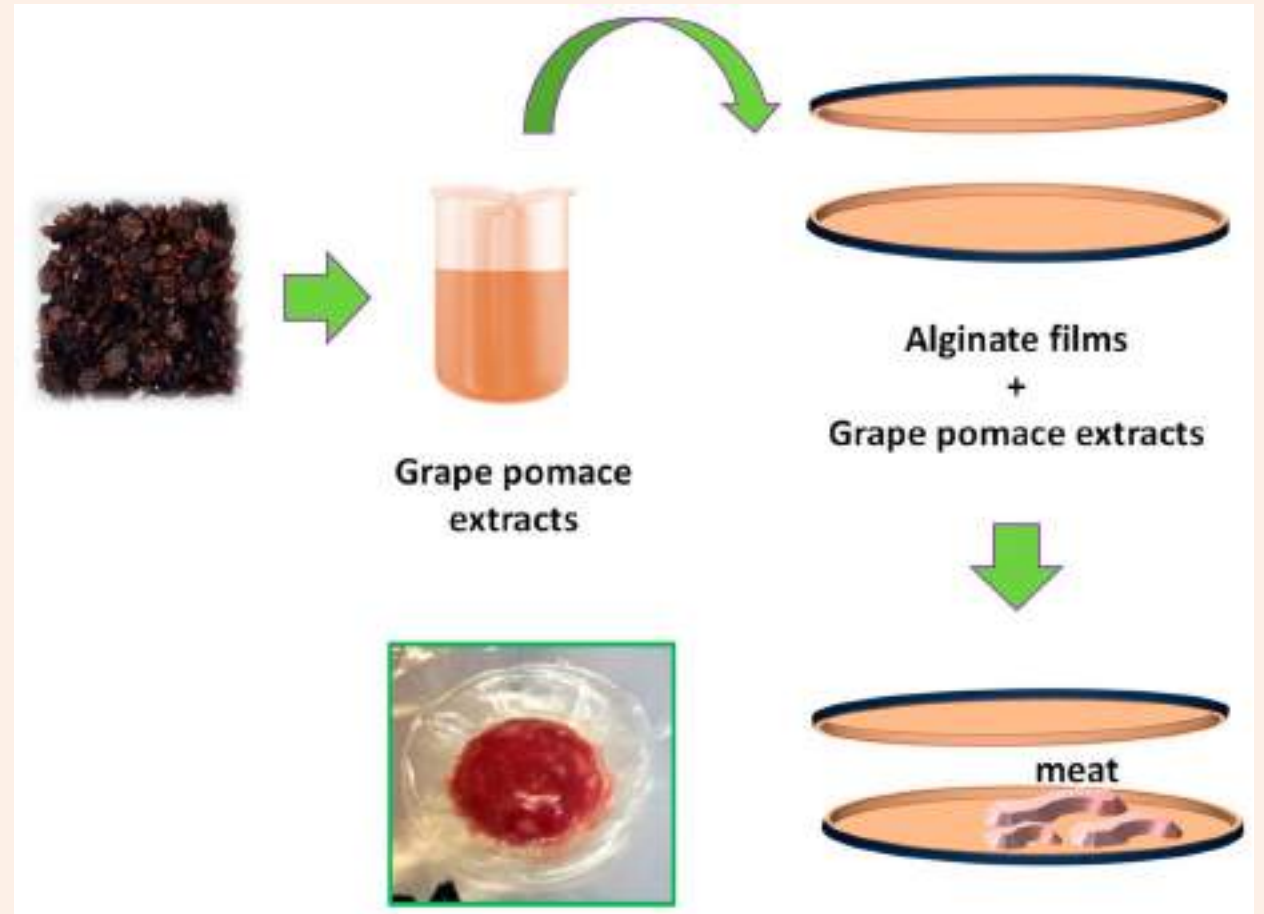


Tapas de vaso

# Subproductos de Frutas y verduras para envasado

La fruta y la verdura son fuentes valiosas de celulosa, pectina y otros biopolímeros con potencial en aplicaciones de envasado.

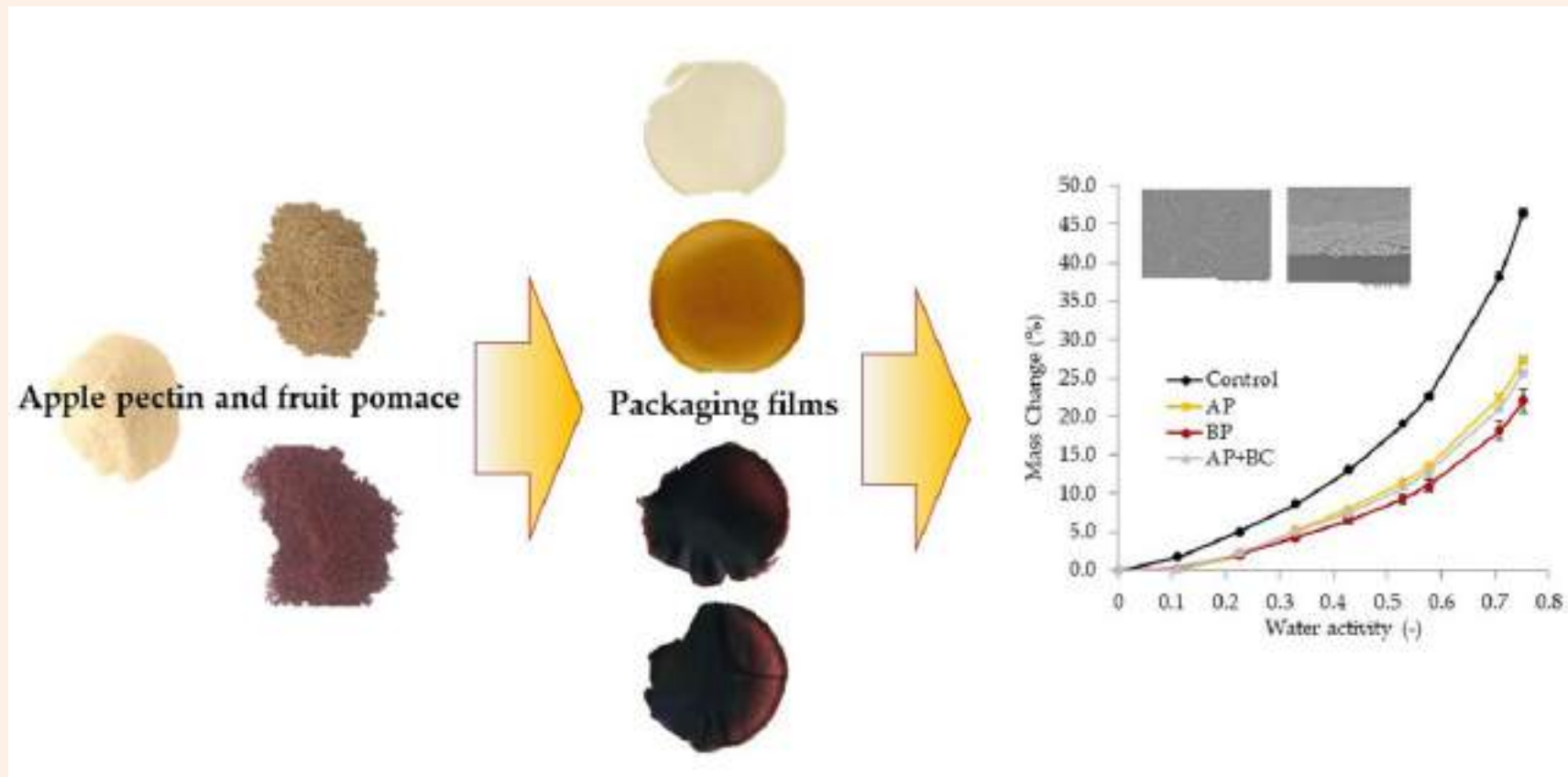
Material de embalaje ecológico a base de ácido algínico y extracto de orujo de uva de *Vitis vinifera* L. (subproductos de la elaboración del vino) para almacenar carne roja en la nevera. Específicamente, las aminas biogénicas se consideran "centinelas" de los procesos putrefactivos.



Aresta et al., 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms242115958>

# Polvos de manzana y grosella negra como componentes de las películas de envasado de pectina

La adición de orujo de fruta aumenta significativamente el grosor y la resistencia mecánica de las películas de pectina, mientras que la adsorción de agua se reduce. Todas las películas analizadas mostraron una muy buena solubilidad en agua, lo que indica el potencial de buena degradación de materiales en condiciones acuosas.



# Orujo de tomate como recurso renovable para la producción de bioplásticos

El orujo de tomate es el subproducto resultante tras el procesamiento de la fruta del tomate para preparar salsas, ketchups, zumos, gazpachos, purés, concentrados, etc. Está compuesto por cáscaras (casi la mitad), semillas (aproximadamente un 40%) y un material fibroso residual

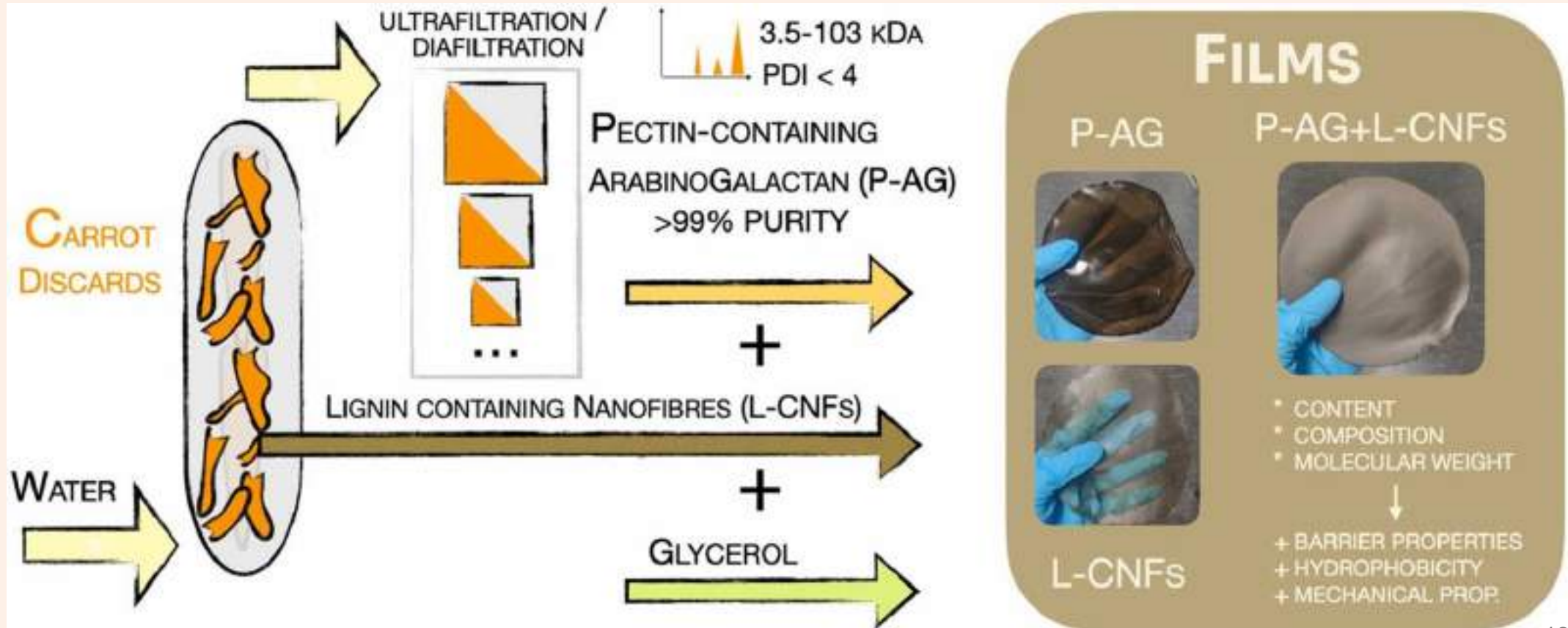
**Extraer celulosa de las pieles de tomates desechados por la industria enlatadora tras producir pasta de tomate, salsa o ketchup.** A partir de la celulosa obtenida de estos subproductos, se ha desarrollado un material que puede modificarse con sustancias antibacterianas bioactivas y antioxidantes. Este material posee propiedades adecuadas para envases de alimentos y, además, se degrada más rápido que los envases de plástico convencionales



[https://www.tomatonews.com/en/tomato-pomace-as-a-renewable-resource-for-bioplastic-production\\_2\\_1518.html](https://www.tomatonews.com/en/tomato-pomace-as-a-renewable-resource-for-bioplastic-production_2_1518.html)

# Residuos de zanahoria utilizados para la producción de films

Las zanahorias descartadas se valoraron con éxito mediante hidrólisis subcrítica, produciendo fracciones biopoliméricas para producir películas biobasadas. El arabinogalactano que contiene pectina (P-AG) extraído mediante tratamiento hidrotermal se purificó tras múltiples ciclos de UF y DF, resultando en fracciones sólidas.

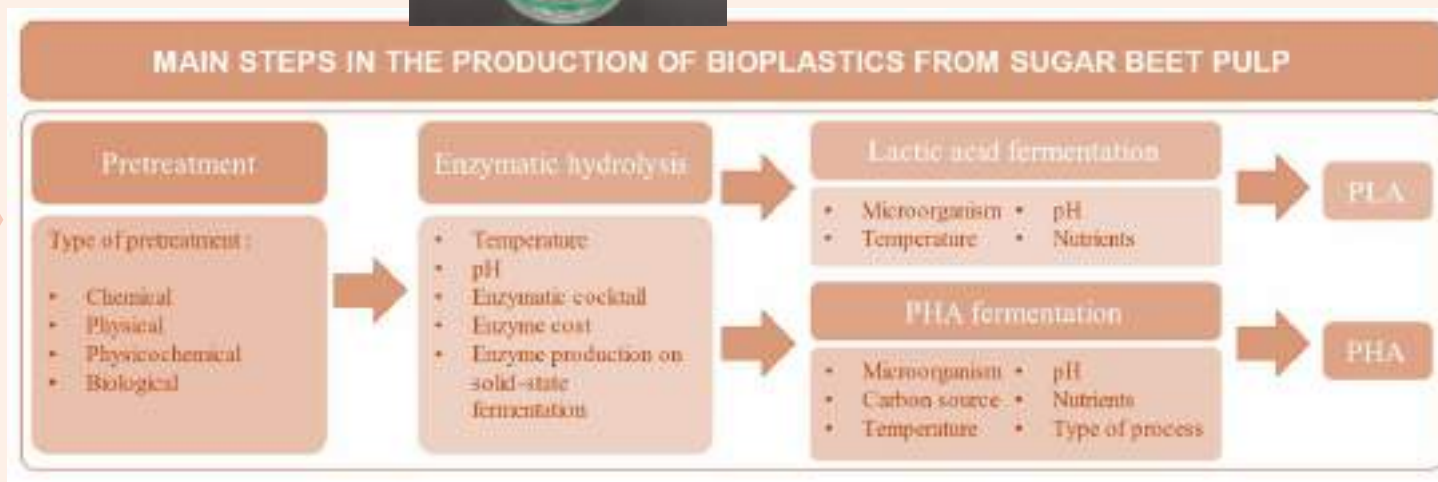
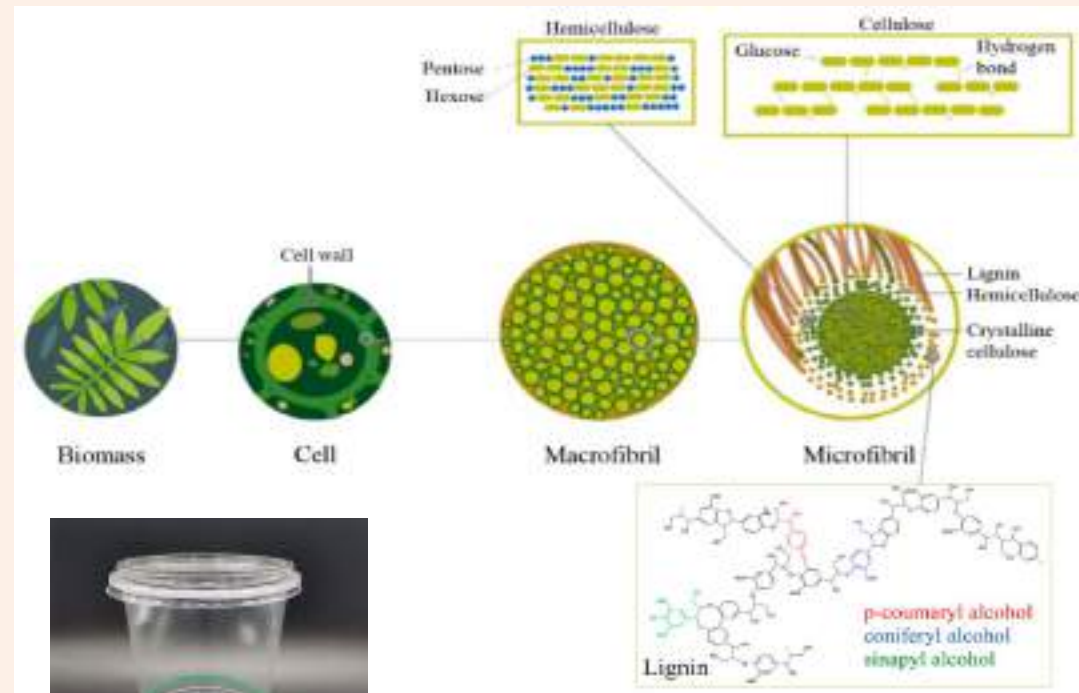


# Pulpa de remolacha azucarera para envasado

El ácido poliláctico (PLA) y los PHAs son bioplásticos biobasados y biodegradables. El PLA es un polímero compuesto por monómeros de ácido láctico (LA) y califica como un poliéster termoplástico alifático lineal. El PLA puede utilizarse en diferentes áreas, como el envasado de alimentos.

La pulpa de remolacha azucarera es un subproducto lignocelulósico de la industria azucarera que tradicionalmente se ha utilizado para el pienso animal. Sin embargo, también se ha utilizado como materia prima para producir una amplia gama de productos de valor añadido, como LA o PHA, mediante procesos biotecnológicos.

El ácido poliláctico (PLA) es el biopolímero más utilizado en la industria de envases alimentarios, con una producción anual de alrededor de 140.000 toneladas. El PLA está clasificado como Generalmente Reconocido como Seguro (GRAS) por la FDA de EE. UU., lo que lo hace adecuado para todas las aplicaciones de contacto con alimentos.



# Films antimicrobianos biodegradables



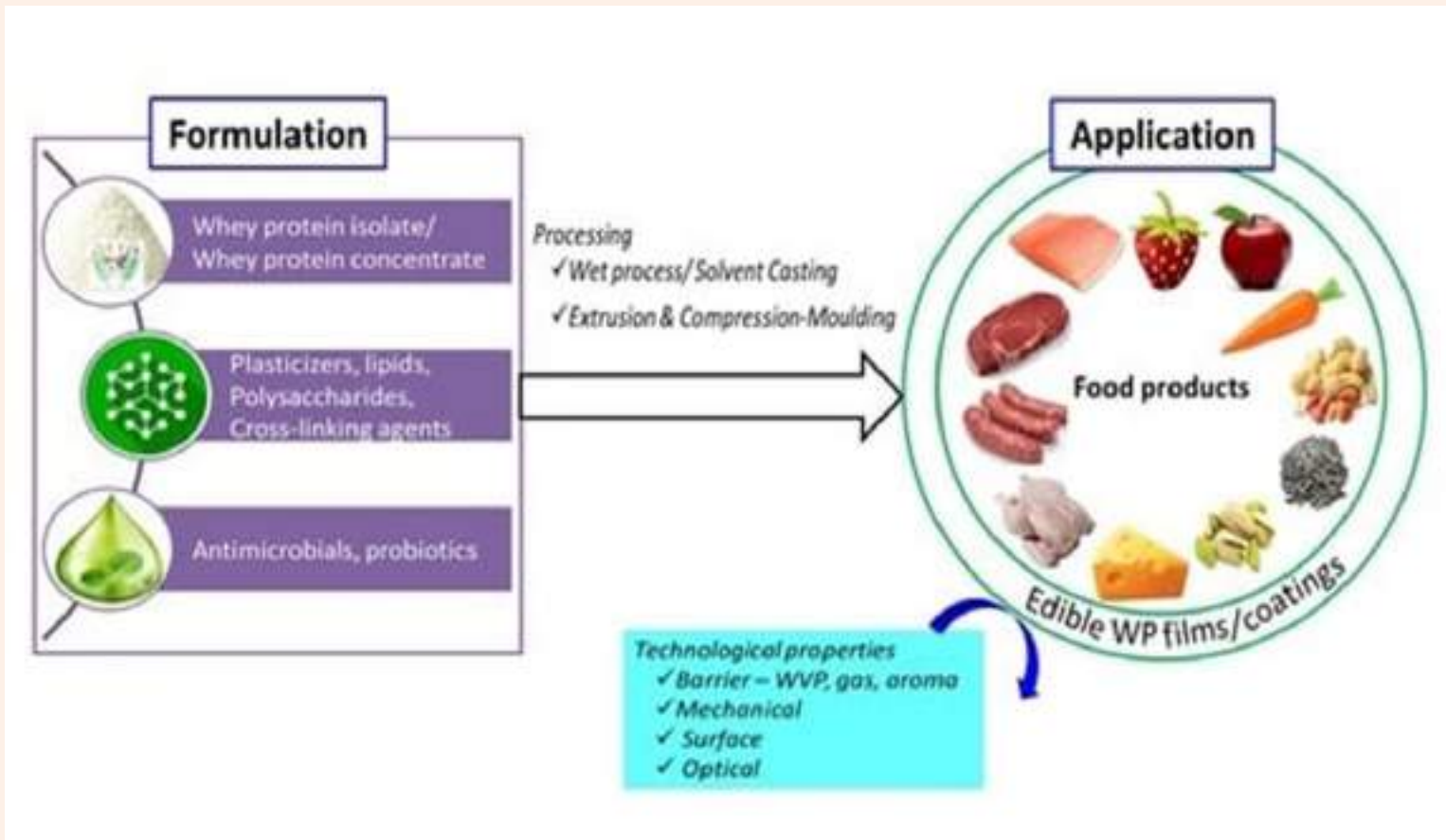
Bashir et al. desarrollaron películas biodegradables innovadoras mezclando goma guar, quitosano y alcohol polivinílico (PVA).

Estas películas se mejoraron aún más incorporando extractos de piel de menta y pomelo, ambos conocidos por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes naturales. Para mejorar la resistencia y estabilidad mecánicas, las películas se reticularon utilizando tetraetoxisilano no tóxico (TEOS).

Las películas resultantes mostraron mejoras en propiedades de barrera, mecánicas y biológicas, lo que las hacía adecuadas para aplicaciones en envases de alimentos.

El uso de materiales de origen vegetal y polímeros biodegradables apoya el desarrollo de alternativas sostenibles y ecológicas al envase plástico sintético.

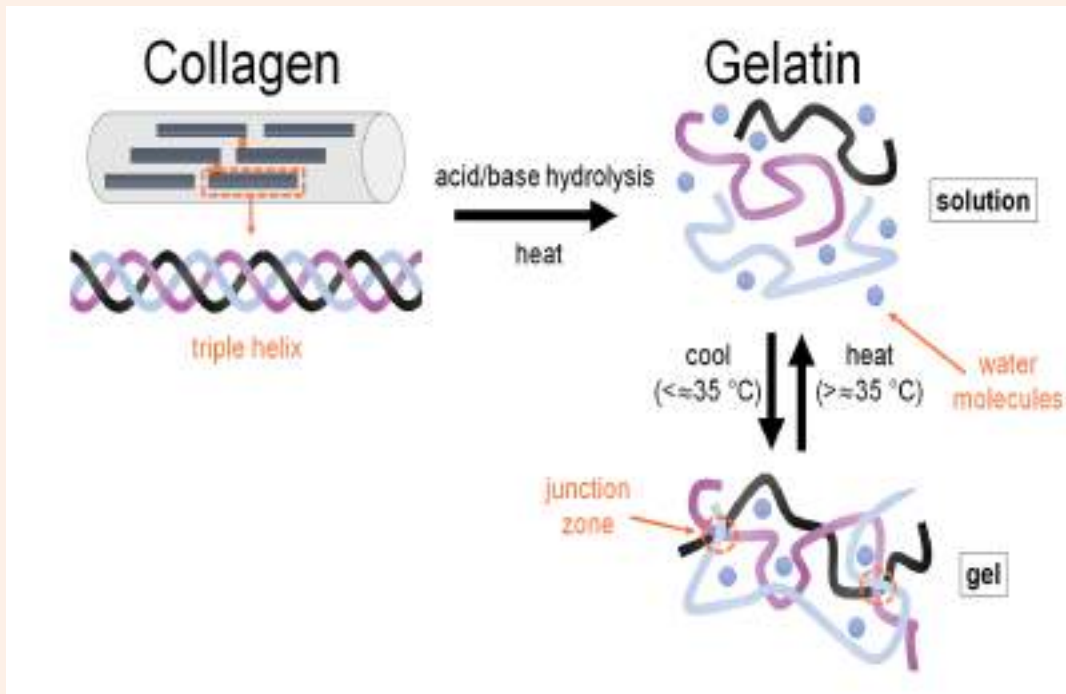
# Films y recubrimientos biodegradables de suero lácteo



La industria láctea genera grandes volúmenes de residuos líquidos como subproducto durante el proceso de coagulación de la caseína. Este líquido, denominado suero lácteo (DW), es un subproducto proteico soluble en agua de color verde amarillento y derivado tras la extracción de caseína en el procesamiento de queso.

# Industria cárnica

En el sector cárnico, los mataderos generan diversos subproductos animales, como órganos, sangre, huesos y grasas. Estos materiales pueden procesarse en gelatina para recubrimientos o utilizarse en compuestos. Derivada del colágeno en piel y huesos animales (por ejemplo, bovinos y porcinos) y en subproductos de pescado, la gelatina consiste en un conjunto de segmentos proteicos con diferentes pesos moleculares (100 a 300 kDa), junto con agregados de alto peso molecular y fracciones peptídicas (<100 kDa).



Las gelatinas extraídas de pieles de porcino, aves y pescado, así como de residuos o subproductos de piel bovina sin curnear, pueden utilizarse para la producción de películas de envasado o recubrimientos comestibles

La gelatina es una proteína de origen animal obtenida mediante hidrólisis del colágeno y está reconocida como uno de los biopolímeros más versátiles que se utilizan ampliamente en las industrias alimentaria, farmacéutica y biomédica.

Las pieles de cerdo y vaca son las principales fuentes de gelatina, ya que están fácilmente disponibles. Las fuentes de gelatina más utilizadas que se han reportado son piel y cartílago de cerdo (46%), y pieles bovinas (29,4%), huesos (23,1%) y otras fuentes (1,5%)

Nilsen-Nygaard et al. 2021  
Li, et al., 2021 <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12715>

# Aplicaciones de la gelatina



# La industria del aceite vegetal

La industria del aceite vegetal, que incluye el procesamiento de semillas de girasol, colza y soja, produce granos y otros residuos ricos en proteínas y fibra.

Propiedades de los recubrimientos comestibles obtenidos de granos:



# Alpeorujo de aceite

La pasta de aceite es el principal subproducto obtenido tras la extracción del aceite de las semillas. Luego se secan al aire para eliminar el agua antes de almacenarlos.

Generalmente, la harina se utiliza en la dieta animal como pienso porque es una excelente fuente de proteína y, por tanto, produce un aumento de biomasa. También puede usarse para consumo humano (Serrapica, F.; et al., 2019)

Los aminoácidos esenciales presentes en los pasteles de prensa de girasol son cisteína, metionina, leucina, valina, isoleucina, triptófano, alanina y fenilalanina [Petraru, A.; et al., 2021].

Las películas comestibles son adecuadas para envasado si poseen fuertes propiedades estructurales, biológicas, ópticas y de barrera. Deben bloquear eficazmente los olores, el vapor, el aceite, el agua, el oxígeno y la luz para evitar la oxidación de lípidos, la pérdida de humedad y la decoloración, preservando así la calidad y el aspecto del producto.

Las películas comestibles deben ofrecer buena solubilidad, actividad antimicrobiana y propiedades sensoriales favorables. En última instancia, su viabilidad comercial depende de su comestibilidad.

El alpeorujo de girasol es un subproducto que permanece tras la extracción del aceite de **semillas oleaginosas** mediante el prensado, principalmente en la producción de aceites comestibles no refinados o prensados en frío. Las pastas son ricas en proteínas y fibras, lo que las convierte en excelentes fuentes para la producción de biopolímeros.

### Protein-Based Biopolymers

**Soybean Cake:** Contains soy protein, used to produce biodegradable films with good mechanical and barrier properties.

**Sunflower Cake:** Rich in sunflower protein, suitable for film formation with moderate water resistance.

**Rapeseed (Canola) Cake:** Contains rapeseed protein, utilized in creating edible films with antioxidant and antimicrobial activity.

**Peanut Cake:** High in protein, used for making biodegradable films with good flexibility.

### Composite Biopolymers

**Mixed Oilseed Cakes** (e.g., blends of soybean and sunflower): Used to formulate composite biopolymer films by combining proteins and fibers for improved mechanical and barrier performance.



Pasta de semillas de girasol obtenidas de la producción prensadas en frío



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

# Capítulo 4: Nuevos subproductos alimentarios para aumentar el potencial nutricional y funcional



Co-funded by  
the European Union

# ¿Por qué subproductos alimentarios?



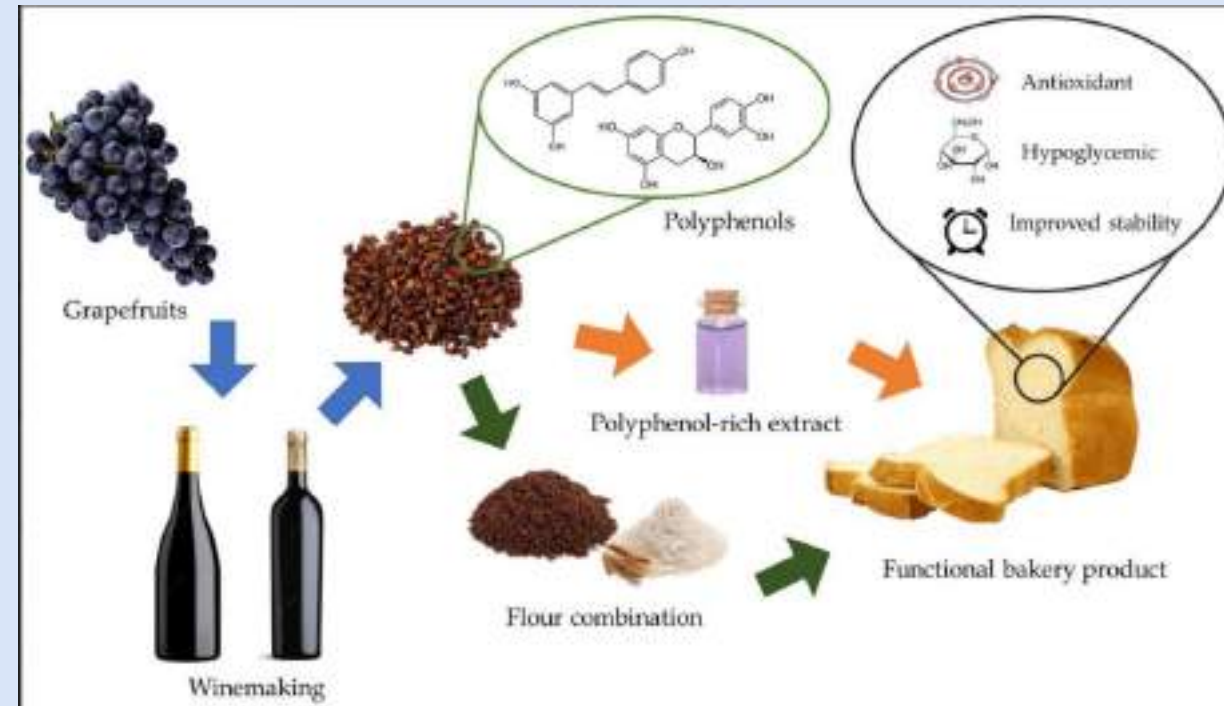
# Subproductos del vino Industria: estudio de caso sobre el orujo de uva

La recuperación de residuos de vino, como el orujo de uva, puede reintegrarse fácil y de forma beneficiosa en la industria panadera.

Estos residuos representan fuentes naturales de antioxidantes, cuya reutilización permite reducir análogos sintéticos relacionados con efectos secundarios negativos.

Incorporar estos antioxidantes como conservantes mantiene la estabilidad del producto final, al tiempo que aporta posibles beneficios para la salud.

Esta reutilización del orujo de uva puede ser una estrategia eficaz para crear productos de valor añadido, reduciendo al mismo tiempo los volúmenes de esta biomasa destinada a vertederos, promoviendo así un modelo de economía circular.



Echave, J.; et al., **2023**. <https://doi.org/10.3390/ECP2023-14676>

# Galletas enriquecidas con orujo de uva

Las galletas son un alimento básico en la dieta de la mayoría de las poblaciones en el mundo.

Las galletas suelen caracterizarse por un perfil nutricional óptimo, siendo una fuente de carbohidratos con un índice glucémico alto, azúcar y ácidos grasos saturados y/o trans.



En general, las galletas se consumen a diario, siendo adecuadas para muchas ocasiones de comida, desde el desayuno hasta un tentempié después de la cena.



# Harina de orujo de uva

Las pieles, semillas y tallos de uva se obtienen de la industria de producción de vino o zumo de uva inmediatamente después de la prensada.

El orujo fresco de uva se seca a 50°C durante 24 horas y se muele para obtener harina.

Grape pomace flour waEl orujo fresco de uva se seca a 50°C durante 24 horas y se muele para obtener harina.s sifted and included in the preparation of biscuits as a partial replacement for wheat flour.

Elaboración de vino



Orujo de uva



Galletas



Harina de orujo de uva

# Galletas enriquecidas con orujo de uva

Las galletas pueden producirse a partir de una fórmula básica que contiene harina de trigo, azúcar blanca, aceite de oliva, leche y fermento en polvo.

La cantidad de harina de pujón de uva reemplazó entre el 20% y el 30% de la cantidad de harina de trigo.

El porcentaje de harina de orujo de uva se seleccionó como un compromiso para maximizar los posibles beneficios para la salud, asegurando al mismo tiempo la capacidad de trabajar la masa.



Uva



Galletas



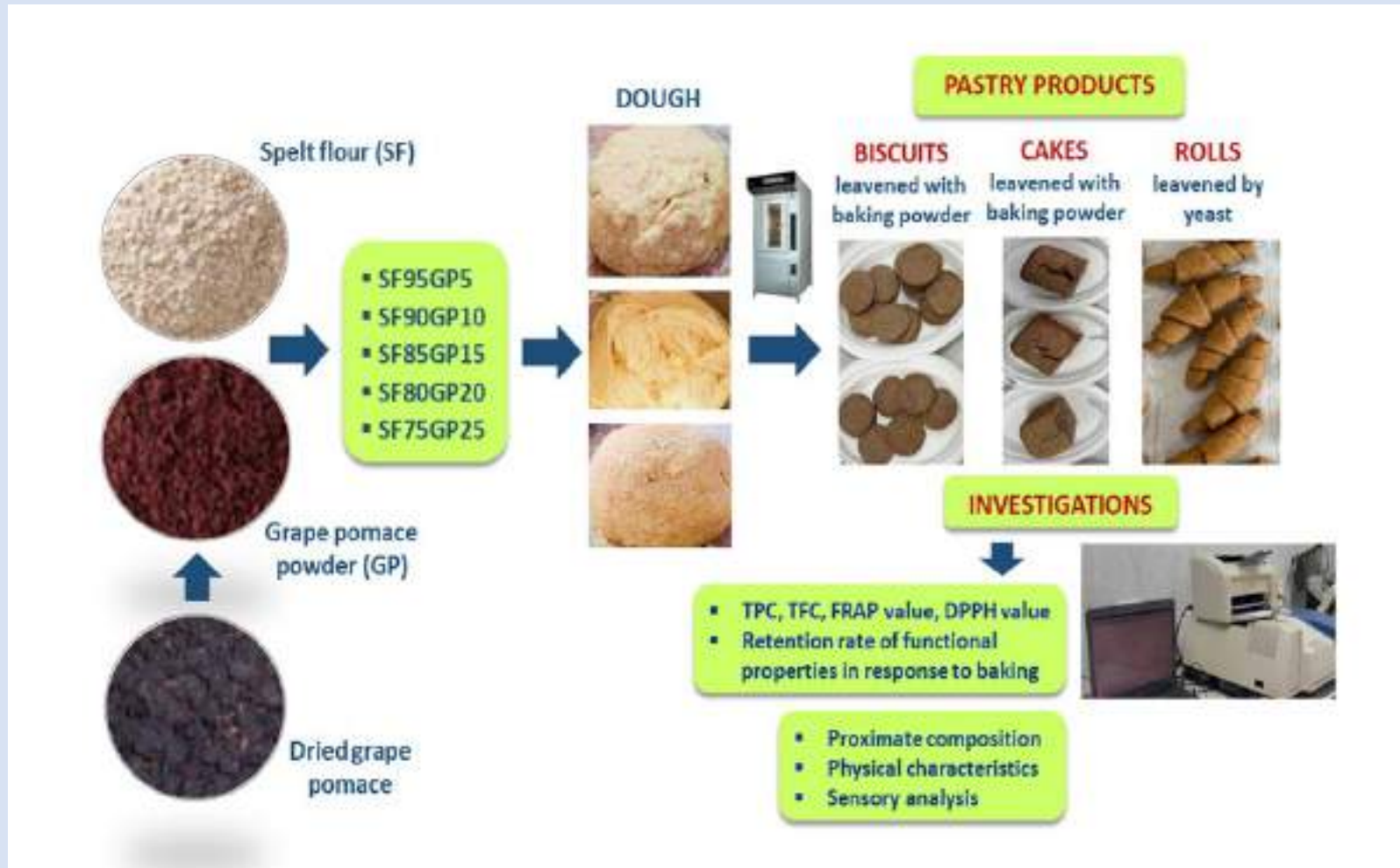
Orujo de uva



Harina de orujo de uva

# Masas con polvo de orujo de uva

Las galletas, pasteles y panecillos se desarrollaron usando harina de trigo de espelta y diferentes porcentajes de orujo de uva (GP).



Incorporar harina de orujo de uva en las recetas mejoró el perfil nutricional al aumentar la cantidad de fibra y polifenoles y reducir el contenido de lípidos y energía.

# Galletas enriquecidas con orujo de uva



Harina de trigo



Harina de orujo de uva



Leche



Aceite de oliva



Azúcar



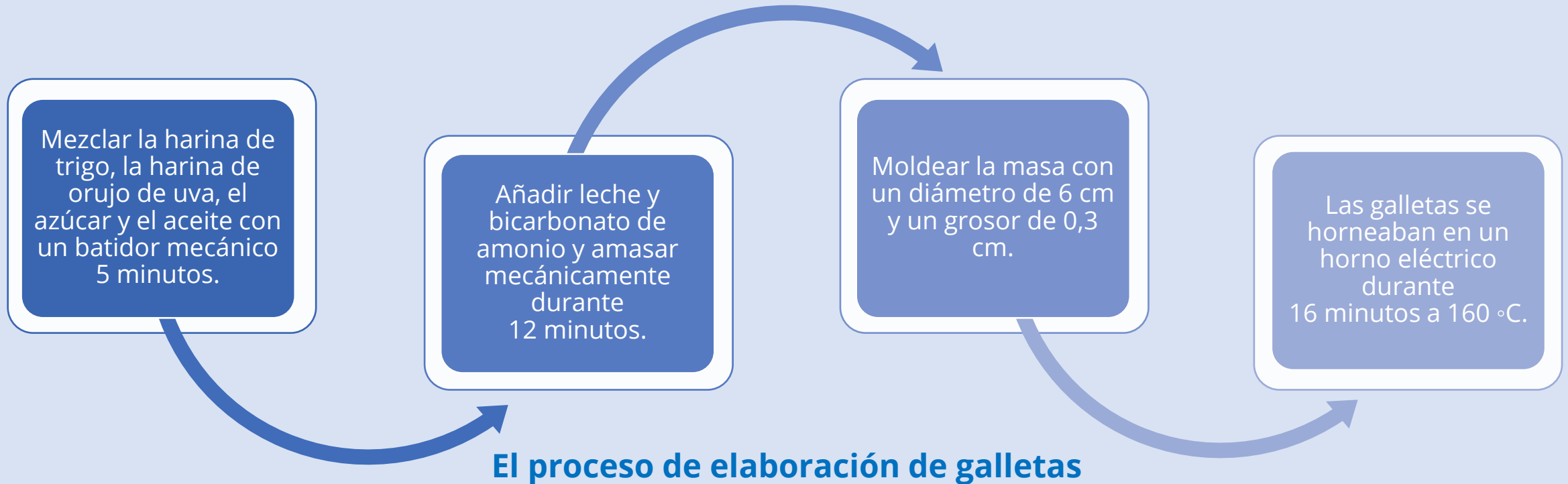
Bicarbonato de amonio



Ingredientes para las galletas



# Galletas enriquecidas con orujo de uva



# GALLETAS DE ORUJO DE UVA

## Propiedades físico-químicas (según las especificaciones técnicas)

Propiedades	Valor
Humedad (%)	16.8
Proteínas (%)	8.46
Lípidos (%)	22.17
Ácidos grasos(%)	12.36
Carbohidratos (%)	46.16
Valor energético, kJ/100g	1770.21
Azúcar (%)	16.69
Fibra(%)	6.42
Salt (%)	0.25



## Sensory properties (according to the technical specifications)

Propiedades	Condiciones de admisibilidad
Aspecto	Piezas redondas y planas, enteras, con superficie semicurva, lisas, sin elementos básicos, diámetro 8 cm
Color	Claro a marrón rojizo, característico del pomaco de uva. No se permite la coloración blanquecina o quemada
Sabor	Agradable, característico, adecuado para lo dulce, sin sabor ácido ni amargo
Sabor	Agradable, característico del espino marino
Olfato	Sin olor extraño (moho, rancio, etc.)

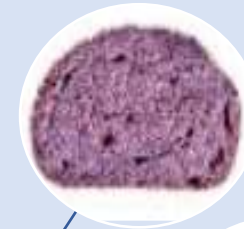
# Otros usos del orujo de uva

El orujo de uva y sus componentes se han añadido a una variedad de alimentos, incluyendo pan, pastelería, galletas, pasta, cereales expandidos y otros.



Orujo de uva

Productos alimentarios



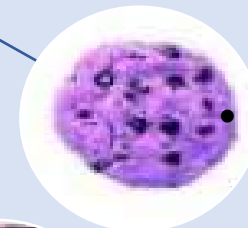
Pan



Cereales extruidos



Magdalenas



Galletas



Fideos

Además de las antocianinas, el orujo de uva contiene flavonoides y procianidinas procedentes de semillas de uva, lo que contribuye a la notable capacidad antioxidante de estos productos alimenticios.

# PASTA DE ORUJO DE UVA

## Ingredientes

Harina de trigo de espelta, premezcla de orujo de uva, huevos, sal, agua

Physical-chemical properties (according to the technical specifications)

Propiedades	Valor
Humedad (%)	12.4
Proteínas (%)	13.6
Lípidos (%)	5.7
Carbohidratos (%)	60
Valores energéticos, kcal/100g	262
Azúcar (%)	0.8
Ácidos grasos(%)	1.2
Salt (%)	0.8
Fibra(%)	8.4



Sensory properties (according to the technical specifications)

Propiedades	Condiciones de admisión
Aspecto	se permite una superficie lisa sin rastros de harina sin fermentar, en la ruptura de apariencia vítrea, partículas punteadas de porosidad marrón de harina Spelta
Color	De color marrón rojizo específico del orujo de uva
Sabor	Agradable, característico, adecuado para lo dulce, sin sabor ácido ni amargo
Cuerpos extrajeros	ausente

# MAGDALENAS DE ORUJO DE UVA

## Ingredientes

Harina de trigo de espelta, premezcla de orujo de uva, huevos, mantequilla, azúcar, aceite vegetal, sal, poder de repostería, sabores

Physical-chemical properties (according to the technical specifications)

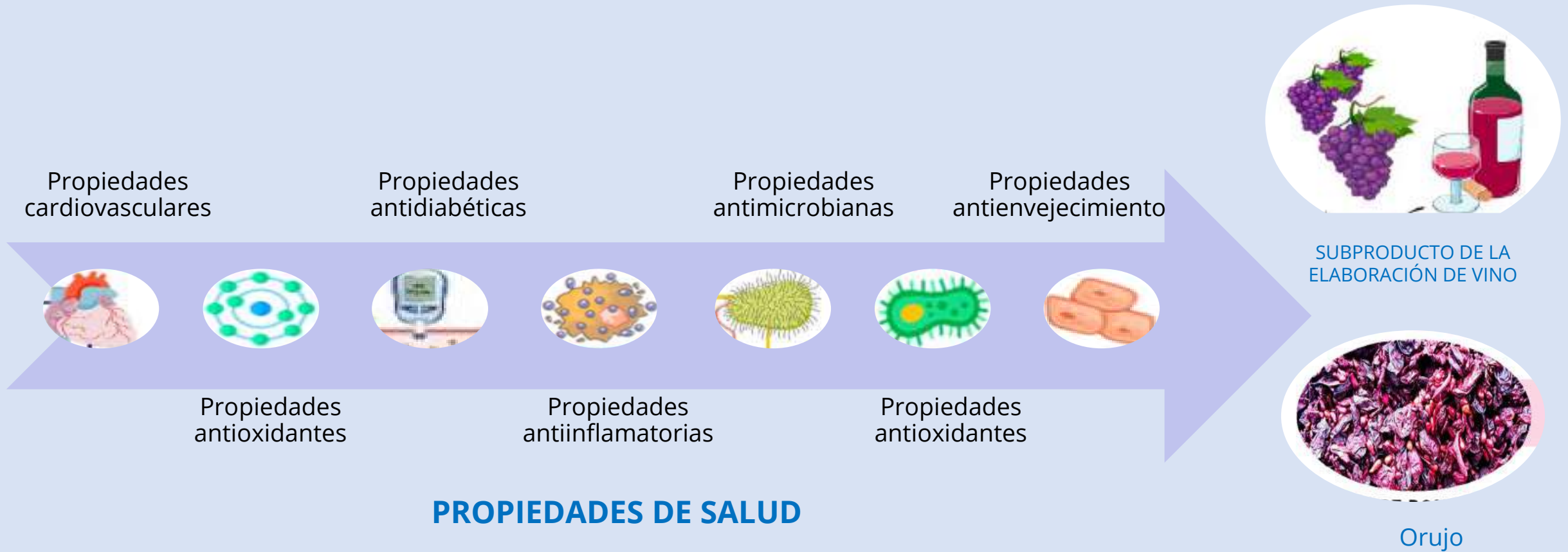
Propiedades	Valor
Humedad (%)	21.7
Proteínas (%)	6.7
Lípidos (%)	27.9
Carbohidratos (%)	40.4
Valor energético, kcal/100g	443.83
Ácidos grasos (%)	3.3
Azúcares (%)	25
Sal (%)	0.3
Fibra (%)	3.3

Sensory properties (according to the technical specifications)

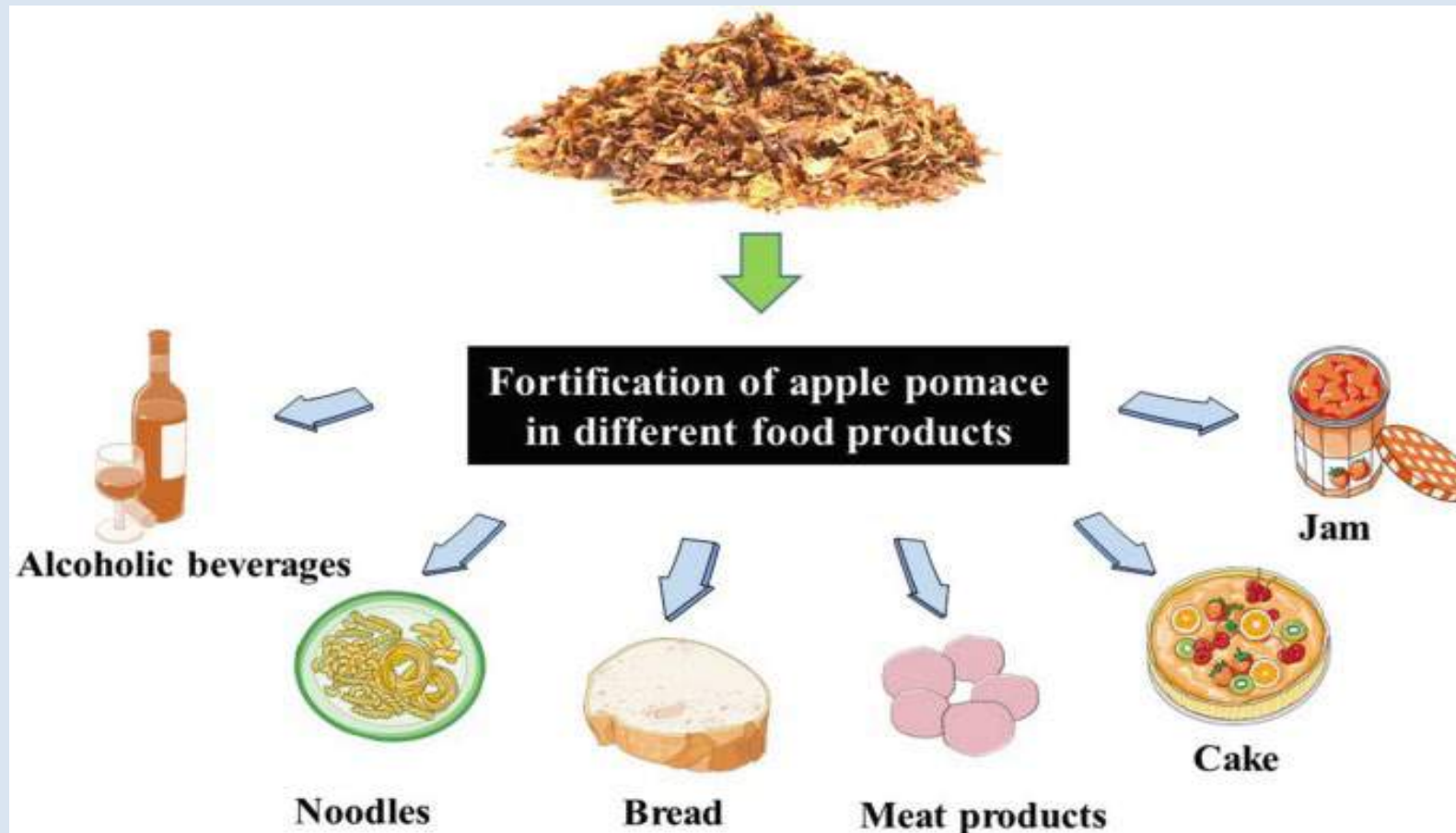
Proprieties	Condiciones de admisibilidad
Forma	Característica del producto de los muffins
Apariencia	superficie mate, sin quemarse, ligeramente agrietada
Color	marrón, uniforme
Núcleo	masa homogénea, característica de un producto bien horneado, en sección sin grumos ni rastros de harina sin congelar
Sabor	Agradable, característico del orujo de uva, adecuado para dulce, sin sabor ácido ni amargo
Olfato	Agradable, afrutado, característico, sin un olor extraño (a moho, rancio, rancio, etc.)
Consistencia	núcleo denso, ligeramente húmedo al tacto, ligeramente desmoronable con vacíos



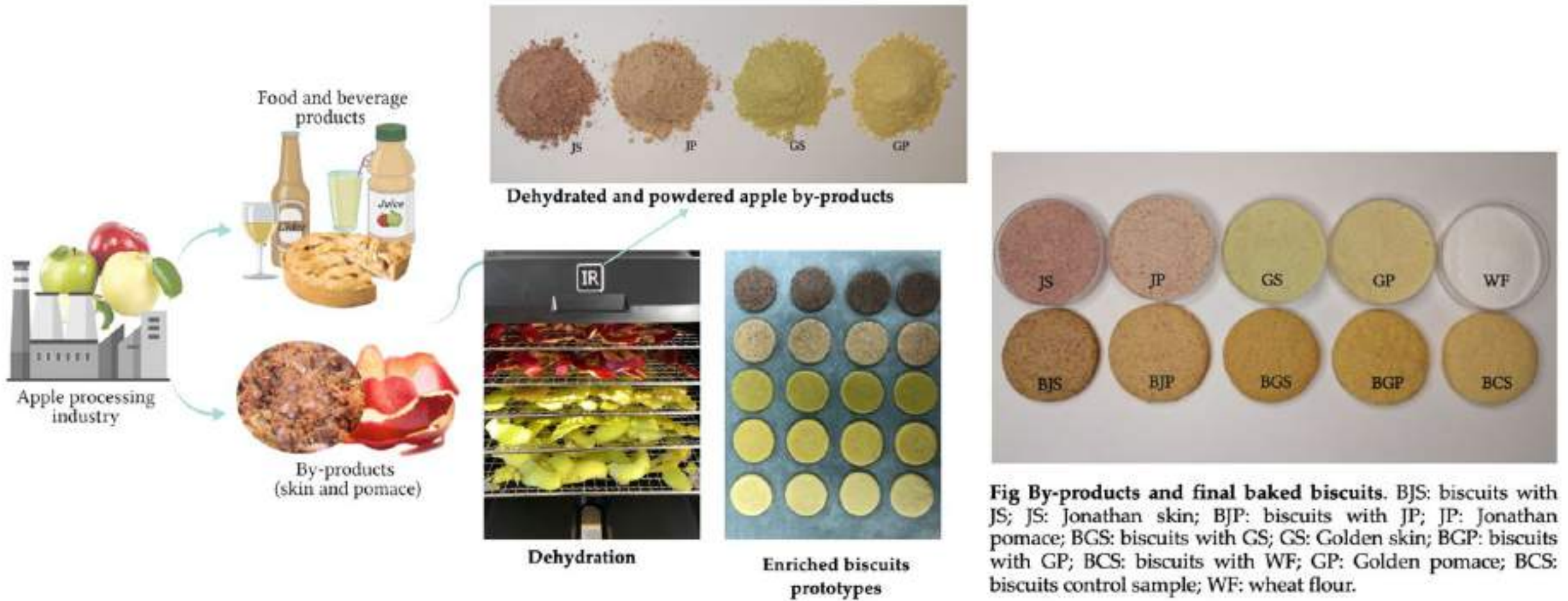
# Efectos de los polifenoles aislados del orujo de uva en la salud humana



# PROCESAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE MANZANA COMO FUENTE POTENCIAL DE MOLÉCULAS BIOACTIVAS

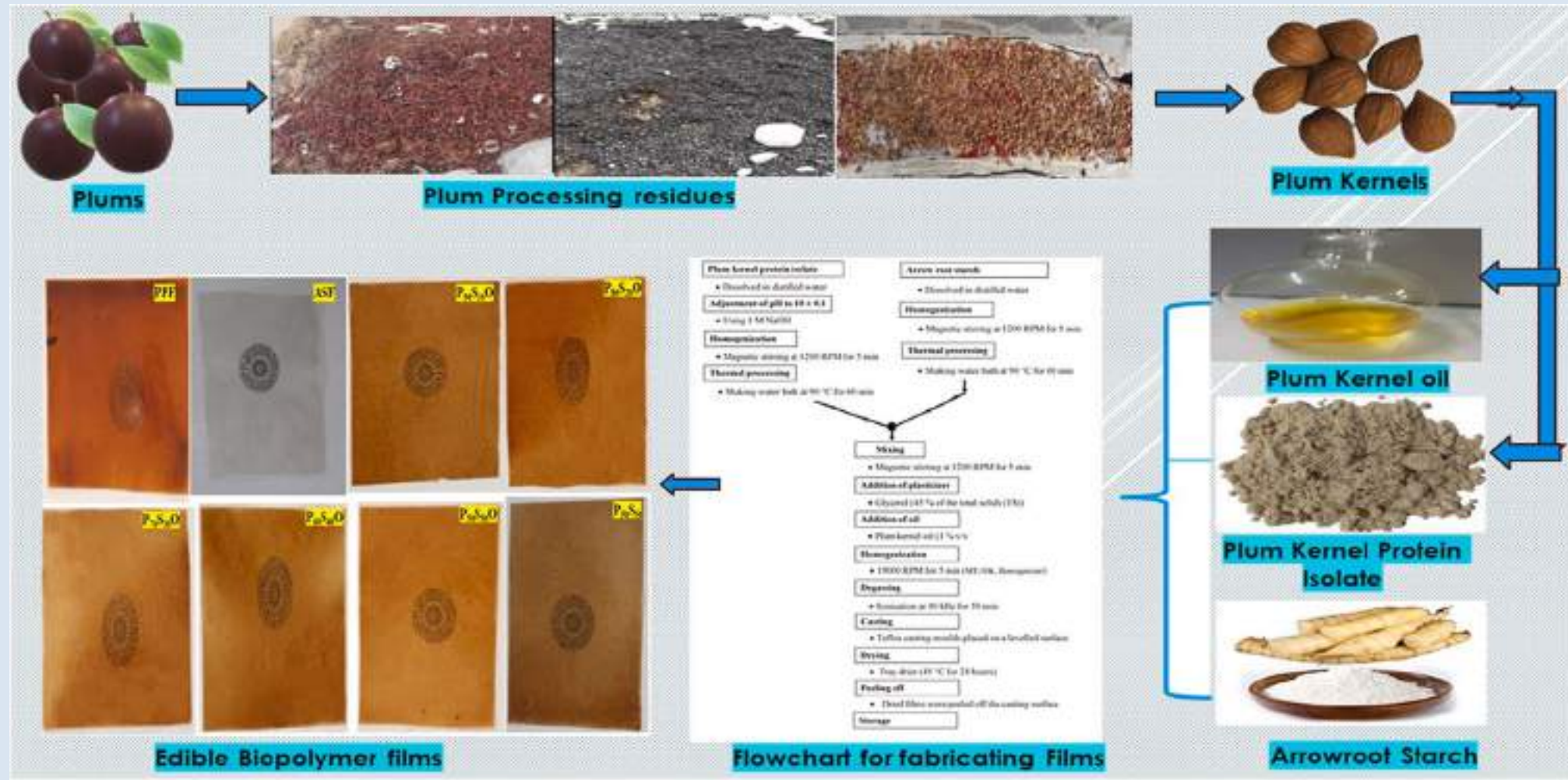


# PROCESAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE APPLE COMO FUENTE POTENCIAL DE MOLÉCULAS BIOACTIVAS

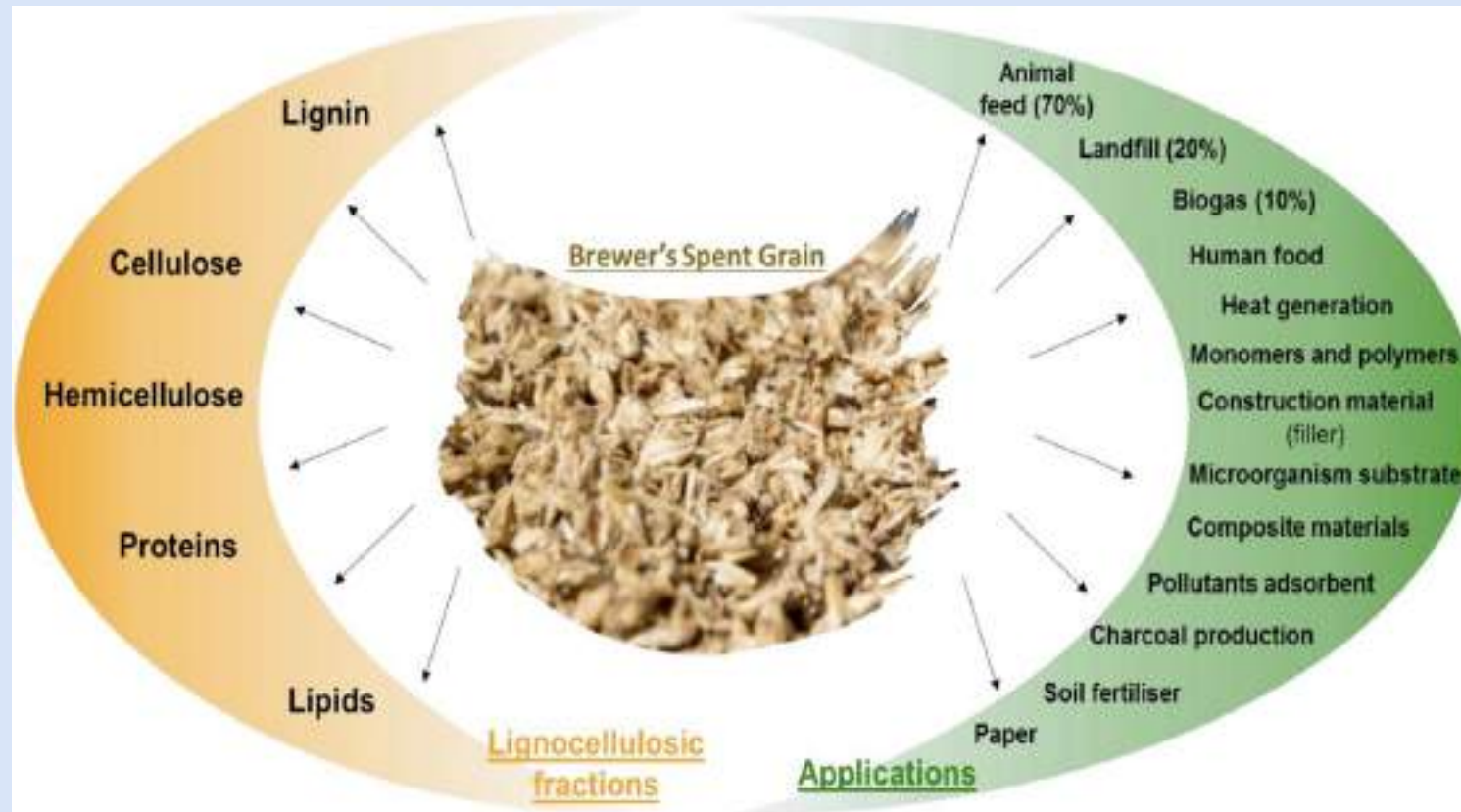


**Fig By-products and final baked biscuits.** BJS: biscuits with JS; JS: Jonathan skin; BJP: biscuits with JP; JP: Jonathan pomace; BGS: biscuits with GS; GS: Golden skin; BGP: biscuits with GP; BCS: biscuits with WF; GP: Golden pomace; BCS: biscuits control sample; WF: wheat flour.

# SUBPRODUCTOS DEL PROCESAMIENTO DE CIRUELAS COMO FUENTE POTENCIAL DE MOLÉCULAS BIOACTIVAS



# Beer by-products valorization



Facciones presentes en la biomasa lignocelulósica de BSG y sus posibles aplicaciones.

Arnaud 2024, <https://hal.science/hal-04437457v1>

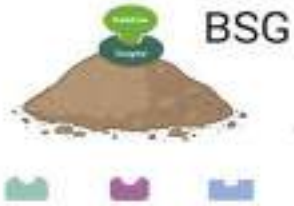


Beer



Barley

# Valorisation of Brewers' spent grain for applications in Human health



BSG

Proteases

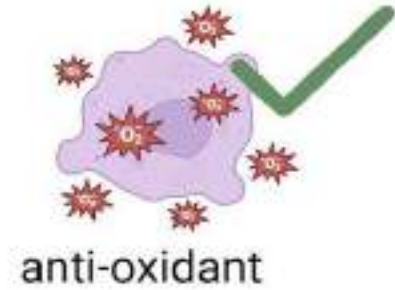
Pro1,Pro2,Pro3,Pro4,Pro5,Pro6, Pro1:Pro4, Pro2:Pro6

Hydrolysis at pH and Temp optima



Centrifugation

Freeze dry supernatant



anti-oxidant

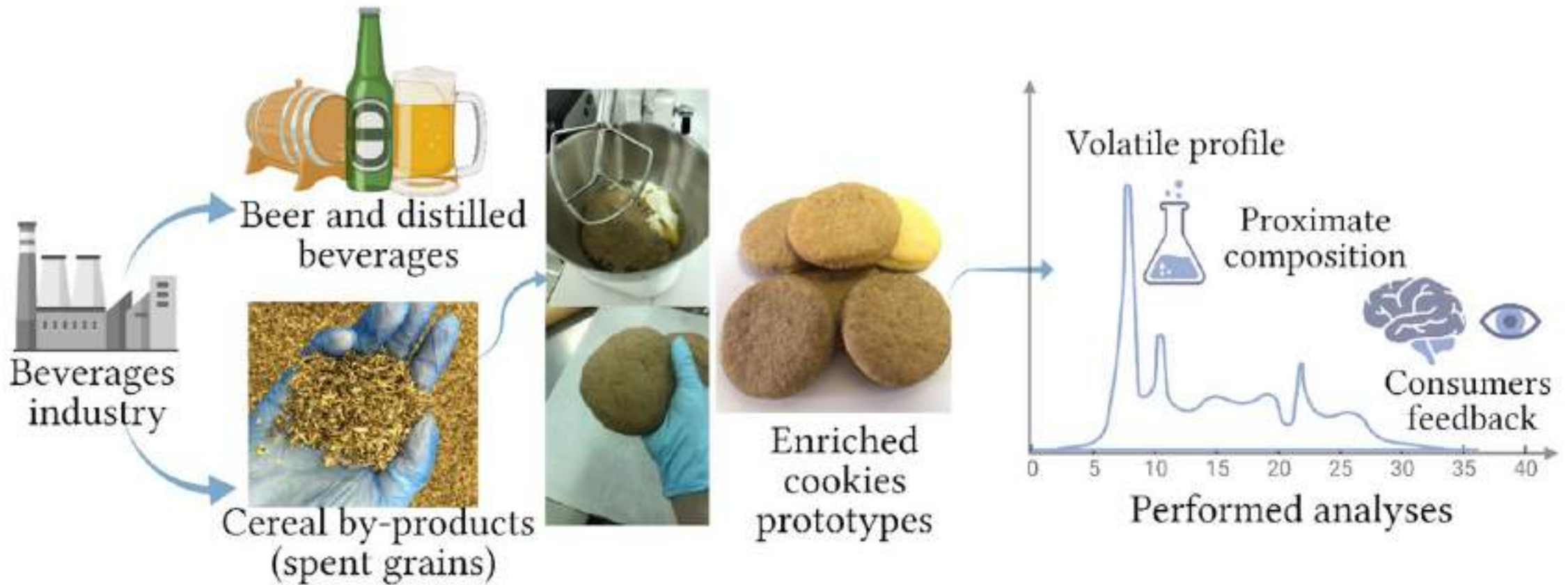


Brain health ?

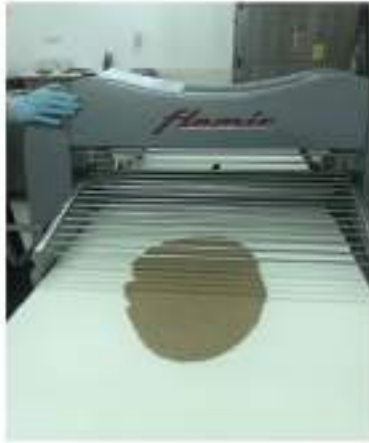


gut health

# Integración directa de la GSB en la composición de alimentos – estudio de caso



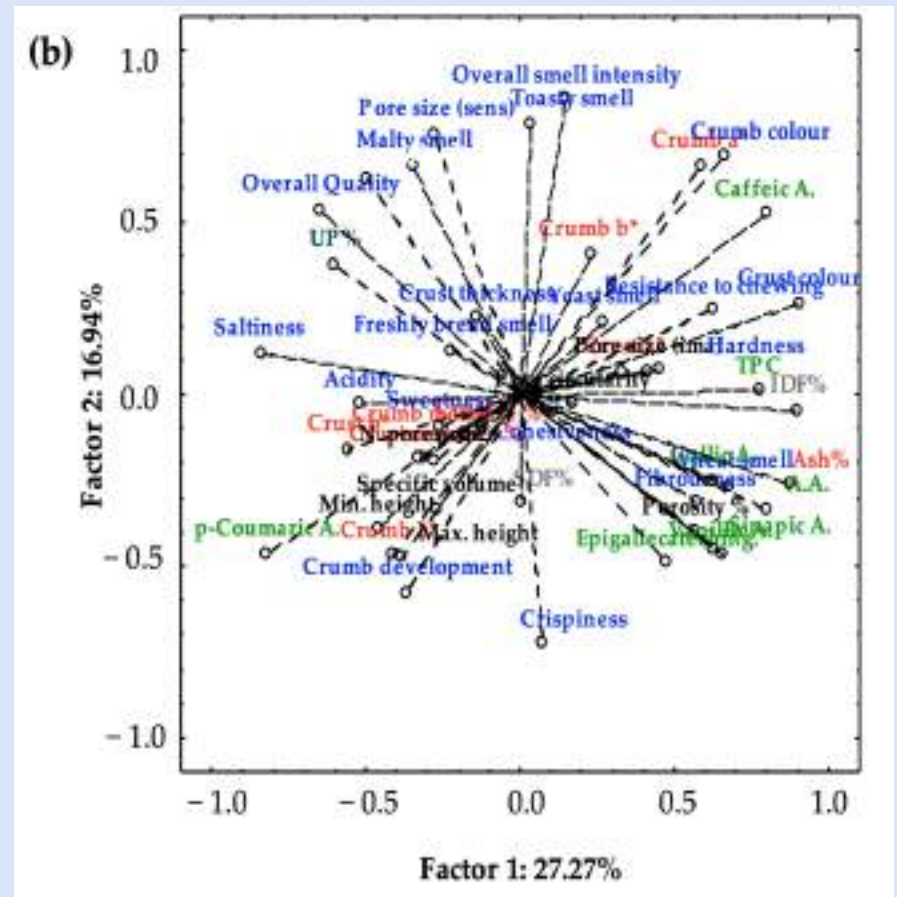
# Integración directa de la GSB en la composición de alimentos – estudio de caso



2021 and 2022 – Gold and Bronze Medals at International Invention Salons

Visual appearance of muffins produced for the sensory study with different levels (0–10%) of supplementation of brewers' spent grain (BSG) sample A (BSGA) and enzymatically hydrolysed BSG sample B (BSGB).



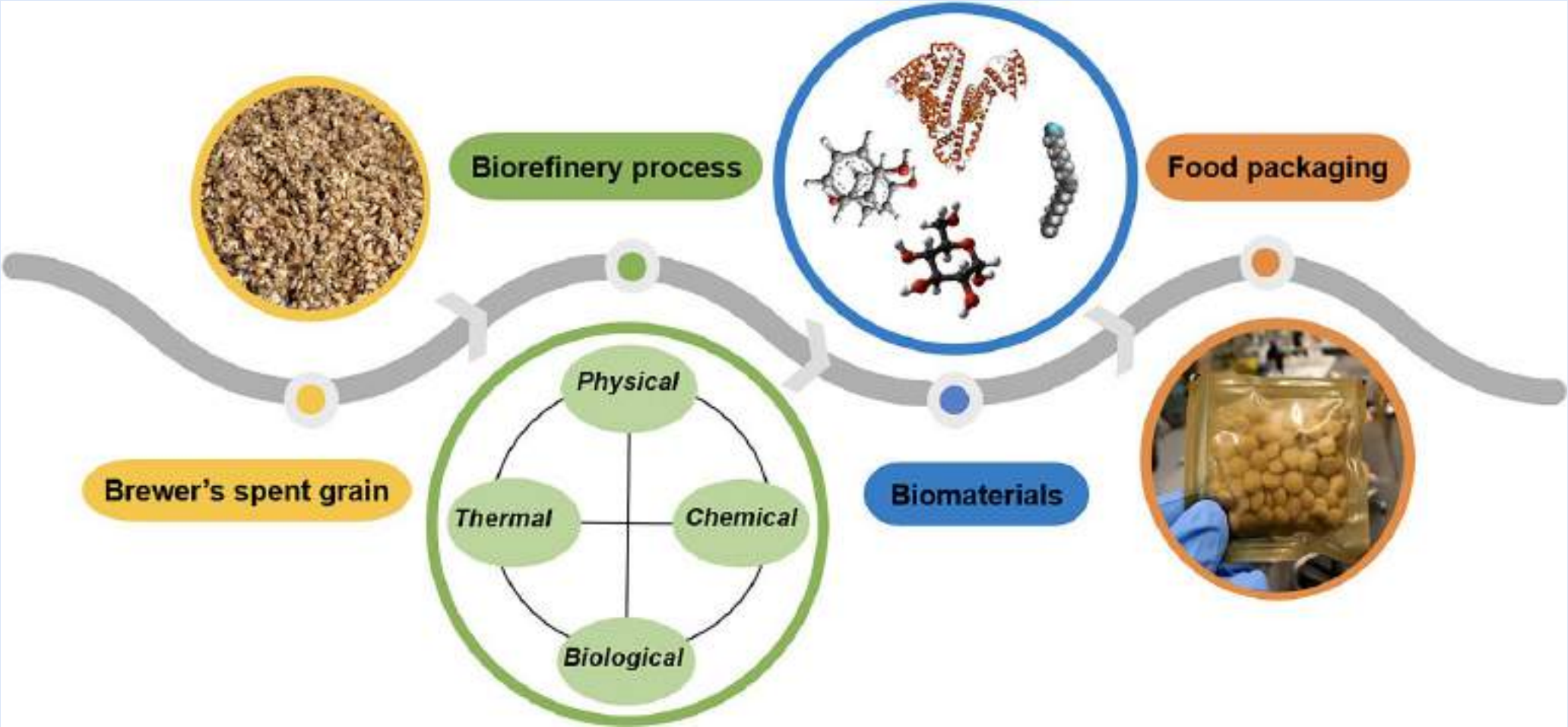


(a1)

(a2)

Slices of control bread (a1) and (a2) the 12 functional breads produced with brewer spent grain addition; (b) projections of functional obtained breads Phenolics are in green font; Insoluble and Soluble Dietary Fibres are in purple; UP% is in dark green; Moisture %, Ash %, and colorimetric indices are in red; structural parameters are in black (Baiano et al., 2022).

# Esquema del proceso de biorrefinería para transformar el BSG en envases alimentarios biodegradables



# Subproductos de la oliva

## Valorization strategies

**Sprelive**

**Fresh olive pomace**

**Extracted olive pomace**

**Soilife**

**Patent PCT/IB2018/060111**

Foodstuff composition, process and uses thereof

*This functional ingredient is a mixture of bioactive compounds, in particular hydroxytyrosol, tyrosol, sterols, tocopherols, triterpenes, coenzyme Q10, K, Mg and Ca; among others, obtained from olive pomace by mechanical pressing.*

**Patent PCT/IB2017/053422**

Olive pomace products, method of production and their uses

*The present disclosure relates to olive pomace and a green methodology to obtain derivative products for its valorization.*

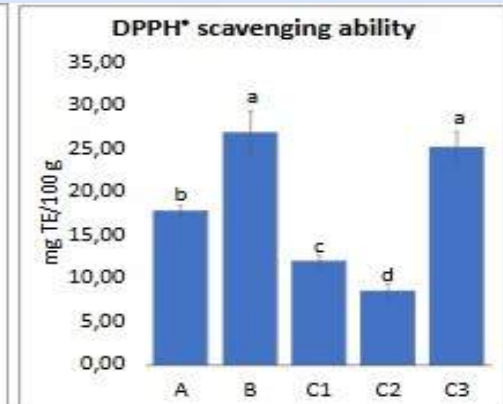
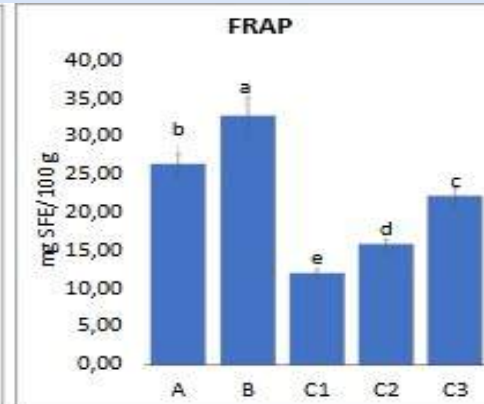
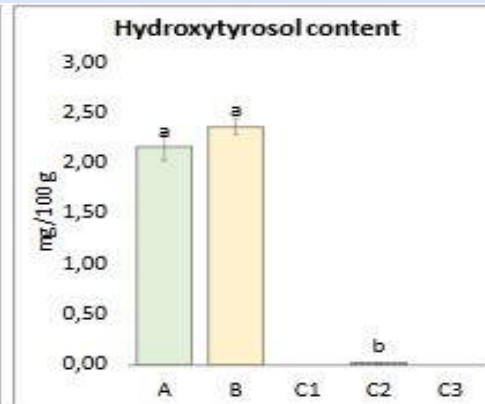
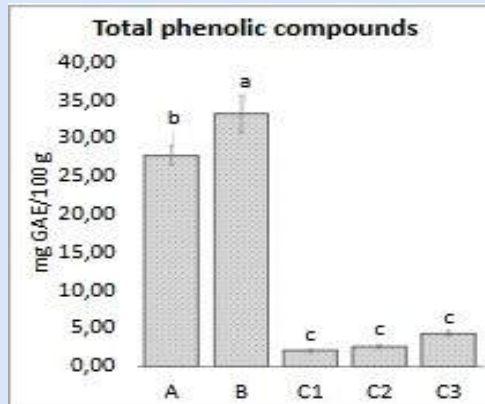
*The obtained products may be used as a solid substrate, nutraceuticals, cosmetics or food supplements.*

# Crema untable a base de aceite de oliva con extracto de orujo de oliva

70% aceite de oliva  
 Agua  
 Agentes tecnológicos  
 Extracto



70% aceite de oliva  
 Aceite de coco  
 Agua  
 Agentes tecnológicos  
 Extracto



GAE, gallic acid equivalents; SFE, ferrous sulfate equivalents; TE, trolox equivalents; FRAP, ferric reducing antioxidant power; DPPH\*, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging ability. Data expressed as mean  $\pm$  standard deviation. Different lower-case letters mean significant differences between samples.

# Pasta de orujo con oliva

## Orujo oliva



Liofilizado y molido



- Dried 40 °C 48h
- Dried 70 °C 24h



- Tamizado para la eliminación de fragmentos de piedra

Tras los resultados del análisis químico, se seleccionó el orujo de oliva secado a 70°C las 24 horas para incorporar pasta



- Beneficios de incorporar orujo oliva en los alimentos:**
- Economía circular
  - Reciclaje de la OPP
  - Desarrollo de nuevos productos alimentarios
  - Valoración del sector del aceite de oliva

**Pasta Incorporating Olive Pomace: Impact on Nutritional Composition and Consumer Acceptance of a Prototype**  
by Diana Melo Ferreira <sup>1,†</sup>, Bárbara C. C. Oliveira <sup>1,†</sup>, Carla Barbosa <sup>1,2</sup>, Anabela S. G. Costa <sup>1</sup>, Maria Antónia Nunes <sup>1</sup>, Maria Beatriz P. P. Oliveira <sup>1,\*</sup> and Rita C. Alves <sup>1</sup>

<sup>1</sup> LAQV/REQUIMTE, Department of Chemical Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto, Street of Jorge Viterbo Ferreira, 4050-313 Porto, Portugal  
<sup>2</sup> CISAS/IPVC, Polytechnic Institute of Viana do Castelo, Avenue of Atlantic, 4900-348 Viana do Castelo, Portugal  
\* Author to whom correspondence should be addressed.  
† These authors contributed equally to this work.

Foods 2024, 13(18), 2933; <https://doi.org/10.3390/foods13182933>

# Pasta de orujo con oliva

- Pasta seca a 50°C 5h
- Cocinado a 100°C en 10 minutos

La pasta enriquecida tenía un aumento de macronutrientes, vitamina E y actividad antioxidante

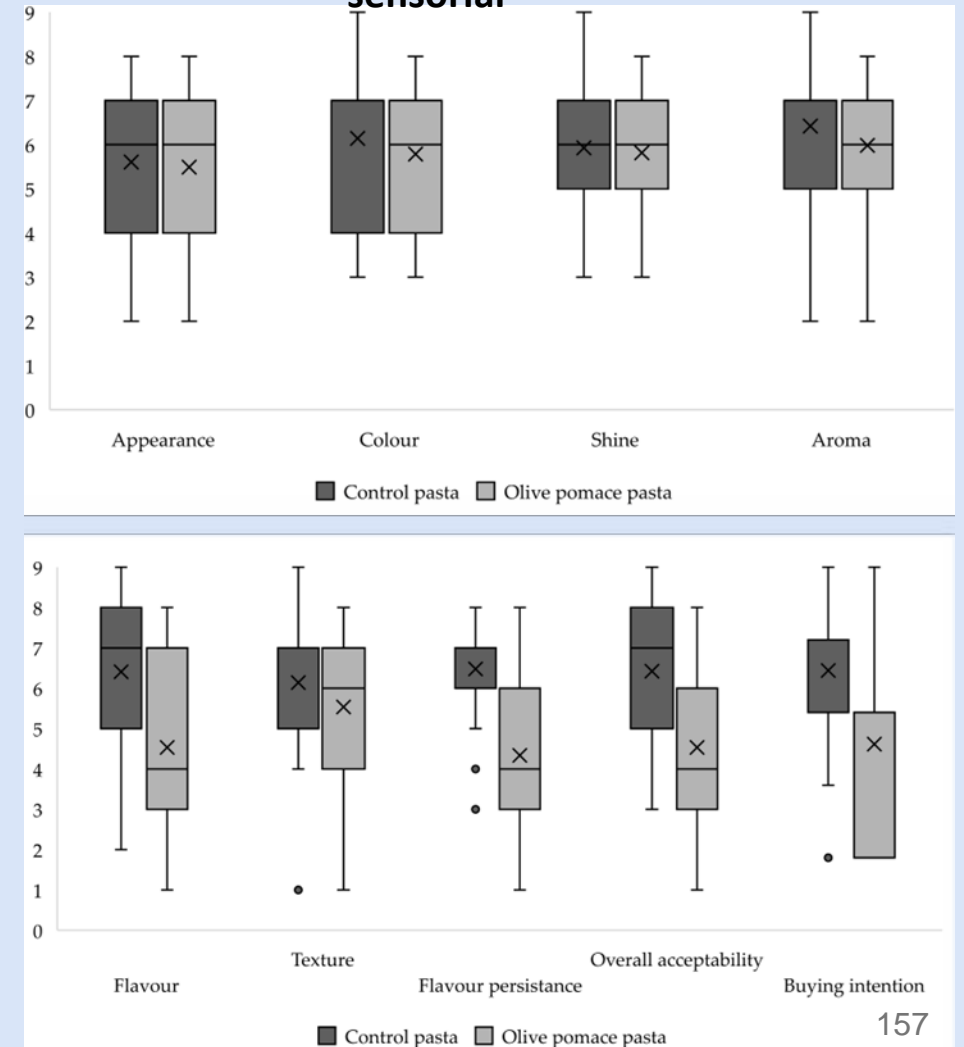


200 g de harina de trigo + 110 mL de agua



185 g de harina de trigo + 15 g de orujo de oliva + 110 ml de agua

## Análisis sensorial

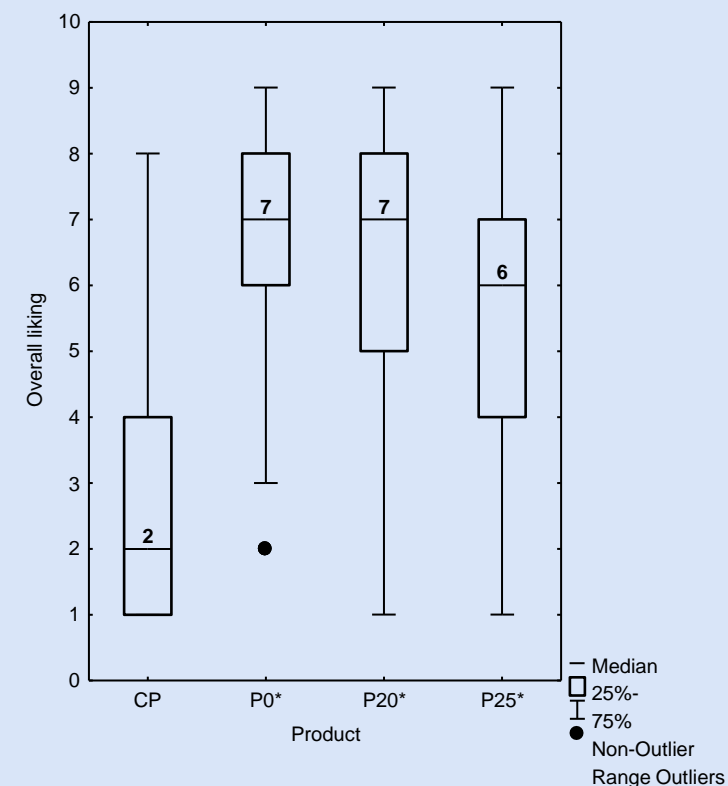


# Patés de orujo oliva

Paté de aceitunas	Ingredientes
<b>Paté de aceitunas (P0)</b>	75% representaba aceitunas negras oxidadas, 10% vinagre, 10% AOVER, 3% hierbas aromáticas, 1% ajo en polvo y 1% sal.
<b>Paté de aceitunas con 20% HT-OPP (P20)</b>	El 55% representaba aceitunas negras oxidadas, 20% HT-OPP, 10% vinagre, 10% AOVERG, 3% hierbas aromáticas, 1% ajo en polvo y 1% sal.
<b>Paté de aceitunas con 25% HT-OPP (P25)</b>	50% aceitunas negras oxidadas, 25% HT-OPP, 10% vinagre, 10% AOVER, 3% hierbas aromáticas, 1% ajo en polvo y 1% sal.



**Procesamiento a Alta Presión (HPP)**



# Orujo oliva en aplicación cosmética



## Chemical and Rheological Characterization of a Facial Mask Containing an Olive Pomace Fraction

by Raquel Rodrigues <sup>1,†</sup>, Joana C. Lobo <sup>1,†</sup>, Diana M. Ferreira <sup>1</sup>, Ewa Senderowicz <sup>1</sup>, M. Antónia Nunes <sup>1</sup>, M. Helena Amaral <sup>2,3,\*</sup>, Rita C. Alves <sup>1,\*</sup> and M. Beatriz P. P. Oliveira <sup>1</sup>

<sup>1</sup> REQUIMTE/LAQV, Department of Chemical Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto, R. J. Viterbo Ferreira, 228, 4050-313 Porto, Portugal

<sup>2</sup> Associate Laboratory i4HB—Institute for Health and Bioeconomy, Faculty of Pharmacy, University of Porto, 4050-313 Porto, Portugal

<sup>3</sup> UCIBIO—Applied Molecular Biosciences Unit, MEDTECH, Laboratory of Pharmaceutical Technology, Department of Drug Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto, 4050-313 Porto, Portugal

\* Authors to whom correspondence should be addressed.

† These authors contributed equally to this work.

*Cosmetics* **2023**, *10*(2), 64; <https://doi.org/10.3390/cosmetics10020064>

**La incorporación de pasta de orujo de oliva al 5% en las mascarillas faciales dio lugar a:**

- Un aumento de 17 veces en el contenido fenólico total, aumentando la capacidad antioxidante.
- Mascarillas con buena textura, sin olor y con un aspecto atractivo.
- Mejora la viscosidad y firmeza de la máscara, manteniendo la deseable extensión y facilidad de aplicación.

# Subproductos de café: Aplicaciones alimentarias



# Subproductos de café: Aplicaciones alimentarias



**UAE: An effective and viable option to be applied by industries to recover bioactive compounds from silverskin**



Good source of **bioactive compounds (CGA and caffeine)**

- Easily extracted using "green" solvents and methods
- Several anti-MetS effects (e.g., antidiabetic, antiadipogenic, and anti-inflammatory) found in different cell lines

Possibility to develop a functional product



**Cookies enriched with CS well accepted by consumers**



- ✓ **Silverskin valorization** (Sustainability and Circular economy in coffee industries)
- ✓ **Prevention/ management of MetS** (Major concern in developed countries)



- 🎯 Promote health and well-being
- 🎯 Promote sustainability and circular economy of coffee value chain
- 🎯 Innovate and increase the availability and diversity of food

# Impacto de las cáscaras y silverskin en las propiedades prebióticas



**Silverskin**



**Cáscara**



*In vitro* GID



Incubación con lactobacilos

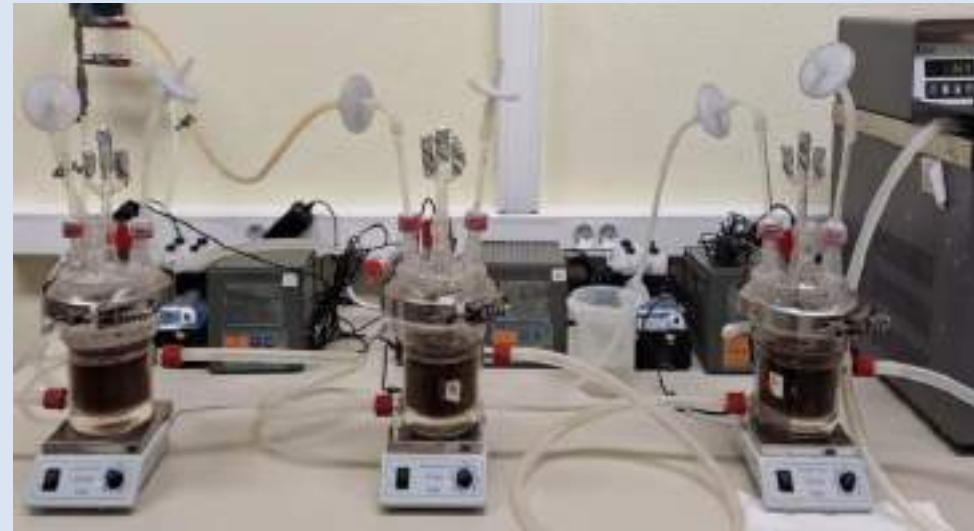
- ✓ Perfil de carbohidratos
- ✓ Perfil de ácido clorogénico
- ✓ Contenido de cafeína

- ✓ Los lactobacilos estimulan el crecimiento de las cepas
- ✓ Producción de ácido orgánico
- ✓ Variación del pH

La fracción de polisacáridos mostró resistencia a la digestión, con predominancia de polisacáridos pécticos. Los ácidos clorogénicos y la cafeína mostraron una estabilidad moderada, lo que sugiere que una fracción significativa de estos compuestos puede llegar al colon y actuar como sustrato para la microbiota local.

**Tanto las muestras de control como las digeridas promovieron el crecimiento y metabolismo de cepas probióticas, evidenciado por el aumento de la densidad celular, la disminución del pH y la producción de ácidos orgánicos.**

Sin embargo, persisten limitaciones que justifican futuros estudios, concretamente la evaluación en modelos de fermentación colónica in vitro más realistas y pruebas in vivo para confirmar los beneficios observados. El uso de subproductos del café en su forma completa como ingrediente prebiótico podría ser una forma de contribuir a la reducción del desperdicio alimentario y disminuir el impacto ambiental.

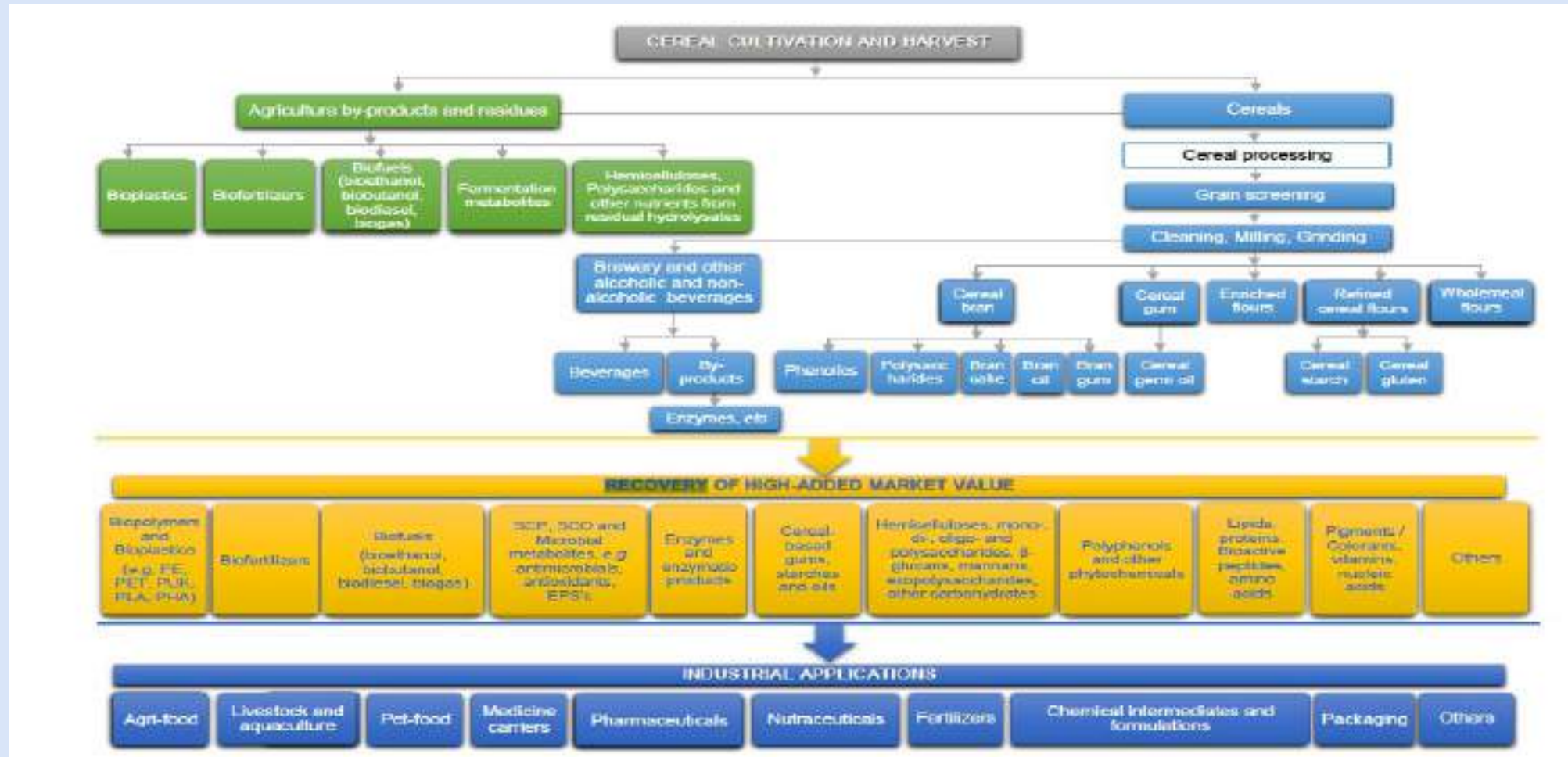


**Estudio en curso:** simulación in vitro de la fermentación del colon humano de cáscaras y silverskin

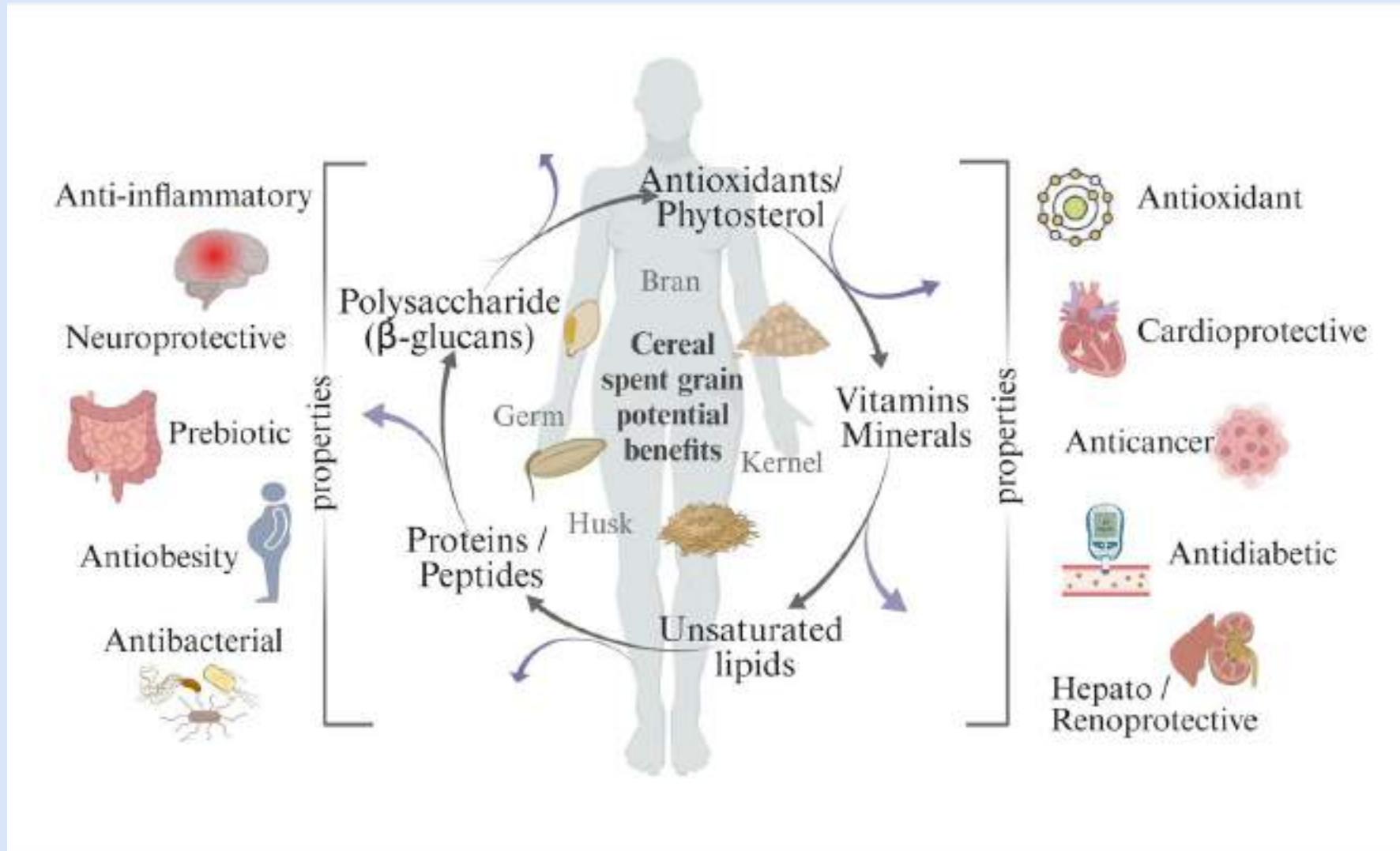


## Valoración de subproductos de cereales

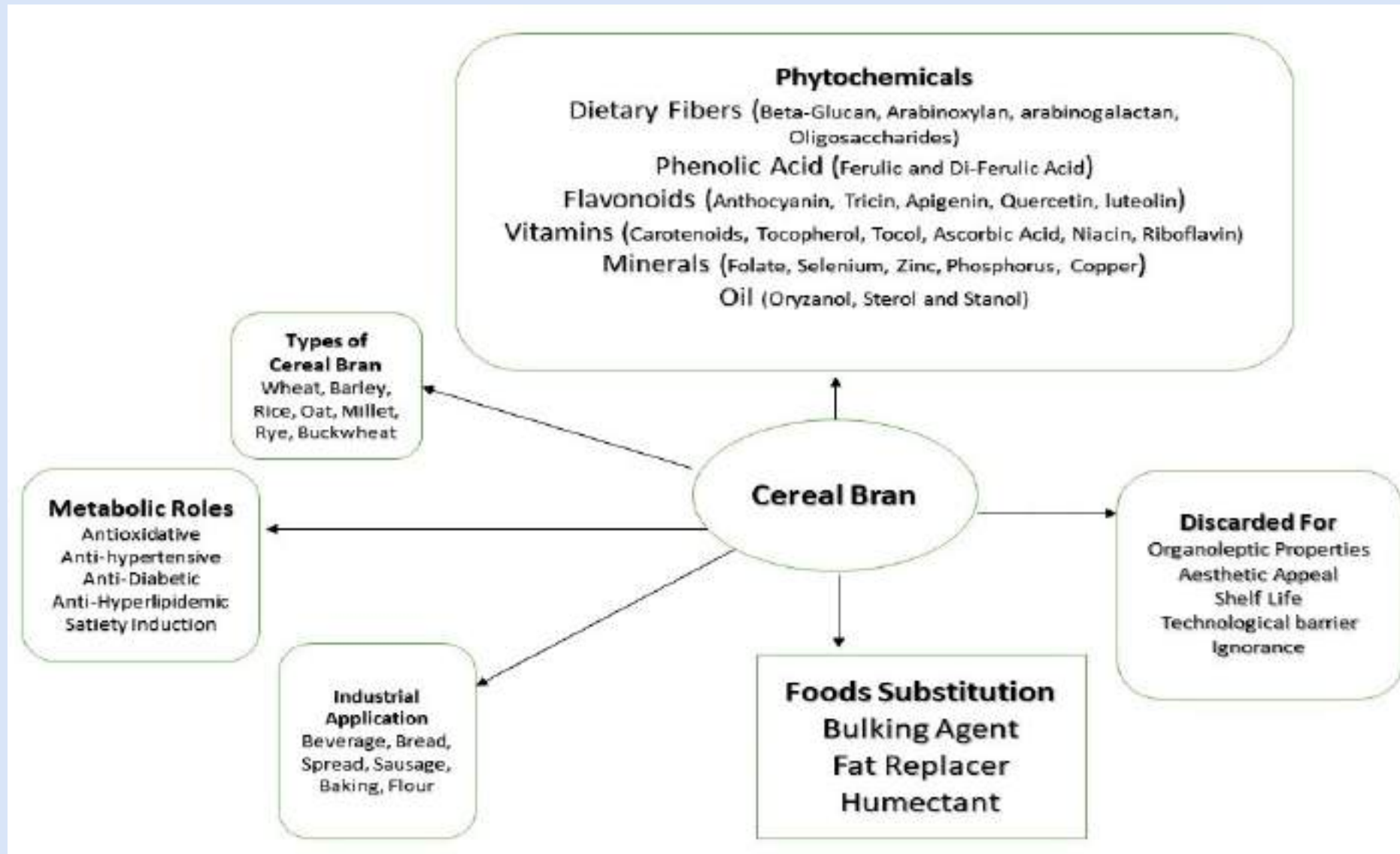
# Valoración de subproductos y residuos procedentes de la industria de procesamiento basada en cereales.

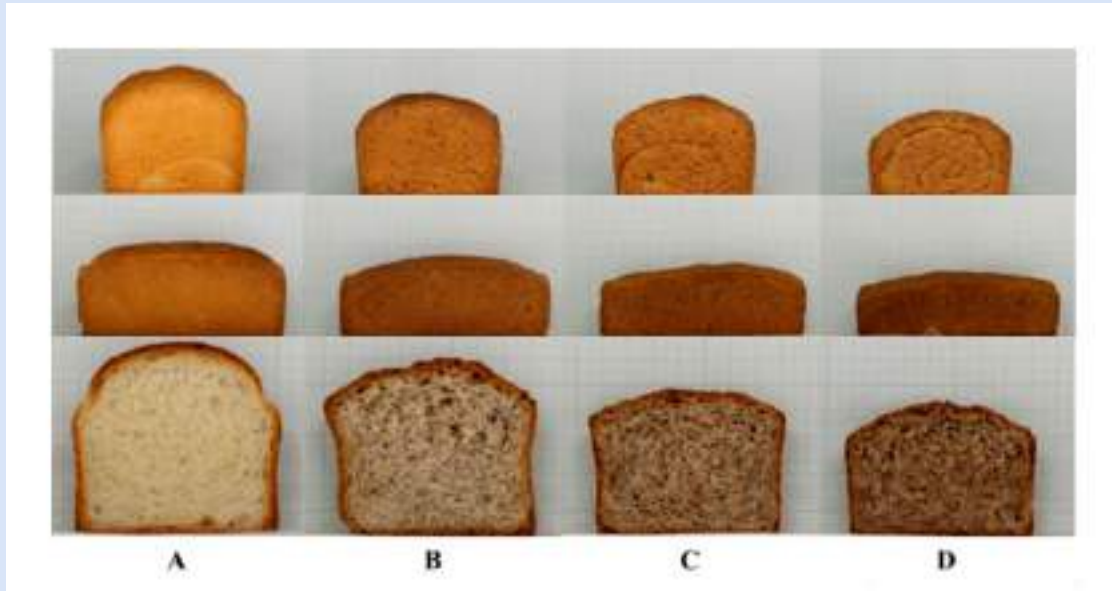


# Los efectos potenciales más relevantes de los compuestos bioactivos identificados en los subproductos de cereales

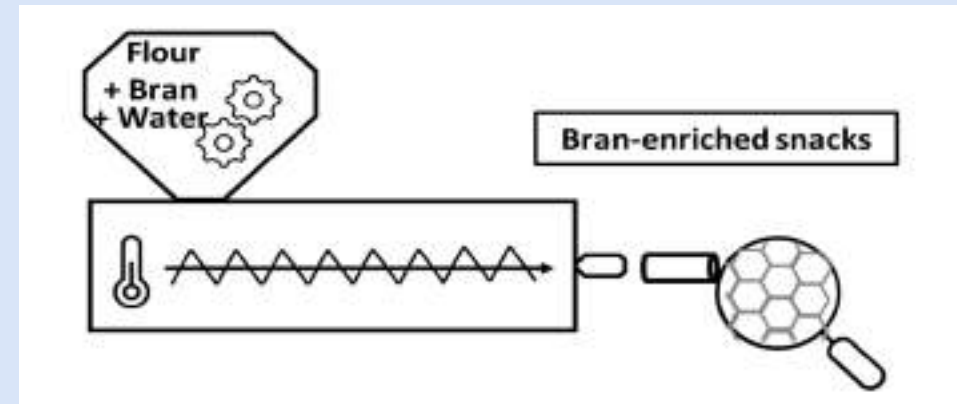


# El salvado de cereales como productos funcionales en diferentes industrias

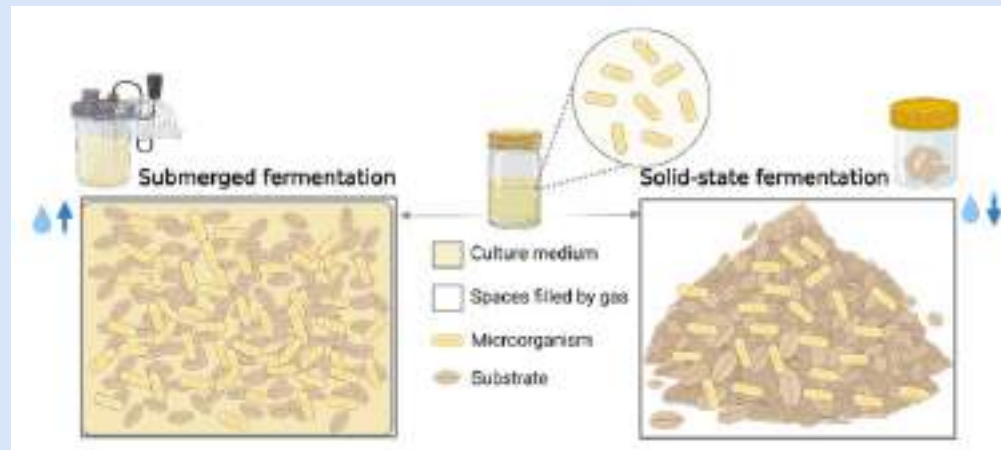




Vista lateral y secciones transversales de los panes formulados con las mezclas harina-salvado en diferentes proporciones: (A) F100/B0; (B) F90/B10; (C) F80/B20; (D) F70/B30 (Seo et al., 2021, <https://doi.org/10.3390/app11094034>).



Aperitivos enriquecidos con salvado, Tyl et al., 2021, <https://doi.org/10.3390/foods10092024>

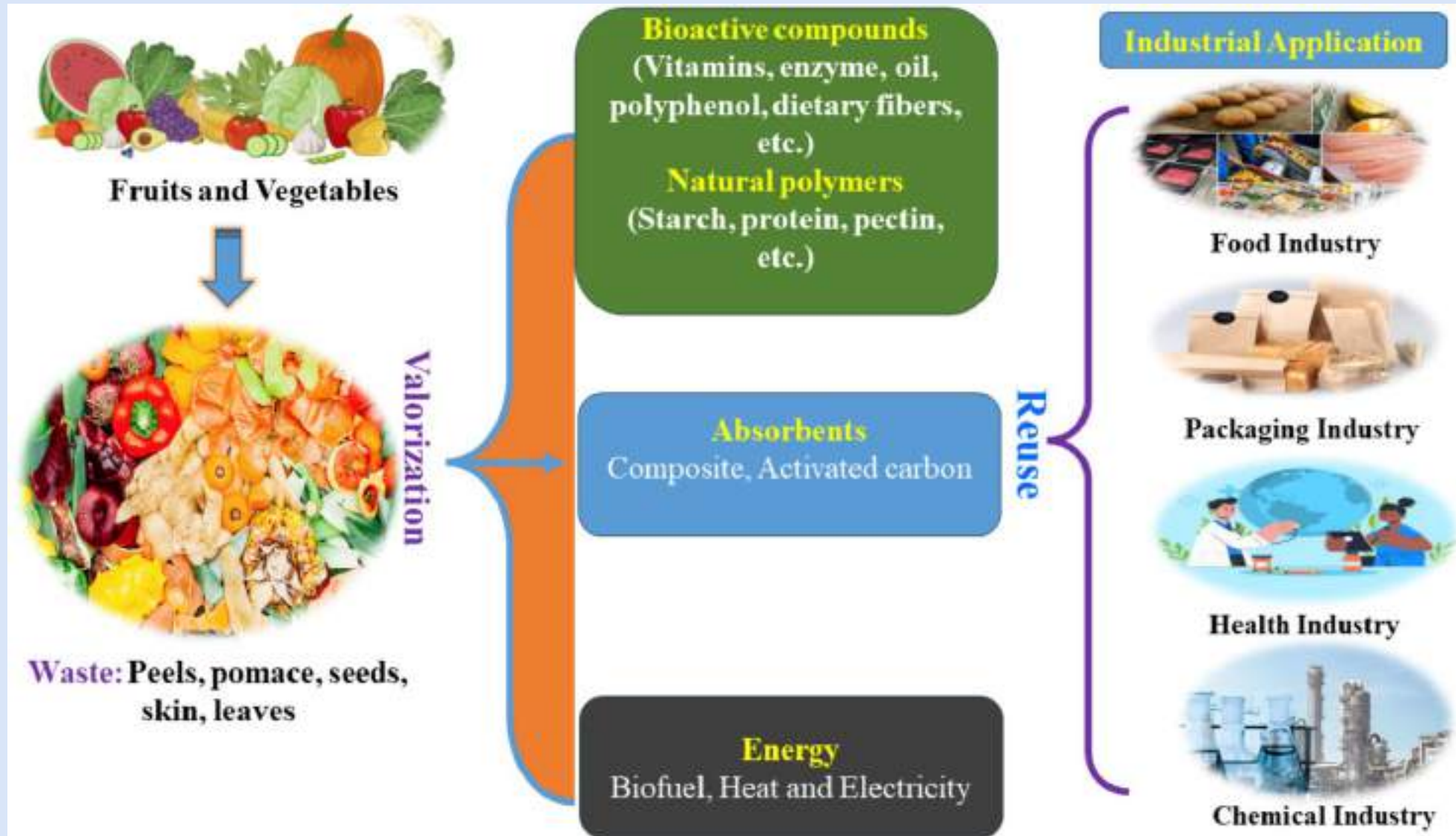


Fermentación en estado sólido y fermentación sumergida del salvado de cereales (Nemeş et al., 2022, <https://doi.org/10.3390/antiox11112159>)

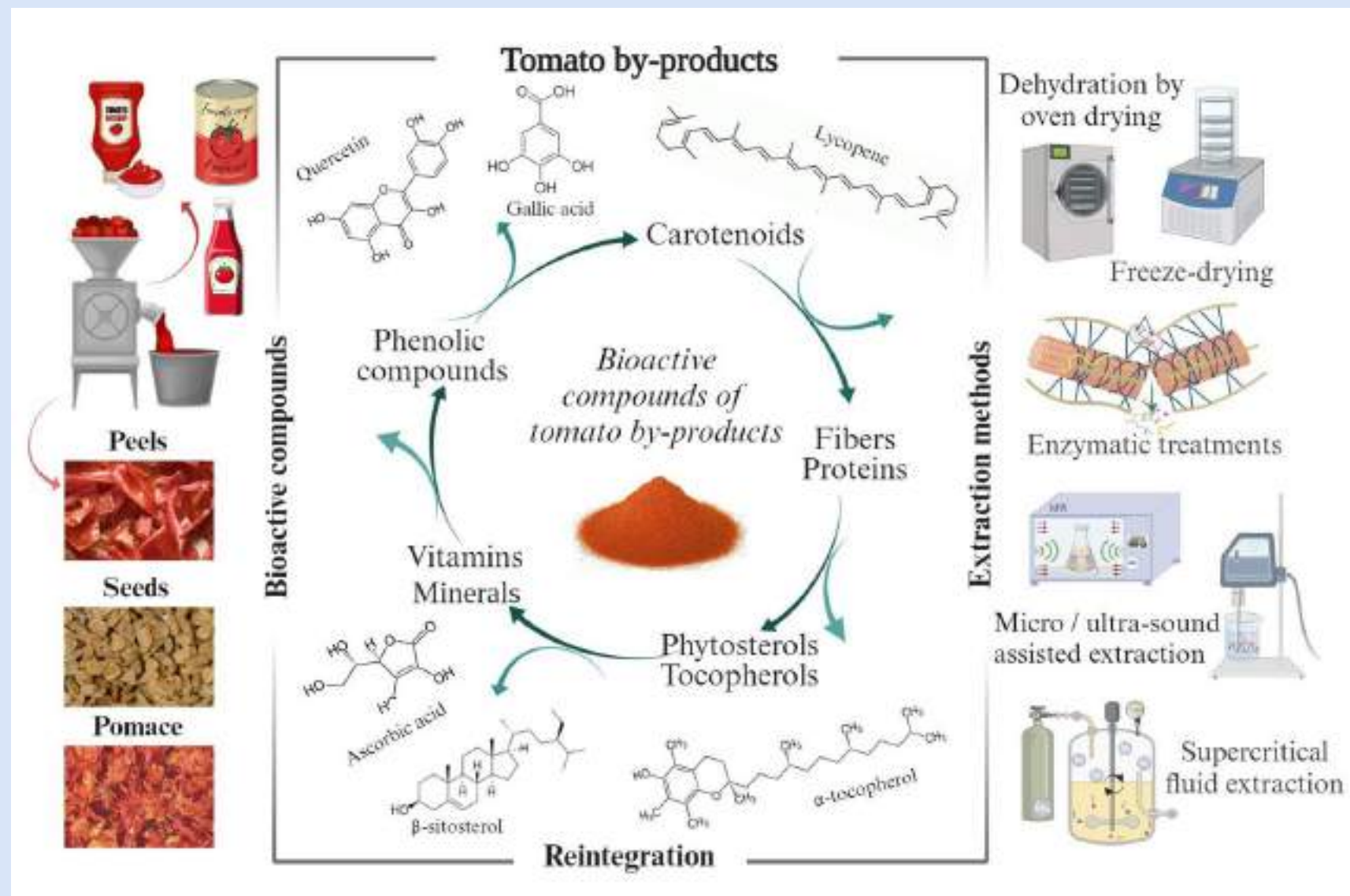


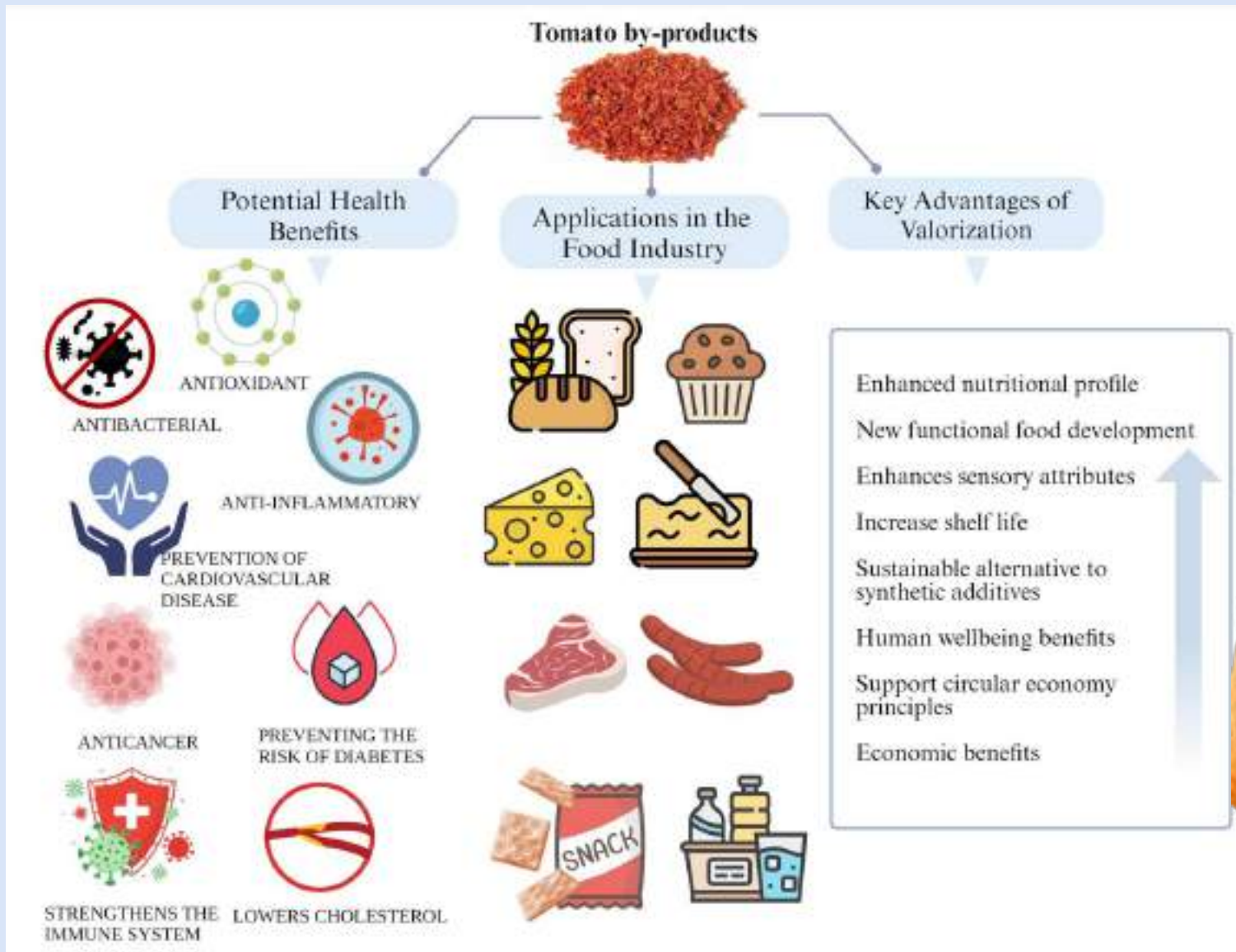
Magdalenas y bollos enriquecidos con salvado de cereales fermentados, Mrunal et al., 2020, 10.9734/IRJPAC/2020/v21i2030282

# Subproductos de frutas y verduras



# Subproductos para el procesamiento del tomate en la industria alimentaria



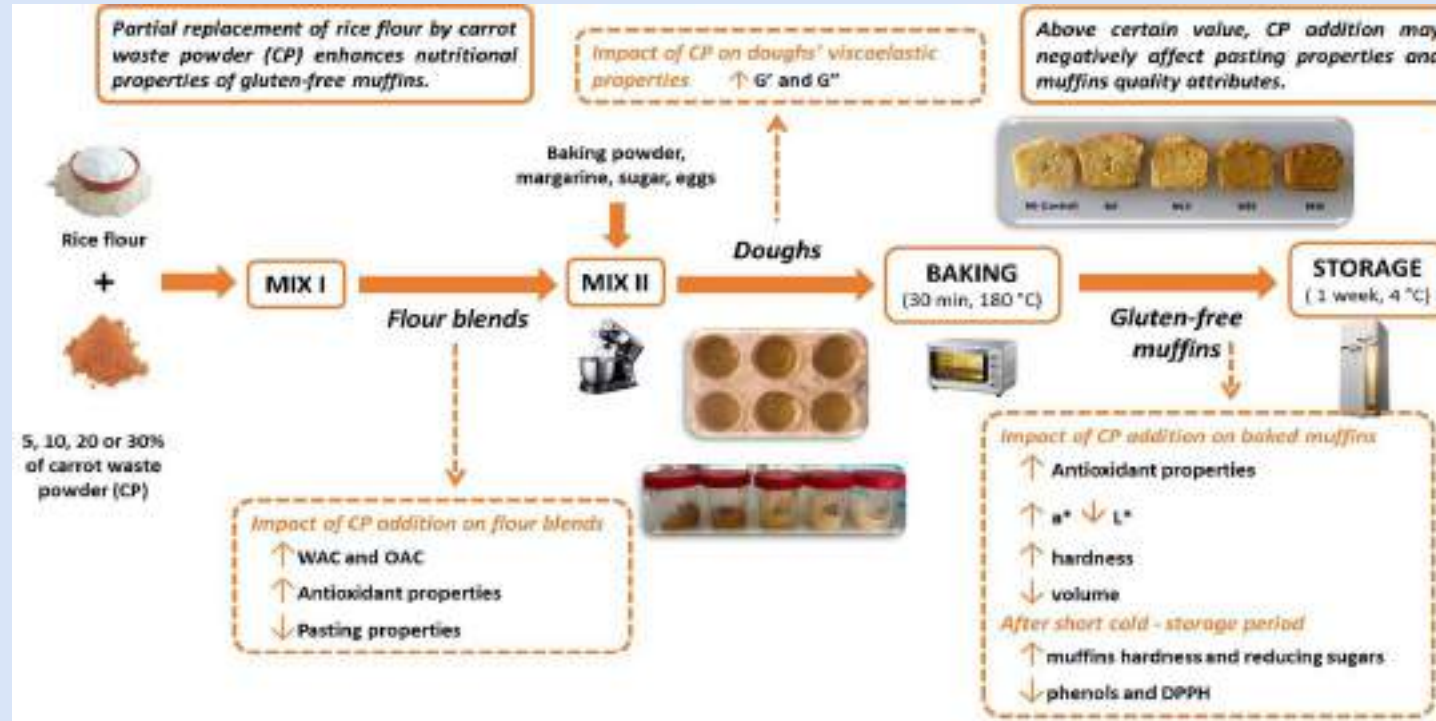


Focaccia con polvo de subproducto de tomate

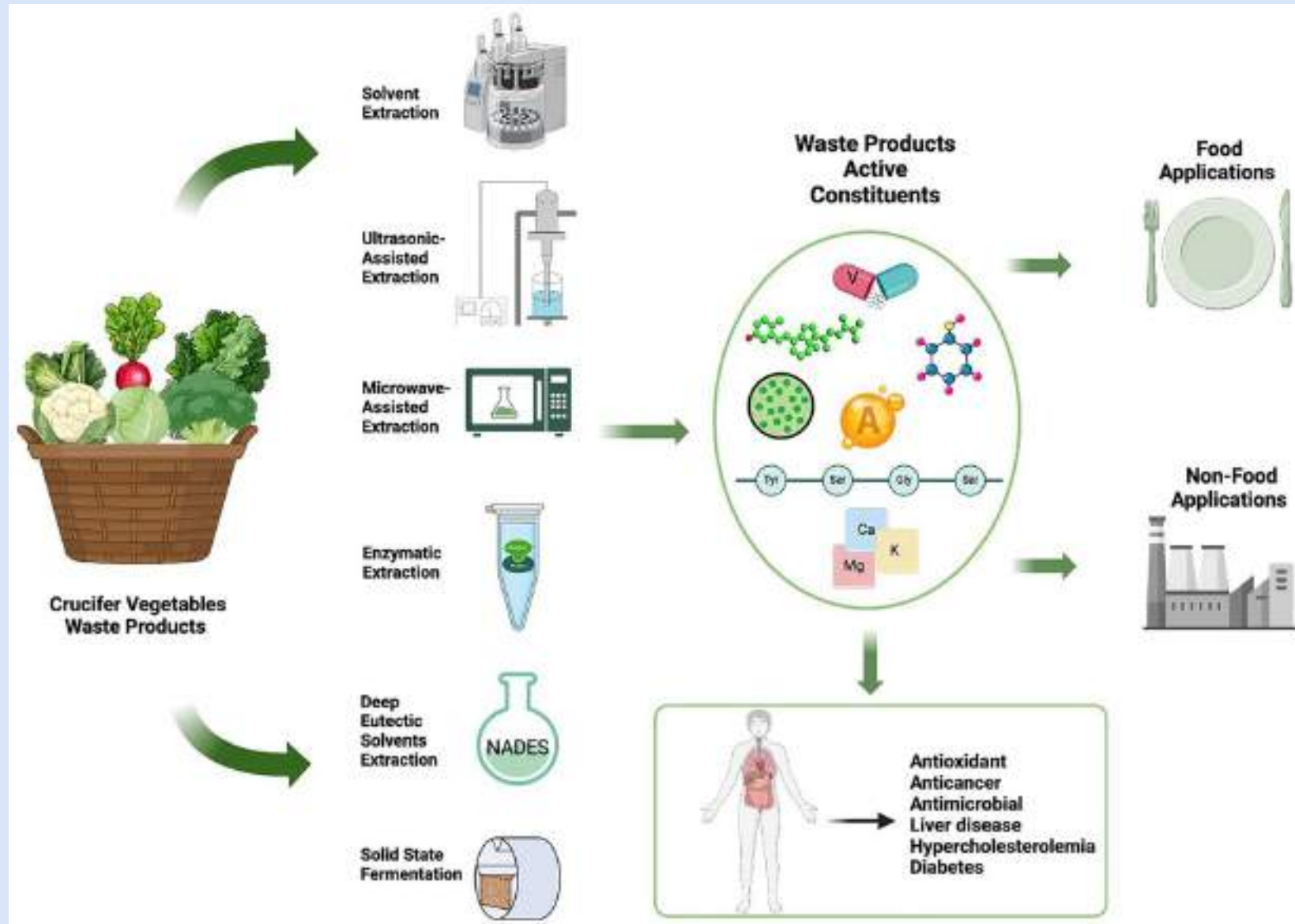


# Valoración de la harina de residuos de zanahoria en productos de panadería

En este estudio, se añadió polvo de residuos de zanahoria (PC) de una línea de procesamiento de zanahorias en diferentes proporciones a recetas de magdalenas de arroz sin gluten para evaluar el efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de las mezclas, las masas y los productos finales. El objetivo final era valorar los residuos de zanahoria como ingrediente funcional para magdalenas más saludables y sostenibles.



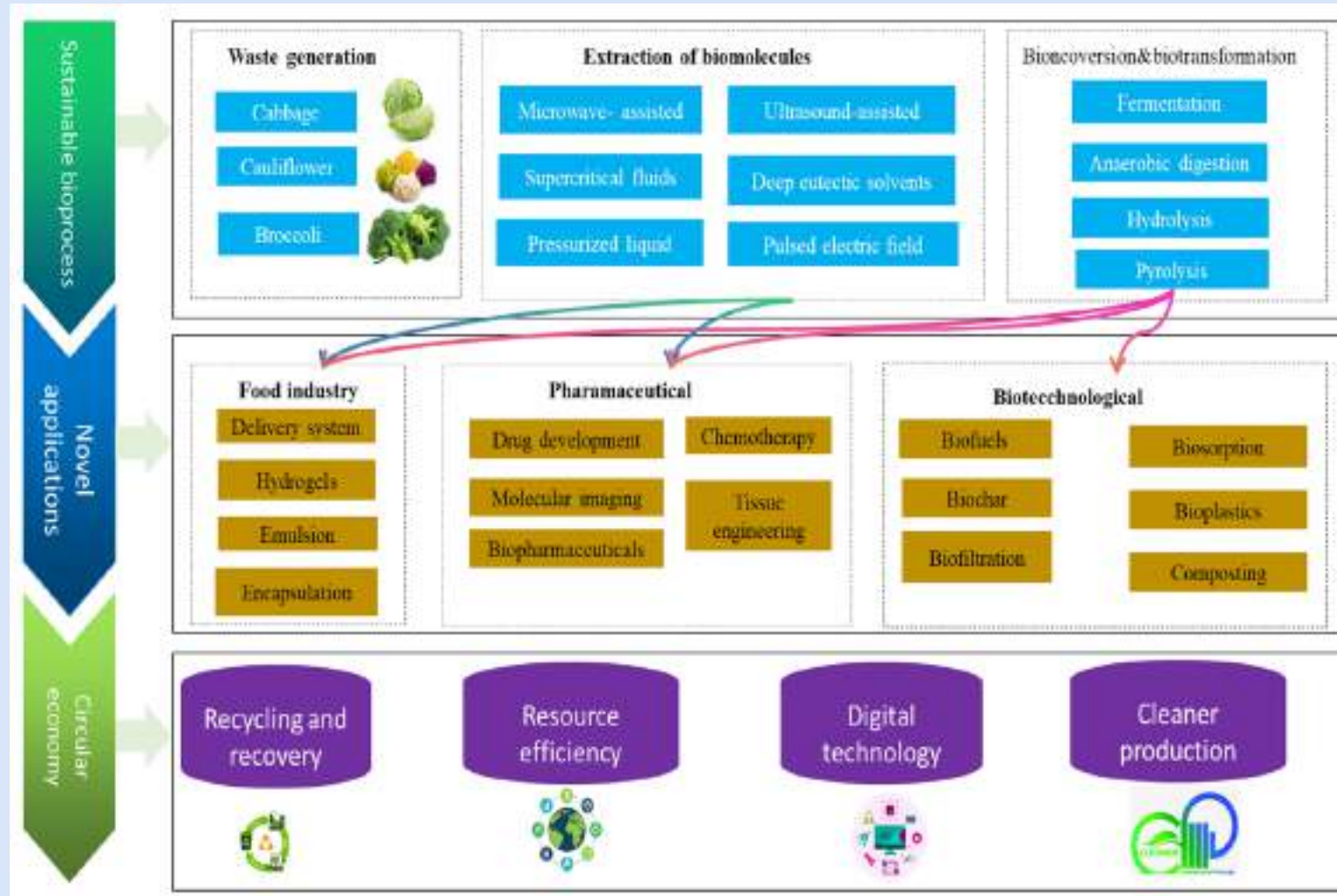
Bas-Bellver, C.; Barrera, C.; Betoret, N.; Seguí, L.; Harasym, J. IV-Range Carrot Waste Flour Enhances Nutritional and Functional Properties of Rice-Based Gluten-Free Muffins. *Foods* **2024**, *13*, 1312.



Valorization of agri-food crucifer vegetables waste for food, functional food and nutraceuticals applications, Kaled et al., 2025, <https://doi.org/10.1186/s40643-025-00895-4>

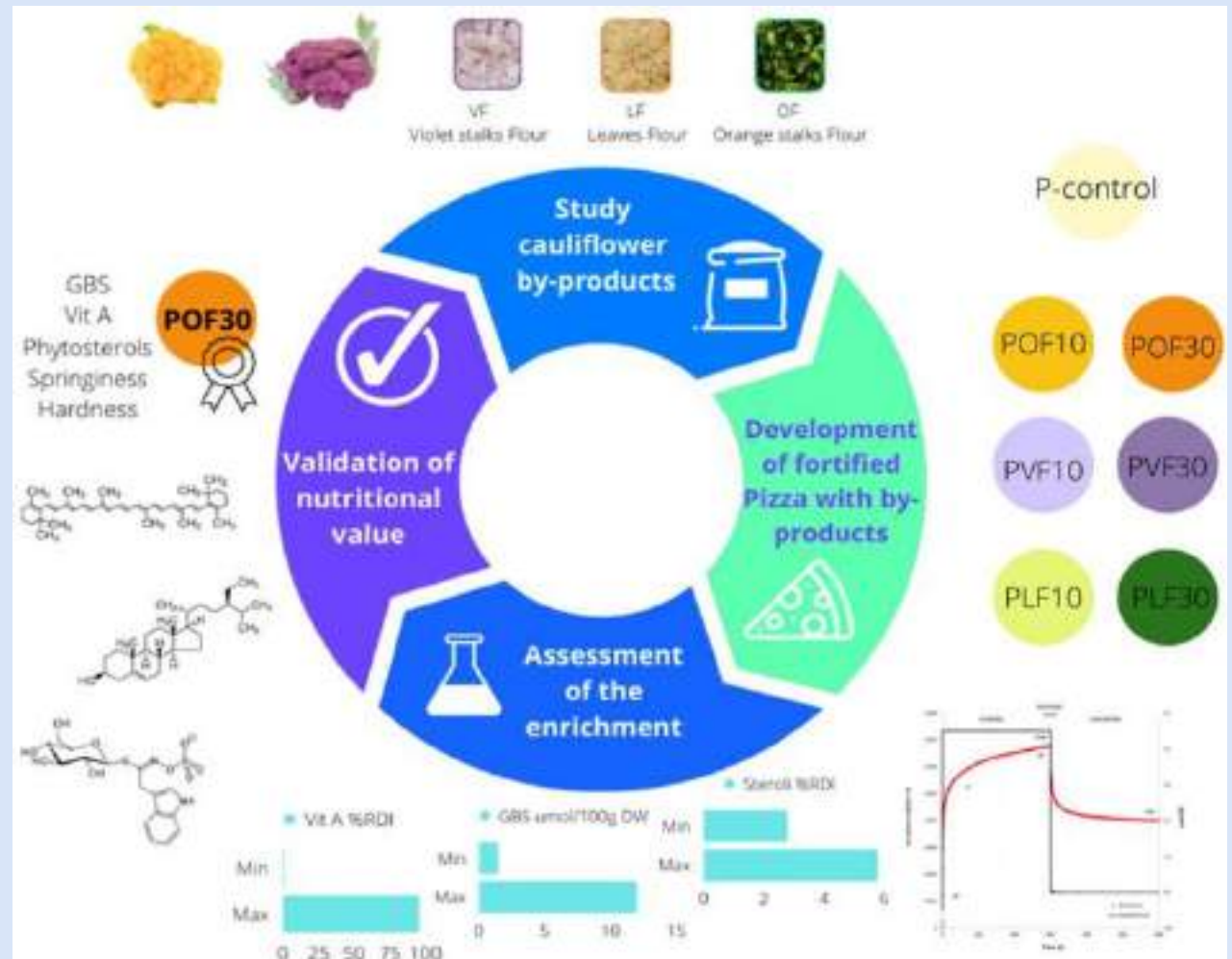
# Subproductos de col, brócoli y coliflor: Aplicaciones

Existe un interés creciente en el uso de residuos/subproductos vegetales de crucíferas, como la col, el brócoli y la coliflor, en los alimentos, ya que siguen siendo ricos en nutrientes beneficiosos y perfiles fitoquímicos.

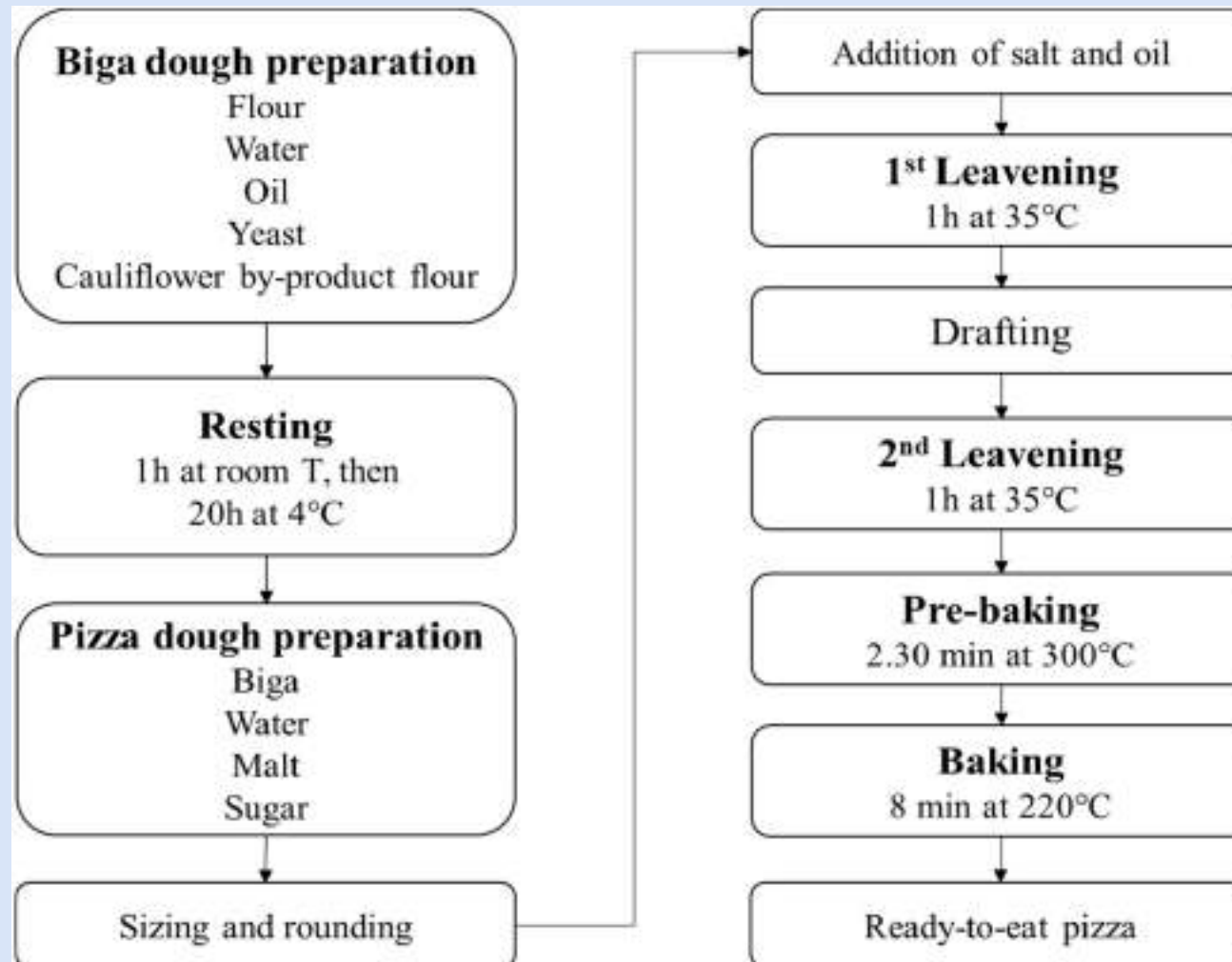


# Subproductos de coliflor valorizados en productos de panadería

Los subproductos de la coliflor, incluidas las hojas y los tallos, pueden utilizarse como valiosos ingredientes alimentarios. Estos subproductos son ricos en compuestos bioactivos como glucosinolatos, carotenoides y fitoesteroles, así como en fibra dietética, proteínas y antioxidantes. Esta recuperación puede lograrse incorporando harinas especiales obtenidas de estos subproductos en productos alimenticios como el pan y la pizza.

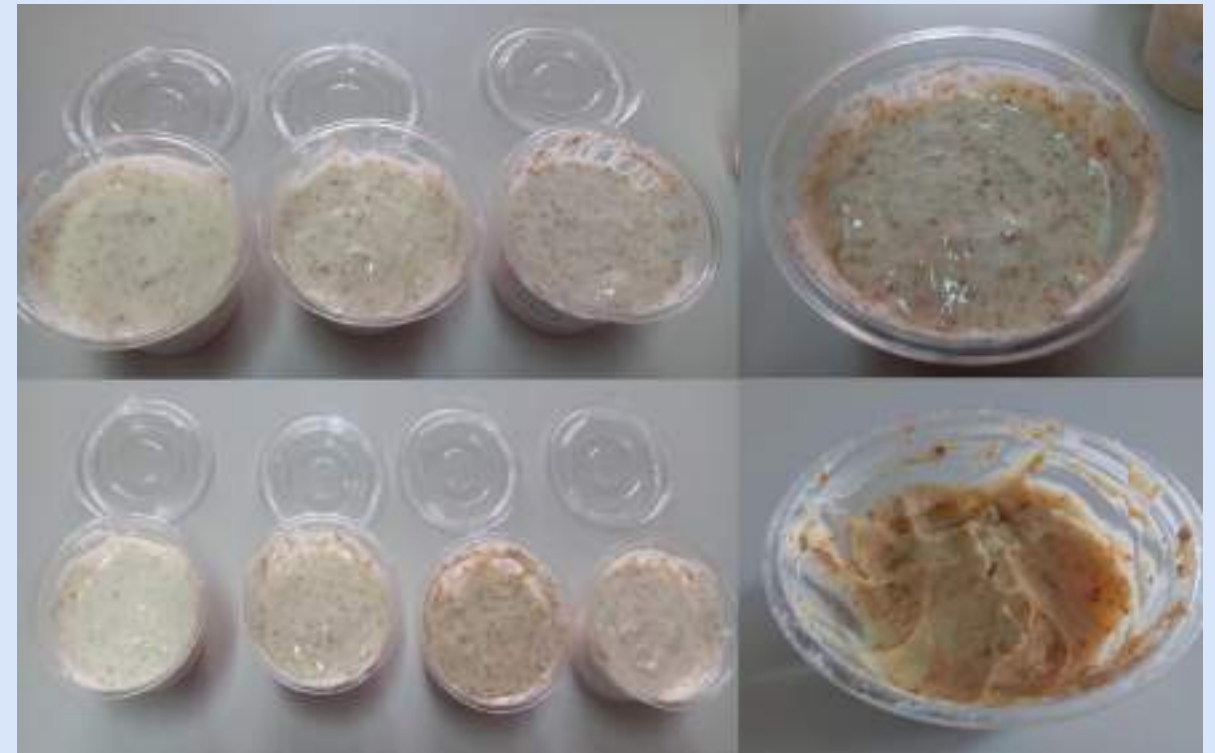
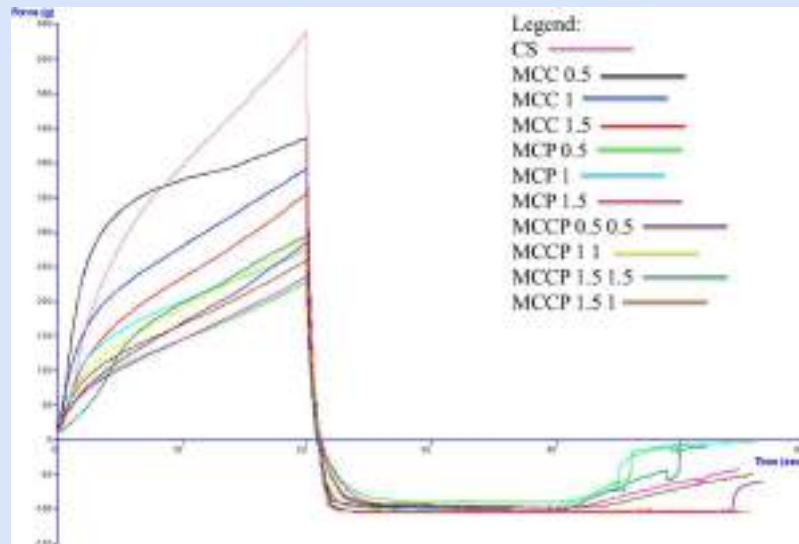


# Diagrama de flujo de la preparación de masa de pizza con coliflor



# Subproductos de patata y zanahoria en queso procesado

In this study processed cheese samples were prepared with the addition of potato and carrot peels. These additions altered the physicochemical properties by increasing acidity, water activity, and dry matter content, while decreasing pH and salt levels. Additionally, the L-lactic acid content increased, while glucose, lactose, and galactose levels decreased.



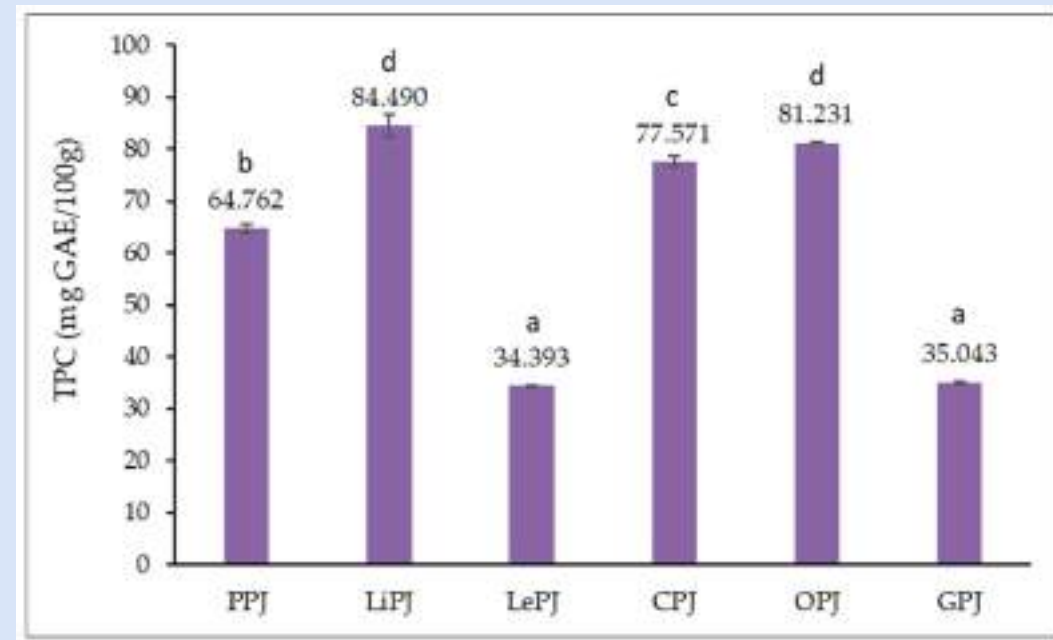
Muestras de queso de untar con cáscaras de zanahoria y patata

# Valorización de los subproductos de la cáscara de cítricos - Mermeladas

PPJ—mermelada de piel de pomelo; LiPJ—mermelada de piel de lima; LePJ—mermelada de cáscara de limón; CPJ—mermelada de piel de clementina; OPJ—mermelada de piel de naranja; GPJ—mermelada de piel de pomelo)



OPJ—mermelada de cáscara de naranja



Contenido total de polifenólicos (TPC) de las muestras de mermelada. Los resultados del TPC se presentan como el valor medio de tres determinaciones  $\pm$  desviación estándar (SD).

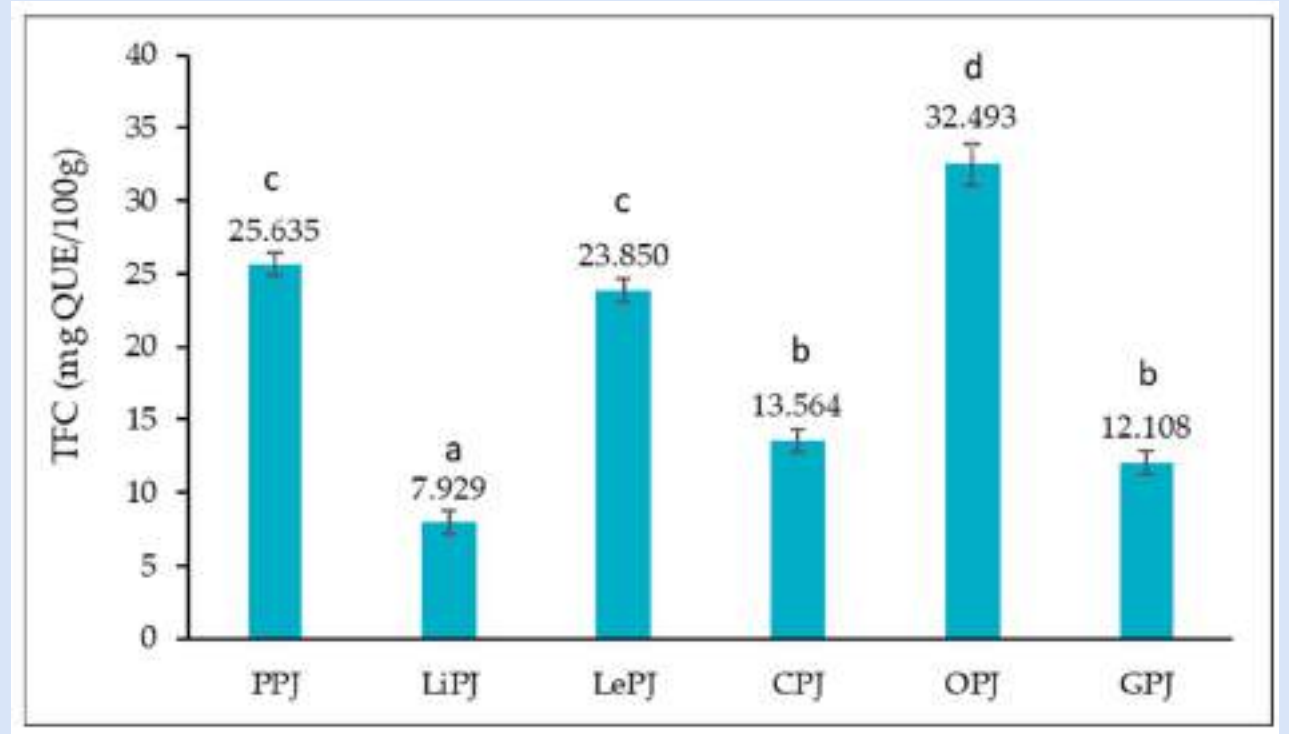


LePJ—marmelada de cáscara de limón;  
LiPJ—marmelada con cáscara de lima





GPJ—mermelada de piel de pomelo



Contenido total de flavonoides (TFC) de las muestras de mermelada. Los resultados para el TFC se presentan como el valor medio de tres determinaciones  $\pm$  desviación estándar (DS).

# Valorización de subproductos de los lácteos - suero de leche

## Gelatina funcional basada en suero

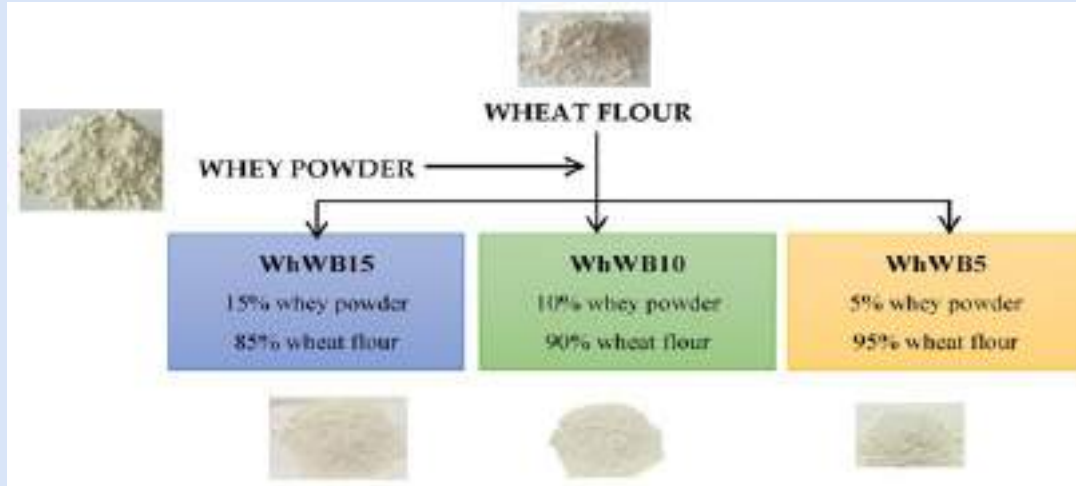


Table 1. Recipes for jellies.

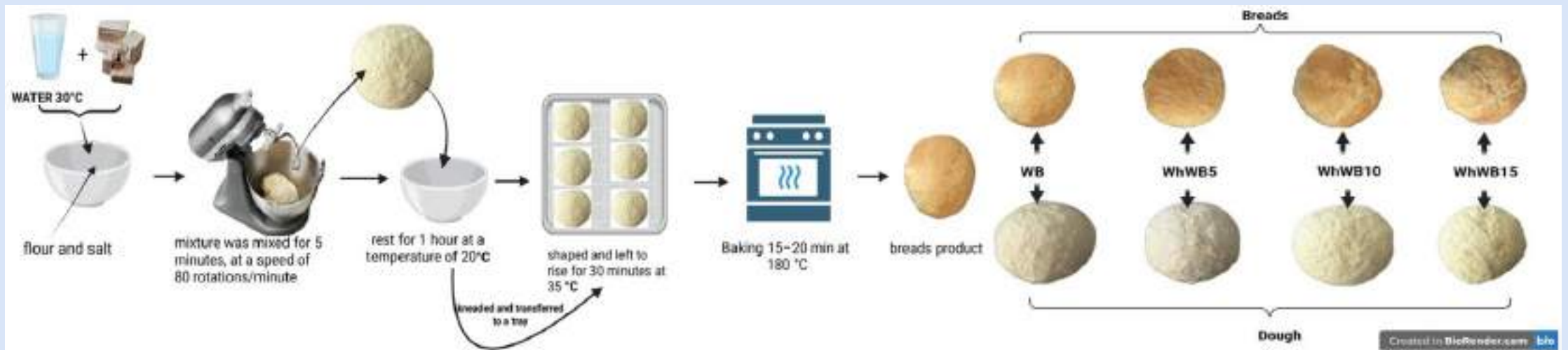
Sample	Abbreviation	Berry Juice (mL)	Whey (mL)	Gelatin (g)	Sugar (g)	Water (mL)
Control	CJ	-	-	10	80	550
Whey jelly	WhJ	-	200	10	80	350
Whey strawberry jelly	WhSJ	300	200	10	80	50
Whey raspberry jelly	WhRJ	300	200	10	80	50
Whey blueberry jelly	WhBJ	300	200	10	80	50

La valoración del suero para la producción de gelatina es un enfoque innovador para crear alimentos funcionales enriquecidos con nutrientes esenciales y compuestos bioactivos. Los productos permanecieron estables en estructura cuando se almacenaron a 4 °C, aunque el almacenamiento a temperatura ambiente llevó a un pH más bajo y mayor acidez tras 14 días (Fluerasu et al., 2025).

# Pan con suero en polvo



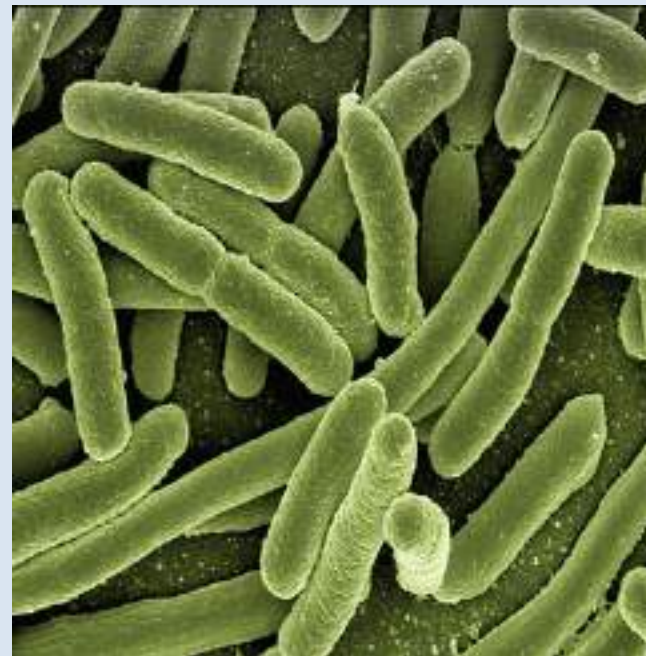
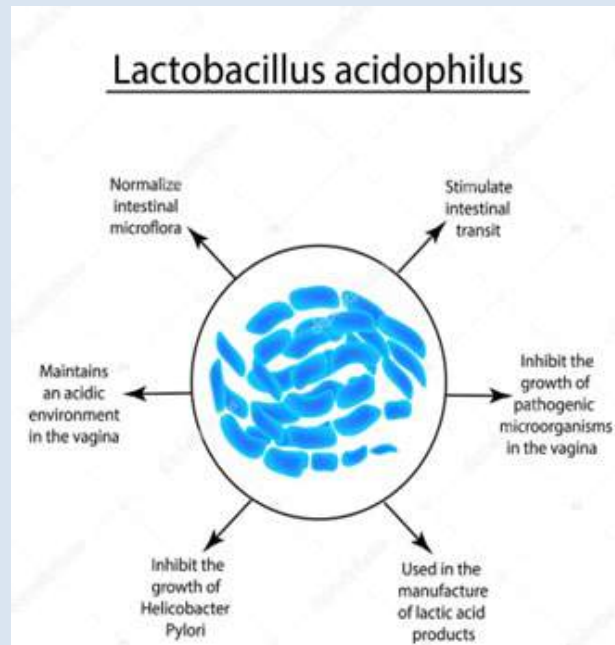
La harina de trigo puede enriquecerse con polvo de suero al 5%, 10% y 15%, lo que mejora significativamente el perfil nutricional tanto de la harina como del pan resultante. La adición de suero aumenta el contenido de proteínas y minerales mientras reduce los niveles de carbohidratos. El pan enriquecido con suero al 15% muestra mejoras minerales notables, incluyendo un aumento del 27,8% en potasio, 7,01% en magnesio y 28,67% en calcio en comparación con las muestras control (Fluerasu et al., 2025).



# Lactobacillus and Bifidobacterium strains

Las cepas de Lactobacillus y Bifidobacterium, procedentes de subproductos lácteos fermentados (suero de leche), mejoran el equilibrio de la microbiota intestinal (Galanakis, 2021).

Los probióticos son microorganismos vivos que contribuyen a la salud intestinal mejorando la digestión y la función inmunitaria.



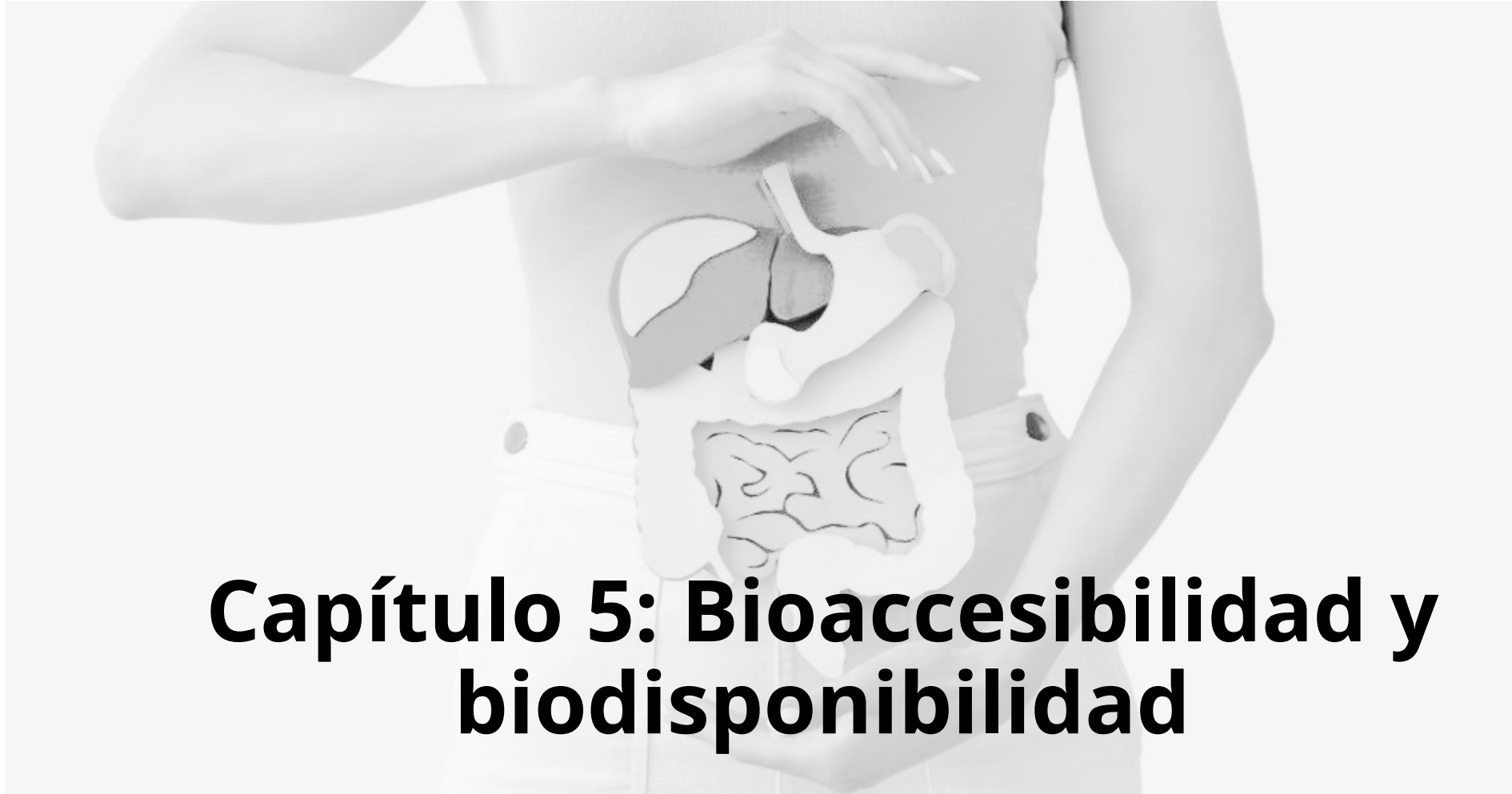


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

U. PORTO  
FACULDADE DE FARMÁCIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



# Capítulo 5: Bioaccesibilidad y biodisponibilidad



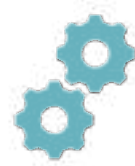
Co-funded by the  
European Union

# ÍNDICE



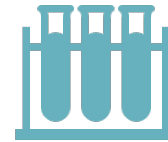
## 1. Modelos de digestión in vitro

Evolución histórica de los modelos de digestión in vitro  
Modelos representativos de digestión in vitro



## 2. Protocolo INFOGEST (Modelo de Referencia)

Desarrollo y validación del método INFOGEST  
Esquema detallado del protocolo INFOGEST  
Digestión estática vs. dinámica INFOGEST  
Parámetros y resultados medidos



## 3. Evaluación de la bioactividad

Modelos celulares aplicados  
Combinación de modelos in vitro + modelos celulares  
Ensayos de bioactividad funcional  
Sistemas microfisiológicos

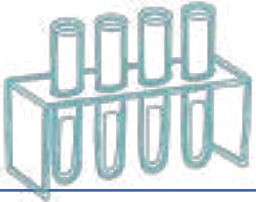


## 4. Conclusiones y Direcciones Futuras

# Modelos de digestión in vitro



# Evolución histórica de los modelos de digestión in vitro



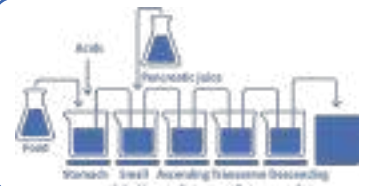
## Primeros modelos estáticos (antes de los 2000)

- Digestión sencilla en un tubo de ensayo con enzimas (por ejemplo, pepsina, pancreatina).
- Ajustes básicos de pH y control de temperatura.
- Limitaciones: No se permite simulación de peristaltis, temporización de secreción ni tránsito dinámico.



## Modelos estáticos avanzados (década de 2000)

- Mayor concentración fisiológica de enzimas y tiempos de digestión.
- Inclusión de sales biliares y fases de digestión escalonadas.
- Aún limitado por la ausencia de funciones gastrointestinales dinámicas.



## Modelos dinámicos multicompartimentales (décadas de 2000–2010)

- Ejemplos: TIM-1, SHIME, Modelo Gástrico Dinámico (DGM).
- Simular el peristalsismo, la secreción, los gradientes de pH y la cinética digestiva.
- Ventajas: más cercanas a condiciones in vivo, útiles para estudiar la bioaccesibilidad y los sistemas de administración de nutrientes.
- Limitaciones: alto coste y complejidad.



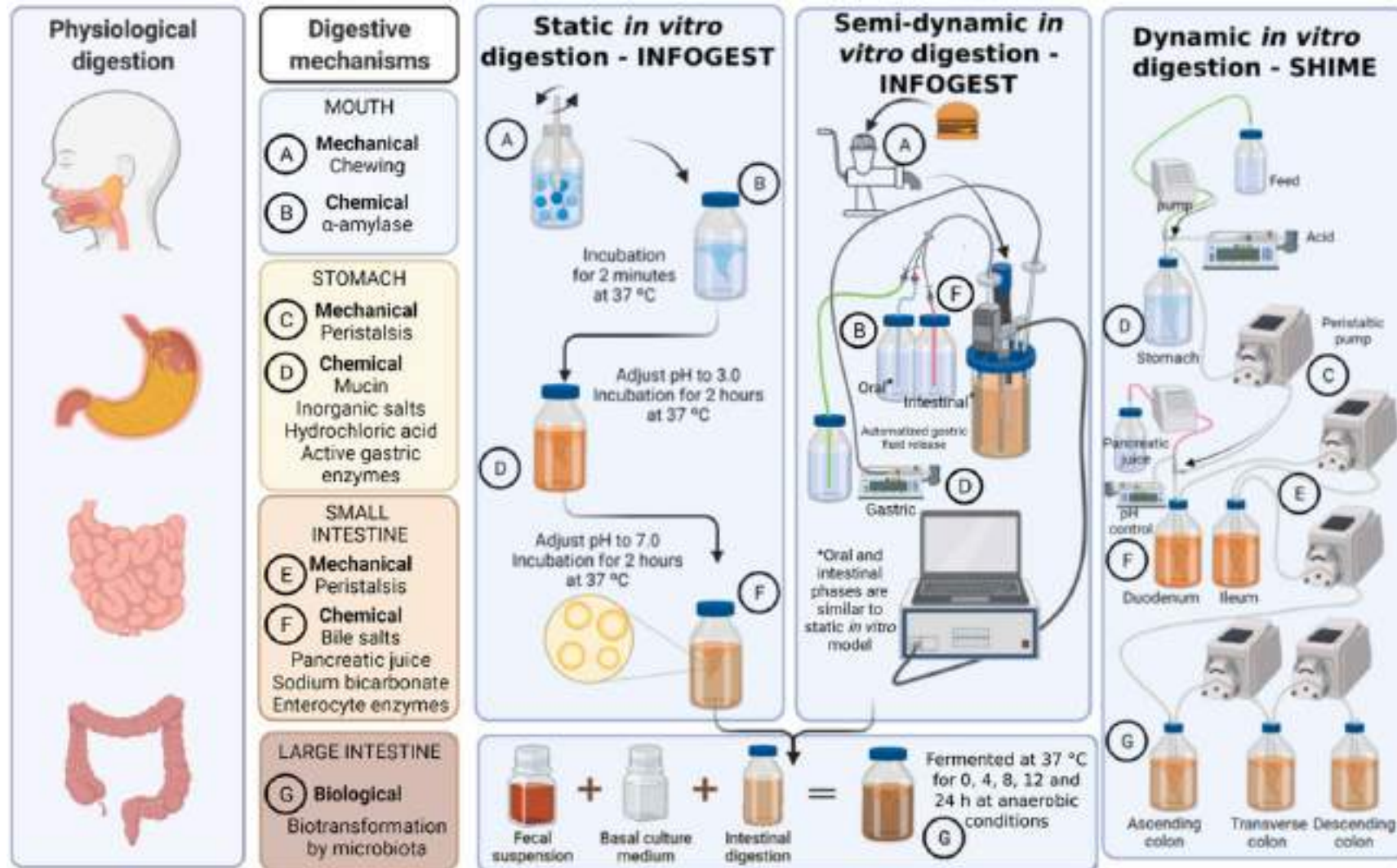
## Protocolo Estático INFOGEST (2014–presente)

- Desarrollado mediante colaboración internacional.
- Ventajas:
  - Protocolo armonizado para la reproducibilidad entre laboratorios.
  - Ampliamente adoptado en las ciencias de la alimentación y la nutrición.
  - Adecuado para evaluar la digestibilidad y bioaccesibilidad de matrices alimentarias.

### References:

- Minekus M. et al. (2014). Food & Function, 5(6), 1113–1124.
- Brodkorb A. et al. (2019). Nature Protocols, 14, 991–1014.

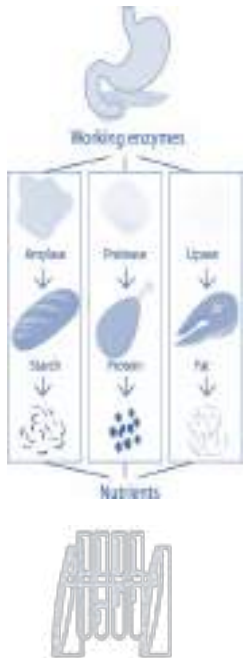
# Modelos representativos de digestión in vitro



# 3. Protocolo INFOGEST (Modelo de referencia)

# Desarrollo y validación del método INFOGEST

## CONSIDERACIONES GENERALES



Propósito: Simular la digestión gastrointestinal humana para estudios de bioaccesibilidad, estructura de los alimentos y liberación de nutrientes.

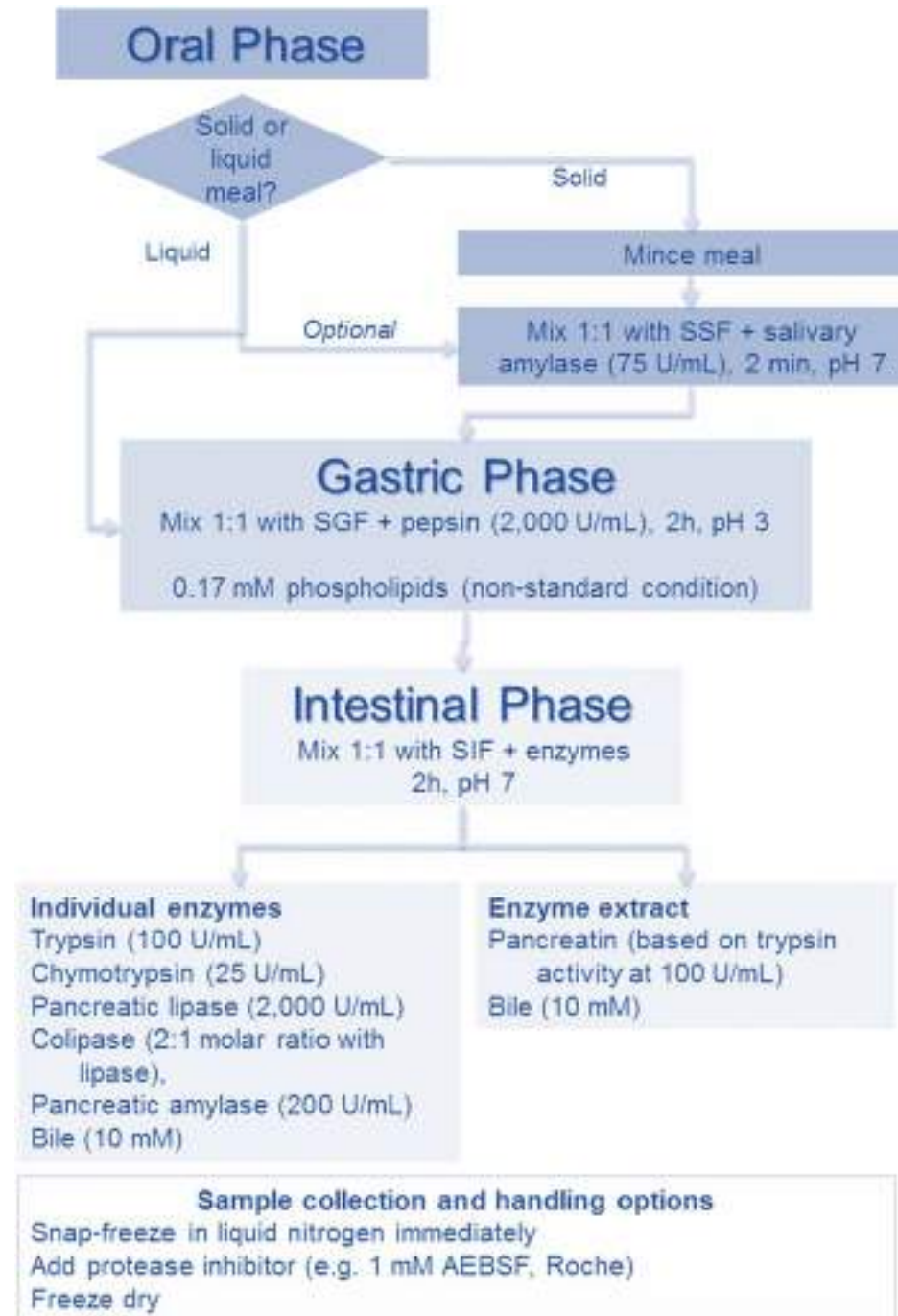
Parámetros de control: pH, actividad enzimática, composición electrolítica, tiempo de digestión y velocidad de agitación.

Aplicabilidad: Todo tipo de matrices alimentarias (líquidas, semisólidas, sólidas, emulsiones).

Proporciones de volumen: El volumen total estándar de digestión es de 10 mL (puede escalarse proporcionalmente).

El método INFOGEST fue diseñado para simular las fases oral, gástrica e intestino delgado de la digestión humana de forma reproducible y fisiológicamente relevante. Este protocolo fue validado por el consorcio INFOGEST en 2014 (actualizado en 2019)

# Esquema detallado del protocolo INFOGEST (Digestión Estática *In Vitro*)



# Esquema detallado del protocolo INFOGEST (Digestión Estática *In Vitro*)

## PROCESAMIENTO POSTERIOR A LA DIGESTIÓN

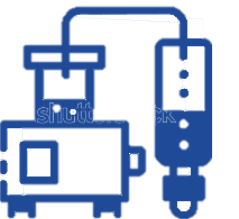
**Separación:** Centrifugación o filtración para obtener la fracción bioaccesible.



**Almacenamiento:** Análisis o almacenamiento inmediato a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  para ensayos bioquímicos.



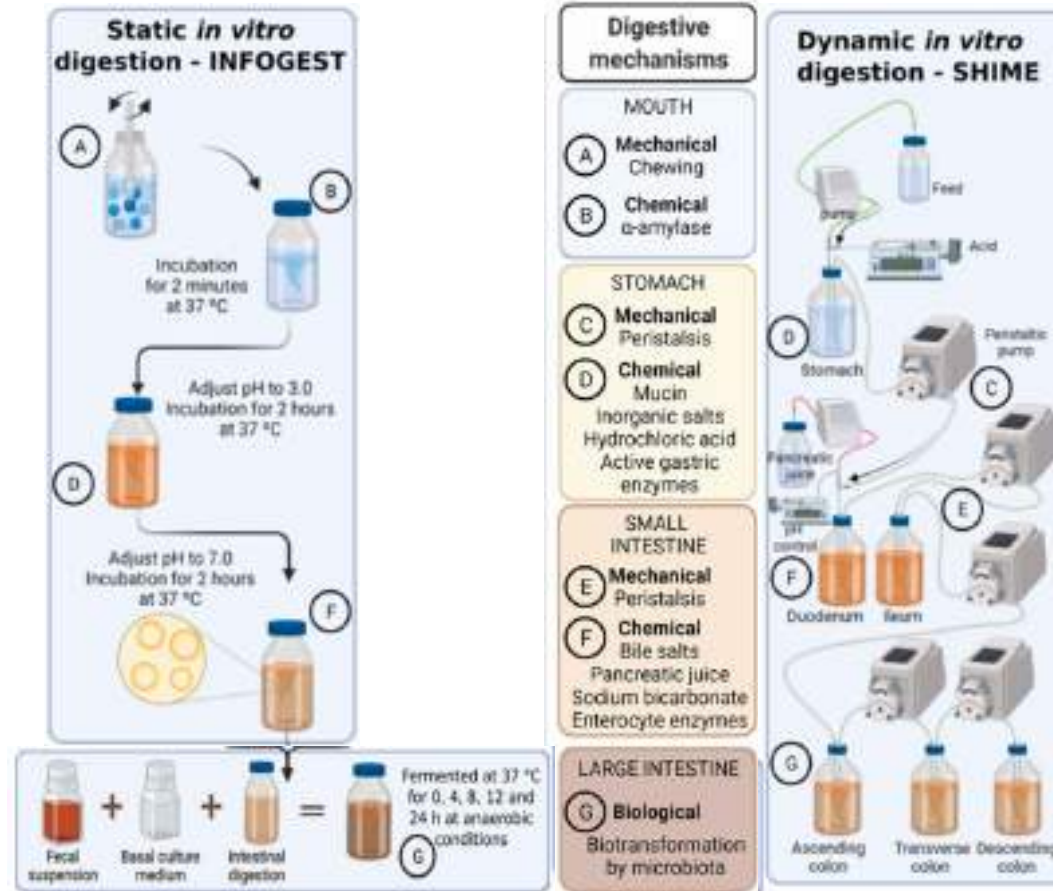
**Ensayos opcionales:** formación de micelas, tamaño de partícula, actividad enzimática, liberación de nutrientes, capacidad antioxidante.



# Static vs. dynamic INFOGEST digestion

## Digestión in vitro estática

**Condiciones fijas:** Utiliza pH constante, concentraciones enzimáticas y puntos de tiempo.  
**Modelo simplificado:** representa condiciones digestivas promedio sin simular cambios fisiológicos.  
**Bajo coste y fácil de replicar:** Ideal para cribado de alto rendimiento de producción.  
**Realismo limitado:** No imita peristaltis, dinámica de secreciones ni cambios graduales de pH.  
**Uso común:** Evaluación preliminar de digestibilidad, bioaccesibilidad o descomposición de la estructura alimentaria.



## Digestión Dinámica In Vitro

**Condiciones variables:** Simula cambios en tiempo real en pH, secreción enzimática y tiempos de tránsito.  
**Más relevante fisiológicamente:** Imita el vaciamiento gástrico, el peristaltismo y la absorción intestinal.  
**Complejo y costoso:** Requiere equipos y protocolos especializados.  
**Mayor poder predictivo:** Refleja mejor la digestión in vivo y la liberación de nutrientes.  
**Uso común:** Estudios avanzados sobre biodisponibilidad de nutrientes, administración de fármacos o alimentos funcionales.

# Parámetros y resultados medidos

## **PORCENTAJE DE DIGESTIÓN IN VITRO – IVD (%)**

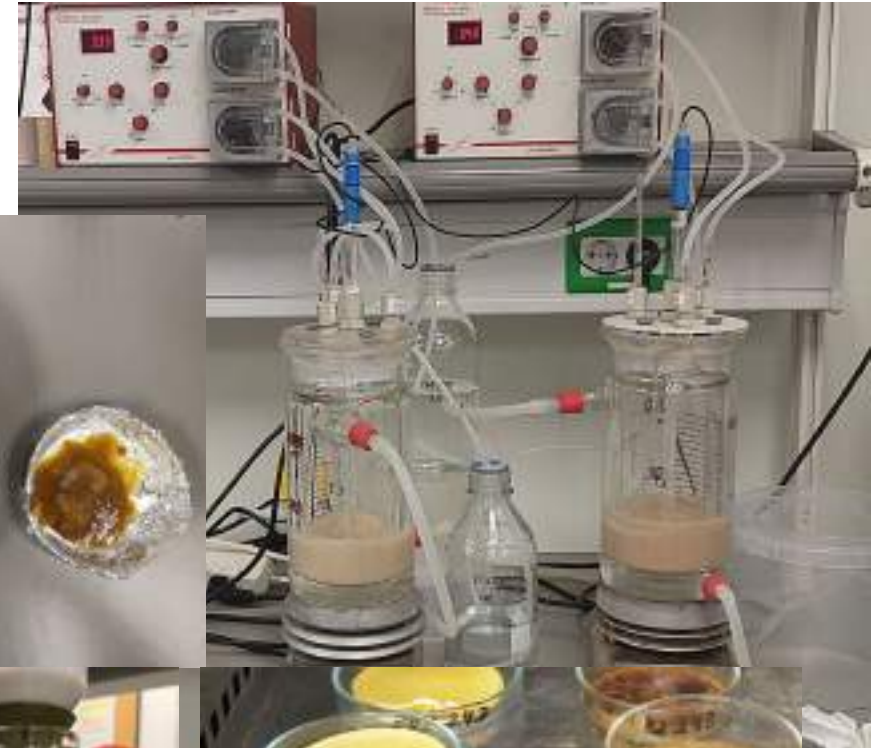
$$IVD = \left( \frac{\text{Initial mass} - \text{Undigested mass}}{\text{Initial mass}} \right) \times 100$$

## **BIOACCESIBILIDAD DE UN COMPUESTO (%)**

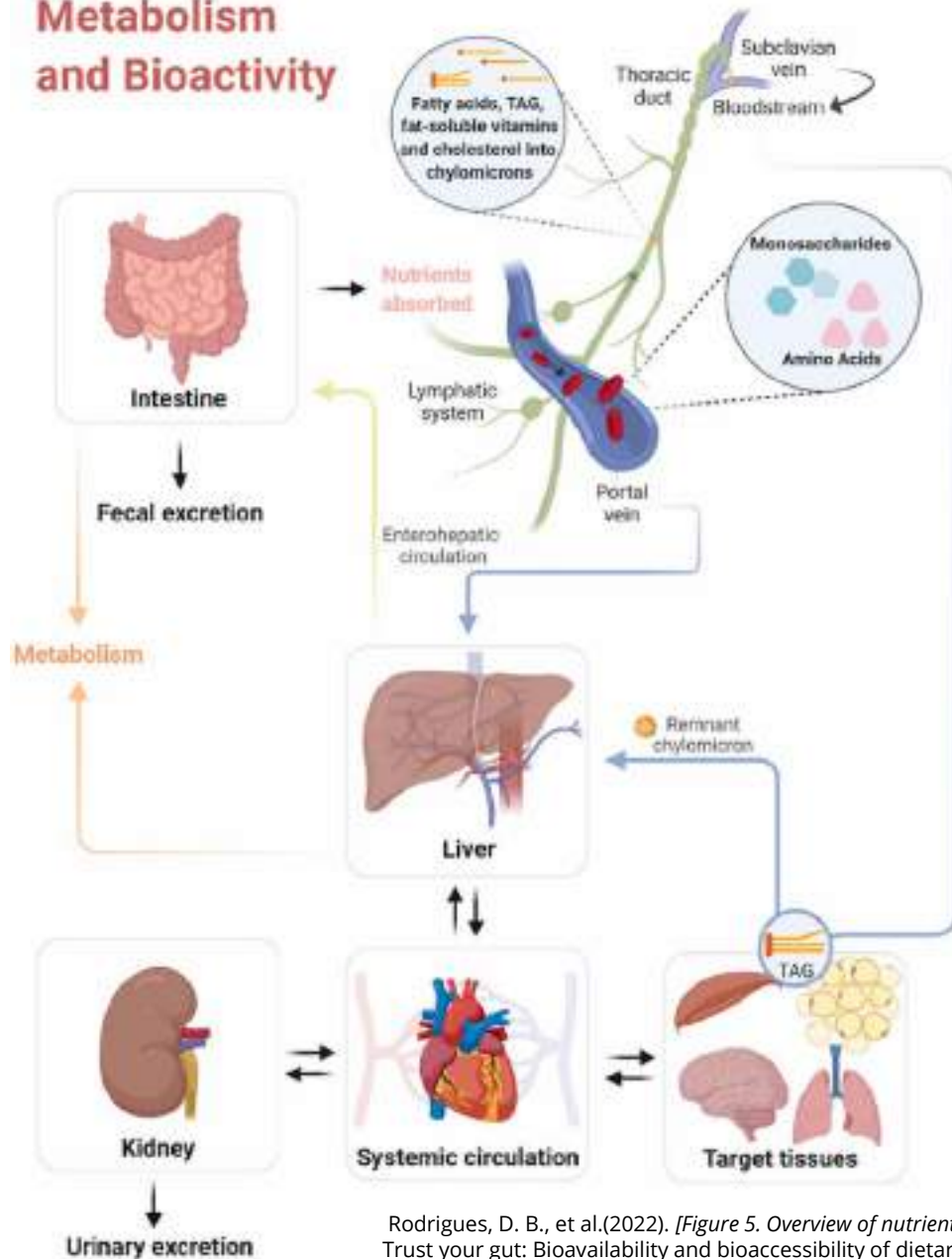
$$\text{Bioaccessibility} = \left( \frac{A}{B} \right) \times 100$$

**A:** la concentración del compuesto en la fracción bioaccesible corregida con el compuesto presente en el agua del grifo y los reactivos

**B:** concentración del compuesto en la muestra antes de la digestión.



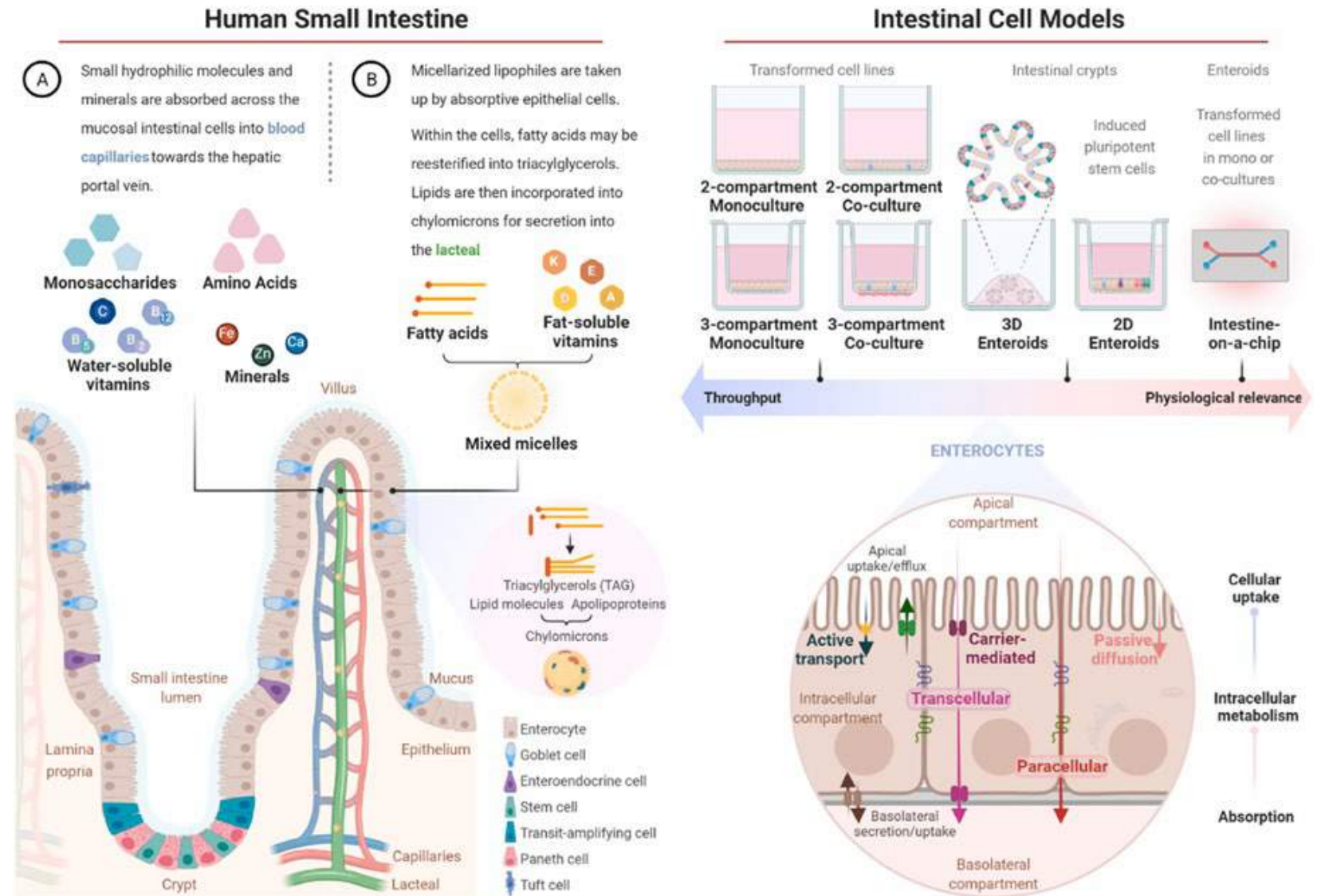
## Distribution, Metabolism and Bioactivity



# 4. Evaluación de la bioactividad

Rodrigues, D. B., et al.(2022). [Figure 5. Overview of nutrient distribution between systemic circulation and tissues after intestinal absorption, in vivo.] [Image]. In Trust your gut: Bioavailability and bioaccessibility of dietary compounds. Current Research in Food Science, 5, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.002>. Licence: CC BY-NC-ND 4.0.

# 4. Modelos celulares aplicados

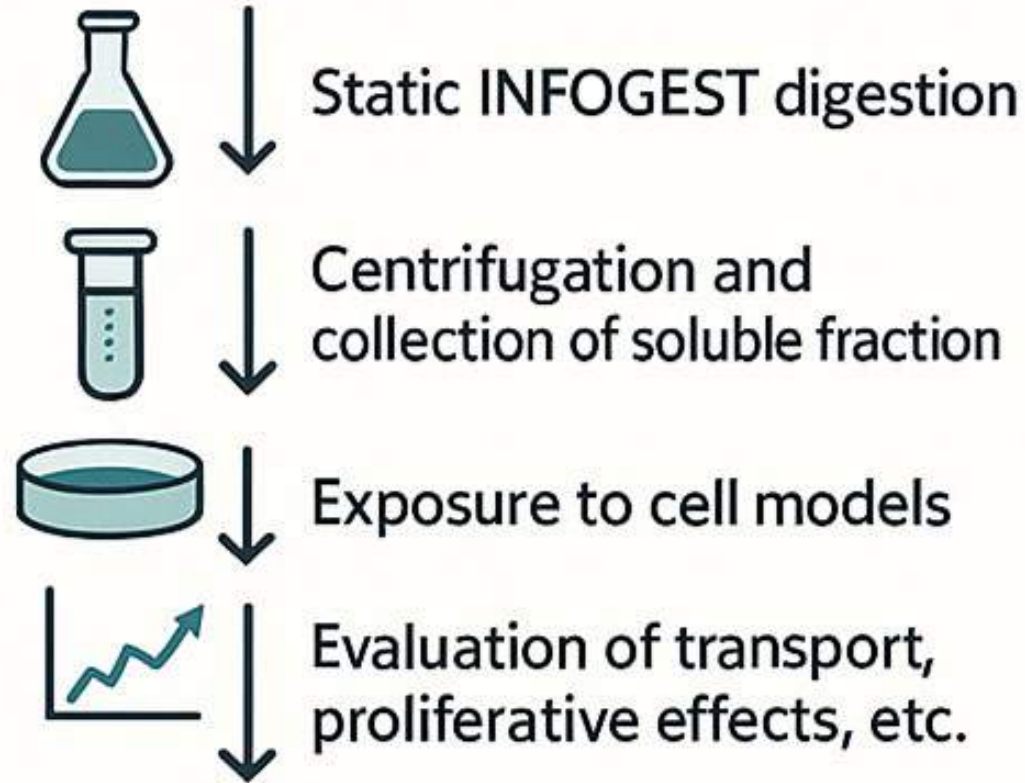


Rodrigues, D. B., et al.(2022). [Figure 4. Intestinal uptake, metabolism, and absorption of nutrients in vivo and intestinal cell models of varying degrees of complexity, potential throughput, and physiological relevance.] [Image]. In Trust your gut: Bioavailability and bioaccessibility of dietary compounds. Current Research in Food Science, 5, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.002>. Licence: CC BY-NC-ND 4.0.

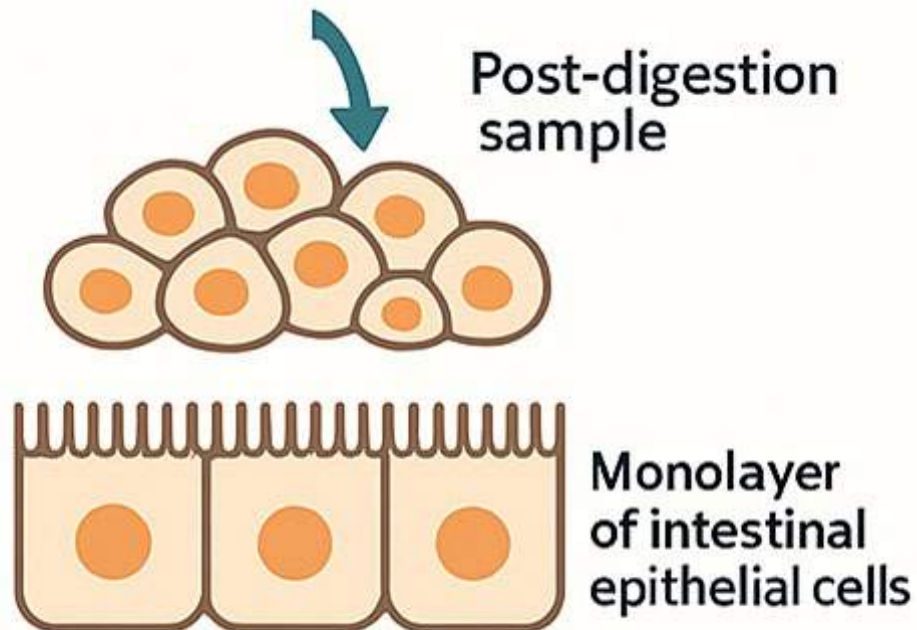
# Conceptos básicos: Modelos celulares aplicados para la absorción de nutrientes

1. Objetivo de los modelos celulares	2. Vías de transporte celular	3. Tipos de modelos in vitro	4. Configuración de cultivo celular	5. Limitaciones de los modelos transformados	6. Mecanismos de transporte	7. Administración de compuestos in vitro
<p>Para simular la <b>absorción intestinal</b> después de la digestión.</p> <p>Enfocado a definir la <b>bioaccesibilidad nutrientes</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Soluble en agua (por ejemplo, vitaminas, aminoácidos)</li> <li>○ Liposoluble (por ejemplo, carotenoides, vitamina D)</li> </ul>	<p><b>Captación apical</b> por enterocitos desde la luz intestinal.</p> <p><b>Procesamiento intracelular:</b> metabolismo, utilización del flujo.</p> <p><b>El transporte basolateral indica absorción real:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nutrientes solubles en agua → capilares sanguíneos → hígado</li> <li>○ Compuestos liposolubles → quilomicras → sistema linfático</li> </ul>	<p><b>Monocapas de células transformadas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Caco-2 (similar a enterocito)</li> <li>○ HT-29 (en forma de copa)</li> <li>○ Utilizado en sistemas de 2 o 3 compartimentos (apical, celular, basolateral)</li> </ul> <p><b>Modelos avanzados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Enteroides</b> (estructuras derivadas de células madre 2D/3D)</li> <li>○ <b>Intestino-en-un-chip</b> (flujo dinámico, mejor simulación de la fisiología)</li> </ul>	<p><b>Sistemas estáticos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Monocapas planas sobre insertos plásticos o de membrana</li> </ul> <p><b>Sistemas de tres compartimentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simular el paso apical → celular → basolateral</li> <li>○ Permitir el estudio de la absorción real de nutrientes</li> </ul>	<p>Caco-2 y clones (por ejemplo, TC7) pueden no imitar completamente a los enterocitos normales.</p> <p>Diferencias en <b>transportadores y enzimas.</b></p> <p><b>Captación ≠ absorción</b> a menos que se demuestre transporte basolateral.</p>	<p><b>Transcelular</b> (transporte pasivo o activo)</p> <p><b>Paracelular</b> (difusión a través de uniones estrechas)</p>	<p>Típicamente en el <b>compartimento apical</b> utilizando:</p> <p>Fracciones solubles o micelares de quimo digerido</p> <p>Extractos compuestos o micelas artificiales</p>

# Combination of in vitro models + cellular models



## Ensayos de bioactividad funcional: El modelo CaCo-2 para simulación de la absorción intestinal



Las células epiteliales humanas (CaCo-2) forman monocapas que simulan el epitelio intestinal.

La fracción soluble se expone a la postdigestión para evaluar la absorción transepitelial.

Este modelo se utiliza ampliamente en estudios sobre carotenoides, fenoles y otros nutrientes.

# Ensayos de bioactividad funcional: Estudios antiproliferativos con líneas celulares tumorales

Se utilizan líneas como HT-29 (colon), HeLa (cuello uterino) y MCF-7 (mama) para evaluar esta actividad.

Ensayos antioxidantes: ORAC, ABTS y DPPH.

Ensayos antiinflamatorios: ELISA (IL-6, TNF- $\alpha$ ) y qPCR.

## Functional Studies: Tumor Cell Lines



HT-29  
(colon)



HeLa  
(cervix)



MCF-7  
(breast)

- Antiproliferative assays
- Antioxidant assays
- Anti-inflammatory assays



# Sistemas microfisiológicos (MPS), o multiórganos en un chip

Estos métodos avanzados son plataformas *in vitro* que simulan la interacción entre diferentes órganos —como el intestino, el hígado y el riñón— mediante chips de órganos interconectados.

## CARACTERÍSTICAS CLAVE:

Imita la digestión, absorción, metabolismo y excreción (ADME) de compuestos dietéticos.

Los órganos están conectados mediante canales microfluídicos que simulan el flujo sanguíneo y orinal.

Permitir el estudio de la bioactividad de nutrientes en condiciones dinámicas y fisiológicamente relevantes.

## TIPOS DE PLATAFORMAS

Modular: Chips de órgano separados conectados por tubos

Placa microfluídica fija: Conexiones permanentes de órganos con flujo constante

Placa única reconfigurable: chips insertados y enlazados mediante canales integrados

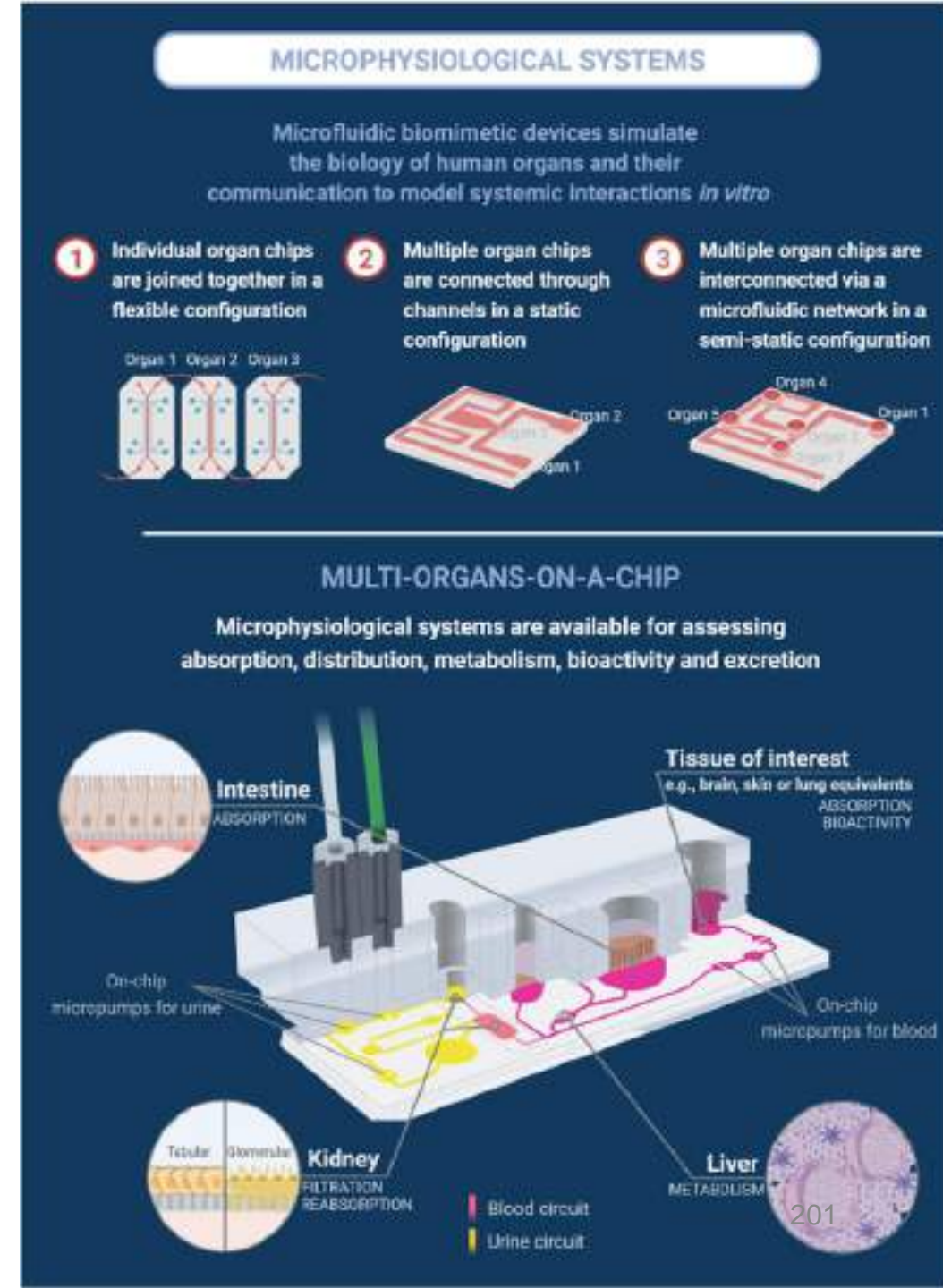
## Ejemplo: Humimic Chip4 (TissUse GmbH)

Conecta el intestino, el hígado, el riñón y otro tejido.

Soporta culturas complejas (organoides, esferoides).

Útil para simular la absorción y el metabolismo de nutrientes.

Aún en desarrollo inicial; se utiliza principalmente en farmacéutica, pero prometedora para Ciencia de la Alimentación y la Nutrición.





# 5. Conclusiones y Direcciones Futuras



La digestión in vitro, especialmente el modelo INFOGEST, permite una evaluación reproducible y estandarizada de la bioaccesibilidad.



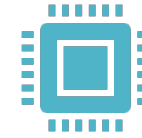
La combinación con modelos celulares funcionales (CaCo-2, HT-29...) ofrece un enfoque más realista de la biodisponibilidad y la bioactividad.



La validación de los efectos in vitro proporciona evidencia útil para el desarrollo de alimentos funcionales y estrategias de reformulación.



Se requieren estudios adicionales que integren digestión, absorción y metabolismo secundario para aproximar las condiciones fisiológicas humanas.



Las nuevas estrategias in silico y organ-on-chip representan caminos prometedores para el futuro.

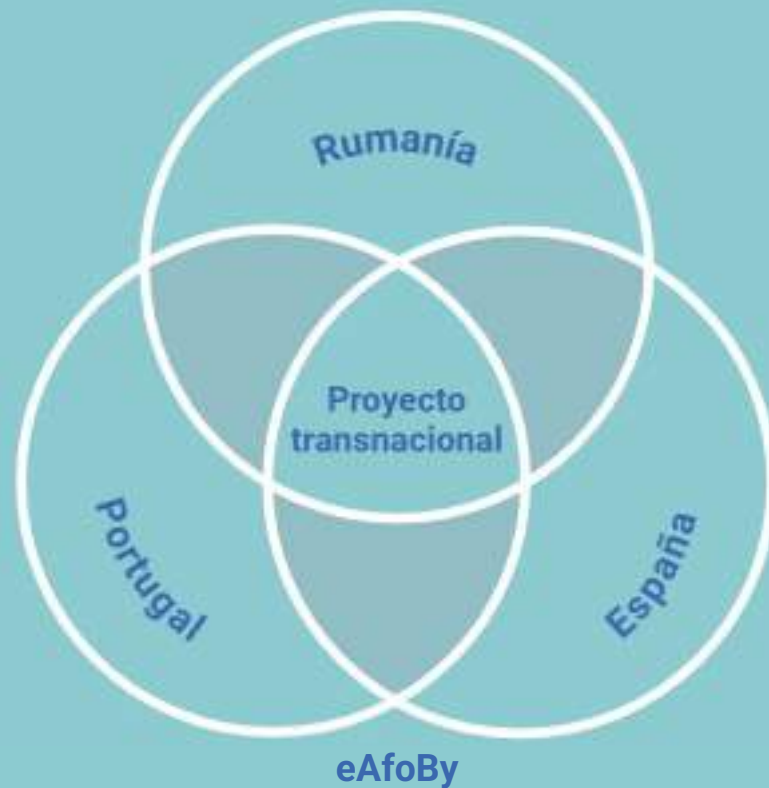
Coordinadores y socios:



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



U. PORTO  
FACULDADE DE FARMÁCIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO



Proyecto n.º: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



Co-funded by  
the European Union