

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I
DEL MEDI NATURAL



PROPIEDADES FÍSICAS DEL COPRODUCTO DEL ZUMO DE NARANJA LIOFILIZADO Y SU USO PARA ALIMENTACIÓN HUMANA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNO: Puchades Torres, Marcos

TUTORA: Nuria Martínez Navarrete

COTUTORA: M^a del Mar Camacho Vidal

DIRECTORA EXPERIMENTAL: Marilú Andrea Silva Espinoza

Valencia, 2020

*PROPIEDADES FÍSICAS DEL COPRODUCTO DEL ZUMO DE NARANJA
LIOFILIZADO Y SU USO PARA ALIMENTACIÓN HUMANA*

Resumen

Los patrones de consumo de alimentos entre la población son cada vez más exigentes en lo que se refiere a la ingesta de productos naturales, saludables, mínimamente procesados y de máxima calidad. Esto obliga al continuo desarrollo de nuevos productos que satisfagan las expectativas del consumidor. Las industrias agroalimentarias, que se ocupan de ello, necesitan una gran cantidad de recursos materiales e inmateriales para el desarrollo de su actividad que, a su vez, genera grandes volúmenes de residuos. No obstante, en su interés por contribuir a la sostenibilidad del planeta, es ya patente su apuesta por la innovación basada en los principios de la economía circular. Entre ellos se incluye la generación de actividad económica a partir de la utilización de recursos de origen biológico como materia prima. En este estudio se ha trabajado con el coproducto generado en las industrias de zumo de naranja (CoZ). Se han analizado aquellas propiedades físicas del coproducto liofilizado, tanto en torta como en polvo, que pueden aportar información útil para poder proponer diferentes usos destinados a la alimentación humana. Al mismo tiempo, se ha estudiado la conveniencia de añadir goma arábica y fibra de bambú como biopolímeros estabilizadores del producto deshidratado. En ambos casos se ha caracterizado la densidad aparente, porosidad, color y textura de la torta, así como la densidad aparente, porosidad, higroscopicidad, ángulo de reposo, compresibilidad y mojabilidad del polvo, además de su isoterma de sorción. Los resultados obtenidos permiten recomendar la incorporación de biopolímeros a fin de mejorar las propiedades analizadas. En concreto, disminuyen la higroscopicidad, mejoran la estabilidad de su estructura, dan lugar a una torta menos porosa, más resistente a la fractura y con un color más puro, y aumentan su mojabilidad.

PALABRAS CLAVE: economía circular; corteza de naranja liofilizada; isoterma de sorción; porosidad; color; textura; higroscopicidad; ángulo de reposo; mojabilidad

*PROPIETATS FÍSiques DEL COPRODUCTE DEL SUC DE TARONJA
LIOFILITZAT I EL SEU ÚS PER A ALIMENTACIÓ HUMANA*

Resum

Els patrons de consum d'aliments entre la població són cada vegada més exigents pel que fa a la ingesta de productes naturals, saludables, mínimament processats i de màxima qualitat. Això obliga al continu desenvolupament de nous productes que satisfacen les expectatives del consumidor. Les indústries agroalimentàries, que s'ocupen d'això, necessiten una gran quantitat de recursos materials i immaterials per al desenvolupament de la seua activitat que, al seu torn, genera grans volums de residus. No obstant això, en el seu interès per contribuir a la sostenibilitat del planeta, és ja patent la seua aposta per la innovació basada en els principis de l'economia circular. Entre ells s'inclou la generació d'activitat econòmica a partir de la utilització de recursos d'origen biològic com a matèria primera. En aquest estudi s'ha treballat amb el coproducte generat en les indústries de suc de taronja (CoZ). S'han analitzat aquelles propietats físiques del coproducte liofilitzat, tant en torta com en pols, que poden aportar informació útil per a poder proposar diferents usos destinats a l'alimentació humana. Al mateix temps, s'ha estudiat la conveniència d'afegir goma aràbiga i fibra de bambú com a biopolímers estabilitzadors del producte deshidratat. En tots dos casos s'ha caracteritzat la densitat aparent, porositat, color i textura de la torta, així com la densitat aparent, porositat, higroscopicitat, angle de repòs, compressibilitat i mullabilitat de la pols, a més de la seua isoterma de sorció. Els resultats obtinguts permeten recomanar la incorporació de biopolímers a fi de millorar les propietats analitzades. En concret, disminueixen la higroscopicitat, milloren l'estabilitat de la seua estructura, donen lloc a una torta menys porosa, més resistent a la fractura i amb un color més pur, i augmenten el seu mullabilitat.

PARAULES CLAU: economia circular; corfa de taronja liofilitzada; isoterma de sorció; porositat; color; textura; higroscopicitat; angle de repòs; mullabilitat

PHYSICAL PROPERTIES OF LYOPHILIZED ORANGE JUICE COPRODUCT AND ITS USE FOR HUMAN FOOD

Summary

Food consumption patterns among the population are increasingly demanding for natural, healthy, minimally processed and top-quality foods. This forces the continuous development of new products that meet consumer expectations. The agri-food industries, which deal with this, need a large amount of material and intangible resources for the development of their activity, which, in turn, generates large volumes of waste. However, in its interest to contribute to the sustainability of the planet, its commitment to innovation based on the principles of the circular economy is already clear. These include the generation of economic activity from the use of resources of biological origin as raw material. This study has studied the by-product generated in the orange juice industries (CoZ). Those physical properties of the freeze-dried co-product, both in cake and powder, that can provide useful information to propose different uses for human consumption have been analysed. At the same time, the convenience of adding gum arabic and bamboo fiber as stabilizing biopolymers of the dehydrated product has been studied. In both cases, the apparent density, porosity, color and texture of the cake have been characterized, as well as the apparent density, porosity, hygroscopicity, angle of repose, compressibility and wettability of the powder, in addition to its sorption isotherm. The results obtained allow recommending the incorporation of biopolymers in order to improve the properties analysed. Specifically, they decrease hygroscopicity, improve the stability of its structure, give rise to a less porous cake, more resistant to fracture and with a purer color, and increase its wettability.

KEY WORDS: circular economy; lyophilized orange peel; sorption isotherm; porosity; Colour; texture; hygroscopicity; Angle of repose; wettability

ÍNDICE

1	Introducción.....	7
1.1	<i>Las naranjas en la Industria Agroalimentaria.....</i>	7
1.2	<i>Valor nutricional del coproducto del zumo de naranja.....</i>	8
1.3	<i>Liofilización.....</i>	10
2	Objetivos	10
3	Material y Métodos.....	11
3.1	<i>Material.....</i>	11
3.1.1	<i>Coproducto del zumo de naranja</i>	11
3.1.2	<i>Biopolímeros.....</i>	11
3.2	<i>Metodología.....</i>	11
3.2.1	<i>Obtención del coproducto liofilizado</i>	11
3.2.2	<i>Caracterización de la torta liofilizada</i>	12
3.2.3	<i>Caracterización del polvo.....</i>	14
4	Resultados y Discusión de los resultados	18
4.1	<i>Humedad y densidad real de los productos liofilizados</i>	18
4.2	<i>Isotermas de sorción.....</i>	18
4.3	<i>Propiedades de los coproductos liofilizados en torta.....</i>	20
4.4	<i>Propiedades de los coproductos en polvo</i>	22
5	Conclusiones	23
6	Bibliografía.....	24

FIGURAS

FIGURA 1. MONTAJE PARA LA MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE REPOSO	16
FIGURA 2. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE AGUA DEL COPRODUCTO DEL ZUMO SIN (CoZ) Y CON BIOPOLÍMEROS AÑADIDOS (CoZ BP). VALORES MEDIOS EXPERIMENTALES Y CURVAS PREDICHAS POR LOS MODELOS DE BET Y GAB AJUSTADOS. 20	
FIGURA 3. CURVAS FUERZA (F) VS. TIEMPO (T) OBTENIDAS DEL ENSAYO DE TEXTURA REALIZADO A LAS MUESTRAS DEL COPRODUCTO DEL ZUMO CON LOS BIOPOLÍMEROS AÑADIDOS (CoZ BP). SE MUESTRAN LAS CURVAS DE LAS 5 REPETICIONES Y LA CURVA MEDIA.	21
FIGURA 4. CURVAS FUERZA (F) VS. TIEMPO (T) OBTENIDAS DEL ENSAYO DE TEXTURA REALIZADO A LAS MUESTRAS DEL COPRODUCTO DEL ZUMO (CoZ). SE MUESTRAN LAS CURVAS DE LAS 5 REPETICIONES Y LA CURVA MEDIA.	21

TABLAS

TABLA 1. TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE CONSERVACIÓN DE ALGUNAS VARIEDADES DE NARANJA. FUENTE: IVIA (INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS) (MARTÍNEZ, 2012).	8
TABLA 2. VALOR NUTRICIONAL DE LA PIEL DE LA NARANJA POR CADA 100 G DE PIEL DE NARANJA (USDA, 2018)	9
TABLA 3. DENSIDAD DE COMPONENTES ALIMENTARIOS PUROS (g cm^{-3}), A DIFERENTES TEMPERATURAS (CHOI Y OKOS, 1986).	13
TABLA 4. SALES UTILIZADAS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE SORCIÓN Y ACTIVIDAD DE AGUA (A_w) DE LAS CORRESPONDIENTES DISOLUCIONES SATURADAS.	14
TABLA 5. COMPOSICIÓN APROXIMADA DE LA TORTA LIOFILIZADA DE COPRODUCTO. (g/100g).....	18
TABLA 6. VARIACIÓN DE MASA DE LA MUESTRA LIOFILIZADA DURANTE EL EQUILIBRADO (ΔM). HUMEDAD (w_e , G AGUA/G SÓLIDO SECO) Y ACTIVIDAD DEL AGUA DEL COPRODUCTO DEL ZUMO DE NARANJA SIN (CoZ) Y CON (CoZ BP) BIOPOLÍMEROS AÑADIDOS EN EL EQUILIBRIO.	19
TABLA 7. VALORES DE LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE BET Y GAB	19
TABLA 8. PROPIEDADES DEL CoZ Y CoZ BP EN SU FORMATO TORTA.	22
TABLA 9. PROPIEDADES MEDIDAS AL COPRODUCTO DEL ZUMO DE NARANJA EN POLVO SIN (CoZ) Y CON BIOPOLÍMEROS AÑADIDOS (CoZ BP).	23

ECUACIONES

ECUACIÓN 1. CROMA EN EL ESPACIO CIEL $*A^*B^*$	12
ECUACIÓN 2. TONO EN EL ESPACIO CIEL $*A^*B^*$	12
ECUACIÓN 3. DENSIDAD APARENTE	13
ECUACIÓN 4. VOLUMEN	13
ECUACIÓN 5. DENSIDAD REAL	13
ECUACIÓN 6. POROSIDAD	14
ECUACIÓN 7. HUMEDAD EN EL EQUILIBRIO EN BASE SECA	15
ECUACIÓN 8. ECUACIÓN DEL MODELO DE BET	15
ECUACIÓN 9. ECUACIÓN MODELO DE GAB	15
ECUACIÓN 10. ÁNGULO DE REPOSO	16

1 INTRODUCCIÓN

1.1 LAS NARANJAS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA.

El consumo de frutas en la dieta mediterránea se presenta como una de las mejores vías para obtener las vitaminas y los minerales necesarios para el correcto funcionamiento del organismo. Conjuntamente, aportan otros micronutrientes no vitales para el funcionamiento de éste como son fitoesteroles, flavonoides y otros compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, entre otras (MARTÍNEZ-NAVARRETE ET AL., 2008). La presencia de dichos antioxidantes parece prevenir diversas patologías, entre ellas, la degradación de los telómeros, es decir, juegan algún tipo de papel en el retraso del envejecimiento (TAVARINI ET AL., 2007).

Por estos beneficios asociados al consumo de las frutas, su producción ha ido creciendo de acorde al crecimiento de la población mundial. Para el caso concreto de la naranja, por las propiedades nombradas anteriormente, se observa un claro aumento a lo largo de los últimos 25 años (FAOSTAT, 2020). Este consumo ocasiona, tanto de naranjas en crudo como de derivados, de manera indirecta, grandes cantidades de subproductos derivados de la transformación de dicha materia prima, que tradicionalmente se veían como residuos sin gran valor siendo el uso más extendido la alimentación animal.

La problemática que genera en la industria agroalimentaria ese volumen productivo, tanto de materia prima como de subproductos derivados de la elaboración de zumos, es su vida útil ya que esta varía entre 1 y 3,5 meses para las naranjas refrigeradas, tal y como se muestra en la **tabla 1**. Durante este corto periodo de tiempo, en caso de la exportación del producto, la naranja necesitará ser almacenada, acondicionada, transportada al destino, comercializada y finalmente consumida. Las frutas presentan una serie de problemas tras su recolección debido a la falta de un aporte hídrico y de nutrientes, debiendo consumir sus propias reservas energéticas con el fin de mantenerse en óptimas condiciones para la germinación de los embriones. Esto da lugar a una pérdida de calidad organoléptica gradual de la fruta, es decir, se apreciarán cambios en la textura, el sabor y el aroma a medida que llega a su estado de senescencia, determinando finalmente la muerte fisiológica (ÁLVAREZ, 2012).

La corta vida útil de las frutas y también el interés de su consumo justifican el gran desarrollo que, desde siempre, ha tenido la industria de transformación de éstas. Así, es muy frecuente el consumo de fruta en conserva o en forma de mermeladas y zumos, por ejemplo. En el caso concreto del zumo, y tal y como se ha podido constatar en la propia realización de este estudio, a lo largo de un día en una cafetería la generación de residuos del zumo de naranja puede ser considerable. Esto, teniendo en cuenta su composición, justifica el interés en darle una segunda vida y reintroducirlo en la cadena alimenticia humana, lo que mejoraría la eficiencia de este tipo de industrias. Este uso nos permitiría acuñar este residuo más como *coproducto* que como *subproducto*. En este caso, hay que tener en cuenta que también el coproducto presenta un elevado contenido en agua que lo hace altamente perecedero, por lo que va a ser necesario algún tipo de procesado que permita estabilizarlo con técnicas que minimicen la pérdida

de compuestos nutritivos y bioactivos. En este sentido, la **liofilización** podría ser la técnica de elección.

Tabla 1. Temperaturas y tiempos de conservación de algunas variedades de naranja. Fuente: IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) (MARTÍNEZ, 2012).

Naranja	Tmin (°C)	Tmax (°C)	tmin (meses)	tmax (meses)
Blanca común	2	3	2	3
Caracara	3	4	1,5	2
Lanelate	2	3	2	3
Navel Washing	2	3	2	3
Navelate	3	4	1,5	2,5
Navelina	2	3	2	3
Powell	4	5	1	1,5
Rhode Summer	4	5	1,5	2,5
Salustiana	2	3	2	3
Valencia Delta	4	5	1,5	2
Valencia late	2	3	2,5	3,5
Valencia Midnight	4	5	1,5	2
Verna	2	3	2,5	3,5
Promedio	2,77	3,77	1,81	2,65

Una vez expuesta la problemática actual con el coproducto del zumo de naranja, nombrada una posible solución, así como justificada la razón de su consumo necesitamos conocer qué se puede aprovechar de dicho coproducto, la composición y las propiedades que posee. Además, de si se puede mejorar dichas propiedades mediante la adición de otros compuestos.

1.2 VALOR NUTRICIONAL DEL COPRODUCTO DEL ZUMO DE NARANJA

Por lo que respecta a la composición mayoritaria de las frutas, su componente mayoritario es el agua, llegando a presentarse hasta en un 90 % del peso de la fruta. El otro 10 % lo conforman lípidos, proteínas, carbohidratos y micronutrientes, variando sus composiciones entre los distintos frutos. Por ejemplo, el aguacate presenta un alto porcentaje de lípidos y la piña importantes cantidades de carbohidratos, siendo estos mayoritariamente sacarosa (VICENTE ET. AL., 2009). No obstante, dada la intencionalidad nutricional que se le pretende otorgar al coproducto del zumo de naranja (CoZ), únicamente la información de los macronutrientes básicos no es suficiente para la justificación de la entrada al mercado alimentario de un producto. Por esta razón es necesario el conocimiento de los micronutrientes presentes en dicho producto, mostrados en la **tabla 2**. En la naranja encontramos un amplio abanico de vitaminas, aunque comedido en cantidades, tanto hidro como liposolubles. Al segundo grupo

pertencen las vitaminas A, el β -caroteno, D, E y K, las cuales son más fáciles de asimilar en presencia de grasas por el organismo (MEDLINEPLUS, 2020). Entre las hidrosolubles, además de la B, la vitamina C es la mayoritaria en la naranja, encontrándose ésta también presente en el flavedo del fruto (URIBE ET. AL., 2013). Hay que destacar la falta de vitamina B12, estando íntimamente relacionada con el correcto funcionamiento y mantenimiento del sistema nervioso central (MEDLINEPLUS, 2020).

Tabla 2. Valor nutricional de la piel de la naranja por cada 100 g de piel de naranja (USDA, 2018)

Agua	72.5 g	Magnesio, Mg	22 mg
Energía	97 kcal	Fosforo, P	21 mg
Energía	405 kJ	Potasio, K	212 mg
Proteína	1.5 g	Sodio, Na	3 mg
Grasas	0.2 g	Zinc, Zn	0.25 mg
Ác. Grasos saturados	0.024 g	Cobre, Cu	0.092 mg
14:0	0.001 g	Selenio, Se	1 μ g
16:0	0.021 g	Vit. C (ác. ascórbico tot.)	136 mg
18:0	0.001 g	Tiamina	0.12 mg
Ác. Grasos monoinsat.	0.036 g	Riboflavina	0.09 mg
16:1	0.005 g	Niacina	0.9 mg
18:1	0.032 g	Pantoténico ac.	0.49 mg
Ác. Grasos poliinsat.	0.04 g	Vit. B-6	0.176 mg
18:2	0.029 g	Folato, tot.	30 μ g
18:3	0.011 g	Ác. fólico.	0 μ g
Colesterol	0 mg	Folato, alimento	30 μ g
Cenizas	0.8 g	Folato, DFE	30 μ g
Carbohidrato, por dif. *	25 g	Vit. A, RAE	21 μ g
Fibra alim. total	10.6 g	Vit. A, IU	420 IU
Calcio, Ca	161 mg	Vit. B-12	0 μ g
Hierro, Fe	0.8 mg	Vit. E (α -tocoferol)	0.25 mg

**En este valor de carbohidratos se encuentra la fibra.*

En cuanto al aporte energético de la naranja, 47 kcal (USDA, 2020), es bajo, dado su alto contenido en agua, compuesto muy importante pero completamente acalórico, y su único aporte real de energía procede de los carbohidratos que son principalmente reductores siendo la sacarosa un azúcar importante en los segmentos y en el zumo, al contrario que en la piel.

Pasando a los minerales presentes, encontramos un gran aporte de calcio, llegando a representar más del 35% de la cantidad diaria recomendada (LATHAM, 2002). Sin embargo, sodio, potasio, magnesio, hierro y zinc no tienen tanto protagonismo teniendo en cuenta el porcentaje que representan respecto del aporte diario recomendado.

Ya enfocados en la presencia de compuestos bioactivos en la parte no comestible del fruto, encontramos una buena concentración de flavonoides, así como un espectro de

ellos extenso (MANTHEY AND GROHMAN, 1996), y compuestos fenólicos (ESCOBEDO-AVELLANEDA. ET. AL., 2013), todos ellos con acciones antioxidantes realmente beneficiosas para la salud humana (HIGDON, 2005). Además, también hay presentes algunos aceites esenciales (GAYDOU ET AL., 1986).

Este aporte de compuestos bioactivos hace de este coproducto un gran protagonista como posible ingrediente en la formulación de nuevos alimentos (ESCOBEDO-AVELLANEDA ET. AL., 2013). Además, resulta de gran importancia tratar de conservar su valor nutritivo y funcional durante el proceso productivo para su valorización.

1.3 LIOFILIZACIÓN.

La liofilización es un método de secado utilizado en la industria agroalimentaria por sus características únicas. Consiste en dos etapas, en la primera ocurre la congelación de la muestra. En la segunda etapa de la liofilización, normalmente a vacío, ocurre la sublimación del hielo, que pasa a fase gas directamente sin pasar por el estado líquido (ALEIXANDRE, 1997).

La liofilización presenta ventajas frente a otros métodos de secado, como la alta conservación del valor nutritivo de los productos que se deshidratan, por las bajas temperaturas (BARBOSA-CÁNOVAS Y VEGA-MERCADO, 2000). Pese a ello, una de las mayores desventajas de la liofilización es su larga duración y los costes energéticos asociados. Sin embargo, en el caso de las frutas, esta técnica presenta ventajas de rendimiento frente a otras, que también se caracterizan por producir alimentos de alta calidad, como la atomización (CASANOVA, 2016). De esta forma, este método de deshidratación, frente a otros, proporciona productos de alto valor añadido de interés nutricional.

Como hemos comentado anteriormente, los productos derivados de la fruta liofilizados son muy estables desde el punto de vista microbiológico, debido a la baja presencia de agua en ellos. Sin embargo, presentan problemas de estabilidad física asociados al desarrollo de fenómenos de pegajosidad (TELIS Y MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2012). Según estos autores, dichos fenómenos se deben a su alto contenido en azúcares y ácidos orgánicos, que hace que su temperatura de transición vítrea (T_g) sea muy baja, por lo que, a temperatura ambiente estos productos se encuentren en estado gomoso. La solución más común para aumentar la T_g es la adición de biopolímeros con alto peso molecular, como gomas, almidones, maltodextrinas, etc. En este trabajo se utilizó fibra de bambú y goma arábiga. Estos biopolímeros se han utilizado ampliamente en alimentación. La goma arábiga es un polisacárido de origen natural (E-414) que suele emplearse por sus cualidades estabilizantes y gelificantes, entre otras. En cuanto a la fibra de bambú, es una fibra vegetal con un alto poder de retención de agua y que por su estructura puede desempeñar un papel estérico evitando la formación de puentes interpartícula.

2 OBJETIVOS

La presente investigación tiene por objetivo caracterizar, desde el punto de vista físico, el coproducto del zumo de naranja, sin y con biopolímeros añadidos, y su

estabilidad. Los biopolímeros seleccionados fueron fibra de bambú (FB) y goma arábica (GA). Para la caracterización de ambos coproductos se realizaron mediciones del color, higroscopicidad, textura y porosidad de la torta liofilizada, así como las densidades aparentes, tiempo de mojado y ángulo de reposo del polvo. Además, se caracterizó el comportamiento de los coproductos frente a la sorción de agua.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Coproducto del zumo de naranja

Esta materia prima fue cedida por la cafetería Belles Arts de la Universitat Politècnica de València el 5 de febrero de 2020, sin variedad especificada. Antes de su uso, se procedió a su lavado con agua eliminando cualquier rastro adherido a la epidermis.

3.1.2 Biopolímeros

Los biopolímeros seleccionados para la formulación del coproducto del zumo fueron la goma arábica (GA, Scharlab, Sentmenat, España) y la fibra de bambú (FB, VITACEL®, Rosenberg, Alemania), al 5% y al 1%, respectivamente. Las proporciones utilizadas fueron las seleccionadas en estudios previos (AGUDELO ET AL., 2017).

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Obtención del coproducto liofilizado

3.2.1.1 Triturado y emulsionado

Con la materia prima lista para su tratamiento, se procedió a la trituración y emulsionado de ésta (Eurofred, España), añadiendo el 50% en masa de agua, durante un periodo de 60 segundos/kg de mezcla. Esta operación se repitió hasta alcanzar los 8.000 g necesarios para el desarrollo de este estudio.

La pasta obtenida fue dividida en dos partidas iguales de 4.000 g, una destinada a la obtención del coproducto del zumo (CoZ) y otra a la del coproducto del zumo con los biopolímeros añadidos (CoZ BP). A esta última se añadió la GA y FB necesarias antes de ser mezclada. Para el mezclado se utilizó un robot de cocina (Thermomix TM 21, Vorwerk, España). Cada muestra, en tandas de 1000 g, se trituró durante 40 segundos a velocidad 4 y 40 segundos más a velocidad 9, y se vertió en bandejas de aluminio de 30 cm de diámetro hasta llegar al centímetro de espesor, llegando todas ellas a pesar entorno a los 500 g, bandeja incluida.

3.2.1.2 Congelación

Las bandejas con las muestras se colocaron en un arcón congelador (Liebherr LGT 2325, Alemania) durante 24 horas a -45 °C, para asegurar la máxima formación de hielo.

3.2.1.3 Secado por Liofilización

Este proceso se realizó en un liofilizador (Telstar LYOQUEST-55, España). Las condiciones del proceso fueron de -50 °C en el condensador, una presión de 0,05 mbar y con las bandejas calefactadas a 50 °C, durante 20 horas. De esta manera se obtuvieron las tortas CoZ y CoZ Bp.

3.2.2 Caracterización de la torta liofilizada

De las tortas CoZ y CoZ BP se obtuvieron cilindros de 1 cm de diámetro con un sacabocados para la caracterización de todas las propiedades que se describen a continuación.

3.2.2.1 Color

A cinco de los cilindros, seleccionados al azar, se les midió el color con un espectrocolorímetro (CM2600d, Konica Minolta Sensing, INC., Japan), utilizando el espacio CIEL*a*b* (iluminante D65, observador de 10°). A partir de estas coordenadas se calculó el croma (**Ec. 1**) y el tono (**Ec. 2**).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

Donde:

C*: es el croma, es decir, cómo de saturada está la muestra.

a*: el valor de la ordenada (inferior a 0 indica verde y superior a 0 rojo).

b*: el valor de la abscisa (inferior a 0 indica azul y superior a 0 amarillo).

$$h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

Donde:

h*: es el tono, es decir, el ángulo descrito por la muestra en el espacio CIEL*a*b*

a*: el valor de la ordenada (inferior a 0 indica verde y superior a 0 rojo).

b*: el valor de la abscisa (inferior a 0 indica azul y superior a 0 amarillo).

3.2.2.2 Textura

Para la determinación de la textura de las tortas liofilizadas se utilizaron los mismos cilindros destinados a la medida del color. Dicha determinación fue realizada en el texturómetro TA.XT-Plus (Stable Micro Systems, UK), utilizando un punzón de 10 mm de diámetro. El ensayo se realizó a velocidad constante de 1 mm s⁻¹ y deformación de 10 mm. Se registraron los valores de fuerza (F, N), distancia (h', mm) y tiempo (s). A partir

de estos datos, se obtuvo la fuerza máxima (Fmax) y el número de picos (NP), ya que estas dos propiedades parecen estar íntimamente relacionadas con lo crujiente que es el producto.

3.2.2.3 Densidad aparente.

A otros cinco cilindros extraídos de la torta liofilizada, se les midió el espesor en seis puntos distintos, otorgándole a la muestra extraída el valor promedio de dichas mediciones. A su vez, se registró el peso de los cinco cilindros, obteniendo así los valores de masa y volumen necesarios para conocer la densidad aparente de la torta (**Ec. 3**).

$$\rho_a = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Donde:

ρ_a es la densidad aparente de la torta (g cm^{-3})

m es la masa de la muestra (g)

V es el volumen de la muestra (cm^3), calculado a partir del diámetro ($D = 2,35 \text{ cm}$) y el espesor promedio de la muestra (e) según la **Ec. 4**.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * e \quad (4)$$

3.2.2.4 Densidad real.

Para el cálculo de la densidad real (ρ) se utilizó la **Ec. 5** y se tuvo en cuenta la composición de la torta liofilizada, tomando como referencia la composición de la piel mostrada en la **tabla 2**, incluyendo la **fibra alimentaria** como carbohidratos, dada su estructura química básica. Como valores de densidad de los componentes mayoritarios se consideraron los mostrados en la **tabla 3** a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabla 3. Densidad de componentes alimentarios puros (g cm^{-3}), a diferentes temperaturas (CHOI Y OKOS, 1986).

$^\circ\text{C}$	Agua	Proteínas	Grasa	Carbohidratos	Ceniza	Error	E. est. (%)
20	0,9976	1,2894	0,9164	1,4246	1,7434	3,0227	0,28
30	0,9952	1,2722	0,9135	1,4133	1,7312	24,5498	2,29
40	0,9912	1,2584	0,9067	1,3992	1,7198	22,9114	2,14
50	0,9868	1,2462	0,9027	1,3864	1,7047	26,4704	2,48

$$\rho = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} \quad (5)$$

Donde x_i y ρ_i son la fracción másica y la densidad real del componente i , respectivamente.

3.2.2.5 Porosidad.

Para determinar la porosidad (ε), es decir, *el volumen de aire que existe en un volumen de muestra conocido*, en este caso de torta liofilizada, se aplicó la **Ec. 6**.

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_a}{\rho} * 100 \quad (6)$$

Donde:

ρ : densidad real de la muestra (g cm^{-3})

ρ_a : densidad aparente de la muestra (g cm^{-3})

3.2.3 Caracterización del polvo

La torta liofilizada se trituroó en tandas de 40 g, en un robot de cocina (Thermomix TM 21, Vorwerk, España) a velocidad 5 durante 20 segundos. El polvo obtenido se pasó por un tamiz de 500 μm (CISA, Barcelona, España), con los correspondientes tapa y fondo, con la ayuda de una tamizadora (AMP0.40 CISA, Barcelona, España). Lo rechazado del primer tamizado se trituroó de nuevo en las mismas condiciones y se volvió a tamizar completando un ciclo. Esto se repitió hasta un máximo de 3 veces para evitar el exceso de contacto entre el ambiente y el producto en polvo. Todo el polvo <500 μm obtenido se analizó en cuanto a las propiedades descritas a continuación.

3.2.3.1 Isotermas de sorción de agua

Para la obtención de las curvas de sorción mediante los modelos que se describirán a continuación, se procedió a equilibrar muestras en ambientes con humedad relativa conocida y controlada, generada por disoluciones saturadas de las sales mostradas en la **tabla 4**. La actividad de agua (a_w) de estas disoluciones se midió con mismo equipo utilizado para la medida de a_w de las muestras (apartado 3.2.3.6).

Tabla 4. Sales utilizadas para la obtención de los datos de sorción y actividad de agua (a_w) de las correspondientes disoluciones saturadas.

Sal	a_w
LiCl	0,138
CH ₃ COOK	0,244
MgCl ₂	0,328
K ₂ CO ₃	0,422
Mg(NO ₃) ₂	0,519

Se colocaron tres muestras de CoZ y tres de CoZ BP en cada una de las cámaras y se realizó un pesaje semanal hasta que la variación entre los dos últimos pesajes fue inferior a 1 mg (g de muestra)⁻¹.

Finalizada la experiencia, se calculó la humedad en el equilibrio en base seca (w_e) mediante la **ec. (7)**.

$$w_{e \text{ b.s.}} = \frac{m \cdot Xw_0 + \Delta m}{m \cdot (1 - Xw_0)} \quad (7)$$

Donde:

m : masa del producto inicial (g)

Xw_0 : Humedad inicial del producto (g de agua g de producto⁻¹)

Δm : variación de la masa del producto (g)

Los datos de sorción se ajustaron a los modelos de BET y GAB, en sus formas linealizadas (**Ec. 8 y 9**, respectivamente).

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot w_e} = \frac{1}{w_0 \cdot C} + \frac{C - 1}{w_0 \cdot C} \cdot a_w \quad (8)$$

Donde:

a_w : actividad del agua

w_e : humedad del producto en el equilibrio (g agua g sólido seco⁻¹)

w_0 : humedad del producto correspondiente a la capa mono molecular de agua adsorbida (g agua g sólido seco⁻¹)

C : constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción

$$\frac{a_w}{w_e} = \frac{1}{w_0 \cdot C \cdot K} + \frac{C - 2}{w_0 \cdot C} \cdot a_w + \frac{K(1 - C)}{w_0 \cdot C} \cdot a_w^2 \quad (9)$$

Donde:

a_w : actividad del agua

w_e : humedad del producto en el equilibrio (g agua g sólido seco⁻¹)

w_0 : humedad del producto correspondiente a la capa mono molecular de agua adsorbida (g agua g sólido seco⁻¹)

C : constante de Guggenheim, característica del producto, y relacionada con el calor de sorción de la monocapa

K : constante relacionada con el calor de sorción de la multicapa.

3.2.3.2 Ángulo de reposo

El ángulo de reposo es una medida empírica de la fluidez relativa de partículas sólidas a través del aire y está estrechamente relacionado con factores como la composición, el tamaño y la forma de las partículas y el tiempo de almacenamiento, entre otros (CEREZAL ET. AL., 2011). Este dato se obtiene a partir del ángulo que forma la pendiente de la cono de producto formada al dejarlo caer por gravedad y la superficie horizontal ocupada por la base de dicha cono (**Figura 1**).

Para ello, se utilizó un embudo de 1,85 cm de diámetro en la boca inferior, sujetado a 13,2 cm de altura sobre el papel donde reposará el producto. Sobre el embudo se colocó una placa de plástico con un cilindro de metacrilato de igual diámetro que la boca superior del embudo, de 10 cm. Dentro del cilindro se distribuyó uniformemente 10 g de producto en polvo. El polvo se dejó caer retirando la placa a una velocidad constante durante 10 segundos. La altura del cono y el diámetro de su base (media de 6 medidas) se midieron con un pie de rey. Este procedimiento, realizado por triplicado, permite calcular el ángulo de reposo aplicando la **Ec. 10**.

$$\alpha^{\circ} = \arctan\left(\frac{2h}{d}\right) \quad (10)$$

Donde:

h: altura del cono formada (cm)

d: promedio del diámetro de la base del cono (cm)

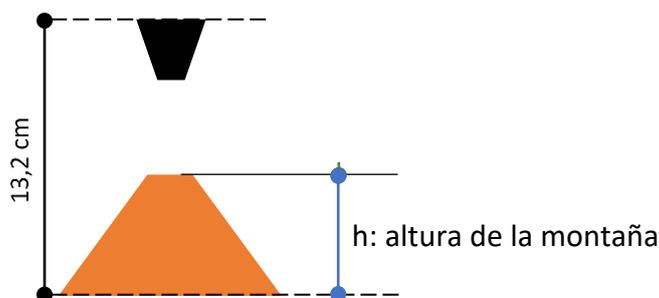


Figura 1. Montaje para la medición del ángulo de reposo

3.2.3.3 Mojabilidad

La mojabilidad es inversamente proporcional al tiempo que tarda un líquido en mojar completamente al sólido. Para conocer la mojabilidad de CoZ y CoZ BP en polvo se preparó un montaje con un vaso con 250 mL de agua destilada a 25 °C, tapado con una placa de plástico sobre la que se colocó un cilindro de metacrilato. Se depositaron 10 g de muestra dentro del cilindro, sobre la placa de plástico, se igualó el espesor de la muestra a lo largo de toda la superficie de la lámina y se retiró la placa a una velocidad constante, en un tiempo de 15 segundos. Inmediatamente después de retirar por

completo la placa se midió el tiempo que tarda la muestra en atravesar completamente la superficie del agua. Este ensayo se realizó por triplicado para obtener el tiempo medio de mojado.

3.2.3.4 *Densidad aparente y porosidad*

Para conocer el grado de compactación que presentan CoZ y CoZ BP en polvo, se utilizaron tubos graduados de 15 mL, los cuales se pesaron antes de verter la muestra necesaria para alcanzar 10 mL. A continuación, el tubo se agitó durante 10 segundos a 1.200 revoluciones por minuto en un vortex (Advanced Vortex Mixer, ZX3, VELP® SCIENTIFICA, Italia). Transcurrido este tiempo, se midió el volumen que ocupaba la muestra tras la compactación y se pesó el conjunto, tubo graduado y muestra. Con estos datos, se calcularon las densidades del producto sin compactar y compactado (**Ec. 3**). La porosidad se calculó a partir de la densidad real y la densidad aparente compactada (**Ec. 6**).

3.2.3.5 *Humedad (X_w)*

Para la determinación del contenido de agua de las muestras se utilizó el un valorador automático Karl Fisher (Mettler Toledo, Compact Coulometric Titrator C10S, Worthington, USA). Las medidas se hicieron por triplicado.

3.2.3.6 *Actividad del agua (a_w)*

Para la medida de la actividad del agua, se utilizó un higrómetro (Decagon, AquaLab CX-3, WA, USA). Se precisó de un mínimo de tres medidas para poder establecer un valor promedio aceptable en cada muestra.

3.2.3.7 *Higroscopicidad*

La higroscopicidad se obtuvo a partir de la ganancia de peso de una muestra después de mantenerla durante dos horas en el interior de un desecador en presencia de una disolución saturada con una a_w conocida e igual a 0,732, tomada a 25,5 °C para el ensayo con CoZ y de 0,734 y 26,6 °C para el ensayo con CoZ BP. Esta ganancia de peso, respecto al peso inicial de la muestra referido a base seca y expresado en tanto por cien, es la higroscopicidad.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 HUMEDAD Y DENSIDAD REAL DE LOS PRODUCTOS LIOFILIZADOS

Aunque la humedad de las muestras liofilizadas se midió al producto en polvo, ésta es la misma para el producto en formato torta. Ésta fue **0,016** (0,004) y **0,017** (0,004) g agua g producto⁻¹ para CoZ y CoZ BP, respectivamente.

Teniendo en cuenta la humedad de las muestras y la composición de referencia de la corteza (**tabla 2**), se procedió a generar la **tabla 5** con la composición aproximada del CoZ y CoZ BP. A partir de estos valores y la densidad de cada uno de los componentes (**tabla 3**) se calculó la densidad real (**Ec. 5**) de cada coproducto, que fue la siguiente:

$$\rho_{\text{CoZ}} = 1,470 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\rho_{\text{CoZ BP}} = 1,408 \text{ g cm}^{-3}$$

Tabla 5. Composición aproximada de la torta liofilizada de coproducto. (g/100g).

Constituyente	CoZ	CoZ BP
Agua	1,56	1,70
Carbohidratos Totales (incluida fibra)	89,48	89,37
Proteínas	5,37	5,36
Lípidos	0,72	0,71
Cenizas	2,86	2,86

4.2 ISOTERMAS DE SORCIÓN.

A continuación, se exponen los resultados de la actividad del agua de las muestras y la ganancia de agua una vez alcanzado el equilibrio con el entorno proporcionado por cada disolución saturada de sal utilizada (**Tabla 4**). Con estos datos y la humedad de la muestra recién liofilizada, se calculó la humedad de las muestras en el equilibrio expresada en base seca (w_e b.s.), aplicando la **Ec. 7**. Todos estos valores se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Variación de masa de la muestra liofilizada durante el equilibrado (Δm). Humedad (w_e , g agua/g sólido seco) y actividad del agua del coproducto del zumo de naranja sin (CoZ) y con (CoZ BP) biopolímeros añadidos en el equilibrio.

CoZ BP			a_w	ΔM (g)	CoZ		
W_e (b.s.)		ΔM (g)			W_e (b.s.)		
$\bar{M}(SD)$	m				m	$\bar{M}(SD)$	
0,0379 (0,007)	0,035 0,0274 0,0408	0,0258 0,0135 0,0203	0,138	0,0550 0,0464 0,049	0,0566 0,0556 0,0603	0,0575 (0,0025)	
0,059 (0,012)	0,0671 0,0645 0,0455	0,0461 0,0338 0,0318		0,244	0,0679 0,0597 0,0768	0,0756 0,0861 0,0717	0,0778 (0,0075)
0,0775 (0,016)	0,0659 0,0891 0,0826	0,0459 0,0503 0,0558			0,328	0,0875 0,0712 0,1014	0,0956 0,1039 0,1214
0,0905 (0,003)	0,1181 0,0709 0,1164	0,0870 0,0629 0,0825	0,422			0,1137 0,1234 0,1038	0,1338 0,1081 0,1267
0,1063 (0,012)	0,1097 0,0927	0,1102 0,0824		0,519		0,1646 0,1541	0,1404 0,1439

ΔM : variación de la masa liofilizada (g)

m : humedad (g agua/g sólido seco)

\bar{M} : media de la humedad (g agua/g sólido seco)

(SD): desviación estándar

A partir de los datos de sorción obtenidos, se ajustaron los modelos de BET y GAB (Tabla 7). En la Figura 2 se observan los valores predichos por ambos modelos junto con el valor medio de la humedad de las muestras para cada a_w .

Tabla 7. Valores de los parámetros de los modelos de BET y GAB

Parámetro	BET		Variable	GAB	
	CoZ	CoZ BP		CoZ	CoZ BP
C	15,3801	9,7154	C	8,8036	2,2322
W_0	0,0724	0,0570	W_0	0,1004	0,1397
R^2	0,9837	0,9580	K	0,7435	0,8105
			R^2	0,9662	0,9030

La forma de la isoterma mostrada en la Figura 2 nos estaría indicando que en ninguno de estos productos hay un claro predominio de los fenómenos de disolución frente a los de sorción hasta valores de a_w de, al menos, 0,519. Por su parte, la isoterma también nos informa de que hasta valores de a_w en torno a 0,14 sí que hay un predominio de la sorción del agua. Respecto a los dos modelos ajustados, cabe comentar que el mejor

ajuste y la simplicidad del de BET frente al de GAB permitiría recomendar su uso para el ajuste de datos hasta el valor máximo de humedad de equilibrio y a_w considerados en este estudio. Sin embargo, teniendo en cuenta que el modelo de GAB permite reproducir las isothermas incluso a valores altos de a_w , cuando ya son importantes los fenómenos de disolución, en el caso de acondicionar el coproducto más allá de una a_w superior a 0,5, sería mejor hacer uso de este otro modelo. No obstante, en ese caso, sería necesario obtener también algún dato de sorción experimental en ese intervalo de a_w para incluirlo en el ajuste.

Al comparar las isothermas de los dos productos estudiados, puede observarse como la isoterma de CoZ va por encima de la de CoZ BP, lo que está indicando la mayor capacidad del coproducto del zumo sin biopolímeros para ganar agua a cualquier humedad relativa en que pueda encontrarse. Esto confirma el papel de los biopolímeros añadidos como agentes protectores frente a la humectación del coproducto, como ya ha sido observado por otros autores (MOSQUERA ET AL., 2010; SILVA-ESPINOZA ET AL., 2020; TELIS Y MARTÍNEZ NAVARRETE, 2012). Esta capacidad de los biopolímeros para reducir el carácter higroscópico de las muestras es algo totalmente deseable para este tipo de productos a fin de evitar el colapso de su estructura y el desarrollo de fenómenos de pegajosidad y apelmazamiento.

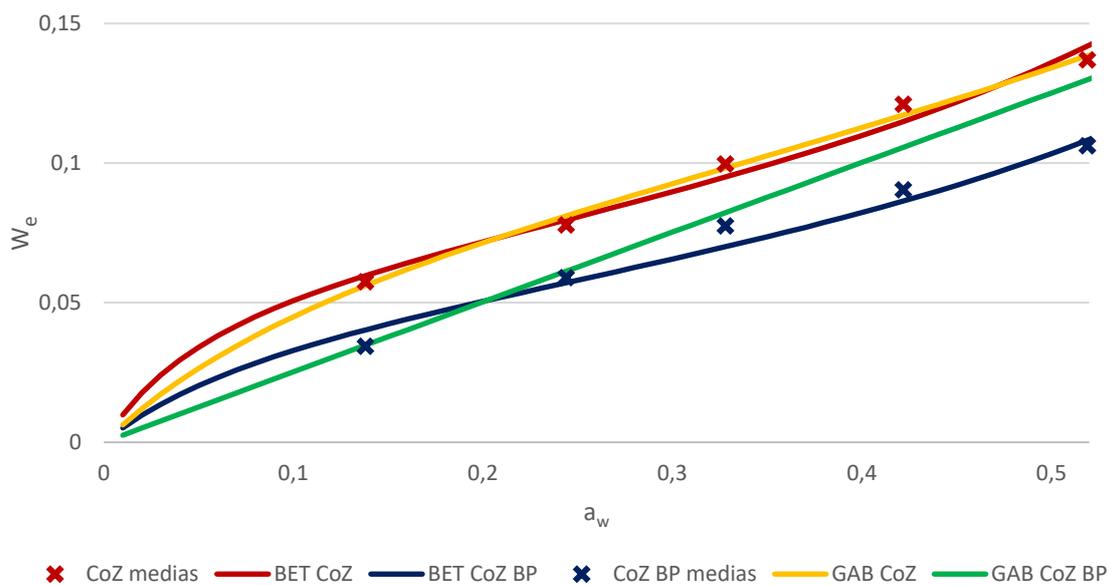


Figura 2. Isothermas de adsorción de agua del coproducto del zumo sin (CoZ) y con biopolímeros añadidos (CoZ Bp). Valores medios experimentales y curvas predichas por los modelos de BET y GAB ajustados.

4.3 PROPIEDADES DE LOS COPRODUCTOS LIOFILIZADOS EN TORTA

Las **Figuras 3 y 4** muestran las curvas fuerza-tiempo obtenidas del ensayo de textura, de las que se han obtenido los parámetros F_{max} (N) y NP, y la **Tabla 8** muestra las

propiedades de los coproductos liofilizados estudiadas. La presencia de biopolímeros favorece una torta más compacta con mayor densidad aparente, menor porosidad y mayor dureza o fuerza máxima necesaria para su compresión. Sin embargo, el número de picos que parece representar cómo de crujiente es un producto (ALONZO-MACÍAS ET AL., 2014), no presenta diferencias significativas, aunque la media sea superior para el CoZ lo cual parece comprensible dada la mayor porosidad de esta torta.

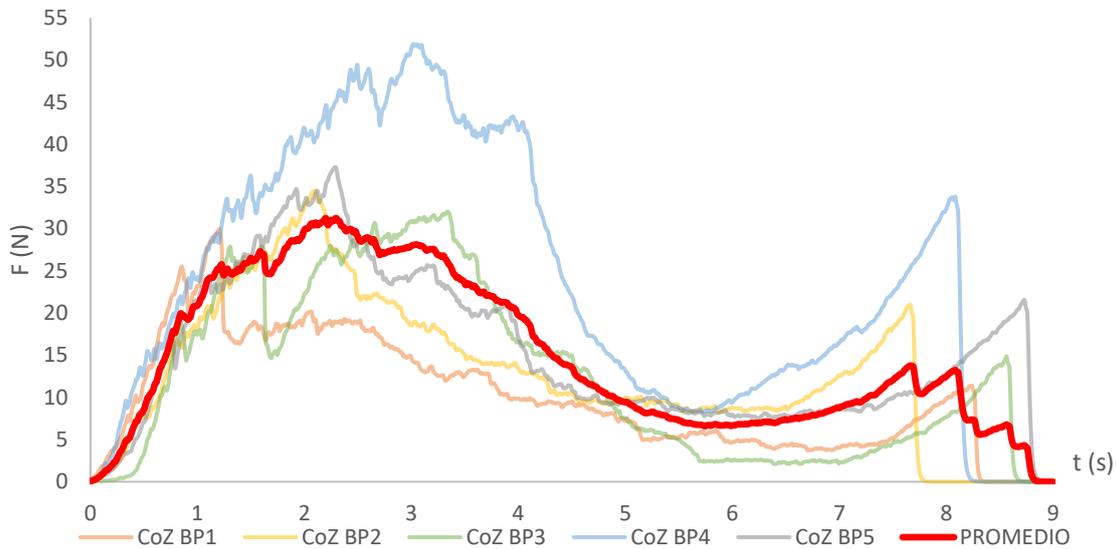


Figura 3. Curvas fuerza (F) vs. tiempo (t) obtenidas del ensayo de textura realizado a las muestras del coproducto del zumo con los biopolímeros añadidos (CoZ BP). Se muestran las curvas de las 5 repeticiones y la curva media.

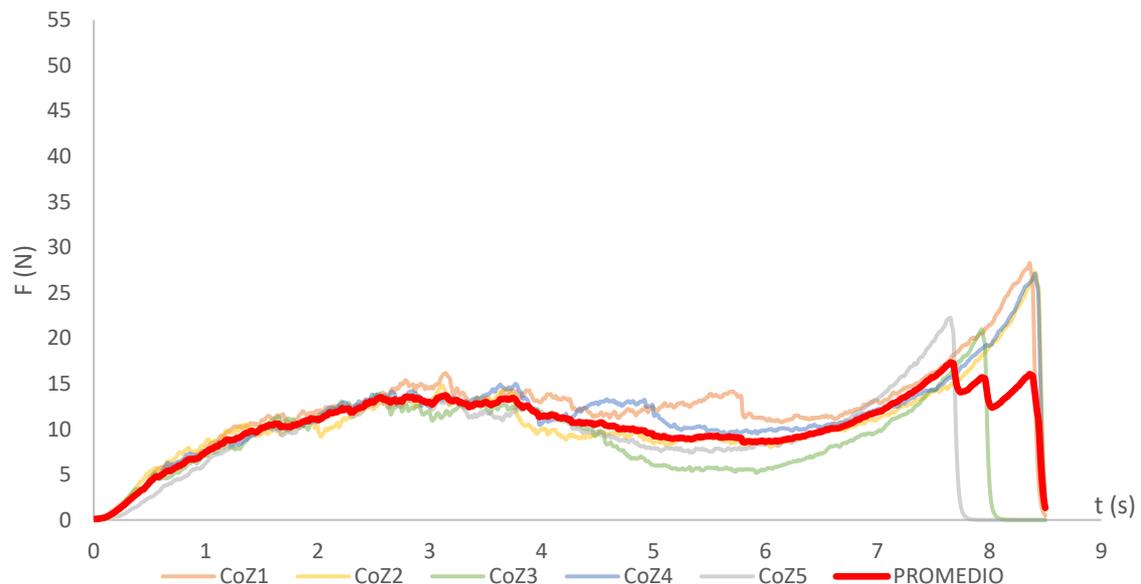


Figura 4. Curvas fuerza (F) vs. tiempo (t) obtenidas del ensayo de textura realizado a las muestras del coproducto del zumo (CoZ). Se muestran las curvas de las 5 repeticiones y la curva media.

Tabla 8. Propiedades del CoZ y CoZ BP en su formato torta.

CoZ		Propiedad	CoZ BP	
*	(0,005) 0,077	ρ_a (g cm ⁻³)	0,132 (0,002)	*
	(7) 101	NP	98 (7)	
*	(3) 25	Fmax (N)	37 (9)	*
*	(0,003) 94,756	ε (%)	90,615 (0,002)	*
	(1,7) 80,0	L*	80,5 (0,5)	
	(1,3) 5,9	a*	5,4 (0,5)	
*	(2) 63	b*	54 (3)	*
*	(2) 63	C	54 (3)	*
	(1,0) 84,7	h	84,3 (0,3)	

*diferencia significativa ($p < 0,05$)

ρ_a : densidad aparente de la torta; NP y Fmax: número de picos y fuerza máxima de fractura medidos por el texturómetro; ε : porosidad; L*, a* y b*: luminosidad y coordenadas cromáticas; h* y C*: tono y croma.

En cuanto a los atributos de color de las tortas, los biopolímeros sólo afectaron a la pureza de las muestras, que fue menor en presencia de éstos. Como era de esperar, ambos productos liofilizados mostraron una tonalidad bastante amarillenta y luminosa. La diferencia de color entre las 2 muestras fue de **8,90** que pese a ser teóricamente diferenciables al ojo humano (BODART ET AL., 2008), su distinción *in situ* es complicada.

4.4 PROPIEDADES DE LOS COPRODUCTOS EN POLVO

La **Tabla 9** muestra las propiedades de los coproductos en polvo estudiadas. Ni la humedad ni la porosidad ni la higroscopicidad mostraron diferencias entre las dos muestras como consecuencia de la presencia de biopolímeros. En el caso de la higroscopicidad, por la forma en la que se ha medido esta propiedad, ésta está más relacionada con la velocidad a la que gana agua la muestra que con la cantidad total de agua que ganaría hasta alcanzar el equilibrio con el ambiente. Por eso en la isoterma se ven diferencias entre las muestras que aquí no se ven: cuando se adicionan los biopolímeros, el coproducto es menos higroscópico a tiempos largos (*días*), aunque a tiempos cortos (*horas*), gana agua a la misma velocidad que sin BP. En este sentido, la estabilidad que proporcionan los biopolímeros es sólo a tiempos largos. Por su parte, la alta porosidad de estas muestras podría estar relacionada con la presencia de una alta cantidad de fibra, que da lugar a partículas de polvo muy irregulares.

Tabla 9. Propiedades medidas al coproducto del zumo de naranja en polvo sin (CoZ) y con biopolímeros añadidos (CoZ BP).

CoZ		Propiedad	CoZ BP	
*	(0,2) 33,3	Ángulo de reposo (º)	40,4 (0,8)	*
	(0,013) 0,213	Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,217 (0,004)	
	(0,013) 83,836	Porosidad (%)	83,458 (0,003)	
	(0,002) 6,458	Higroscopicidad (%)	6,434 (0,002)	
*	(0,02) 0,18	Actividad del agua	0,11 (0,03)	*
*	- 8985	Tiempo de mojado (s)	1459 (61)	*

*diferencia significativa ($p < 0.05$)

Tal y como se muestra en la **tabla 9**, el ángulo de reposo, la actividad del agua y el tiempo de mojado presentaron diferencias significativas por la presencia de biopolímeros en la composición del coproducto del zumo.

Por lo que respecta a la diferencia en el ángulo de reposo, las diferencias observadas podrían deberse a la presencia de partículas menos esféricas y con superficie contraída que genera la GA (LOPERA ET AL., 2009). Además, GA tiene algunos grupos hidrofóbicos en su estructura, proporcionando un carácter emulsionante, que puede fomentar la cohesión entre las partículas y, por lo tanto, disminuir la fluidez. No obstante, atendiendo a la clasificación de la Real Farmacopea Española (RFE, 2015) los valores de ángulo de reposo de ambos coproductos en polvo permiten clasificarlos como más que aceptables desde el punto de vista de su fluidez. Por otra parte, como referencia, el ángulo de reposo de algunas harinas está en el intervalo de 40° – 60° (PENG ET. AL., 2013; BIAN ET. AL., 2015). En cuanto a la mojabilidad, para ambas muestras se observa un tiempo de mojado alto, en relación con la composición del coproducto y su alto contenido en compuestos insolubles en agua. No obstante, la presencia de GA, altamente soluble en agua, disminuye en gran medida el tiempo de mojado.

5 CONCLUSIONES

Como se ha podido ir constatando a lo largo de este trabajo, la adición de goma arábica y fibra de bambú al coproducto del zumo de naranja repercute en algunas de sus propiedades físicas. Por una parte, su presencia disminuye la higroscopicidad del coproducto liofilizado a tiempos largos, mejorando la estabilidad de su estructura. Además, dan lugar a una torta menos porosa, más resistente a la fractura y con un color más puro. Por último, aunque disminuyen de alguna forma la fluidez del producto en polvo, aumentan en gran medida su mojabilidad. Por lo tanto, desde el punto de vista de su industrialización, sería recomendable añadir al coproducto del zumo de naranja que se quiera liofilizar los biopolímeros ensayados.

6 BIBLIOGRAFÍA

- AGUDELO, C., IGUAL, M. M., CAMACHO, M. M., & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2017).** *Effect of process technology on the nutritional, functional, and physical quality of grapefruit powder.* Food Science and Technology International, 23(1), 61–74.
- ALEIXANDRE, J.L. (1997).** *Conservación de alimentos.* Editorial Servicio de Publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 509 pp.
- ALONZO-MACÍAS, M., MONTEJANO-GAITÁN, G., & ALLAF, K. (2014).** *Impact of drying processes on strawberry (Fregraria var. Camarosa) texture: Identification of crispy and crunchy features by instrumental measurement.* Journal of Texture Studies, 45, 246–259.
- ÁLVAREZ, R.M. (2012).** *Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabólica y evaluación de la calidad poscosecha.* Tesis Doctoral en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Universidad de Antioquía. Medellín – Colombia
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; VEGA-MERCADO, H. (2000).** *Deshidratación de alimentos.* Editorial Acribia. Zaragoza. 297 pp.
- BIAN, Q., SITTIPOD, S., GARG, A., KINGSLY AMBROSE, R.P. (2015).** *Bulk flow properties of hard and soft wheat flours.* Journal of Cereal Science, 63, 88-94.
- BODART, M.; DE PEÑARANDA, R; DENEYER, A.; FLAMANT, G. (2008).** *Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools.* Building and Environment. 43, 2046–2058.
- CASANOVA, M.A. (2016).** *Viabilidad económica de producción industrial de fruta en polvo en función del proceso.* Trabajo Fin de Máster en la Escuela técnica Superior de ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia
- CEREZAL, P.; URTUVIA, V.; RAMÍREZ, V.; ARCOS, R. (2011).** *Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; II: Propiedades de las mezclas.* Nutr Hosp. 2011;26(1):161-169.
- CHOI, Y.; OKOS, M.R. (1986).** *Thermal properties of liquid foods.* Review. In: Physical and Chemical properties of food, M.R. Okos (Ed.), American Society of Agricultural Engineers, Michigan, USA, pp. 35-77.
- ESCOBEDO-AVELLANEDA, Z.; GUTIÉRREZ-URIBE, J.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; TORRES, J.A.; WELTI-CHANES, J. (2013).** *Phytochemicals and antioxidant activity of juice, flavedo, albedo and comminuted Orange.* Journal of functional foods, 6, 470 – 481.
- FAOSTAT. (2020).** Visto el 28 de mayo de 2020, en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- FEDNA. (2020).** **PULPA DE CÍTRICOS.** Visto el 2 de julio de 2020, en http://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/pulpa-de-c%C3%ADtricos

- GALINDO, R.G. (2019).** *Estabilidad de la vitamina c y la Hesperidina de los coproductos del zumo y puré de naranja liofilizados.* Trabajo Fin de Máster en la Escuela técnica Superior de ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- GAYDOU, E. M.; BIANCHINI, J. P.; RANDRIAMIHARISOA, R. P. (1986).** *Orange and Mandarin Peel Oils Differentiation Using Polymethoxylated Flavone Composition.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 35, 525-529
- HIGDON J. (2005)** *Flavonoids.* Linus Pauling Institute, Oregon State University. Visto a 13 Octubre de 2020, en <https://lpi.oregonstate.edu/mic/dietary-factors/phytochemicals/flavonoids>
- LATHAM, M. C. (2002).** *Nutrición humana en el mundo en desarrollo.* Visto el 19 de octubre de 2020 en, <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0e.htm#:~:text=Los%20niveles%20recomendados%20de%20consumo,800%20a%201%20000%20mg>.
- LOPERA, S.; GUZMÁN, C.; CATAÑO, C.; GALLARDO, C. (2009).** *Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared.* Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 16 (1): 55 – 65.
- MANTHEY, J., & GROHMANN, K. (1996).** *Concentrations of Hesperidin and Other Orange Peel Flavonoids in Citrus Processing Byproducts.* Journal of Agricultural and Food Chemistry., 44, 811-814.
- MARTÍNEZ JÁVEGA, J.M. (2012).** *Estado actual de las aplicaciones de frío en la postcosecha de cítricos.* Departamento de postcosecha, IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias). Visto el 26 de mayo de 2020 en <https://studylib.es/doc/7523316/estado-actual-de-las-aplicaciones-del-frio-en-la-postcose...>
- MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CAMACHO, M.M.; MARTÍNEZ-LAHUERTA J.J. (2008).** *Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud.* Actividad dietética, 2: 64-68.
- MEDLINEPLUS ENCICLOPEDIA MÉDICA. (2020).** Visto el 3 Julio de 2020, en <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002399.htm#:~:text=Las%20cuatro%20vitaminas%20liposolubles%20son,est%C3%A1n%20almacenadas%20en%20el%20cuerpo>
- MOSQUERA, L., MORAGA, G., & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2010).** *Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (Borojoa patinoi Cuatrec.) powder.* Journal of Food Engineering 97(1), 72-78.
- PENG, Z., LI J., GUAN Y, ZHAO G. (2013).** *Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours.* LWT - Food Science and Technology, 51, 348-355.
- PEÑALVER, B. (2018).** *Influencia del contenido en agua del puré de naranja en las propiedades del polvo obtenido por liofilización.* Trabajo fin de grado en la Escuela técnica Superior de ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural. Universitat politècnica de València. València.

- RAJADEL, C. (2018).** *Valoración del impacto de diferentes biopolímeros estabilizantes en las propiedades de la naranja en polvo.* Trabajo fin de grado en la Escuela técnica Superior de ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural. Universitat politècnica de València. València.
- RFE (2015).** *Flujo de Polvo.* En: Real Farmacopea Española, 5ª ed, Ministerio de Sanidad y Consumo. Aprobada por la Orden SSI/23/2015, de 15 de enero (BOE de 21 de enero de 2015).
- SILVA-ESPINOZA, M., CAMACHO, M., & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2020).** *Use of different biopolymers as carriers for purposes of obtaining a freeze-dried orange snack.* LWT- Food Science and Technology 127:109415.
- TAVARINI, S.; DEGL'INNOCENTI, E.; REMORINI, D.; MASSAI, R.; GUIDI, L. (2007).** *Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit.* Food Chemistry, 107 (1): 282-288
- TELIS, N.V.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2012)** *Biopolymers used as drying aids in spray drying and freeze drying of fruit juices and pulp.* En: Biopolymer Engineering in Food Processing; CRC Press.,Eds.; Taylor & Francis Group.: Boca Raton. 279-326.
- USDA (2020).** Orange peel, raw. Visto el 19 de octubre de 2020, en <https://ndb.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169103/nutrients>
- VICENTE, A.R.; MANGANARIS, G.A.; SOZZI, G.O.; CRISOSTO, C.H. (2009).** *Nutritional Quality of Fruits and Vegetables*, 2: 58-59, 61