

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL**



## **Valoración del impacto de diferentes biopolímeros estabilizantes en las propiedades de la naranja en polvo**

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA  
Y DEL MEDIO RURAL**

ALUMNA: CLARA RAJADEL LAMBISTOS

TUTORA: NURIA MARTÍNEZ NAVARRETE

COTUTORA: M<sup>a</sup> DEL MAR CAMACHO VIDAL

DIRECTORA EXPERIMENTAL: MARILÚ ANDREA SILVA  
ESPINOZA

**VALENCIA, 2018**

## VALORACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES BIOPOLÍMEROS ESTABILIZANTES EN LAS PROPIEDADES DE LA NARANJA EN POLVO

### RESUMEN:

Las frutas son componentes esenciales de una dieta saludable, pudiendo contribuir a la prevención de diferentes enfermedades. Esta protección se asocia a su alto contenido en compuestos bioactivos que contribuyen, entre otras acciones, a su capacidad antioxidante. No obstante, las frutas frescas tienen una corta vida útil asociada a su alto contenido en agua. La liofilización es un método de deshidratación con el que se consiguen productos estables de muy alta calidad. Una de sus ventajas es que no aplica altas temperaturas, lo que lo hace especialmente adecuado para el procesado de productos con compuestos termolábiles como lo son los bioactivos de las frutas. Sin embargo, la fruta deshidratada presenta un problema de estabilidad física asociado a la transición vítrea de su matriz amorfa. Una técnica habitual para prevenir el paso de vítreo a gomoso es la incorporación de biopolímeros que contribuyan al aumento de su temperatura de transición vítrea. No obstante, estos biopolímeros pueden afectar a la calidad del producto deshidratado y condicionar su uso para aplicaciones concretas. En este trabajo se ha estudiado el impacto de la goma arábica, fibra de bambú, maltodextrina, fibra de guisante, almidón sustituido con grupos octenilsuccínico y almidón de maíz nativo añadidos a un puré de naranja, en distintas propiedades de la fruta en polvo obtenida por liofilización. En concreto se ha caracterizado la distribución de tamaño de partícula, el color, la flotabilidad del polvo (ángulo de reposo, porosidad, índices de Carr y de Hausner, compresibilidad) y el comportamiento frente a la rehidratación (mojabilidad y propiedades reológicas del zumo). Los resultados de este estudio permiten recomendar la maltodextrina si lo que se quiere es conseguir un polvo de naranja suelto, con buen comportamiento al flujo en aire. No obstante, si lo que se pretende es rehidratar el polvo para su consumo a modo de zumo, es más adecuado el uso de goma arábica.

**Palabras clave:** goma arábica, fibra de bambú, maltodextrina, fibra de guisante, almidón sustituido con grupos octenilsuccínico, almidón de maíz nativo, tamaño de partícula, color, ángulo de reposo, densidad aparente, mojabilidad, viscosidad.

Alumna: Clara Rajadel Lambistos

Tutora académica: Nuria Martínez Navarrete

Cotutora: M<sup>a</sup> del Mar Camacho Vidal

Directora experimental: Marilú Andrea Silva Espinoza

Valencia, Julio 2018

## **ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DIFFERENT STABILIZING BIOPOLYMERS ON SOME PROPERTIES OF THE ORANGE POWDER**

### **ABSTRACT:**

Fruits are essential components of a healthy diet contributing to different diseases prevention. This protection is associated with their high content in bioactive compounds that contribute, among other actions, to its antioxidant capacity. However, fresh fruits have a short shelf life associated to their high water content. Freeze drying is a dehydration method with which stable and high-quality products are obtained. One of its advantages is that it does not apply high temperatures, which makes it especially suitable for the processing of products with thermolabile compounds such as fruit bioactives. However, dehydrated fruit presents a physical stability problem associated with the glass transition of its amorphous matrix. A common technique to prevent the rubbery state is the incorporation of biopolymers that contribute to increasing the glass transition temperature. However, these biopolymers may affect the quality of the dehydrated product and that could prejudice its use for specific applications. This work studies the impact of gum Arabic, bamboo fiber, maltodextrin, pea fiber, starch substituted with octenyl succinic groups and native corn starch added to an orange puree, in different properties of the freeze dried fruit powder. Specifically, the particle size distribution, the color, the powder flowability (angle of repose, porosity, Carr and Hausner indexes, compressibility) and the behavior towards rehydration (wettability and rheological properties of the juice) have been characterized. According to the results of this study, if to get an orange powder with a good flowability is desired, the use of maltodextrine may be recommended. However, if what you want is to rehydrate the powder to consume it as a juice, the use of gum Arabic is more suitable.

**Key words:** gum Arabic, bamboo fiber, maltodextrin, pea fiber, starch substituted with octenylsuccinic groups, native corn starch, particle size, color, angle of repose, bulk density, wettability, viscosity.

Pupil: Clara Rajadel Lambistos

Academic supervisor: Nuria Martínez Navarrete

Academic co-supervisor: M<sup>a</sup> del Mar Camacho Vidal

Experimental director: Marilú Andrea Silva Espinoza

**Valencia, July 2018**

## VALORACIÓ DE L'IMPACTE DE DIFERENTS BIOPOLÍMERS ESTABILIZANTS EN LES PROPIETATS DE LA TARONJA EN POLS

### RESUM:

Les fruites són components essencials d'una dieta saludable, que poden contribuir a la prevenció de diferents malalties. Aquesta protecció s'associa al seu alt contingut en compostos bioactius que contribueixen, entre altres accions, a la seua capacitat antioxidant. No obstant això, les fruites fresques tenen una curta vida útil associada al seu alt contingut en aigua. La liofilització és un mètode de deshidratació amb el que s'aconsegueixen productes estables de molt alta qualitat. Un dels seus avantatges és que no aplica altes temperatures, la qual cosa ho fa especialment adequat per al processament de productes amb compostos termolàbils com ho són els bioactius de les fruites. No obstant això, la fruita deshidratada presenta un problema d'estabilitat física associat a la transició vítria de la seua matriu amorfa. Una tècnica habitual per a prevenir el pas de vitri a gomós és la incorporació de biopolímers que contribuïsquen a l'augment de la seua temperatura de transició vítria. No obstant això, aquests biopolímers poden afectar en la qualitat del producte deshidratat i condicionar el seu ús per a aplicacions concretes. En aquest treball s'ha estudiat l'impacte de la goma aràbiga, fibra de bambú, maltodextrina, fibra de pésol, midó substituït amb grups octenilsuccínico i midó de dacsa nativa afegits a un puré de taronja, en diferents propietats de la fruita en pols obtinguda per liofilització. En concret s'ha caracteritzat la distribució de grandària de partícula, el color, la flotabilitat de la pols (angle de repòs, porositat, índexs de Ctra i d'Hausner, compressibilitat) i el comportament enfront de la rehidratació (mullabilitat i propietats reològiques del suc). Els resultats d'aquest estudi permeten recomanar la maltodextrina si el que es vol és aconseguir una pols de taronja solt, amb bon comportament al flux en aire. No obstant això, si el que es pretén és rehidratar la pols per al seu consum a manera de suc, és més adequat l'ús de goma aràbiga

**Paraules clau:** goma aràbiga, fibra de bambú, maltodextrina, fibra de pésol, midó substituït amb grups octenilsuccínico, midó de dacsa nativa, grandària de partícula, color, angle de repòs, densitat aparent, mullabilitat, viscositat

Alumna: Clara Rajadel Lambistos

Tutora acadèmica: Nuria Martínez Navarrete

Cotutora: M<sup>a</sup> del Mar Camacho Vidal

Directora experimental: Marilú Andrea Silva Espinoza

València, Juliol 2018

Agradecimientos al Departamento de Tecnología de Alimentos de la UPV, especialmente a Nuria Martínez, a M<sup>a</sup> del Mar Camacho y a Andrea Silva por haberme dirigido y cedido un hueco en su investigación.

# ÍNDICE:

<b>1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.</b>	<b>Interés del consumo de frutas. La naranja.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2.</b>	<b>Liofilización.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.</b>	<b>Materiales .....</b>	<b>7</b>
3.1.1.	Naranjas .....	7
3.1.2.	Biopolímeros .....	7
3.1.3.	Zumos Comerciales .....	7
<b>3.2.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>7</b>
3.2.1.	Formulación y caracterización del puré de naranja .....	7
3.2.1.1.	Formulación .....	7
3.2.1.2.	Caracterización .....	8
3.2.1.2.1.	Contenido en agua .....	8
3.2.1.2.2.	Sólidos solubles .....	8
3.2.2.	Obtención y caracterización del producto en polvo .....	8
3.2.2.1.	Liofilización .....	8
3.2.2.2.	Triturado y tamizado.....	8
3.2.2.3.	Distribución de tamaño de partícula .....	9
3.2.2.4.	Ángulo de reposo.....	9
3.2.2.5.	Densidad e índices relacionados.....	10
3.2.2.6.	Compresibilidad .....	11
3.2.2.7.	Mojabilidad .....	11
3.2.2.8.	Color.....	11
3.2.3.	Obtención y caracterización del producto rehidratado .....	12
3.2.3.1.	Rehidratación.....	12
3.2.3.2.	Sólidos solubles.....	12
3.2.3.3.	Caracterización reológica.....	12
3.2.3.4.	Color.....	13
3.2.4.	Análisis estadístico .....	13
<b>4.</b>	<b>Resultados y discusión de los resultados .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.</b>	<b>Caracterización del polvo .....</b>	<b>14</b>
4.1.1.	Distribución de tamaño de partícula.....	14
4.1.2.	Ángulo de reposo .....	16
4.1.3.	Mojabilidad .....	16
4.1.4.	Porosidad .....	17
4.1.5.	Índice de Hausner y de Carr .....	18
4.1.6.	Compresibilidad .....	19
4.1.7.	Color.....	21
<b>4.2.</b>	<b>Correlación entre las propiedades del polvo .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3.</b>	<b>Caracterización de los productos rehidratados.....</b>	<b>22</b>
4.3.1.	Comportamiento reológico.....	22
4.3.2.	Color.....	24
<b>5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>26</b>
<b>6.</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>27</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> - Composición media de la naranja (valores expresados en (g/100g)). Fuente: (Guardiola, 1998). .....	2
<b>Tabla 2</b> - Número de compuestos solubles identificados en el zumo de naranja. Fuente: (Guardiola, 1998). .....	2
<b>Tabla 3</b> - Temperaturas y tiempos de conservación de las naranjas. Fuente: IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) (Martínez, 2012). .....	3
<b>Tabla 4</b> – Formulaciones de puré de naranja estudiadas.....	8
<b>Tabla 5</b> - Valores medios (y desviación estándar) de las coordenadas de color. Diferencia global de color ( $\Delta E^*$ ) de cada producto en polvo con respecto a OSA + AMN. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico... 21	21
<b>Tabla 6</b> - Coeficientes de correlación de Pearson entre diferentes propiedades que caracterizan el polvo .....	21
<b>Tabla 7</b> - Cantidad de polvo y agua mezclados para obtener 30 g de producto rehidratado. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico. ....	22
<b>Tabla 8</b> - Valores medios (y desviación estándar) del índice de comportamiento al flujo ( $n$ ), índice de consistencia ( $k$ , Pas <sup>n</sup> ) y viscosidad aparente ( $\eta$ , Pas) para los productos rehidratados de cada formulación y los zumos comerciales. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico, ZCP: zumo comercial con pulpa, ZSP: zumo comercial sin pulpa. ....	23
<b>Tabla 9</b> - Valores medios (y desviación estándar) de las coordenadas de color. Diferencia global de color ( $\Delta E^*$ ) de cada producto rehidratado y de los zumos comerciales con respecto al rehidratado GA+FB. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico. ZCP y ZSP: zumo comercial con y sin pulpa medidos sobre fondo blanco (FB) o negro (FN).....	25

## Índice de figuras:

<b>Figura 1</b> - Periodos de recolección de las naranjas. Fuente: IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) (Pardo et al., 2016). .....	3
<b>Figura 2</b> - Transferencia de calor y masa dentro del producto durante el secado por congelación (Ratti, 2013). .....	4
<b>Figura 3</b> - Esquema de tamizado para la caracterización de las muestras. Los mm indican la luz de malla de los distintos tamices utilizados.....	9
<b>Figura 4</b> - Distribución de tamaño partícula según el peso de muestra retenido en cada tamiz (frecuencia relativa, %). GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.....	14
<b>Figura 5</b> - Distribución de tamaño partícula acumulado según el peso de muestra retenido en cada tamiz (frecuencia relativa acumulada, %). GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.....	15
<b>Figura 6</b> - Tamaño medio de partícula (mm) e intervalos Fisher LSD (95%) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.....	15
<b>Figura 7</b> - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) del ángulo de reposo (°) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.....	16
<b>Figura 8</b> - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) del tiempo de mojado (s) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.....	17
<b>Figura 9</b> - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) de la porosidad (%) frente a cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.....	17
<b>Figura 10</b> - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) de los índices de Hausner y Carr frente a cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.....	18
<b>Figura 11</b> – Ejemplo de curva fuerza – distancia correspondiente al ensayo de compresión del polvo obtenido a partir de la formulación con maltodextrina y fibra de guisante. El punto se corresponde con el valor límite de esfuerzo ( $\sigma = 9,807 \cdot 10^4$ Pa,) utilizado para el cálculo de la compresibilidad (Peleg, 1977).....	19



**Figura 12** - Relación entre la variación de volumen del polvo obtenido a partir de la formulación con maltodextrina y fibra de guisante y el esfuerzo aplicado durante el ensayo de compresión. .... 20

**Figura 13** - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) de la compresibilidad frente a las formulaciones. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico. .... 20

**Figura 14** - Curvas de flujo esfuerzo cortante ( $\sigma$ ) vs. gradiente de velocidad ( $\gamma$ ). GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico, ZCP: zumo comercial con pulpa, ZSP: zumo comercial sin pulpa. .... 23

# **1. Introducción**

## **1.1. Interés del consumo de frutas. La naranja.**

Las frutas y las verduras son una fuente rica de vitaminas y minerales, fibra alimentaria y todo un cúmulo de sustancias no nutrientes beneficiosas, como fitoesteroles, flavonoides y otros compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, entre otras (Martínez-Navarrete et al., 2008). Estos antioxidantes parece que son capaces de prevenir una amplia gama de patologías, como cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedades degenerativas conectadas a los procesos de envejecimiento (Tavarini et al., 2007). El consumo variado de frutas y verduras ayuda a asegurar una ingesta adecuada de muchos de esos nutrientes esenciales (OMS, 2018). Respecto a su composición, las frutas son alimentos de elevado contenido hídrico (80-90%), prácticamente nulo en grasas y bajo en proteínas. En cuanto a los hidratos de carbono, suelen contener una mayor proporción de azúcares sencillos (fructosa y sacarosa), por lo que su sabor suele ser dulce, no siendo, en cambio, demasiado elevado su valor energético (40 – 60 kcal/100 g). Son una excelente fuente de vitaminas A (carotenos) y C, siendo de esta última prácticamente la mejor fuente alimentaria, al consumirse estos alimentos habitualmente crudos, por lo que no hay pérdidas ostensibles de esta vitamina termolábil. Son también buenas fuentes de calcio, hierro, fósforo, magnesio y cobre y, por supuesto, de fibra (Moreno, 2000). Estas vitaminas, minerales y fibra que contienen las frutas y hortalizas cumplen toda una serie de funciones en el organismo esenciales para su correcto funcionamiento. Además, se han realizado estudios que indican que el aumento en la ingesta de frutas y verduras puede contribuir a un menor riesgo de obesidad y aumento de peso importante (He, 2004).

Los estudios epidemiológicos señalan que el consumo regular de frutas y verduras imparte beneficios para la salud y las instituciones recomiendan un mínimo diario de ingesta de frutas y verduras debido a sus propiedades (Tomás-Barberán et al., 2001). Según la OMS y la FAO se debe ingerir un mínimo de 400 g diarios de frutas y verduras para prevenir enfermedades crónicas y mitigar varias carencias de micronutrientes. Sin embargo, según la ENIDE (Encuesta Nacional de Ingesta Dietética Española), la ingesta media de frutas y verduras en los españoles fue de 281 g en el año 2011. La población no consume fruta y hortalizas por distintas razones: el coste, la conveniencia y el sabor, entre otras (FAO, 2003).

Los cítricos son frutos cuyo origen se remonta, al menos, al año 2200 a.C. Se piensa que la naranja es originaria de China (Kimball, 2002). La naranja es un cítrico perteneciente a la familia de las rutáceas. El fruto de los cítricos es una baya típica llamada hesperidio. En él se pueden describir las siguientes partes: exocarpo, mesocarpo y endocarpo. El exocarpo y mesocarpo constituyen la corteza del fruto propiamente dicha. Dentro de los lóculos del endocarpo se encuentran las semillas (Agustí et al., 2003). España es el primer productor de naranja en Europa, como, asimismo, el primer exportador a la Comunidad Europea, con sus zonas de Castellón, Valencia, Alicante, Murcia, Almería, Málaga y Huelva. En cuanto a la producción mundial es el quinto país que más produce después de Brasil, Estados Unidos de América, Méjico y China (Palacios, 2005).

En el año 2015 la producción mundial de naranjas frescas fue 68,6 millones de toneladas, mientras que en España fueron 3,1 millones de toneladas. Las exportaciones desde la Unión Europea al resto del mundo sumaron un total de 6,8 millones de toneladas; desde España 1,6 millones de toneladas, siendo el país que más naranjas en fresco exporta a nivel global (FAO, 2017). Estos datos son una muestra de la

importancia que tiene el comercio de la naranja a nivel mundial, especialmente en España.

La naranja comúnmente conocida como naranja dulce pertenece a la especie *Citrus sinensis* (L.). Las naranjas dulces se destinan frecuentemente al consumo en fresco, pero en los Estados Unidos y Brasil se utilizan principalmente para productos en zumo (Kimball, 2002). En este estudio se ha trabajado con el grupo varietal naranja dulce, concretamente con la variedad Valencia Late, procedente de Sudáfrica. Esta variedad se caracteriza por tener un sabor bueno y ácido y ser poco amarga. En general de la parte comestible de la naranja, el 85% es agua y el resto son mayormente azúcares, además de otras sustancias solubles y no solubles (Tablas 1 y 2). De estas sustancias destacan los compuestos volátiles por su contribución al aroma y al sabor tan característico de las frutas (Guardiola, 1998).

**Tabla 1** - Composición media de la naranja (valores expresados en (g/100g)). Fuente: (Guardiola, 1998).

<b>Constituyente</b>	<b>Piel</b>	<b>Segmentos</b>	<b>Zumo</b>
Agua	72,5	85,2	87,1
Azúcares			
. . Reductores	5,6	4,7	5,0
.. . Sacarosa	2,0	4,4	4,7
. .. Totales	7,6	9,1	9,7
Ácidos	0,29	0,75	1,02
Sustancias nitrogenadas	1,5	1,1	1,0
Lípidos	0,28	0,30	0,29
Cenizas	0,78	0,48	0,34
Sólidos disueltos totales	15,7	13,1	12,6

**Tabla 2** - Número de compuestos solubles identificados en el zumo de naranja. Fuente: (Guardiola, 1998).

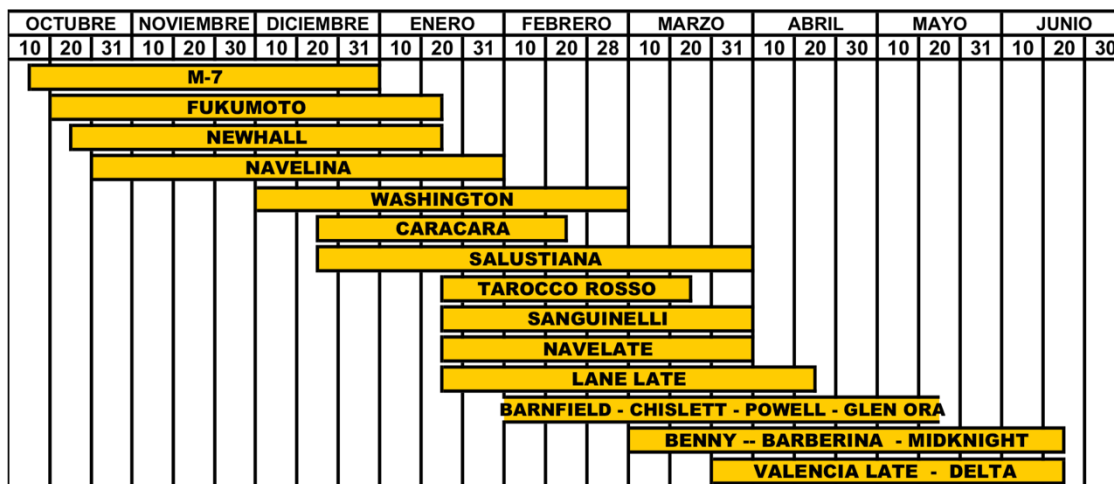
<b>Constituyente</b>	<b>Nº de compuestos</b>	<b>% sobre sólidos disueltos totales</b>
Carbohidratos	10	76.00
Ácidos orgánicos	13	9.60
Aminoácidos libres	19	5.40
Bases nitrogenadas	6	0.40
Iones inorgánicos	67	3.20
Vitaminas	14	2.50
Flavonoides	24	0.81
Volátiles	192	0.38
Carotenoides	21	0.01
Enzimas	49	-
Lípidos	26	1.20

La vida útil de las naranjas en refrigeración oscila entre 1 a 3,5 meses (Tabla 3). Durante este breve periodo de tiempo, en caso de exportar el producto, la naranja ha de ser almacenada, acondicionada, transportada al país destino, comercializada y finalmente consumida por el usuario. Las frutas presentan una serie de problemas tras su recolección derivados de la falta de aporte hídrico y de nutrientes desde la planta, quedando así a expensas de su propio metabolismo. Esto da lugar a una pérdida gradual de calidad de la fruta en sus características organolépticas de textura, sabor y aroma a medida que avanza su estado de senescencia, determinando finalmente la muerte fisiológica (Álvarez, 2012).

**Tabla 3** - Temperaturas y tiempos de conservación de las naranjas.  
Fuente: IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) (Martínez, 2012).

Naranjas	Temperatura (°C)	Tiempo (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

Dependiendo de la situación geográfica la fenología de los cítricos varía de unos países a otros. Esto implica que en las épocas en las que algunos países no tienen recolección, y por lo tanto no tienen producción, se importa el producto. Las importaciones conllevan un transporte, vía terrestre o marítima, en el que el tipo de almacenamiento de la materia es decisivo para determinar la calidad del producto cuando llega al consumidor. En la Figura 1 se representan los periodos de recolección de naranja en España en función de la variedad utilizada, se observa que la producción queda cubierta desde octubre a junio. Durante este amplio periodo de tiempo España no solo produce, sino que también exporta a otros países.



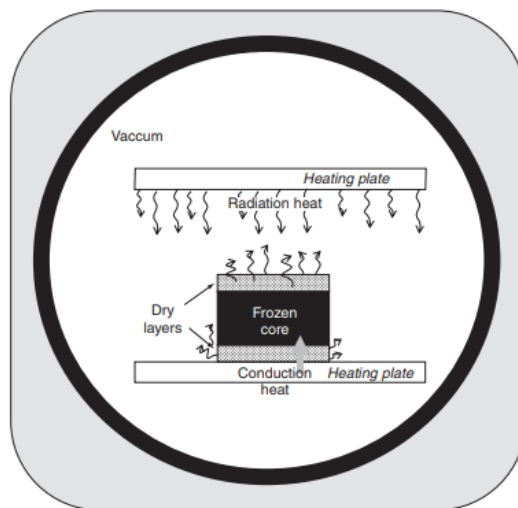
**Figura 1** - Periodos de recolección de las naranjas. Fuente: IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) (Pardo et al., 2016).

## 1.2. Liofilización

Como resultado del ciclo fenológico de la naranja, la situación geográfica entre los países exportadores e importadores, la necesidad de un almacenamiento propicio del producto y la vida útil del mismo, se requiere el estudio de los posibles sistemas de transformación y conservación de esta fruta.

Existen numerosos métodos de conservación de alimentos: fermentaciones, tratamientos térmicos (mediante frío o calor), irradiación, depresión de la actividad del agua y empleo de aditivos son algunos de ellos. La deshidratación es un procedimiento que permite eliminar la mayor parte del agua de un alimento líquido o sólido. En los alimentos deshidratados, debido a su baja actividad del agua, los microorganismos no pueden proliferar, quedando además detenidas la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas de la alteración (Aleixandre, 1997).

La liofilización es una técnica que consiste en una transformación directa del hielo de un alimento congelado en vapor de agua (sublimación), sin pasar por el estado de agua líquida (Aleixandre, 1997) (Figura 2). El proceso de liofilización consta de dos etapas: congelación y secado. La etapa de secado se realiza a presiones y temperaturas bajas para permitir la sublimación del hielo (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000). Como la liofilización opera a bajas temperaturas y bajo vacío, se minimizan las reacciones de oxidación y la degradación de compuestos termolábiles, muchos de ellos responsables de los aromas y valor nutritivo de las frutas (Ratti, 2013). Asimismo, los productos liofilizados pueden volver a su forma y estructura original por adición de agua (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000). Sin embargo, una de las mayores desventajas de la liofilización es su larga duración y los costes energéticos.



**Figura 2** - Transferencia de calor y masa dentro del producto durante el secado por congelación (Ratti, 2013).

La fruta liofilizada podría ser una forma diferente de ofrecer fruta al consumidor. Un estudio reciente ha puesto de manifiesto que la fruta en polvo liofilizada resulta más rentable que la obtenida por un proceso clásicamente más económico y que rinde productos de calidad parecida, como la atomización (Casanova, 2016). En cualquier caso, la fruta en polvo sería un producto de alto valor añadido, que podría tener un público diana entre aquellas personas que, directa o indirectamente, son exigentes en el valor nutritivo y en la comodidad de uso de los alimentos, como puedan ser los deportistas, los niños o las personas mayores. El producto en polvo podría consumirse

como tal o previa rehidratación a modo de zumo. En este sentido, el producto en polvo debe presentar unas características acordes al formato. Así, su comportamiento al flujo tanto en aire como en agua, su compresibilidad, su comportamiento frente a la rehidratación o su color, entre otras, son propiedades a estudiar.

Los productos liofilizados por su baja actividad del agua, son muy estables desde el punto de vista microbiológico. Sin embargo, en el caso de las frutas, presentan problemas de estabilidad física asociados al desarrollo de fenómenos de pegajosidad (Telis y Martínez-Navarrete, 2012). Según estos autores, esto se debe a su alto contenido en azúcares y ácidos orgánicos, que hace que su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) sea muy baja, de manera que frecuentemente se encuentran en estado gomoso a temperatura ambiente. Una técnica habitual para aumentar la  $T_g$  de estos productos y aumentar su estabilidad física es añadir biopolímeros de alto peso molecular, como gomas, almidones, maltodextrinas, etc. En concreto, en este trabajo se han utilizado goma arábica, fibra de bambú, maltodextrina 19 DE, almidón de maíz nativo, fibra de guisante y almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

Debido a la creciente cantidad y variedad de productos en polvo producidos en la industria, hay una necesidad de información sobre sus características de manejo y procesamiento, especialmente para polvos alimenticios, debido a su complejidad. La medida de las propiedades físicas de los polvos es importante porque ayudan a caracterizarlo y definen su comportamiento durante el almacenamiento, manejo y procesamiento (Teunou et al., 1998). En este trabajo se ha caracterizado el comportamiento al flujo en aire del polvo, analizando su ángulo de reposo, porosidad, índices de Hausner y Carr y compresibilidad, y también su mojabilidad y color. Además, se obtuvo el producto rehidratado a partir del polvo y se caracterizaron sus parámetros reológicos, sólidos solubles y color.

## **2. Objetivos**

La presente investigación tiene por objeto evaluar el impacto de distintos biopolímeros añadidos al puré de naranja en las características del producto en polvo obtenido por liofilización y en su comportamiento frente a la rehidratación. En concreto, como biopolímeros, se ha trabajado con goma arábica, fibra de bambú, maltodextrina, fibra de guisante, almidón sustituido con grupos octenilsuccínico y almidón de maíz nativo. Los productos en polvo se han caracterizado en cuanto a su distribución de tamaño de partícula, color, ángulo de reposo, porosidad, índices de Carr y de Hausner y compresibilidad. El comportamiento frente a la rehidratación se ha estudiado a partir de la mojabilidad y las propiedades reológicas del zumo.

## **3. Materiales y métodos**

### **3.1. Materiales**

#### **3.1.1. Naranjas**

La materia prima que se utilizó en este estudio fueron naranjas *Citrus sinensis* de la variedad Delta Seedless, adquiridas en una frutería de Valencia. La elección de las naranjas se realizó mediante inspección visual en base a su forma, tamaño, color y buena integridad física.

#### **3.1.2. Biopolímeros**

Los biopolímeros utilizados como aditivos para la obtención del polvo liofilizado de naranja fueron goma arábica (GA, Scharlab, Sentmenat, España), fibra de bambú (FB, VITACEL<sup>®</sup>, Rosenberg, Alemania), maltodextrina 19 DE (MD, GLUCIDEX IT 19, Roquette, Lestrem, Francia), fibra de guisante (FG, PEA FIBER I50M, Roquette, Lestrem, Francia), almidón sustituido con grupos octenilsuccínico (OSA, CLEARGUM CO 01, Roquette, Lestrem, Francia) y almidón de maíz nativo (AMN, Roquette, Lestrem, Francia).

#### **3.1.3. Zumos Comerciales**

Se trabajó con dos zumos de naranja comerciales, uno con y otro sin pulpa añadida, que llamaremos ZCP y ZSP. La información composicional de cada uno de ellos, según sus etiquetas, es la siguiente: ZCP: Zumo de naranja, pulpa y vitamina C y ZSP: Zumo de naranja. Los zumos se obtuvieron en una cadena de supermercados.

## **3.2. Metodología**

### **3.2.1. Formulación y caracterización del puré de naranja**

#### **3.2.1.1. Formulación**

Se partió de las naranjas que fueron peladas hasta obtener la pulpa sin piel, semillas ni albedo. A continuación, la pulpa se trituró en un robot de cocina (Thermomix TM 21, Vorwerk, España), durante 40 segundos a velocidad 4 y seguidamente otros 40 segundos a velocidad 9. El puré obtenido se mezcló, durante 5 minutos a velocidad 2 también en el robot de cocina, con los biopolímeros en las cantidades mostradas en la Tabla 4, según la formulación correspondiente, hasta obtener un producto homogéneo. Se prepararon cinco formulaciones distintas y finalmente se colocaron en bandejas de aluminio con un espesor de 0,5 cm.



**Tabla 4** – Formulaciones de puré de naranja estudiadas.

<b>Formulación</b>	<b>5 g / 100 g puré naranja</b>	<b>1 g / 100g puré de naranja</b>
<b>GA+FB</b>	Goma arábica	Fibra de bambú
<b>MD+FG</b>	Maltodextrina	Fibra de guisante
<b>MD+AMN</b>	Maltodextrina	Almidón de maíz nativo
<b>OSA+FG</b>	Almidón sustituido con grupos octenilsuccínico	Fibra de guisante
<b>OSA+AMN</b>	Almidón sustituido con grupos octenilsuccínico	Almidón de maíz nativo

### 3.2.1.2. Caracterización

#### 3.2.1.2.1. Contenido en agua

Al puré de naranja utilizado y a cada una de las formulaciones preparadas se les midió el contenido en agua, mediante secado en estufa de vacío (P Selecta<sup>®</sup>, Vacioterm-T, J.P. Selecta S.A., España) a una temperatura de  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  y una presión menor de 100 mmHg. Para el cálculo de la humedad se determinaron los pesos de la muestra antes y después del secado, siendo su diferencia la cantidad de agua presente en la muestra antes del secado. Para la determinación de los pesos se utilizó la balanza de precisión (XS204 DeltaRange<sup>®</sup>, Mettler Toledo, Suiza).

#### 3.2.1.2.2. Sólidos solubles

Los sólidos solubles del puré de naranja se determinaron a partir de los °Brix (gramos de sólidos solubles por 100 g de fracción líquida) por refractometría utilizando un refractómetro (Refracto 30PX, PortableLabTM, Mettler Toledo, Suiza),

## 3.2.2. Obtención y caracterización del producto en polvo

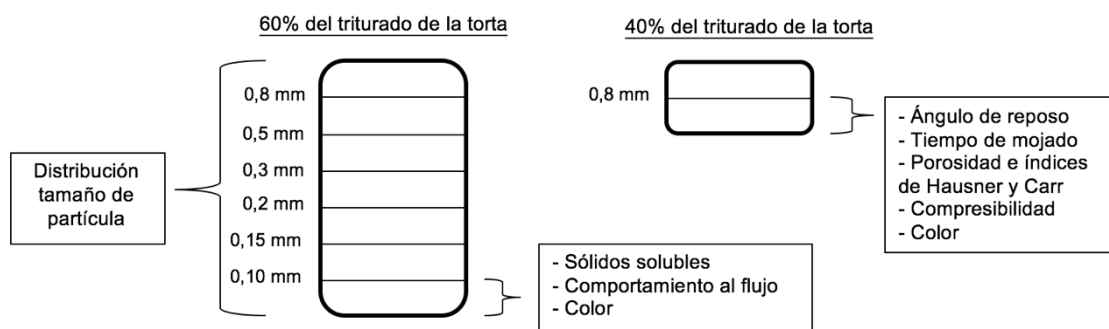
### 3.2.2.1. Liofilización

Las bandejas con las formulaciones se introdujeron en un congelador a  $-45^\circ\text{C}$  (Liebherr LGT 2325, Alemania) durante un mínimo de 48 h. Una vez congeladas las muestras, se procedió a introducir las bandejas en el liofilizador (Telstar Lioalfa-6, España). Las muestras permanecieron en el mismo durante 24 horas bajo las siguientes condiciones: 0,09 mbar de presión,  $40^\circ\text{C}$  de temperatura de bandeja y  $-45^\circ\text{C}$  en el condensador. A todas las tortas obtenidas, previamente trituradas como se describe a continuación, se les determinó la humedad siguiendo el mismo procedimiento que el detallado en el apartado 3.2.1.2.1.

### 3.2.2.2. Triturado y tamizado

Las tortas liofilizadas se trituraron en el robot de cocina (Thermomix TM 21, Vorwerk, España), durante 20 segundos a velocidad 5 para obtener el polvo. Para el tamizado del polvo se utilizaron tamices CISA 200/50 (Barcelona, España), con los correspondientes tapa y fondo, y un tambor vibratorio (AMP0.40 CISA, Barcelona,

España). El tamizado y caracterización del producto en polvo se hizo siguiendo el esquema mostrado en la Figura 3. El 40% de polvo obtenido tras la trituración se hizo pasar por un tamiz de 0,8 mm de luz de malla; el polvo con tamaño < 0,8 mm se pesó y se caracterizó en todas las propiedades relacionadas con su comportamiento al flujo (apartados 3.2.2.4 - 3.2.2.6), mojabilidad (apartado 3.2.2.7) y color (apartado 3.2.2.8). El polvo restante se destinó a la determinación de la distribución de su tamaño de partícula (apartado 3.2.2.3). Además, el polvo con tamaño de partícula < 0,10 mm, retenido en el fondo, se reservó para la rehidratación y caracterización del producto rehidratado (apartado 3.2.3).



**Figura 3** - Esquema de tamizado para la caracterización de las muestras. Los mm indican la luz de malla de los distintos tamices utilizados.

### 3.2.2.3. Distribución de tamaño de partícula

El 60 % del producto en polvo obtenido después de la trituración se hizo pasar, en 3 lotes de 30 g cada uno, por los siguientes tamices colocados en serie: 0,8 mm; 0,5 mm; 0,3 mm; 0,2 mm; 0,15 mm y 0,10 mm de luz de malla, con la ayuda del tambor vibratorio actuando durante 5 minutos a una frecuencia de 50 Hz. Se anotó el peso de muestra retenido en cada tamiz y se reservó el producto retenido en el fondo en un bote hermético que fue almacenado en un desecador con silicagel hasta su caracterización posterior. Con los pesos se calculó la frecuencia relativa de cada tamaño (Ec. 1) y el tamaño medio de partícula de cada muestra (Ec. 2).

$$Frecuencia\ relativa\ (\%) = \frac{m_T}{m} * 100 \quad (1)$$

$$Tamaño\ medio\ de\ partícula = \frac{\sum_T(DM_T * m_T)}{m} \quad (2)$$

Siendo  $m_T$  el peso del polvo recogido en cada tamiz (g),  $m$  la suma del total de pesos recogidos en todos los tamices y en el fondo (g) y  $DM_T$  la media del diámetro de luz de malla del tamiz en que queda retenido el polvo y el inmediato anterior (mm).

### 3.2.2.4. Ángulo de reposo

Se vertieron 15 g de polvo, de forma controlada, a través de un embudo con la parte inferior de su cuello colocado a 5 cm de altura sobre una superficie horizontal plana. De la pila cónica de polvo formada sobre la superficie se midió la altura ( $h$ , cm) y su diámetro ( $D$ , cm) con un pie de rey. Se realizaron 4 repeticiones. El ángulo de reposo, que es el ángulo formado entre la pendiente del producto al dejarlo caer y la superficie horizontal, se calculó aplicando la Ec. (3).

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{2h}{D} \right) \quad (3)$$

### 3.2.2.5. Densidad e índices relacionados

El comportamiento al flujo en aire de un producto en polvo está relacionado con el volumen de aire que queda entre las partículas, lo que depende de su nivel de compactación. Existen diferentes parámetros relacionados con este comportamiento. El ángulo de reposo descrito en el apartado anterior es uno de ellos. Además, en este trabajo se seleccionaron la porosidad y los índices de Carr y Hausner. Para todos ellos es necesario conocer la densidad real y/o aparente del polvo. A su vez, la densidad aparente dependerá del nivel de compactación del polvo. En este caso se consideró la densidad del polvo vertido sin compactar y compactado.

- Densidad real, vertida y compactada:  
La densidad real ( $\rho_R$ , g/cm<sup>3</sup>) se calculó por composición (Ec. 4).

$$\rho = \frac{1}{\frac{x_w}{\rho_w} + \frac{x_{CH}}{\rho_{CH}}} \quad (4)$$

Donde  $x_w$  y  $x_{CH}$  son las fracciones másicas de los dos compuestos mayoritarios de cada formulación (agua y carbohidratos, respectivamente);  $\rho_w$  y  $\rho_{CH}$  son sus densidades ( $\rho_{CH} = 1,4246$  g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_w = 0,9976$  g/cm<sup>3</sup>) (Choi y Okos, 1986).

La densidad del polvo vertido ( $\rho_{PV}$ , g/cm<sup>3</sup>) se obtuvo por cuadruplicado vertiendo la cantidad necesaria de polvo en el interior de un tubo graduado hasta ocupar un volumen de 10 mL. Esta densidad se calculó a partir de la masa (g) del polvo vertido y el volumen (cm<sup>3</sup>) exactos.

La densidad del polvo compactado ( $\rho_{PC}$ , g/cm<sup>3</sup>) se obtuvo por cuadruplicado sometiendo el tubo graduado con el polvo vertido anterior a un proceso de vibración en un vortex (Advanced Vortex Mixer, ZX3, VELP® SCIENTIFICA, Italia) durante 10 s a 1200 rpm. Esta densidad se calculó a partir de la masa de polvo y el nuevo volumen que ocupaba.

- Porosidad (%): se obtuvo aplicando la Ec. (5).

$$Porosidad (\%) = \frac{\rho_R - \rho_{PC}}{\rho_R} * 100 \quad (5)$$

- Índice de Carr (%): se obtuvo aplicando la Ec. (6).

$$Índice Carr = \frac{\rho_{PC} - \rho_{PV}}{\rho_{PC}} * 100 \quad (6)$$

- Índice de Hausner: se obtuvo aplicando la Ec. (7).

$$Índice Hausner = \frac{\rho_{PC}}{\rho_{PV}} \quad (7)$$

### 3.2.2.6. Compresibilidad

La compresibilidad de un producto en polvo ( $b$ ,  $\text{Pa}^{-1}$ ) puede obtenerse a partir de la variación de su densidad aparente relativa al aplicar bajos niveles de esfuerzo ( $\sigma < 9,807 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ), aplicando la Ec. (8) (Peleg, 1977).

$$\frac{\rho_{\sigma} - \rho_0}{\rho_0} = \frac{v_0 - v_{\sigma}}{v_{\sigma}} = a + b \log \sigma \quad (8)$$

Donde  $\rho_{\sigma}$  y  $v_{\sigma}$  son la densidad y el volumen de la muestra bajo el esfuerzo normal aplicado en cada momento ( $\sigma$ , Pa),  $\rho_0$  y  $v_0$  son la densidad aparente y el volumen inicial de la muestra y  $a$  y  $b$  son constantes. La constante  $b$  representa, específicamente, la compresibilidad de un polvo ( $\text{Pa}^{-1}$ ).

La variación de la densidad aparente se obtuvo a partir de un ensayo de compresión mecánica utilizando un analizador de textura (PLUS-UPGRADE, Stable Micro Systems, UK), y un punzón de 10 mm de diámetro. El polvo se colocó, enrasado, en cápsulas de aluminio de 11,5 mm de diámetro y 5,5 mm de altura, cuyo fondo perforado presenta un disco deslizante de polietileno de 1 mm de altura y 10 mm de diámetro, que se situaron sobre el soporte correspondiente. El ensayo se realizó a velocidad constante de 0,05 mm/s y deformación de 3 mm (Telis y Martínez-Navarrete, 2010). Se registraron los valores de fuerza (F, N), distancia ( $h'$ , m) y tiempo (s). Se realizaron 5 repeticiones por muestra. De los resultados obtenidos se seleccionaron los correspondientes a los valores de  $\sigma < 9,807 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ , que se relacionaron con el volumen ocupado por la muestra en cada momento ( $v_{\sigma}$ ,  $\text{m}^3$ ). Éste se calculó teniendo en cuenta las dimensiones de la capsula que contenía el polvo y la distancia recorrida por el punzón (Peleg, 1977).

### 3.2.2.7. Mojabilidad

En este caso lo que se determina es el tiempo necesario para que todas las partículas de polvo se mojen. Este tiempo está inversamente relacionado con la mojabilidad. Para su determinación se siguió el método 34-849-86 (UNE 1896). Se realizaron 4 repeticiones por cada formulación.

### 3.2.2.8. Color

El color del producto en polvo se midió a la muestra comprimida según lo descrito en el apartado 3.2.2.6 (Telis y Martínez-Navarrete, 2010). La muestra comprimida contenida en la cápsula se vertió rápidamente sobre un pequeño vidrio reflectante (CR-A51, Minolta Camera Co., Japan), el cual se fijó sobre la lente del espectrofotómetro (mod. CM2600d, Konica Minolta Sensing, INC., Japan), con una ventana de medición de 6 mm de diámetro. Se midieron las coordenadas de color en el espacio CIEL\*a\*b\* (iluminante D65, observador 10°). A partir de ellas se calculó el tono ( $h^*$ , Ec. 9) y el croma ( $C^*$ , Ec. 10).

$$h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (9)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (10)$$

### 3.2.3. Obtención y caracterización del producto rehidratado

#### 3.2.3.1. Rehidratación

Para la rehidratación se utilizó el polvo con el menor tamaño de partícula (<10 mm), ya que en previos estudios se ha determinado que con él se obtiene el producto rehidratado de viscosidad más parecida a la de los zumos comerciales (Algarra, 2017).

La rehidratación del polvo obtenido se llevó a cabo para obtener zumos con la misma humedad que tenía cada formulación antes de haber sido liofilizada ( $x_{PI}$ ). Para ello se calculó la cantidad de polvo y agua a mezclar realizando un balance de materia (Ec.11 y 12).

$$m_{PP} + m_W = m_{PR} \quad (11)$$

$$m_{PP} * x_{PP} + m_W = m_{PR} * x_{PI} \quad (12)$$

Siendo:

- $m_{PP}$  la cantidad de producto en polvo (g) y  $x_{PP}$  su humedad (g agua/g producto).
- $m_W$  la cantidad de agua a añadir (g).
- $m_{PR}$  la cantidad de producto rehidratado (30 g) y  $x_{PI}$  la humedad del producto inicial antes de haber sido liofilizado (g agua/g producto).

La mezcla del polvo con el agua se realizó en vasos de precipitados de 50 ml de doble camisa conectados a un baño termostataado (Refrigerated Circulator 901, Poly Science, Estados Unidos) a una temperatura de constante de 20 °C. Se llevó a cabo mediante agitación magnética controlada, 800 rpm durante 5 minutos (Agitador multicanal MS-51M, JEIO TECH Lab Companion, Daejeon, Corea). Posteriormente se dejó al producto rehidratado reposando durante 24 horas y después se le determinaron las propiedades descritas a continuación.

#### 3.2.3.2. Sólidos solubles

Se siguió la misma metodología descrita en el apartado 3.2.1.2.2

#### 3.2.3.3. Caracterización reológica

Se utilizó un reómetro de esfuerzo controlado con geometría de cilindros concéntricos (KINEXUS Pro+ KNX5220, geometría C25 DIN, Malvern). Se obtuvo la curva de flujo a partir del registro del esfuerzo cortante necesario para aplicar un barrido de gradiente de velocidad de 0 a 120  $s^{-1}$ , en 120 s, a una temperatura constante de 8 °C. El comportamiento al flujo se midió a todas las formulaciones rehidratadas y también a las dos muestras de zumo comercial.

Las curvas de flujo obtenidas se ajustaron al modelo de Ostwald-de Waele (Ec. 13) del que se obtuvo el índice de comportamiento al flujo,  $n$ , y el índice de consistencia,  $K$ . La viscosidad aparente ( $\eta$ , Pa·s) se calculó aplicando el teorema del valor medio (Ec. 14) para dar un valor representativo de esta variable en todo el intervalo de gradiente de velocidad considerado en el estudio (Silva et al., 2017).

$$\sigma = k * \dot{\gamma}^n \quad (13)$$

$$\eta_{ap} = \frac{K}{n} \dot{\gamma}_{max}^{(n-1)} \quad (14)$$

Donde  $n$ : índice de comportamiento al flujo;  $K$ : índice de consistencia ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ );  $\dot{\gamma}_{\text{max}}$ : gradiente de velocidad máximo ( $\text{s}^{-1}$ ) =  $120 \text{ s}^{-1}$ ;  $\eta_{\text{ap}}$ : viscosidad aparente ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).

#### 3.2.3.4. Color

Se utilizó el mismo espectrofotómetro y sistema de referencia que para la medida del color del polvo que se detalla en el apartado 3.2.2.5. Se midió el color físico a partir de los espectros de reflexión obtenidos empleando cubetas de dimensiones 5x3,3x2 mm, utilizando un fondo blanco y otro negro para cuantificar la traslucidez de las muestras. De la misma forma se midió el color de las dos muestras de zumo comercial.

#### 3.2.4. Análisis estadístico

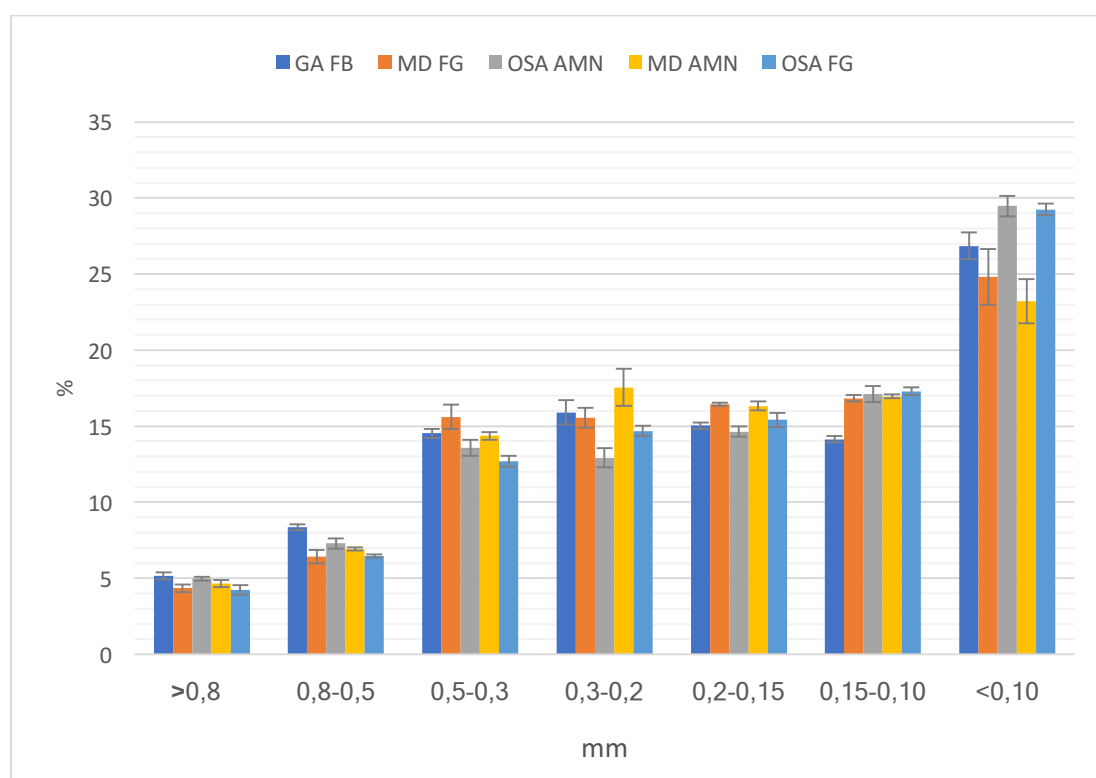
Para analizar estadísticamente las relaciones y diferencias entre las muestras empleadas en el estudio se utilizó el programa Statgraphics Centurion XVI. II. Se realizaron análisis de la varianza de carácter simple (ANOVA) para un nivel de significación  $\alpha=0.05$ .

## 4. Resultados y discusión de los resultados

### 4.1. Caracterización del polvo

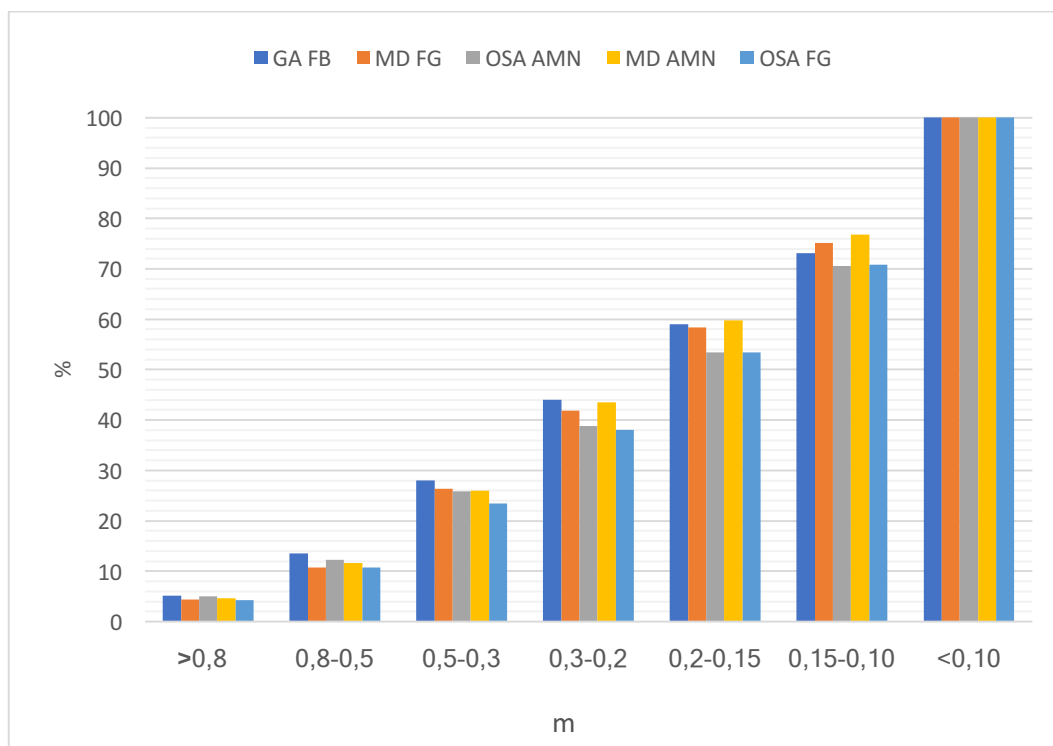
#### 4.1.1. Distribución de tamaño de partícula

En la figura 4 se representa, para cada una de las formulaciones, la distribución de tamaño de partícula obtenida a partir del peso de muestra retenido en cada tamiz, respecto al total. Se observa que la moda en todas las formulaciones, o el tamaño que más partículas contiene, es el  $< 0,10$  mm, especialmente en las formulaciones con OSA. Esto indica la menor resistencia mecánica de estas tortas a la trituración.



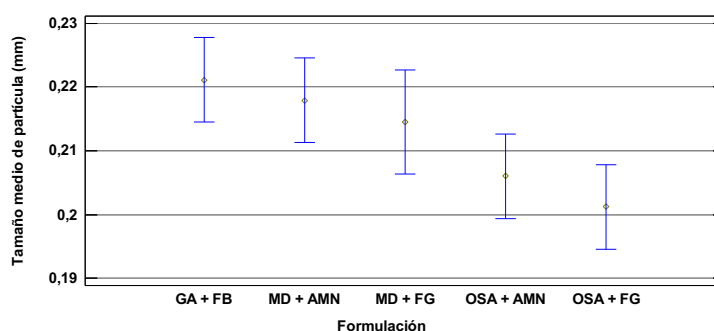
**Figura 4** - Distribución de tamaño partícula según el peso de muestra retenido en cada tamiz (frecuencia relativa, %). GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

La representación de la frecuencia relativa acumulada (Figura 5) permite conocer la mediana o tamaño que corresponde al 50 % de la distribución acumulada. En este caso, todas las formulaciones estudiadas presentaron un 50 % de partículas con tamaño inferior o superior a 0,2-0,15 mm.



**Figura 5** - Distribución de tamaño partícula acumulado según el peso de muestra retenido en cada tamiz (frecuencia relativa acumulada, %). GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

Con los datos anteriores se calculó el tamaño medio de partícula (Figura 6), que varió entre 0.201 y 0.221 mm. El ANOVA realizado mostró la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre GA+FB y las dos muestras con OSA; así como entre MD+AMN con OSA+FG. La formulación cuyo tamaño medio de partícula fue mayor fue GA+FB seguida de MD+AMN y MD+FG. Esto coincide con lo observado por Mosquera (2010), cuyos estudios de microscopía ponen de manifiesto la formación de partículas más gruesas por parte de GA que de MD. En este sentido, la goma arábica parece ser el biopolímero que confiere mayor resistencia mecánica a las tortas.

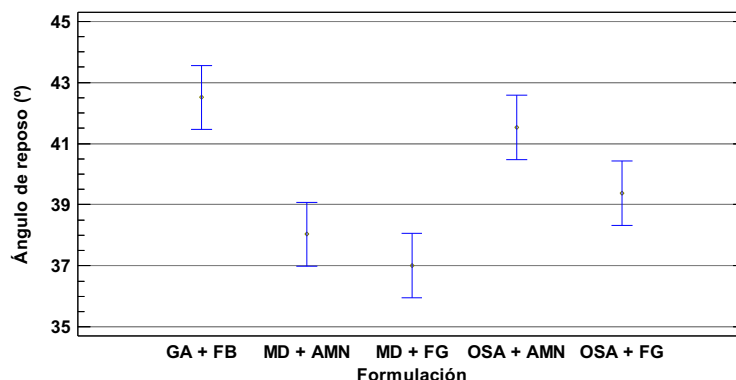


**Figura 6** - Tamaño medio de partícula (mm) e intervalos Fisher LSD (95%) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.



### 4.1.2. Ángulo de reposo

El ángulo de reposo de las distintas muestras presentó valores entre 35,4 y 44,7°. Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA unifactorial que indicó la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las formulaciones (Figura 7).



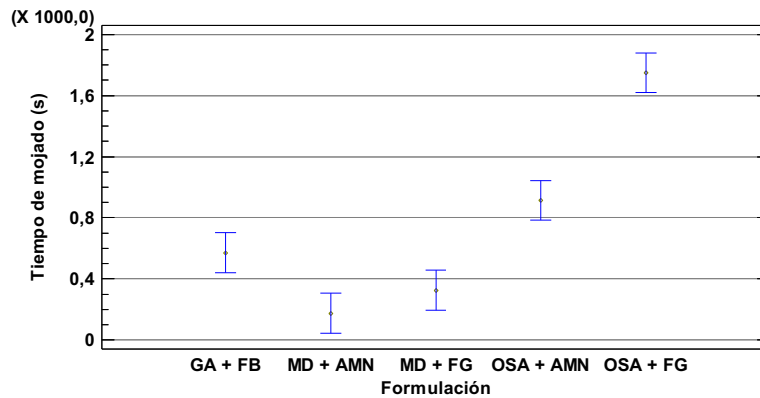
**Figura 7** - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) del ángulo de reposo (°) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

El ángulo de reposo depende de muchas variables. Según Zhou et al. (2001) las más importantes son el deslizamiento y las fricciones partícula-partícula y partícula-paredes. Pero también se encuentra en relación con el tamaño de partícula y el ancho del contenedor. Según Lee y Herrman (1992) es muy dependiente del coeficiente de fricción. En cualquier caso, cuanto más pequeño es el ángulo de reposo más fácilmente fluye el polvo (Choi et al., 2010). Entre las muestras analizadas en este estudio, los polvos con menor ángulo de reposo ( $p < 0,05$ ) fueron los de las formulaciones MD+AMN y MD+FG, siendo considerados, por su valor de  $\alpha$ , como “regulares” en cuanto al flujo, según la Real Farmacopea Española (2015). Por otro lado, OSA+AMN y GA+FB, cuyo ángulo de reposo es mayor ( $p < 0,05$ ), y por tanto su comportamiento al flujo peor, se clasificaron como polvos “aceptables”. La goma arábica proporciona partículas menos esféricas y con la superficie contraída, mientras que la maltodextrina las hace más esféricas y con fracturas (Lopera et al., 2009). Esto puede explicar que al ser más esféricas fluyan mejor y den, por tanto, un ángulo de reposo menor. Por su parte el ángulo de reposo de la muestra OSA+FG, aunque no mostró diferencias significativas con el primer grupo, presentó un valor medio bastante más alto y próximo al de la otra muestra con OSA.

### 4.1.3. Mojabilidad

Cuando un producto en polvo va a ser rehidratado, interesa que su mojabilidad sea elevada, lo que supone un tiempo de mojado breve. Los valores de tiempo de mojado de las muestras abarcaron entre 2'37" y 35'34" (Figura 8). Los polvos con menor tiempo de mojado (s) fueron MD+AMN, MD+FG y GA+FB. Esto puede deberse a que la maltodextrina se caracteriza por ofrecer un producto con buena solubilidad en el agua (Gharsallaoui, 2007). Las muestras con OSA, especialmente OSA+FG, presentaron un tiempo significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor. La disminución de la mojabilidad por el OSA

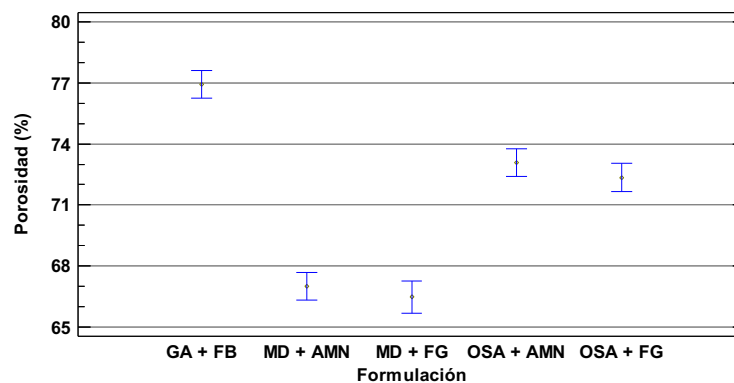
puede deberse a la formación de un gel alrededor del polvo, en la interfase con el agua, que retarda el hundimiento de las partículas al impedir el contacto del agua con las demás partículas del polvo (Sapper, 2015). Además, FG parece contribuir en este sentido.



**Figura 8** - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) del tiempo de mojado (s) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

#### 4.1.4. Porosidad

La porosidad de las muestras osciló entre 66,01 – 77,72 % (Figura 9). Las muestras con maltodextrina fueron las de menor porosidad ( $p < 0,05$ ).



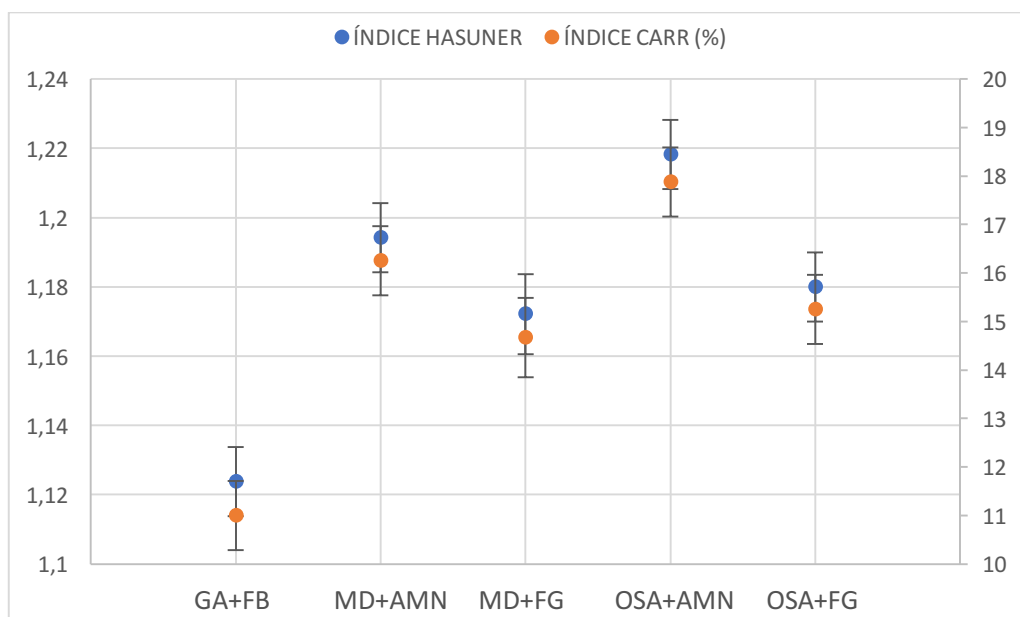
**Figura 9** - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) de la porosidad (%) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

La diferente morfología, ya expuesta anteriormente, de las partículas formadas a partir de las muestras que contienen goma arábica o maltodextrina puede explicar que las partículas con GA, al ser más irregulares, sean más porosas y dejen más huecos

interpartícula, mientras que las partículas con MD al ser más esféricas no formen tanto volumen de poros.

#### 4.1.5. Índice de Hausner y de Carr

El índice de Carr o índice de compresibilidad se relaciona con la resistencia y estabilidad de los enlaces entre las partículas del polvo y el de Hausner con una medida de la fricción entre partículas (Shah et al., 2008). No obstante, ambos están relacionados con la movilidad de las partículas y su capacidad de compactación ante la aplicación de una fuerza. Desde este punto de vista, se puede esperar una evolución similar de ambas propiedades, como se observa en este estudio (Figura 10). El índice de Hausner de las muestras varió entre 1,11 y 1,25 y el de Carr entre 10% y 20% (Figura 10). Valores mayores de estos índices se relacionan con peores propiedades de flujo (Shah et al., 2008). En este sentido, los valores de los índices obtenidos permiten clasificar a todos los productos entre “excelentes” y “aceptables” (Farmacopea, 2016). La formulación GA+FB fue la que mostró valores menores de los índices ( $p < 0,05$ ) y, por tanto, mejor flujo. En cambio, también fue la de mayor ángulo de reposo, relacionado con un peor flujo. Esto puede deberse al método empleado durante la compactación de las muestras para obtener el valor de los índices. La fuerte vibración a que las muestras son sometidas con el vortex supone aplicar valores de esfuerzo importantes sobre ellas, lo que puede conllevar rotura de las partículas y un comportamiento no comparable al obtenido al medir el ángulo de reposo.



**Figura 10** - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) de los índices de Hausner (eje izquierdo) y Carr (eje derecho) de cada formulación. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

### 4.1.6. Compresibilidad

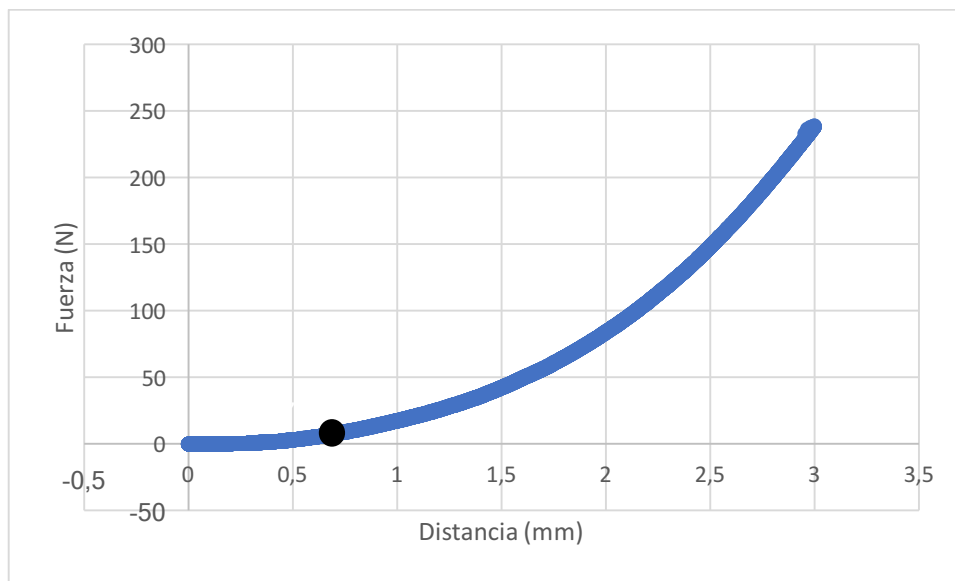
Como se ha descrito en la metodología, la curva fuerza – distancia procedente del analizador de textura (Fig. 11) se transformó en la curva que relaciona la variación de volumen de la muestra con el esfuerzo (Fig. 12). Al linealizar esta curva se obtuvo la compresibilidad que corresponde a la pendiente de la recta. Las ecuaciones que se utilizaron fueron la 15, 16 y 17. Este proceso se realizó con todas las repeticiones de todas las formulaciones. En las figuras 11 y 12 aparece, como ejemplo, una de las repeticiones de la formulación MD+FG, cuya compresibilidad fue  $0,063 \text{ (N/m}^2\text{)}^{-1}$ .

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (15)$$

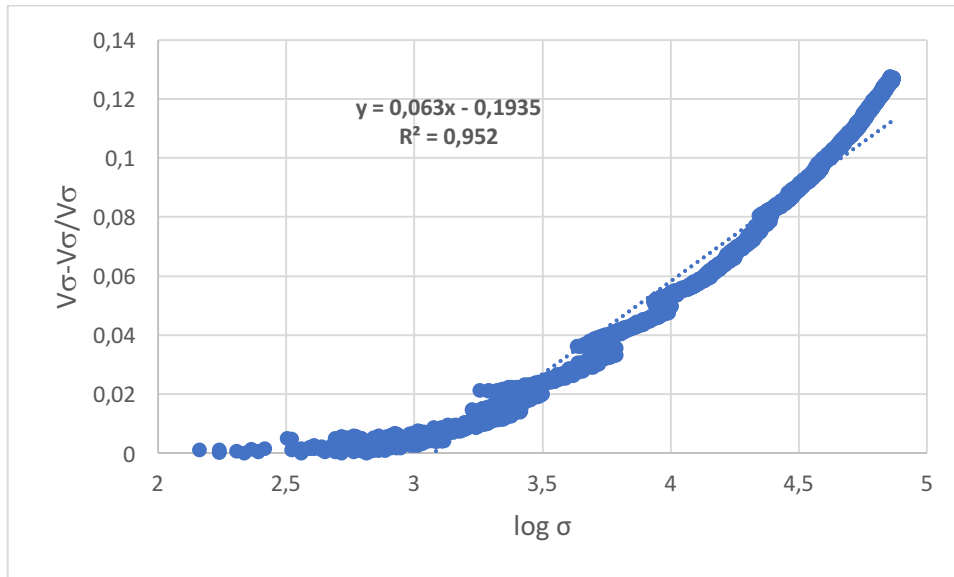
$$h = H - h' \quad (16)$$

$$V = \left[ \pi * \left( \frac{Di}{2} \right)^2 \right] * H \quad (17)$$

Siendo  $\sigma$  el esfuerzo aplicado (Pa), F la fuerza (N), S la superficie del punzón ( $\text{m}^2$ ), h altura del polvo (m), H la altura de la cápsula (m), h' distancia recorrida por el punzón (m), V el volumen de polvo ( $\text{m}^3$ ) y Di el diámetro de la cápsula (m).

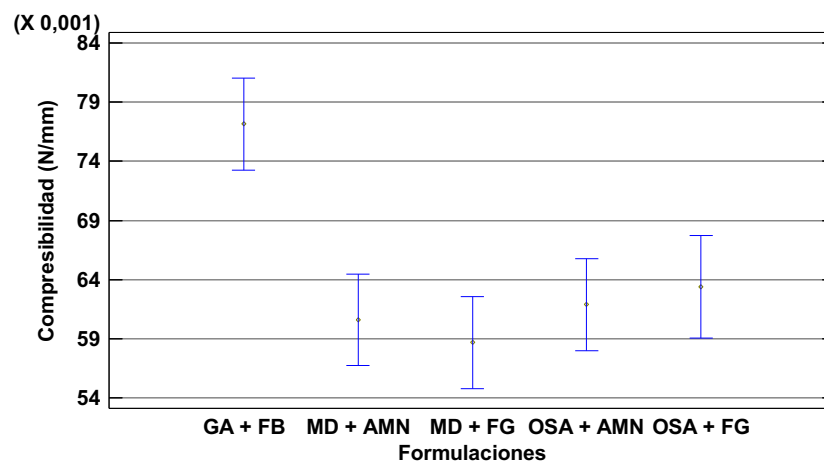


**Figura 11** – Ejemplo de curva fuerza – distancia correspondiente al ensayo de compresión del polvo obtenido a partir de la formulación con maltodextrina y fibra de guisante. El punto se corresponde con el valor límite de esfuerzo ( $\sigma = 9,807 * 10^4 \text{ Pa}$ ,) utilizado para el cálculo de la compresibilidad (Peleg, 1977).



**Figura 12** - Relación entre la variación de volumen del polvo obtenido a partir de la formulación con maltodextrina y fibra de guisante y el esfuerzo aplicado durante el ensayo de compresión.

Los valores que se obtuvieron de compresibilidad variaron entre 0,050 y 0,081 m<sup>2</sup>/N (Figura 13). La muestra GA+FB mostró un valor significativamente ( $p < 0.05$ ) mayor que el resto. En principio, valores altos de esta propiedad se relacionan con peores comportamientos al flujo (Schubert, 1987). De hecho, esta misma muestra fue la que mostró mayor ángulo de reposo. Estos resultados confirman que es importante considerar valores bajos de esfuerzo para obtener este parámetro, lo que parece relacionarse bien con el comportamiento de la muestra durante su caída en la medida del ángulo de reposo.



**Figura 13** - Medias e Intervalo Fisher LSD (95%) de la compresibilidad frente a las formulaciones. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

### 4.1.7. Color

El color de las diferentes muestras en polvo se muestra en la tabla 5. Tanto para el parámetro de luminosidad,  $L^*$ , como para las coordenadas cromáticas,  $a^*$  y  $b^*$ , las diferencias fueron significativas entre formulaciones ( $p < 0,05$ ). Las formulaciones que presentaron mayor luminosidad fueron las de OSA, las de menor fueron las MD y para GA+FB se obtuvieron valores intermedios. En cuanto al parámetro  $a^*$  (rojo – verde), el valor fue mayor en las formulaciones con MD y menor en las de OSA+AMN. Respecto al parámetro  $b^*$  (amarillo – azul), la MD y el AMN aumentaron su valor mientras que el OSA y la FG lo disminuyeron. En ambas coordenadas,  $a^*$  y  $b^*$ , la GA+FB aportó valores intermedios.

A partir de las coordenadas CIE  $L^*a^*b^*$  de cada polvo se buscó estudiar si las diferencias entre las muestras son perceptibles para el ojo humano. Para ello se calculó la diferencia global de color (Ec. 18) entre la formulación de OSA+AMN y las demás, por ser ésta la que más difería del conjunto (Tabla 5). Los valores que se obtuvieron fueron mayores que 3, aunque muy próximos a él, sólo para las formulaciones con MD. Este es el valor a partir del que se considera que la diferencia de color es perceptible para el ojo humano (Bodart et al., 2008).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (18)$$

**Tabla 5** - Valores medios (y desviación estándar) de las coordenadas de color. Diferencia global de color ( $\Delta E^*$ ) de cada producto en polvo con respecto a OSA + AMN. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
<b>OSA + AMN</b>	83,3 (0,9) <sup>a</sup>	4,0 (0,5) <sup>d</sup>	43,7 (0,8) <sup>d</sup>	-
<b>OSA + FG</b>	82,7 (0,8) <sup>a</sup>	4,7 (0,4) <sup>c</sup>	45,34 (1,0) <sup>c</sup>	1,89
<b>GA + FB</b>	81,9 (0,6) <sup>ab</sup>	4,6 (0,4) <sup>c</sup>	46,2 (0,9) <sup>bc</sup>	2,87
<b>MD + FG</b>	81,1 (0,7) <sup>b</sup>	6,0 (0,2) <sup>a</sup>	47,7 (0,8) <sup>a</sup>	4,99
<b>MD + AMN</b>	80,6 (1,6) <sup>b</sup>	5,5 (0,3) <sup>b</sup>	46,5 (0,6) <sup>b</sup>	4,19

La misma letra en columnas indica grupos homogéneos establecidos por ANOVA ( $p < 0.05$ ).

### 4.2. Correlación entre las propiedades del polvo

Para analizar si existe relación entre algunas de propiedades que caracterizan el producto en polvo se realizó una correlación de Pearson. En concreto se estudió la correlación entre el tamaño medio de partícula, ángulo de reposo, compresibilidad y tiempo de mojado (Tabla 6).

**Tabla 6** - Coeficientes de correlación de Pearson entre diferentes propiedades que caracterizan el polvo

	Ángulo de reposo (°)	Tiempo de mojado (s)	Compresibilidad ( $m^2/N$ )
<b>Tamaño medio de partícula (mm)</b>	0,0719 <sup>ns</sup>	-0,5587*	0,5401*
<b>Ángulo de reposo (°)</b>		0,2047 <sup>ns</sup>	0,5477*
<b>Tiempo de mojado (s)</b>			0,0143 <sup>ns</sup>

\*: correlación significativa ( $p < 0.05$ ); <sup>ns</sup>: correlación no significativa ( $p < 0.05$ )

Se observó una correlación lineal significativa y negativa entre la mojabilidad y el tamaño medio de partícula de cada muestra. Esto se explica porque las partículas pequeñas ofrecen una gran relación superficie/volumen, lo que dificulta su humectación, de manera que acaban formando agregados que quedan recubiertos por una capa superficial de agua, que retrasa el mojado de las partículas (Sáez, 2017). Interesa que el tiempo de mojado sea breve, luego en cuanto al parámetro mojabilidad interesan partículas de mayor tamaño que son las que proporcionan las formulaciones GA+FB y las que llevan MD.

Asimismo, según el coeficiente de Pearson existe correlación lineal significativa y positiva entre la compresibilidad y el tamaño medio de partícula de cada muestra. Esto se relaciona con una menor tendencia de las partículas pequeñas a su reorganización y/o fragmentación, debido a la presencia de un mayor número de puntos de contacto por unidad de área y a mayores fuerzas de fricción/cohesión que dificultan la compresibilidad. También puede explicarse por una mayor resistencia a la fractura observada en ensayos de microextensión (Djuric, 1995; Patel, 2007). Según esto, el hecho de que las partículas de mayor tamaño sean más fácilmente facturables bajo la acción de un determinado esfuerzo aumentaría su capacidad de compresión. Así, si lo que interesa es un polvo suelto, con baja compresibilidad, las partículas de menor tamaño son las más recomendables.

De la misma manera, se comprobó la existencia de correlación lineal significativa y positiva entre la compresibilidad con el ángulo de reposo. Puede explicarse teniendo en cuenta que conforme aumenta la compresibilidad, empeoran las propiedades de flujo, lo que implica un ángulo de reposo mayor, como ya se ha mencionado anteriormente.

### 4.3. Caracterización de los productos rehidratados.

Para la rehidratación se utilizaron las proporciones mezcla agua - polvo que aparecen en la tabla 7.

**Tabla 7** - Cantidad de polvo y agua mezclados para obtener 30 g de producto rehidratado. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico.

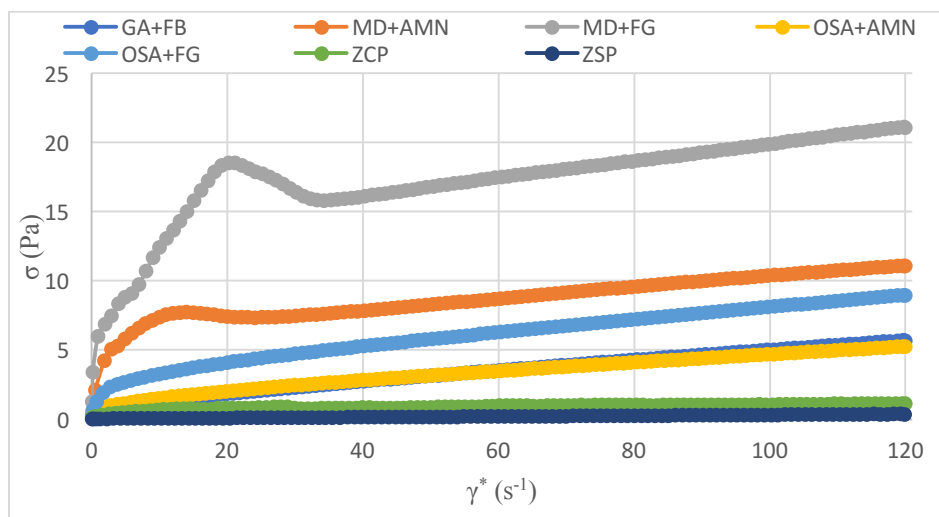
Formulación	m polvo (g)	m agua (g)
<b>GA+FB</b>	5,4452	24,5548
<b>MD+FG</b>	5,6261	24,3739
<b>MD+AMN</b>	5,5862	24,4138
<b>OSA+FG</b>	5,6365	24,3635
<b>OSA+AMN</b>	5,5930	24,4070

Todos los biopolímeros añadidos contribuyeron al aumento de los sólidos solubles del producto rehidratado. Los °Brix del puré de naranja con el que se trabajó fueron  $12,43 \pm 0,12$  °Brix y aumentaron hasta  $16,8 \pm 0,4$  -  $17,10 \pm 0,10$ , sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las formulaciones.

#### 4.3.1. Comportamiento reológico

El comportamiento al flujo de cada formulación rehidratada se comparó con el de dos zumos comerciales (Figura 14). Todas las muestras presentaron un típico comportamiento pseudoplástico, excepto las formulaciones que llevaban maltodextrina. Esto se debe a que durante las 24 h que se dejaron los productos en reposo después

de su rehidratación y antes de su caracterización, estas muestras gelificaron. Como esto no resulta deseable para un zumo, el resultado obtenido para ellas no fue considerado. Para el resto de muestras, la curva de flujo se ajustó al modelo de Ostwald-de Waele y se obtuvo el índice de comportamiento al flujo ( $n$ ) y el índice de consistencia ( $k$ ) (Tabla 8). Los valores ajustados a este modelo tuvieron un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de valor igual o superior a 0,98309.



**Figura 14** - Curvas de flujo esfuerzo cortante ( $\sigma$ ) vs. gradiente de velocidad ( $\dot{\gamma}$ ). GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico, ZCP: zumo comercial con pulpa, ZSP: zumo comercial sin pulpa.

**Tabla 8** - Valores medios (y desviación estándar) del índice de comportamiento al flujo ( $n$ ), índice de consistencia ( $k$ ,  $\text{Pas}^n$ ) y viscosidad aparente ( $\eta$ ,  $\text{Pas}$ ) para los productos rehidratados de cada formulación y los zumos comerciales. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico, ZCP: zumo comercial con pulpa, ZSP: zumo comercial sin pulpa.

Formulación	$n$	$k$	$\eta$
GA+FB	0,552 (0,010) <sup>b</sup>	0,47 (0,02) <sup>b</sup>	0,0999 (0,0019) <sup>b</sup>
OSA+AMN	0,49 (0,02) <sup>b</sup>	0,51 (0,06) <sup>b</sup>	0,089 (0,008) <sup>b</sup>
OSA+FG	0,41 (0,02) <sup>c</sup>	1,18 (0,12) <sup>a</sup>	0,171 (0,010) <sup>a</sup>
ZCP	0,24 (0,05) <sup>d</sup>	0,44 (0,12) <sup>b</sup>	0,049 (0,012) <sup>c</sup>
ZSP	0,68 (0,06) <sup>a</sup>	0,013 (0,003) <sup>c</sup>	0,0042 (0,0002) <sup>d</sup>

La misma letra en columnas indica grupos homogéneos establecidos por ANOVA ( $p < 0.05$ ).

Los valores de  $n$  fueron inferiores a 1 para todas las muestras, lo que confirma su comportamiento pseudoplástico. Esto implica que la viscosidad, parámetro reológico fundamental, disminuye cuando aumenta el gradiente de velocidad. El índice de consistencia,  $k$ , es una constante del modelo directamente relacionado con la viscosidad. El zumo comercial sin pulpa fue el que menor valor de  $k$  presentó. Las formulaciones GA+FB y OSA+AMN, junto con el zumo comercial con pulpa, no



presentaron diferencias significativas entre sí, teniendo un valor de  $k$  intermedio. El mayor valor de  $k$  correspondió a la muestra OSA+FG.

Aunque como ya se ha comentado, la viscosidad de los productos pseudoplásticos disminuye al aumentar el gradiente de velocidad, en este caso se aplicó el teorema del valor medio (Ec. 14) para obtener un único valor de viscosidad aparente característico del intervalo de gradiente de velocidad considerado (Tabla 8). Los valores de viscosidad reflejan el mismo comportamiento que los de  $k$ . Las formulaciones cuya viscosidad se mostró más parecida a las de los zumos comerciales, sobre todo al con pulpa, fueron las de OSA+AMN y GA+FB. Aun así, la viscosidad de los zumos comerciales es significativamente ( $p < 0,05$ ) más baja porque, aunque tengan pulpa añadida, no contienen toda la pulpa de la fruta, a diferencia de las formulaciones rehidratadas con las que se ha trabajado en este caso. Entre las muestras comerciales, se observa, como era de esperar, que el zumo sin pulpa es mucho menos viscoso que el zumo con pulpa (Silva, 2015). No obstante, la viscosidad de las muestras rehidratadas podría disminuirse más si se redujera más el tamaño de partícula (Algarra, 2017).

### 4.3.2. Color

Para analizar la diferencia entre el valor de las coordenadas CIEL<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> medidas a los productos rehidratados sobre fondo blanco y negro, se realizó un ANOVA para la luminosidad ( $L^*$ ) y las coordenadas cromáticas ( $a^*$ ,  $b^*$ ). Se obtuvo que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ), lo que indica la ausencia de translucidez de estas muestras. Teniendo esto en cuenta, el color del producto rehidratado de cada formulación se pudo analizar a partir de los datos obtenidos con los dos fondos utilizando su media. Sin embargo, al realizar el mismo análisis para los dos zumos comerciales, ZCP y ZSP, sí que se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los dos fondos, lo que refleja la translucidez de los mismos. En este caso, el color de los zumos se analizó diferenciando ambos fondos.

Analizando estadísticamente la luminosidad,  $L^*$ , y las coordenadas cromáticas,  $a^*$  y  $b^*$ , sí se obtuvieron diferencias significativas entre formulaciones ( $p < 0,05$ ) como se observa en la tabla 9. Se calculó la diferencia global de color entre cada formulación respecto a la de GA+FB, porque fue la que más difería respecto a las demás (Ec. 17, tabla 9). Los valores que se obtuvieron en torno a 3 parecen indicar que las diferencias de color entre muestras no son perceptibles para el ojo humano (Bodart et al., 2008). Además, también hubo diferencias significativas entre las formulaciones y los zumos comerciales ( $p < 0,05$ ), por lo que también se calculó la diferencia global de color de estos y la muestra GA+FB (Tabla 9). El resultado que se obtuvo fue que las diferencias entre los productos comerciales con las formulaciones estudiadas sí son perceptibles por el ojo humano (Bodart et al., 2008). No obstante, este resultado es esperable puesto que las formulaciones rehidratadas provienen del puré de naranja en polvo, que incorpora mucha más pulpa que los zumos comerciales.

**Tabla 9** - Valores medios (y desviación estándar) de las coordenadas de color. Diferencia global de color ( $\Delta E^*$ ) de cada producto rehidratado y de los zumos comerciales con respecto al rehidratado GA+FB. GA: goma arábica, FB: fibra de bambú, MD: maltodextrina, AMN: almidón de maíz nativo, FG: fibra de guisante, OSA: almidón sustituido con grupos octenilsuccínico. ZCP y ZSP: zumo comercial con y sin pulpa medidos sobre fondo blanco (FB) o negro (FN).

	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b><math>\Delta E</math></b>
<b>GA + FB</b>	49,6 (0,3) <sup>c</sup>	3,9 (0,3) <sup>b</sup>	48,2 (0,9) <sup>b</sup>	-
<b>OSA+AMN</b>	52,93 (0,14) <sup>a</sup>	3,63 (0,10) <sup>c</sup>	49,5 (0,2) <sup>a</sup>	3,54
<b>OSA + FG</b>	52,2 (0,3) <sup>b</sup>	4,46 (0,08) <sup>a</sup>	49,3 (0,6) <sup>a</sup>	2,86
<b>ZCP (FB)</b>	44,26 (0,12) <sup>d</sup>	3,16 (0,09) <sup>d</sup>	40,5 (0,6) <sup>c</sup>	9,37
<b>ZCP (FN)</b>	44,1 (0,2) <sup>d</sup>	2,90 (0,07) <sup>e</sup>	40,3 (0,6) <sup>c</sup>	9,71
<b>ZSP (FB)</b>	33,42 (0,14) <sup>e</sup>	-0,55 (0,07) <sup>f</sup>	28,1 (0,5) <sup>d</sup>	26,14
<b>ZSP (FN)</b>	32,8 (0,2) <sup>f</sup>	-1,32 (0,06) <sup>g</sup>	27,2 (0,4) <sup>e</sup>	27,45

La misma letra en columnas indica grupos homogéneos establecidos por ANOVA ( $p < 0.05$ ).

## **5. Conclusiones**

Los resultados de este estudio permiten confirmar la influencia de los distintos biopolímeros estudiados en las características del puré de naranja liofilizado obtenido. Si lo que interesa es conseguir un polvo suelto con buen comportamiento al flujo en aire, es preferible formular el puré con maltodextrina, tanto con fibra de guisante como con almidón de maíz nativo. De las formulaciones estudiadas, la mezcla formada por goma arábica y fibra de bambú sería la opción menos recomendable con este fin. Si el uso del producto en polvo pretende ser para su rehidratación y consumo a modo de zumo, es preferible que el tamaño de partícula no sea más pequeño de lo necesario para conseguir la viscosidad deseada y, al mismo tiempo, no aumentar en exceso el tiempo de mojado y así favorecer la rehidratación. En este sentido, la formulación con goma arábica y fibra de bambú o las de maltodextrina fueron las de mayor tamaño medio de partícula. No obstante, la maltodextrina proporciona productos de mucha mayor viscosidad después de su rehidratación, que llegan incluso a gelificar. Por lo tanto, la goma arábica parece el biopolímero más adecuado en este caso. El diferente comportamiento de los distintos biopolímeros parece relacionarse con el tamaño de partícula, pero también con la forma de las partículas de polvo.

## **6. Referencias bibliográficas**

AGUSTÍ, M.; MARTÍNEZ-FUENTES, A.; MESEJO, C.; MARIANO, J.; ALMELA, V., 2003. *Cuajado y Desarrollo de los Frutos Cítricos*. Edita: Generalitat Valenciana (Consellería de Agricultura Pesca y Alimentación). Valencia. 80 pp.

ALEIXANDRE BENAVENT, J.L. (1997). *Conservación de alimentos*. Editorial Servicio de Publicaciones. 509 pp.

ALGARRA ALEXANDRE, E. (2017). Viscosidad del zumo obtenido por rehidratación de naranja en polvo en función de su tamaño de partícula. Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad politécnica de Valencia. Valencia.

ÁLVAREZ QUINTERO, R.M. (2012). Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabólica y evaluación de la calidad poscosecha. Memoria de 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.

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 GONZÁLEZ, 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

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.

CHOI, K.O.; RYU, J.; KWAK, H.S.; KO, S. (2010). Spray-dried Conjugated Linoleic Acid Encapsulated with Maillard Reaction Products of Whey Proteins and Maltodextrin. *Food Science and Biotechnology*, 19 (4): 957-965.

DJURIC, M.; MARINKOVIC-NEDUCIN, R.; RANOGAJEC, J.; RADEKA, M. (1995). Particle Size Range as a Factor Influencing Compressibility of Ceramic Powder. *Ceramics International*, 21: 227-230.

FAO, 2003. Prioridad mundial al consumo de frutas y hortalizas, visto el 9 de junio del 2018. <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/fruitveg1.htm>.

FAO (2017). Citrus Fruit Fresh and Processed Statistical Bulletin 2016, visto el 3 de junio del 2018. 69 pp. <http://www.fao.org/3/a-i8092e.pdf>.

FARMACOPEA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. (2016), visto el 11 de junio del 2018. <http://www.farmacopea.org.mx/Repositorio/Documentos/258.pdf>

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40: 1107 – 1121.

GUARDIOLA BÁRCENA, J.L. (1998). Componentes nutritivos de la naranja, en: *Naranja y salud*. Fundación valenciana de estudios avanzados, Conselleria de agricultura pesca y alimentación. Valencia: 143 – 162.

HE, K.; HU, F.B.; COLDITZ, G.A.; MANSON, J.E.; WILLET, W.C.; LIU, S. (2004). Changes in intake of fruits and vegetables in relation to risk of obesity and weight gain among middle-aged women. *International Journal of Obesity*, 28(12): 1569–1574

KIMBALL, D.A. (2002). *Procesado de cítricos*. Editorial Acribia. Zaragoza. 463 pp.

LEE, J.; HERRMANN, H.J. (1992). Angle of repose and angle of marginal stability: molecular dynamics of granular particles. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 26 (2): 373-383.

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.

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 24 de julio del 2018. <http://www.horticom.com/pd/imagenes/57/602/57602.pdf>.

MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CAMACHO VIDAL, M.M.; MARTÍNEZ-LAHUERTA J.J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad dietética*, 2: 64-68.

MORENO ROJAS, R. (2000). *Nutrición y dietética*. Editorial Díaz de Santos. Madrid. 287 pp.

MOSQUERA, L.H. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábica) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. Tesis doctoral en el Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

OMS (2018). Aumentar el consumo de frutas y verduras para reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles, visto el 24 de Julio de 2018. [http://www.who.int/elena/titles/fruit\\_vegetables\\_ncds/es/](http://www.who.int/elena/titles/fruit_vegetables_ncds/es/)

PALACIOS, J. (2005). *Citricultura*. Editorial Tucuman. Argentina. 518 pp.

PARDO, J.; SOLER, G.; BUJ, A.; BONO, R.; SOLER, J. (2016). Periodos de recolección de las naranjas. Instituto valenciano de investigaciones agrarias (IVIA), visto el 2 de junio de 2018. [http://www.ivia.gva.es/documents/161862582/161863536/calendarios\\_recoleccion\\_naranjos.pdf/b94178cc-98d4-4ec1-9167-b2a1e28d22b4](http://www.ivia.gva.es/documents/161862582/161863536/calendarios_recoleccion_naranjos.pdf/b94178cc-98d4-4ec1-9167-b2a1e28d22b4).

PATEL, S.; KAUSHAL, A.M.; BANSAL, A.K. (2007). Effect of Particle Size and Compression Force on Compaction Behavior and Derived Mathematical Parameters of Compressibility. *Pharmaceutical Research*, 24 (1): 111-124.

PELEG, M. (1977). Flowability of food powders and methods for its evaluation. *Journal of Food Process and Engineering*, 1: 303 – 328.

RATTI, C. (2013). Freeze drying for food powder production, en: *Handbook of Food Powders*. Woodhead Publishing. Canada: 57 - 84.

REAL FARMACOPEA ESPAÑOLA (2015). Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad y Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS).

SÁEZ GARCÍA, R. (2017). Caracterización de polvos de piel de mandarina para su uso como ingrediente funcional en alimentos. Trabajo Final de Máster en Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

SAPPER, M. (2015). Medida de las propiedades físicas de productos de fruta en polvo. Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria (CUINA). Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

SCHUBERT, H. (1987). Food particle technology part I: Properties of particles and particulate food systems. *Journal of Food Engineering*, 6: 1 – 32.

SHAH, R.B.; TAWAKKUL, M.A.; KHAN, M.A. (2008). Comparative Evaluation of Flow Pharmaceutical Powders and Granules. *American Association of Pharmaceutical Scientists*, 9(1): 250-258.

SILVA, M.A. (2015). Estudio del comportamiento reológico de zumo de fruta obtenido a partir de pomelo liofilizado. Trabajo Final de Máster en ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

SILVA, M.A.; ALGARRA, E.; USCANGA, M.; CAMACHO, M.M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2017). Orange juice obtained from powered freeze-dried fruit puree powder particle size and juice viscosity relationship. En: *The multidisciplinary science of Rheology. Towards a healthy and sustainable development. The Organizing Committee of Ibereo, 2017, Valencia, España (Ed.)*, ISBN 978-84-697-5122-0, pp 100-103.

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, V.R.N.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2010). Application of compression test in analysis of mechanical and color changes in grapefruit juice powder as related to glass transition and water activity. *LWT – Food Science and Technology*, 43 (5): 744 – 751.

TELIS, N.V.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2012) Biopolymers used as drying aids in spray drying and freeze drying of fruit juices and pulps, en: *Biopolymer Engineering in Food Processing*; CRC Press.,Eds.; Taylor & Francis Group.: Boca Raton. 279-326.

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J.J.; SYNNOTT, E.C. (1998). Characterisation of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 39 (1): 31 – 37.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; GIL, M.I.; CREMIN, P.; WATERHOUSE, A.L.; HESS-PIERCE, B.; KADER, A.A. (2001). HPLC-DAD-ESIMS Analysis of Phenolic Compounds in Nectarines, Peaches, and Plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (10): 4748-4760.

ZHOU, Y.C.; XU, B.H.; YU, A.B.; ZULLI, P. (2001). An experimental and numerical study of the angle of repose of coarse spheres. *Powder Technology*, 121 (1): 45-54.