

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL
MEDI NATURAL**

**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**

ALUMNO: ENRIQUE ALGARRA ALEXANDRE

TUTORA: M^a DEL MAR CAMACHO VIDAL

COTUTORA: NURIA MARTÍNEZ NAVARRETE

DIRECTORA EXPERIMENTAL: MARILÚ ANDREA SILVA ESPINOZA

**Curso académico 2016-2017
VALENCIA, Junio 2017**



VISCOSIDAD DEL ZUMO OBTENIDO POR REHIDRATACIÓN DE NARANJA EN POLVO EN FUNCIÓN DE SU TAMAÑO DE PARTÍCULA

RESUMEN

Las frutas son componentes esenciales de una dieta saludable, pudiendo contribuir a la prevención de enfermedades cardiovasculares y algunos cánceres. Esta protección es atribuida a su contenido en compuestos bioactivos y fitoquímicos, que contribuyen 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 con alta calidad, y en los que además es aprovechada toda la parte comestible de la fruta. A día de hoy, se pueden encontrar una gran variedad de zumos de frutas en el mercado, pero ninguno de ellos obtenido mediante liofilización de puré de fruta. Después de liofilizar el puré, se obtiene una torta, que debe ser triturada antes de rehidratarse. En este trabajo se pretende obtener un polvo de puré liofilizado de naranja que, tras su rehidratación hasta su contenido de agua inicial, tenga un comportamiento reológico similar al de los zumos comerciales existentes. Con tal propósito, se decidió primero estudiar la influencia de la adición de diferentes solutos de alto peso molecular en el comportamiento reológico del rehidratado obtenido. En segundo lugar, se estudió la relación entre el tamaño de partícula del polvo obtenido al triturar la torta de puré liofilizado y el comportamiento reológico del producto tras la rehidratación del mismo. Para obtener los diferentes tamaños de partícula, la muestra triturada se tamizó a través de aperturas de malla de 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 y 0,15 mm. Se caracterizó el comportamiento reológico de todos estos rehidratados y también el de cuatro zumos de naranja comerciales con los que realizar comparaciones. Se comprobó la influencia de los diferentes solutos y se escogió una formulación con goma arábica (Ga) y fibra de bambú (Fb) para realizar con ella la segunda parte del estudio. En dicha parte se concluyó que la viscosidad del producto rehidratado disminuyó a medida que disminuyó el tamaño de partícula del polvo, de modo que parece posible relacionar ésta con el tamaño de partícula del polvo.

PALABRAS CLAVE: Naranja, liofilización, comportamiento reológico, zumo de naranja, polvo, tamaño de partícula.

Alumno: Enrique Algarra Alexandre

Tutora académica: Prof. Dña. M^a del Mar Camacho Vidal.

Cotutora: Nuria Martínez Navarrete

Directora Experimental: Marilú Andrea Silva Espinoza.

Valencia, Junio de 2017

VISCOSITY OF JUICE OBTAINED BY REHYDRATION OF ORANGE IN POWDER AS A FUNCTION OF ITS PARTICLE SIZE

ABSTRACT

Fruits are essential components of a healthy diet and can contribute to the prevention of cardiovascular diseases and some cancers. This protection is attributed to their content in bioactive compounds and phytochemicals, which contribute to its antioxidant capacity. However, fresh fruits have a short shelf life associated with their high water content. Freeze-drying is a dehydration method that provides high-quality products and that also makes the most of the edible part of the fruit. Nowadays, a wide variety of fruit juices can be found on the market, but none of them obtained by freeze-drying fruit puree. After freeze-drying the puree, a cake is obtained, which must be crushed before being rehydrated. In this work, we intend to obtain a powder of freeze-dried orange puree, which after being rehydrated until its initial water content will have a similar rheological behavior than commercial orange juices. For this purpose, it was decided to first study the influence of the addition of different high molecular weight solutes on the rheological behavior of the rehydrated obtained. Secondly, the relationship between the particle size of the sieved powder obtained by crushing the freeze-dried cake, and the rheological behavior of the product after its rehydration was studied. To obtain the different particle sizes, the crushed sample was sieved through apertures of 0.5, 0.4, 0.3, 0.2 and 0.15 mm mesh. The rheological behavior of these rehydrated samples and also of four commercial orange juices was characterized. The influence of the different solutes was proved, and a formulation with arabic gum (Ga) and bamboo fiber (Fb) was chosen to perform the second part of the study. In this part it was concluded that the viscosity of the rehydrated product decreased as the particle size of the powder decreased, so that it seems possible to relate it to the particle size of the powder.

KEYWORDS: Orange, freeze-drying, rheological behavior, orange juice, powder, particle size.

Pupil: Enrique Algarra Alexandre

Academic supervisor: Prof. Sra. M^a del Mar Camacho Vidal.

Academic co-supervisor: Nuria Martínez Navarrete

Experimental director: Marilú Andrea Silva Espinoza

Valencia, June 2017

VISCOSITAT DEL SUC OBTINGUT PER REHIDRATACIÓ DE TARONJA EN POLS EN FUNCIÓ DE LA SEUA DIMENSIÓ DE PARTÍCULA

RESUM

Les fruites són components essencials d'una dieta saludable, podent contribuir a la prevenció de malalties cardiovasculars i alguns càncers. Aquesta protecció és atribuïda al seu contingut en compostos bioactius y fitoquímics, que contribuïxen a la seua capacitat antioxidant. No obstant això, les fruites fresques tenen una curta vida útil associada al seu elevat contingut en aigua. La liofilització és un mètode de deshidratació amb el que s'aconsegueixen productes d'alta qualitat, i en els que a més, la part comestible a la completa es aprofitada. A hores d'ara, es poden trobar una gran varietat de suc de fruites en el mercat, però cap d'ells obtingut per mitjà de la liofilització de puré de fruita. Després de liofilitzar el puré, s'obté una coca, que ha de ser triturada abans de rehidratar-se. En aquest treball es pretén obtindre una pols de puré liofilitzat de taronja que, després de la seua rehidratació fins el seu contingut d'aigua inicial, tingui un comportament reològic similar al dels suc comercials existents. Amb aquest propòsit, es va decidir primer estudiar la influència de l'addició de diferents soluts d'alt pes molecular en el comportament reològic del rehidratat obtingut. En segon lloc, es va estudiar la relació entre la grandària de partícula de la pols obtinguda al triturar la coca de puré liofilitzat i el comportament reològic del producte després de la rehidratació del mateix. Per a obtenir les diferents grandàries de partícula, la mostra triturada es tamisarà a través d'obertures de malla de 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 i 0,15 mm. Es va caracteritzar el comportament reològic de tots aquests rehidratats i també el de quatre suc de taronja comercials amb el quals realitzar comparacions. Es va comprovar la influència dels diferents soluts i es va escollir una formulació amb goma aràbiga (Ga) i fibra de bambú (Fb) per realitzar amb ella la segona part de l'estudi. En aquesta part es va concloure que la viscositat del producte rehidratat va disminuir a mesura que va disminuir la grandària de partícula de la pols, de manera que sembla possible relacionar aquesta amb la mida de partícula de la pols.

PARAULES CLAU: Taronja, liofilització, comportament reològic, suc de taronja, pols, dimensió de partícula.

Alumne: Enrique Algarra Alexandre

Tutora acadèmica: Prof. Sra. M^a del Mar Camacho Vidal.

Cotutor: Nuria Martínez Navarrete

Directora experimental: Marilú Andrea Silva Espinoza.

València, Juny de 2017

Quiero agradecer, en primer lugar a mi tutora Mar por cederme un hueco en el Departamento de Tecnología de Alimentos y en sus investigaciones. Sobre todo a Andrea por haberme acompañado a cada paso del camino y por los consejos que sin duda me servirán en el desarrollo de mi carrera científica. A mis compañeros de clase de las dos promociones por hacer de estos años algo más que una carrera.

A mis padres, Enrique e Isabel, por dárme todo antes de que hiciese falta pedirlo, a mi tía y a mi tía Cristina, por no dejar de creer en mí ni en los momentos en los que costaba hacerlo, y a Nieves, por haber cambiado mi vida de maneras que no puede ni imaginar.

INDICE:

1. INTRODUCCIÓN.	1
2. OBJETIVO.	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	8
3.1. MATERIALES.	8
3.1.1. MATERIA PRIMA:	8
3.1.2. SOLUTOS:	8
3.1.3. ZUMOS COMERCIALES:	8
3.2. MÉTODOS.	8
3.2.1. PREPARACIÓN DEL PURÉ DE NARANJA:	8
3.2.2. LIOFILIZACIÓN:	9
3.2.3. TRITURADO DE LA TORTA:	9
3.2.4. TAMIZADO:	9
3.2.5. REHIDRATACIÓN:	9
3.2.6. DETERMINACIONES ANALÍTICAS:	10
3.2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO:	11
4. RESULTADOS.	12
4.1. SELECCIÓN DE LA FORMULACIÓN.	12
4.2. INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.	14
5. CONCLUSIONES.	19
6. BIBLIOGRAFÍA.	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de la naranja por 100 g de porción comestible.	3
Tabla 2. Cantidades de los diferentes solutos añadidas en las diferentes formulaciones (en g de soluto por 100 g de puré de naranja)	9
Tabla 3. Valores de n y K obtenidos del ajuste de las curvas de flujo al modelo de Ostwald-de Waele, de las muestras rehidratadas y de los zumos comerciales. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.	13
Tabla 4. Humedad (g agua/100 g de muestra) de la muestra Ga + Fb y de los polvos obtenidos con diferente tamaño de partícula. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.....	15
Tabla 5. Gramos de agua y de polvo utilizados para la rehidratación y obtención de los diferentes productos.....	15
Tabla 6. Valores de los índices de comportamiento al flujo y de consistencia y de la viscosidad aparente de la formulación Ga+Fb y de los productos tamizados hasta diferentes tamaños de partícula y posteriormente rehidratados. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las principales zonas productoras de cítricos en el mundo. (Fuente: MAPAMA)	1
Figura 2. Esquema del sistema de liofilización. (Ruiz, 2015).....	5
Figura 3. Curvas de flujo de los cuatro productos comerciales A (zumo de naranja con vitamina C), B (zumo de naranja con pulpa y vitamina C), C (zumo de naranja) y D (zumo de naranja a partir de concentrado con vitamina C).....	12
Figura 4. Curva de flujo de los productos rehidratados.....	13
Figura 5. Valores de η de las diferentes formulaciones rehidratadas y de los zumos comerciales.	14
Figura 6. Curvas de flujo de los productos tamizados hasta diferente tamaño de partícula y posteriormente rehidratados y de la muestra formulada Ga + Fb).....	16
Figura 7. Comparación de η entre tamizados y comerciales.	17

1. INTRODUCCIÓN.

Las frutas se componen principalmente de fibra y azúcares simples, así como de una gran variedad de compuestos bioactivos, la mayoría de los cuales poseen propiedades antioxidantes (Omaye & Zhang, 1998). Además de las vitaminas C y E, las frutas y verduras contienen fitoquímicos, pertenecientes al grupo de los carotenoides y los flavonoides, que contribuyen a dicha capacidad antioxidante, lo que les confiere un impacto positivo en la salud humana (Robards *et al.*, 1999). Diferentes estudios parecen indicar que las frutas y verduras que consumimos en nuestra dieta diaria, pueden estar asociadas a la reducción del riesgo de padecer ciertas formas de cáncer, enfermedades coronarias, derrames cerebrales y otras enfermedades degenerativas (Southon, 2000). Este hecho se atribuye, precisamente, a la mezcla óptima de vitaminas, fitoquímicos, fibra y demás moléculas bioactivas (Ames *et al.*, 1993). Son este conjunto de propiedades beneficiosas el soporte para las recomendaciones de la OMS y de la FAO, en cuanto a las directrices para la dieta y su enfoque al fomento del consumo de frutas y verduras. Sin embargo, estos requerimientos no se ven satisfechos y las investigaciones en la Región Europea indican un consumo excesivo de calorías, grasas saturadas, grasas trans, azúcar y sal, así como un bajo consumo de verduras, frutas y cereales integrales. Esto conlleva un aumento del número de personas con obesidad; lo que no sólo disminuye las expectativas de vida, sino también la calidad de la misma (WHO, 2015).

La ingesta insuficiente de frutas y verduras es uno de los 10 factores principales de riesgo de mortalidad a escala mundial. En general, se calcula que cada año podrían salvarse 1,7 millones de vidas si se aumentara lo suficiente el consumo de frutas y verduras. Además, se calcula que la ingesta insuficiente de frutas y verduras causa en todo el mundo aproximadamente un 19% de los cánceres gastrointestinales, un 31% de las cardiopatías isquémicas y un 11% de los accidentes vasculares cerebrales (WHO, 2004).

Los cítricos son un importante cultivo frutal en el mundo (**Figura 1**), ya que existen cerca de 6 millones de hectáreas plantadas en más de 100 países, siendo el cultivo mayoritario el del naranjo seguido por las mandarinas.

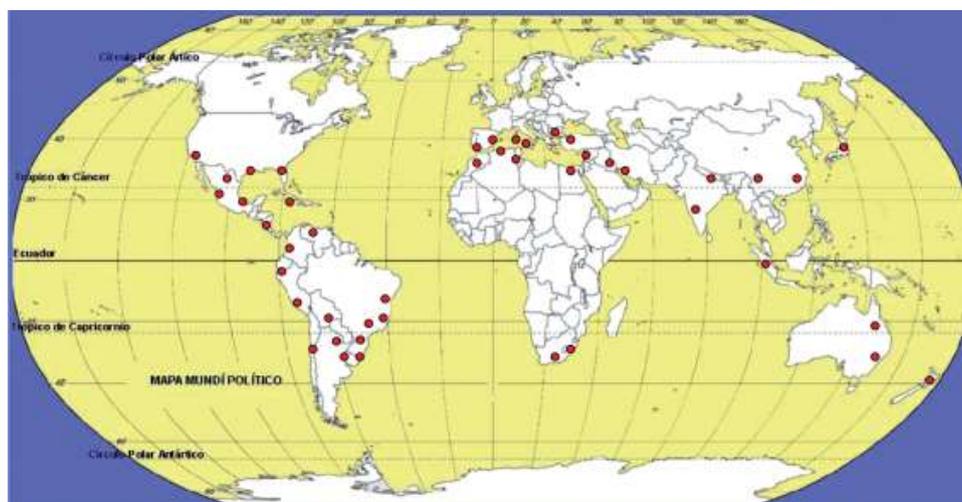


Figura 1. Distribución de las principales zonas productoras de cítricos en el mundo. (Fuente: MAPAMA)

España ocupa el quinto lugar en cuanto a la producción de estos frutos, precedido de Brasil, China, Estados Unidos y Méjico. Este lugar en cuanto a producción tiene como consecuencia que los cítricos sean el alimento más exportado de nuestro país (en marzo de 2017). El subgrupo de cítricos supone un importante 63,3% del total de exportaciones y apenas un 0,7% del total de las importaciones (MAPAMA, 2017).

Según el Anuario de Estadísticas Agrarias de 2015 del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2015), la superficie total de naranjo plantado en 2014 era de 146.742 hectáreas, que rindieron una producción de 3.483.500 toneladas. Esta producción se distribuye entre la Comunidad Valenciana, que lideró la lista con 1.874.069 toneladas, y Andalucía con 1.379.037 toneladas.

La naranja es el fruto del naranjo dulce, árbol que pertenece al género *Citrus* de la familia de las rutáceas. El naranjo dulce (*Citrus sinensis*) no se debe confundir con el amargo (*Citrus aurantium*), cultivado desde la antigüedad como árbol ornamental y para obtener fragancias de sus frutos. Estos frutos, llamados hespérides, tienen la particularidad de que su pulpa está formada por numerosas vesículas llenas de jugo. Presentan un color anaranjado, al que deben su nombre, aunque algunas especies son casi verdes cuando están maduras. Su sabor varía desde el amargo hasta el dulce. Es originaria del sureste de China y norte de Birmania, aunque se la conoce en el área mediterránea desde hace aproximadamente tres mil años. Desde su lugar de origen, el naranjo se extendió a Japón y a lo largo de la India, llegó a Occidente, por la Ruta de la Seda. Los árabes la introdujeron en el sur de España en el siglo X, aunque el naranjo dulce no fue conocido hasta 1450. A partir de ese momento fue extendiéndose por toda Europa, alcanzando gran popularidad durante la segunda mitad del siglo XV (Fundación Española de la Nutrición, 2011).

La naranja se cosecha normalmente en invierno o a mediados de otoño, de ahí su fama como la mejor fruta para afrontar las temperaturas frías. Su porción comestible es de 73 gramos por cada 100 gramos de producto fresco (Fundación Española de la Nutrición, 2011).

En cuanto a su valor nutricional, la Fundación Española de la nutrición señala que, la naranja es una fruta de escaso valor calórico, con un aporte interesante de fibra soluble (pectinas) (**Tabla 1**), cuyas principales propiedades se relacionan con la disminución del colesterol y la glucosa en sangre, así como con el desarrollo de la flora intestinal (Fundación Española de la Nutrición, 2011).

En su composición cabe destacar la elevada cantidad de vitamina C. Una naranja de tamaño medio aporta 82 mg de vitamina C, siendo 60 mg la ingesta recomendada al día para este nutriente (Fundación Española de la Nutrición, 2011). La vitamina C es un antioxidante capaz de neutralizar la oxidación que producen los radicales libres en el organismo (Xu *et al.*, 2008). También contiene cantidades apreciables de folatos, y en menor cantidad, vitamina A, esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico. Además, las naranjas aportan carotenoides con actividad provitamínica A (α -caroteno, β -caroteno y criptoxantina). Numerosos estudios epidemiológicos sugieren la importancia de estos carotenoides en la prevención de distintos tipos de cáncer y en la protección frente a enfermedades cardiovasculares. También contiene otros carotenoides sin actividad provitamínica A, como la luteína y la zeaxantina, que están presentes en la retina y el cristalino del ojo, y se asocian inversamente con el riesgo de padecer cataratas y degeneración macular (Fundación Española de la Nutrición, 2011).

Las naranjas presentan en su composición ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico, que es el más abundante. Éste último es capaz de potenciar la acción de la vitamina C, favorecer la absorción intestinal del calcio y facilitar la eliminación de residuos tóxicos del organismo, como el ácido úrico. Además, contienen importantes cantidades de los ácidos hidroxicinámicos, ferúlico, caféico y p-cumárico, ordenados de mayor a menor en función de su actividad antioxidante (Fundación Española de la Nutrición, 2011).

Estas frutas son ricas en flavonoides. Los más conocidos son la hesperidina, la neoshesperidina, la naringina, la narirutina, la tangeretina y la nobiletina, a los cuales se les han atribuido múltiples funciones (Fundación Española de la Nutrición, 2011).

Tabla 1. Composición nutricional de la naranja por 100 g de porción comestible.

Energía (Kcal)	38	Fósforo (mg)	28
Proteínas (g)	0,8	Tiamina (mg)	0,1
Lípidos (g)	Traza	Riboflavina (mg)	0,03
Hidratos de carbono (g)	8,6	Equivalentes niacina (mg)	0,3
Fibra dietética total (g)	2	Vitamina B6 (µg)	0,06
Agua (g)	88,6	Folatos (µg)	37
Calcio (mg)	36	Vitamina C (mg)	50
Hierro (mg)	0,3	Vitamina A (µg)	46
Magnesio (mg)	12	Vitamina E (mg)	0,2
Sodio (mg)	3	Ácido cítrico (mg)	1460
Potasio (mg)	200	Ácido málico (mg)	80

Fuente: Base de Datos Española de Composición de Alimentos, 2007.

En nuestro estudio hemos utilizado la naranja de variedad navel. Ésta es una de las variedades más extendidas en nuestro país, 44.695 ha cultivadas (30,46 % del naranjo cultivado) y una producción de 1.131.213 toneladas en el año 2014 (32% del total producido).

Las frutas y verduras son alimentos con una reducida vida útil, relacionada directamente con su elevado contenido de humedad, y de disponibilidad variable dada la estacionalidad de las diferentes variedades. Debido a estas propiedades, que convierten a las frutas en alimentos perecederos, es necesario hablar de los diferentes métodos que permiten su procesado y conservación. Entre los productos procesados derivados de la fruta para aumentar su vida útil se encuentran las conservas en almíbar o las frutas deshidratadas, así como diferentes preparaciones para postres o similares, aunque el mercado que más consumidores abarca es el de los zumos y néctares, ya sean éstos frescos, conservados en refrigeración, o pasteurizados (Aschoff *et al.*, 2015).

En España, el mercado de zumos y néctares está concentrado fundamentalmente en tres sabores, que captan casi el 75% del consumo total: el zumo de naranja (25%), piña (25%) y melocotón (23%) (Fernández-Ruiz, Gómez, Sánchez, & Corbacho, 2011). El mercado español de zumos y néctares durante 2015 fue de 941 millones de litros, según el informe anual sobre los zumos y néctares en Europa de la European Fruit Juice Association (AIJN, 2016). En cuanto al consumo per cápita, los españoles consumieron una media de 20,8 litros en 2014, un valor superior al 19,63 de la media europea (ASOZUMOS, 2015).

El agua es el componente principal de los zumos de frutas y representa alrededor del 90% del peso total. El resto está representado por el contenido total de sólidos solubles. Los hidratos

de carbono, en concreto azúcares solubles, son los que siguen cuantitativamente al agua representando entre el 75-85% del total de sólidos solubles en los zumos de fruta. Los azúcares más comunes son los monosacáridos fructosa y glucosa (normalmente en proporción 1:1), así como el disacárido sacarosa. La proporción de cada azúcar varía en función del tipo de fruta, lo que permite diversificar su uso. En el zumo de naranja, la proporción de sacarosa, glucosa y fructosa es 1:1:1 (Cámara *et al.*, 2011).

Otros constituyentes de los zumos son los hidratos de carbono no aprovechables, que constituyen la denominada fibra alimentaria, fundamentalmente en forma de fibra soluble (pectinas). La cantidad de ésta depende de si el zumo incluye parte de la pulpa de la fruta de partida o de si ha sido filtrado y clarificado, en cuyo caso disminuye. Los valores finales de fibra en los zumos oscilan entre 0,2 y 0,4 g / 100 ml.

En general, los zumos de frutas son productos que interesan cada vez más a los consumidores por ser productos naturales que ayudan a seguir una dieta saludable (Kader, 2008). No obstante, una limitación de éstos es que no pueden aparecer en el mercado de forma continuada, con oscilaciones de la oferta marcadas por la recolección de la fruta (Pineda, 2003). Además, su procesado, en muchas ocasiones conlleva a la obtención de productos de calidad limitada, tanto organoléptica como nutricional. En este sentido, es importante que la sociedad se implique en cuanto a la investigación y el desarrollo de nuevos productos, respondiendo además a la demanda de productos fáciles de preparar para el consumidor (Kader, 2008).

Uno de los métodos más empleados para la estabilización y aumento de la vida útil de los productos agroalimentarios es la deshidratación (Bennett *et al.*, 2011), la cual permite, además, reducir su volumen y peso, facilitando el transporte y manipulación (Fazaeli *et al.*, 2012). No obstante, en el caso de las frutas y verduras, la mayoría de los compuestos bioactivos responsables de su calidad funcional son termolábiles (Nicoli *et al.*, 1999). Con el fin de eliminar, o bien minimizar, la pérdida de calidad de los alimentos derivada del proceso térmico, los métodos de procesado o conservación se han encaminado hacia la utilización de operaciones no térmicas, es decir, que no conlleven un aumento importante de la temperatura del alimento. Con este tipo de procesado, se espera que las vitaminas, los nutrientes esenciales y aromas de los alimentos no experimenten cambios (Santamaria, 2010).

En el presente trabajo el proceso de deshidratación aplicado ha sido la liofilización. La liofilización es un proceso de deshidratación basado en el fenómeno de la sublimación del agua en estado sólido (hielo) de un producto. En este sentido, el producto primero pasa por una etapa de congelación para después ser sometido a presiones de vacío, sufriendo la consecuente sublimación del agua desde estado sólido a gaseoso. El vapor de agua desprendido se recoge sobre la superficie de un condensador que se encuentra a temperaturas muy bajas, del orden de -50°C (Berk, 2009).

Mediante la liofilización se consigue una reducción de la actividad del agua (a_w), ralentizándose como consecuencia los procesos de deterioro a los que se ve sometido un alimento (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2006). La importancia de este proceso en la industria agroalimentaria reside, principalmente, en la alta calidad de los productos resultantes en comparación con otros procesos de deshidratación. La liofilización se lleva a cabo a bajas temperaturas, preservando así en el alimento características como el sabor, color o la apariencia y minimizando el daño que sufren los compuestos termolábiles. Además, dado que el alimento conserva su estado sólido durante todo el proceso, se evitan también otros fenómenos indeseables como la reducción del volumen del alimento u otros cambios estructurales (Berk, 2009).

Otra de las ventajas que presenta esta técnica es la muy buena capacidad de rehidratación debido a la formación de la estructura porosa durante la sublimación (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2006).

La liofilización tiene lugar en dos pasos. Primero se da la deshidratación por sublimación del agua congelada, etapa en la que se elimina la mayor parte del agua del producto. En el segundo paso se produce la desorción de la mayoría del agua no congelable que se encuentra retenida en la matriz sólida del alimento (Pikal *et al.*, 1990). Normalmente el proceso se lleva a cabo hasta una humedad final del producto del 1-3% (Berk, 2009). Las partes del equipo de liofilización se muestran en la **figura 2**.

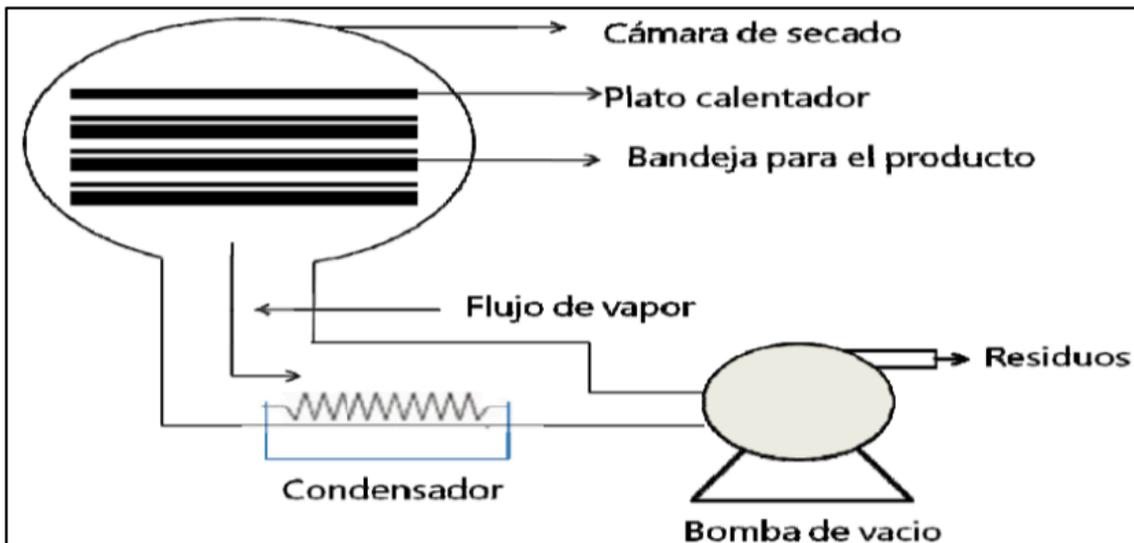


Figura 2. Esquema del sistema de liofilización. (Ruiz, 2015)

La liofilización del puré de naranja supondría la obtención de una torta que podría consumirse como tal (como snack), o que podría triturarse para la obtención de un polvo que podría utilizarse para la preparación de zumos, infusiones, postres, productos lácteos, ensaladas, helados, entre otros, e incluso para el enriquecimiento en compuestos bioactivos de casi cualquier alimento (Silva, 2015).

Este producto cuenta con ventajas respecto a su almacenamiento y conservación, debido a su estabilidad física, química y microbiológica. Sin embargo, podría desarrollar problemas relacionados con la transición vítrea de su matriz provocando el paso del estado vítreo, de alta estabilidad, al gomoso, más inestable. Esto puede ocurrir en este tipo de productos por pequeños aumentos en la humedad o temperatura cuando se sobrepasa la temperatura de transición vítrea (T_g) del alimento. Este fenómeno está directamente relacionado con el aumento de la velocidad de las reacciones de deterioro y con la pérdida de la estructura del producto, que se vuelve muy pegajosa (Silva, 2015).

Para prevenir esta situación indeseable, se ha señalado el uso de solutos de alto peso molecular, como goma arábica (Ga), fibra de bambú (Fb), almidón sustituido con grupos octenilsuccínico (Osa) o maltodextrina (Mal) capaces de aumentar la temperatura de transición vítrea (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2006; Silva, 2015).

Como se ha comentado anteriormente, una de las formas de consumo de este liofilizado podría ser como zumo, previa rehidratación con el agua eliminada durante el proceso. Sin embargo, tanto los solutos incorporados como la etapa adicional de trituración de la torta para

obtener el polvo, podrían afectar al comportamiento reológico del producto rehidratado, el cual es de gran importancia para la percepción del consumidor (Sherman, 1975).

La reología es la ciencia que estudia la relación existente entre el esfuerzo (o fuerza por unidad de superficie) aplicado a un determinado producto y la deformación producida. El conocimiento de las propiedades reológicas de un alimento es necesario para su control de calidad, para el desarrollo de productos, su evaluación sensorial, para el diseño/optimización y estandarización de procesos, etc.

Cuando se lleva a cabo una caracterización reológica de un material como un alimento líquido, se aplica un esfuerzo cortante (σ) sobre el material y, como consecuencia, éste empieza a fluir a una cierta velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$).

Hay varias relaciones básicas simples entre el esfuerzo y la velocidad de deformación. La relación para un líquido viscoso ideal o newtoniano, donde la viscosidad viene dada por la pendiente de la línea y es independiente de la velocidad de deformación. En estos casos se habla de viscosidad newtoniana (μ). Para líquidos no newtonianos, la relación entre σ y $\dot{\gamma}$ no es lineal, de manera que en ellos la viscosidad es dependiente de la velocidad de deformación, denominada viscosidad aparente, η . Si η disminuye con el aumento de $\dot{\gamma}$ se habla de comportamiento pseudoplástico, y si se observa un aumento, se habla de comportamiento dilatante. El comportamiento pseudoplástico y dilatante se puede modelizar en un intervalo limitado de gradiente mediante la ley de la potencia también llamada de Ostwald-de Waele ($\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n$). K es el denominado índice de consistencia con unidades de $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ y n es el índice del comportamiento al flujo (adimensional) y ambas son constantes. La ventaja más grande de esta ecuación de la ley de la potencia es que es relativamente fácil de utilizar tanto en cálculos de flujo analítico como numéricos en situaciones de flujo complejas. El índice de consistencia K está directamente relacionado con η y n toma valores menores que 1 en productos pseudoplásticos y mayores que 1 en dilatantes, siendo 1 cuando el fluido es newtoniano. El modelo de la ley de la potencia se ha utilizado para describir las propiedades de flujo de muchos fluidos, entre ellos productos de fruta (Akdogan & McHugh, 2000)

2. Objetivo.

El objetivo de este trabajo es obtener un polvo de puré liofilizado de naranja que, tras su rehidratación, tenga un comportamiento reológico similar al de los zumos comerciales existentes. Para ello, los objetivos específicos de este trabajo son:

- Estudiar el efecto de la adición de diferentes solutos de alto peso molecular al puré de naranja en el comportamiento reológico del producto liofilizado obtenido, tras su trituración y rehidratación.
- Estudiar la relación entre el tamaño de partícula del polvo obtenido al triturar el puré de naranja liofilizado y el comportamiento reológico del producto tras su rehidratación.
- Comparar el comportamiento reológico de los zumos obtenidos con diferentes zumos comerciales.

3. Materiales y métodos.

3.1. Materiales.

3.1.1. Materia prima:

Se utilizaron naranjas (*Citrus sinensis*) de la variedad Navel. Las naranjas empleadas en este estudio fueron adquiridas en un supermercado local de la ciudad de Valencia. La elección de las naranjas se realizó mediante inspección visual basándose en la homogeneidad del tamaño, firmeza y color, y en la ausencia de daños físicos aparentes en la superficie.

3.1.2. Solutos:

Para las formulaciones de los diferentes purés de naranja, se utilizaron diferentes solutos de elevado peso molecular que fueron combinados de diferentes formas.

Los solutos fueron:

- Goma arábica (Ga): Scharlab, Sentmenat, España.
- Fibra de bambú (Fb): VITACEL®, Rosenberg, Alemania.
- Maltodextrina (Mal): Roquette, Lestrem, Francia.
- Almidón de maíz nativo (Amn): Roquette, Lestrem, Francia.
- Fibra de Guisante (Fg): Roquette, Lestrem, Francia.
- Almidón sustituido con grupos octenilsuccínico (Osa): Roquette, Lestrem, Francia.

3.1.3. Zumos comerciales:

Se adquirieron cuatro productos diferentes de zumo de naranja, que denominaremos A, B, C y D. La información composicional de cada uno de ellos, según sus etiquetas, es la siguiente: A: Zumo de naranja con vitamina C; B: Zumo de naranja, pulpa y vitamina C; C: Zumo de naranja; y D: Zumo de naranja a partir de concentrado con vitamina C.

3.2. Métodos.

3.2.1. Preparación del puré de naranja:

Para la obtención del puré de naranja se partió de fruta previamente lavada, pelada y cortada, que se trituró mediante un robot de cocina (Thermomix TM 21, Vorwerk, España) a velocidad 9 durante 80 segundos.

Para conseguir las diferentes formulaciones, al puré de naranja se le añadieron los solutos correspondientes en las cantidades descritas según la **tabla 2**, se mezcló con el robot de cocina hasta alcanzar una muestra homogénea.

Tabla 2. Cantidades de los diferentes solutos añadidas en las diferentes formulaciones (en g de soluto por 100 g de puré de naranja)

	Ga + Fb	Osa + Fg	Osa + Amn	Mal + Fg	Mal + Amn	Naranja
Ga	5	-	-	-	-	-
Fb	1	-	-	-	-	-
Fg	-	1	-	1	-	-
Amn	-	-	1	-	1	-
Osa	-	5	5	-	-	-
Mal	-	-	-	5	5	-

Las muestras obtenidas se vertieron en bandejas de aluminio, hasta alcanzar los 0,5 cm de espesor, y se congelaron inmediatamente a -45°C (Liebherr LGT 2325, Alemania) durante un tiempo mínimo de 48 horas antes de su liofilización.

3.2.2. Liofilización:

Las muestras congeladas se liofilizaron (Liofilizador Telstar Lioalfa-6, España) a 0,05 mbar, -45°C en el condensador y 40°C de temperatura de bandeja, durante 20 horas.

3.2.3. Triturado de la torta:

Las tortas liofilizadas obtenidas se trituraron en el mismo robot de cocina utilizado anteriormente (Thermomix TM 21, Vorwerk, España) a velocidad 6 durante 10 segundos, hasta conseguirse un polvo. Este polvo fue almacenado a 4°C en bolsas zip dentro de un desecador con silicagel hasta su análisis, debido a la alta higroscopicidad del mismo.

3.2.4. Tamizado:

El polvo obtenido fue tamizado en lotes de 40g. Éste se hizo pasar a través de un conjunto de tamices de 0,5mm, 0,4m, 0,3mm, 0,2mm y 0,15mm de anchura de malla, acoplados en serie (CISA 200/50, Barcelona, España), utilizando un agitador de tamices vibratorio (AMP0.40 CISA, Barcelona, España) a 50 Hz durante 5 minutos. La muestra con un tamaño de partícula superior a 0,5mm se desechó, mientras que la retenida en los diferentes tamices fue almacenada en bolsas zip y almacenada a 4°C en un desecador con silicagel hasta su rehidratación. Este proceso se realizó con la formulación seleccionada para estudiar la influencia del tamaño de partícula.

3.2.5. Rehidratación:

La rehidratación del polvo obtenido tras la trituración de las tortas se realizó para obtener purés de humedad igual a la del triturado antes de liofilizar. Las cantidades de agua y polvo a incorporar para conseguir que el producto rehidratado alcanzara la humedad inicial se calculó mediante un balance de materia (**Ec.1 y 2**), teniendo en cuenta las humedades tanto de la mezcla inicial como del polvo.

$$m^{rh} = m^p + m^w \quad (1)$$

$$m^p \cdot (1 - x_w^p) = m^{rh} \cdot (1 - x_w^t) \quad (2)$$

Donde m^{rh} : masa final del producto rehidratado (g); m^w : masa de agua (g); m^p : masa del producto en polvo (g); x_w^t : humedad inicial de la naranja triturada (g agua/g); x_w^p : humedad del producto en polvo (g agua/g).

La rehidratación se llevó a cabo en vasos de precipitados de 50 ml con doble camisa conectados a un baño termostatado (Refrigerated Circulator 901, Poly Science, Estados Unidos), con el fin de asegurar una temperatura de rehidratación constante de 10°C. La mezcla de agua destilada y polvo de naranja liofilizada se mantuvo en agitación magnética constante (800rpm) durante 8 minutos (Agitador multicanal MS-51M, JEIO TECH Lab Companion, Daejeon, Corea)

Las muestras rehidratadas se dejaron en reposo en refrigeración durante 24 horas para su estabilización antes del estudio de su comportamiento reológico.

3.2.6. Determinaciones analíticas:

Se midió el contenido en agua y los °Brix de los purés con las distintas formulaciones antes de liofilizar. Asimismo, se midió el contenido en agua de los polvos obtenidos tras la trituración de las tortas. Tanto los productos rehidratados a partir del polvo como los zumos comerciales fueron caracterizadas según su comportamiento reológico.

3.2.6.1. Sólidos solubles:

Los sólidos solubles se determinaron mediante la lectura de los °Brix (gramos de sólidos solubles por 100 g de fracción líquida) utilizando un refractómetro automatizado (Refracto 30PX, PortableLab™, Mettler Toledo, Suiza) a 20°C.

3.2.6.2. Contenido en agua:

El contenido en agua (X_w , gramos de agua en 100 gramos de producto) se determinó mediante secado en estufa de vacío (P Selecta®, VacioTem-T, J.P. Selecta S.A., España) a $60 \pm 1^\circ\text{C}$, a una presión inferior a 100 mmHg, hasta peso constante (AOAC, 1990) El contenido de agua se calculó por gravimetría, a partir de los pesos de la muestra antes y después de ser sometida a la desecación. Los pesos se controlaron con una balanza analítica (XS204 DeltaRange®, Mettler Toledo, Suiza).

3.2.6.3. Comportamiento reológico:

Para todas las muestras se seleccionó un tiempo de reposo-relajación de la muestra de 300 segundos antes de ejecutar la prueba. Se obtuvieron las curvas de flujo aplicando un barrido de gradiente de velocidad de 0 a 120s^{-1} , en 120 segundos, a temperatura constante de 8°C . Para ello se utilizó un reómetro de gradiente de velocidad controlado (Haake RheoStress 1, Thermo Scientific, Karlsruhe, Alemania) con un sistema de cilindros concéntricos (Z34 DIN) acoplado a un baño termostatado (Viscotherm VT 10, Physica).

Las curvas de flujo fueron ajustadas al modelo Ostwald-de Waele (**Ec.3**) para obtener el índice de comportamiento al flujo (n) y el índice de consistencia (K).

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

La viscosidad aparente (η , Pa·s) se calculó aplicando el teorema del valor medio (**Ec. 4**) para dar un valor representativo de esta variable en todo el rango de velocidad de corte considerado en el estudio. Teniendo en cuenta que en este caso η sigue la **Ec. (5)**, Ec. (4) se puede expresar como Ec. (6).

$$\eta_{ap} = \frac{1}{\dot{\gamma}_{max}} \int_0^{\dot{\gamma}_{max}} \eta(\dot{\gamma}) d(\dot{\gamma}) \quad \dot{\gamma} \in [0, \dot{\gamma}_{max}] \quad (4)$$

$$\eta_{ap} = K(\dot{\gamma})^{(n-1)} \quad (5)$$

$$\eta_{ap} = \frac{K}{n} \dot{\gamma}_{max}^{(n-1)} \quad (6)$$

Donde σ : esfuerzo cortante o de cizalla (Pa); $\dot{\gamma}$: gradiente de velocidad (s^{-1}); n: índice de comportamiento al flujo; K: índice de consistencia ($Pa \cdot s^n$); $\dot{\gamma}_{max}$: velocidad máxima (s^{-1}) = $120 s^{-1}$; η : viscosidad aparente (Pa·s)

3.2.7. Análisis estadístico:

Para establecer las diferencias estadísticas existentes entre las muestras analizadas, se efectuaron análisis de la varianza (ANOVA) de carácter simple, para un nivel de significación $\alpha = 0,05$. El análisis estadístico de los resultados obtenidos se ejecutó con el programa Statgraphics Centurion XVI.II.

4. Resultados.

El puré de naranja sin solutos utilizado presentó una humedad de $88,00 \pm 0,07$ g de agua por 100 g de muestra y $10,00 \pm 0,17$ °Brix. Una vez añadidos los solutos para la preparación de las diferentes formulaciones preparadas (**Tabla 2**), la humedad disminuyó a valores comprendidos entre 83 y 84 g de agua por 100g de muestra, según la formulación analizada, y los °Brix aumentaron hasta $15,00 \pm 0,16$.

Dichas formulaciones fueron liofilizadas, trituradas y rehidratadas de la manera descrita en los apartados 3.2.2. ; 3.2.3. y 3.2.5. Todas ellas se caracterización reológicamente, para así poder seleccionar una de ellas con la que hacer el estudio en función de su tamaño de partícula.

4.1. Selección de la formulación.

Se comparó el comportamiento reológico de los productos rehidratados de las diferentes formulaciones con el de los zumos comerciales, con el objetivo de seleccionar la formulación cuyo comportamiento fuera el más parecido a éstos.

Las **figuras 3 y 4** muestran las curvas de flujo de los zumos comerciales y de los productos rehidratados a partir de los polvos obtenidos de los purés formulados.

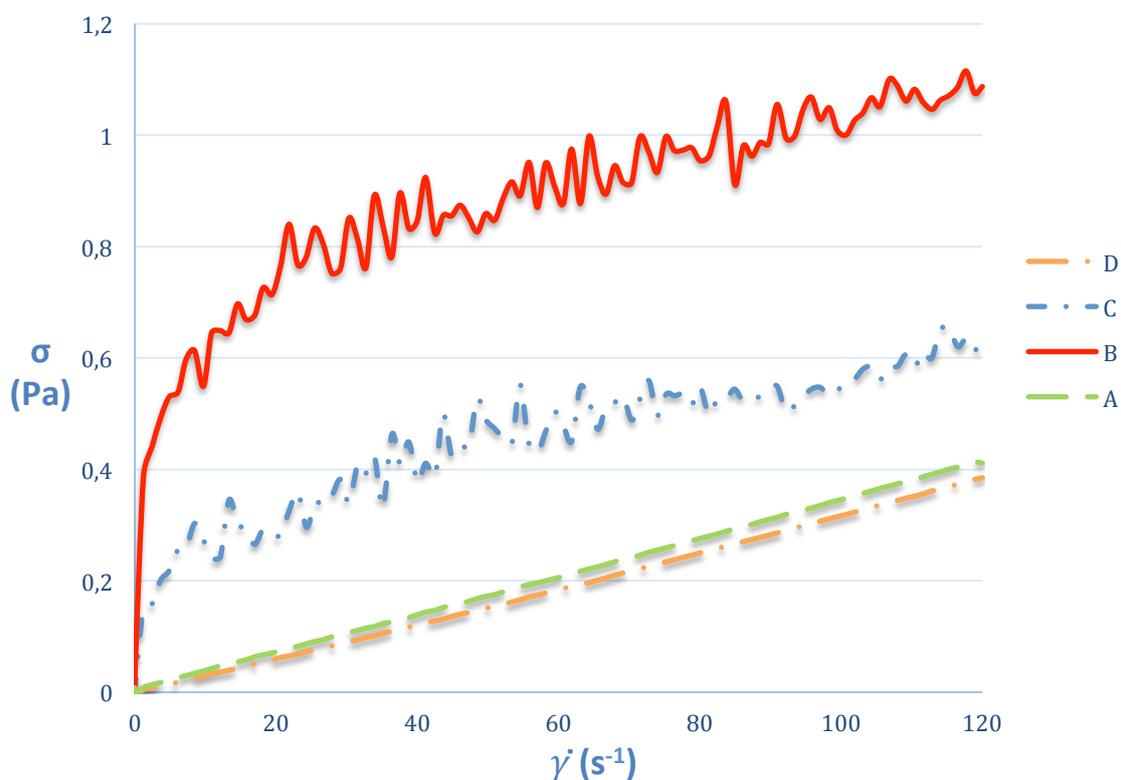


Figura 3. Curvas de flujo de los cuatro productos comerciales A (zumo de naranja con vitamina C), B (zumo de naranja con pulpa y vitamina C), C (zumo de naranja) y D (zumo de naranja a partir de concentrado con vitamina C)

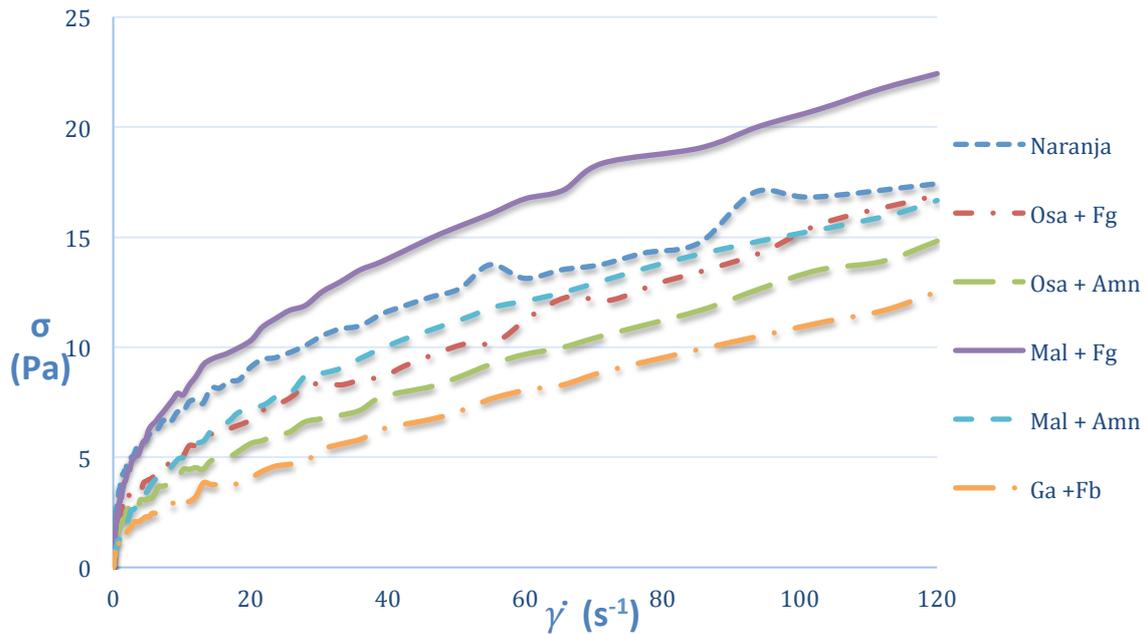


Figura 4. Curva de flujo de los productos formulados con diferentes solutos y posteriormente rehidratados.

Los zumos B y C, ambos con pulpa visible, presentaron un comportamiento pseudoplástico, mientras que A y D, sin pulpa, mostraron un comportamiento newtoniano. Los productos rehidratados mostraron todos ellos un comportamiento pseudoplástico.

A partir de las curvas de flujo, se realizó el ajuste al modelo de Ostwald-de Waele y se obtuvieron los parámetros n (índice de comportamiento) y K (índice de consistencia) (**Tabla 3**).

Tabla 3. Valores de n y K obtenidos del ajuste de las curvas de flujo al modelo de Ostwald-de Waele, de las muestras rehidratadas y de los zumos comerciales. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.

	n	K (Pa*s ⁿ)
Ga + Fb	0,521 (0,008) ^b	1,027 (0,008) ^c
Mal + Amn	0,60460 (0,01017) ^d	1,20 (0,03) ^d
Mal + Fg	0,589 (0,016) ^{cd}	2,09 (0,15) ^f
Naranja	0,52 (0,02) ^{bc}	2,249 (0,106) ^g
Osa + Amn	0,49 (0,02) ^b	1,42 (0,08) ^e
Osa + Fg	0,47 (0,02) ^b	1,97 (0,09) ^f
A	0,93 (0,05) ^e	0,0047 (0,0012) ^a
B	0,23 (0,04) ^a	0,37 (0,09) ^b
C	0,247 (0,117) ^a	0,22 (0,13) ^b
D	0,99 (0,02) ^e	0,0033 (0,0004) ^a

La misma letra indica grupos homogéneos establecidos por ANOVA ($p < 0,05$) teniendo en cuenta los datos de las columnas.

Los valores de n muy cercanos a 1, como los de las muestras A y D, confirman su comportamiento newtoniano. B y C tienen los valores más bajos de n y los productos

rehidratados tienen valores intermedios, muy inferiores a 1, lo que confirma su comportamiento pseudoplástico.

Con respecto al índice de consistencia, los zumos comerciales presentaron valores de K muchos menores que los productos rehidratados. Los productos rehidratados que presentan mayores valores de K son aquellos que fueron formulados con fibra de guisante (Fg). Aquellos productos que fueron formulados con almidón de maíz nativo (Amn) presentan un valor de K menor. Sin embargo, el producto rehidratado a partir del polvo que contenía los solutos Ga+Fg destaca por presentar el menor valor de K y, por tanto, el valor más cercano al de los zumos comerciales.

A partir de los valores de n y K , tal y como se describe en el apartado 3.2.6.3., se calculó la viscosidad aparente (η) tanto de los productos rehidratados como de los cuatro zumos comerciales, para dar un valor representativo de esta variable en todo el intervalo de gradiente de velocidad considerado (**Figura 5**)

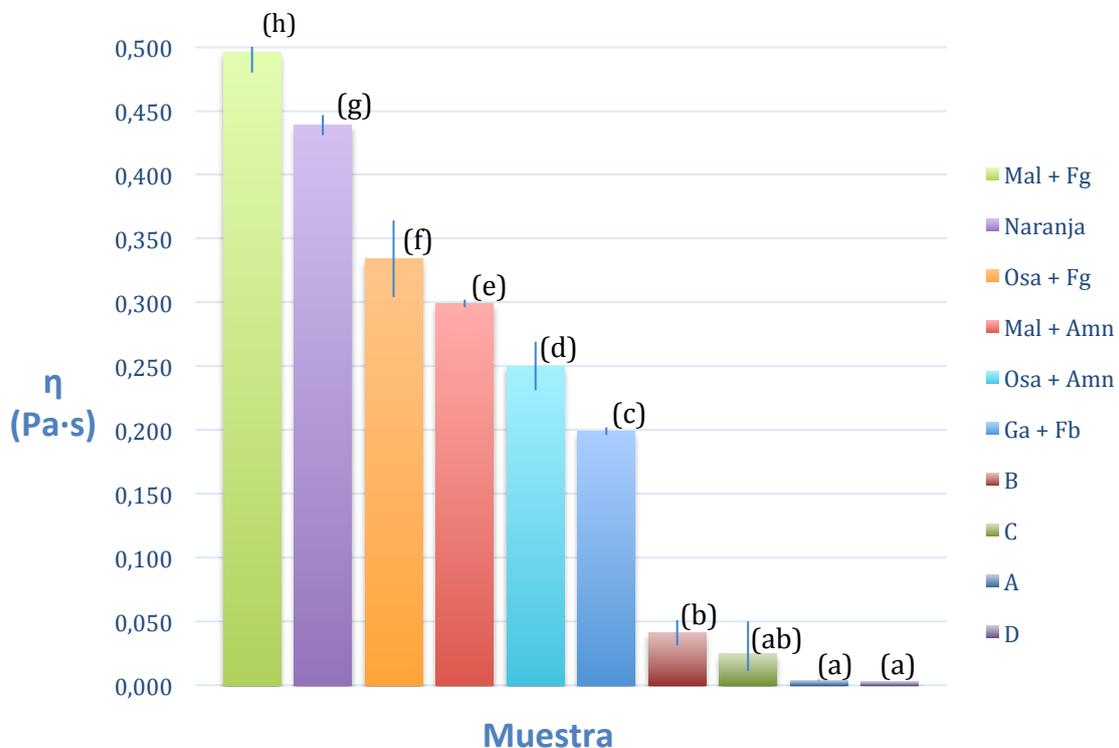


Figura 5. Valores de η de las diferentes formulaciones rehidratadas y de los zumos comerciales. La misma letra indica grupos homogéneos establecidos por ANOVA ($P < 0,05$).

Los valores de η muestran la misma tendencia que el índice de consistencia. La formulación Ga + Fb proporciona un valor de viscosidad más bajo, es decir, más cercano al de los productos comerciales. Es por ello por lo que se eligió dicha formulación para analizar la influencia del tamaño de partícula del polvo en la reología de los productos rehidratados.

4.2. Influencia del tamaño de partícula.

Para esta parte del estudio, se liofilizó puré de naranja formulado con Ga + Fb y se trituró el polvo con la metodología descrita en el apartado 3.2.3. Dicho polvo se tamizó según el apartado 3.2.4. obteniéndose así 5 muestras de tamaño de partícula diferente.

La humedad del puré y de los polvos obtenidos después de la liofilización y el triturado con diferente tamaño de partícula (**Tabla 4**) permitieron calcular, mediante un balance de materia, las diferentes cantidades de agua y polvo que añadir, en cada caso, para obtener los diferentes productos rehidratados (**Tabla 5**), todos ellos con el mismo contenido de agua que el puré de partida.

Tabla 4. Humedad (g agua/100 g de muestra) de la muestra Ga + Fb y de los polvos obtenidos con diferente tamaño de partícula. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.

Muestra	g agua/100g muestra
Ga + Fb	83,87 (0,02)
P(0,5 – 0,4 mm)	0,32 (0,09)
P(0,4 – 0,3 mm)	0,38 (0,02)
P(0,3 – 0,2 mm)	0,67 (0,15)
P(0,2 - 0,15 mm)	0,86 (0,12)
P(<0,15mm)	0,54 (0,09)

Tabla 5. Gramos de agua y de polvo utilizados para la rehidratación y obtención de los diferentes productos.

Muestra	Masa (g)	
	Polvo	Agua
P (0,5 – 0,4 mm)	Polvo	7,2793
	Agua	37,7207
P (0,4 – 0,3 mm)	Polvo	7,2985
	Agua	37,7015
P (0,3 – 0,2 mm)	Polvo	7,3215
	Agua	37,6785
P (0,2 - 0,15 mm)	Polvo	7,3119
	Agua	37,6881
P (<0,15 mm)	Polvo	7,2948
	Agua	37,7052

Se analizó el comportamiento reológico de los productos rehidratados a partir de los polvos tamizados y se comparó con la muestra Ga + Fb antes de liofilizar. Las curvas de flujo se presentan en la **figura 6**.

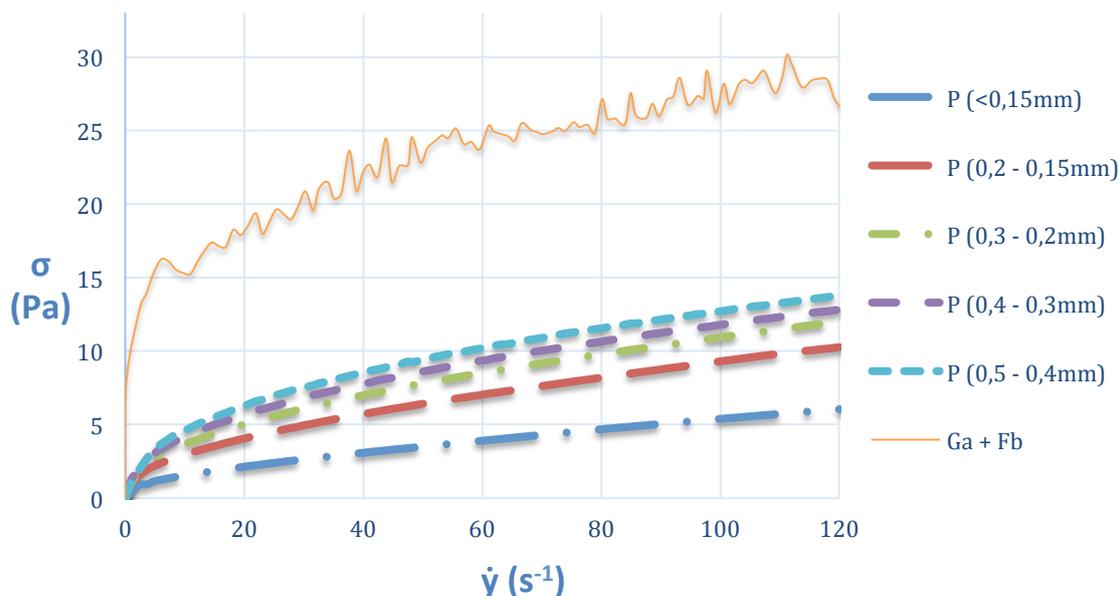


Figura 6. Curvas de flujo de los productos tamizados hasta diferente tamaño de partícula y posteriormente rehidratados y de la muestra formulada Ga + Fb)

Las curvas de flujo de la formulación Ga + Fb antes de liofilizar y de los productos rehidratados tamizados (**Figura 6**) nos indican que los rehidratados mostraron un típico comportamiento pseudoplástico. La formulación Ga + Fb antes de liofilizar mostró, en todo el intervalo, mayores valores de esfuerzo cortante, pareciendo indicar que el proceso de liofilización, trituración y tamizado de los polvos influye en su viscosidad. No obstante, un estudio realizado anteriormente (Silva, 2015) demostró que el proceso de liofilización no tiene una influencia significativa en la viscosidad el producto rehidratado; por lo que podemos atribuir esta disminución de la viscosidad al proceso de trituración de la torta liofilizada. En cuanto a los productos rehidratados a partir de los polvos, con los cinco tamaños de partículas diferentes, es evidente la influencia de éste, ya que se observa una disminución del esfuerzo cortante, en todo el intervalo de gradiente de velocidad, a medida que disminuye el tamaño de partícula del polvo.

Asimismo, al comparar las curvas de flujo de las muestras estudiadas con las curvas de flujo de los zumos de naranja comerciales (**Figura 3**) se observó que el esfuerzo cortante de las muestras comerciales fue inferior a los mostrados en el caso de los productos formulados y triturados hasta un tamaño de partícula determinado.

La **tabla 6** muestra los valores de los índices de comportamiento al flujo y de consistencia y de la viscosidad aparente, obtenidos a partir del ajuste de las curvas de flujo (**Figura 6**) al modelo de Ostwald-de Waele y aplicando el teorema del valor medio (Ec.4), respectivamente .

Los valores de n de los productos tamizados rehidratados son muy inferiores a 1, lo que confirma el comportamiento pseudoplástico de todos ellos. Cabe destacar que no se encuentran diferencias significativas, por lo que podemos concluir que la etapa de tamizado no influye en el índice de comportamiento al flujo de la muestra.

Tabla 6. Valores de los índices de comportamiento al flujo y de consistencia y de la viscosidad aparente de la formulación Ga+Fb y de los productos tamizados hasta diferentes tamaños de partícula y posteriormente rehidratados. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.

Muestra	n	K (Pa·s ⁿ)	η (Pa·s)
Ga + Fb	0,3427 (0,0104) ^a	5,5 (0,4) ^a	0,69 (0,03) ^a
P (0,5 - 0,4mm)	0,462 (0,009) ^b	1,51 (0,03) ^b	0,249 (0,002) ^b
P (0,4 - 0,3mm)	0,464 (0,003) ^b	1,411 (0,007) ^b	0,234 (0,002) ^c
P (0,3 - 0,2mm)	0,480 (0,002) ^b	1,181 (0,016) ^c	0,204 (0,003) ^d
P (0,2 - 0,15mm)	0,490 (0,005) ^b	0,97 (0,08) ^d	0,17210 (0,01109) ^e
P (<0,15mm)	0,5330 (0,0002) ^b	0,4510 (0,0002) ^e	0,0903 (0,00004) ^f

La misma letra indica grupos homogéneos establecidos por ANOVA ($p < 0,05$) teniendo en cuenta los datos de las columnas.

Con respecto al índice de consistencia, se observa una tendencia a la baja a medida que disminuye el tamaño de partícula del polvo rehidratado. Ésta disminución es representativa entre todas las muestras excepto en las dos con mayor tamaño de partícula, que sí se consideran dentro del mismo grupo homogéneo.

En cuanto a la viscosidad, como era de esperar, el comportamiento fue el mismo que en el caso de K. La muestra Ga + Fb presentó un valor de η de $0,69 \pm 0,03$ Pa·s, valor que se destaca por ser mucho mayor que los de las muestras tamizadas, cuya viscosidad disminuyó a medida que disminuyó el tamaño de partícula del polvo, de modo que parece posible relacionar ésta con el tamaño de partícula del polvo.

Los valores de viscosidad aparente de los productos rehidratados a partir de polvo con diferente tamaño de partícula se compararon con los correspondientes a los de los zumos comerciales (**Figura 7**).

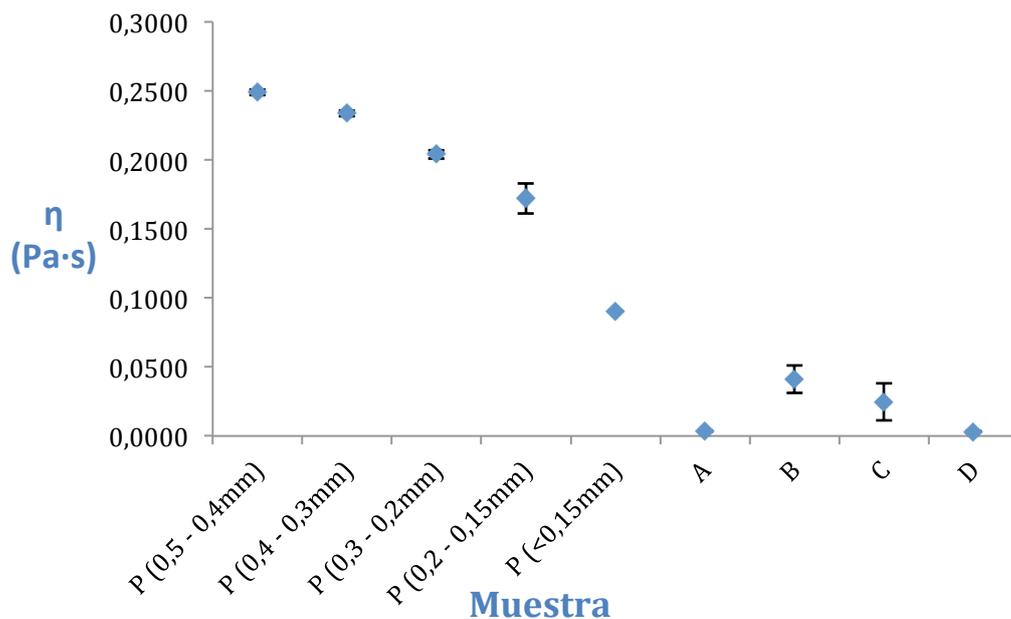


Figura 7. Viscosidad aparente de los productos rehidratados a partir de polvo con diferente tamaño de partícula y de los zumos comerciales A, B, C y D.

La viscosidad de los polvos rehidratados con diferentes tamaños de partícula se encuentra entre la muestra Ga + Fb y la de los productos comerciales, más cerca de éstos últimos pero sin llegar a los valores deseados. Esto significa que cualquiera de los zumos comerciales es menos viscoso que los preparados a partir de muestras tamizadas y rehidratadas, por lo que sería interesante conseguir polvos con tamaño de partícula más pequeño que los obtenidos en éste estudio. Para obtener un producto rehidratado con una viscosidad más baja, debería entonces de utilizarse tamices de menos de 0,15 mm de malla.

5. Conclusiones.

Tras la caracterización de los productos rehidratados a partir del polvo de liofilizado de naranja, se puede concluir que la adición de solutos de alto peso molecular afecta significativamente al comportamiento reológico del mismo, siendo una formulación con goma arábica (Ga) y fibra de bambú (Fb) la que proporciona un rehidratado con un valor de viscosidad más bajo, es decir, más cercano al de los productos comerciales (de entre las formulaciones que se estudiaron).

Por otra parte, la viscosidad de las muestras tamizadas disminuye a medida que disminuye el tamaño de partícula del polvo, de modo que parece posible relacionar ésta con el tamaño de partícula del polvo.

Finalmente, sería interesante conseguir polvos con tamaño de partícula más pequeño que los obtenidos en este estudio, ya que cualquiera de los zumos comerciales es menos viscoso que los preparados a partir de muestras tamizadas y rehidratadas. Para obtener un producto rehidratado con una viscosidad más baja, debería entonces utilizarse tamices de menos de 0,15 mm de malla.

6. Bibliografía.

- AIJN. (2016). *Market Report 2016*. European fruit juices association.
- Akdogan, H., & McHugh, T. H. (2000). Flow characterization of peach products during extrusion. *Food Engineering and Physical Properties*, 65(3), 471–475.
- Ames, B. N., Shigenaga, M. K., & Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Science*, 90(September), 7915–7922.
- AOAC. (1990). Método de secado 20.013.
- Aschoff, J. K., Kaufmann, S., Kalkan, O., Neidhart, S., Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2015). In vitro bioaccessibility of carotenoids, flavonoids, and vitamin C from differently processed oranges and orange juices [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(2), 578–587.
- ASOZUMOS. (2015). www.asozumos.com. Retrieved from http://www.asozumos.org/zum/notas-de-prensa-2015/cada-espanol-consumio-20-8-litros-en-2014--por-encima-de-los-19-63-de-la-media-europea_9610_177_11238_0_1_in.html
- Barbosa-Cánovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2006). *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Base de Datos Española de Composición de Alimentos. (2007). Retrieved May 9, 2017, from <http://www.bedca.net/bdpub/index.php>
- Bennett, L. E., Jegasothy, H., Konczak, I., Frank, D., Sudharmarajan, S., & Clingeleffer, P. R. (2011). Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *Journal of Functional Foods*, 3(2), 115–124.
- Berk, Z. (2009). *Freeze drying (liophilization) and freeze concentration*. In *Food Process Engineering and Technology*. Elsevier, New York, 511-523.
- Cámara, M., Pérez, M. L., López, R., Martí, N., Saura, D., & Micol, V. (2011). Nutrición y Salud. In *El Libro del Zumo* (pp. 117–137). ASOZUMOS, Asociación Española de Fabricantes de Zumos.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 667–675.
- Fernández-Ruiz, V., Gómez, A., Sánchez, M. J., & Corbacho, A. (2011). Comercialización y consumo. In *El Libro del Zumo* (pp. 141–163). ASOZUMOS,

Asociación Española de Fabricantes de Zumos.

Fundación Española de la Nutrición. (2011). Naranja. Retrieved May 8, 2017, from <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/naranja.pdf>

Kader, A. A. (2008). Las frutas en el mercado global. In *Bases biológicas de la calidad de la fruta* (pp. 1–16). Acribia.

MAPAMA (2015). Anuario de Estadísticas Agrarias. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Retrieved May 9, 2017, from <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2015/default.aspx>

MAPAMA (2017). Boletín Mensual de Estadística Marzo 2017. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Retrieved May 9, 2017, from <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/boletin-mensual/>

Nicoli, M. , Anese, M., & Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 10(3), 94–100.

Omaye, S. T., & Zhang, P. (1998). Phytochemical Interactions: β -carotene, tocopherol and ascorbic acid. In W. R. Bidlack, S. T. Omaye, M. S. Meskin, & D. K. Topham (Eds.), *Phytochemicals: A New Paradigm*. Press, CRC.

Pikal, M. J., Shah, S., Roy, M. L., & Putman, R. (1990). The secondary drying stage of freeze drying: drying kinetics as a function of temperature and chamber pressure. *International Journal of Pharmaceutics*, 60(3), 203–207.

Pineda, M. T. S. (2003). Industria de elaboración de zumos cítricos. In *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. Mundi-Prensa libros.

Robards, K., Prezler, P. D., Tucker, G., Swatsitang, P., & Glover, W. (1999). Phenolic Compounds and their Role in Oxidative Processes in Fruits. *Food Chemistry*, 66, 401–466.

Ruiz, E. (2015). *Valor funcional de un zumo obtenido a partir de pomelo en polvo*. Tesis de Máster. Universitat Politècnica de València.

Santamaria, M. R. (2010). *Tecnologías emergentes*. In *Industria Alimentaria. Tecnologías emergentes*. Edicions Universitat Politècnica de Catalunya.

Sherman, P. (1975). Factors Influencing the Instrumental and Sensory Evaluation of Food Emulsions. In *Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials* (pp. 251–266). Springer Netherlands.

Silva, M. A. (2015). Estudio del comportamiento reológico de zumo de fruta

obtenido a partir de pomelo liofilizado. Tesis de Máster. Universitat Politècnica de València.

Southon, S. (2000). Increased fruit and vegetable consumption within the EU: potential health benefits. *Food Research International*, 33, 211–217.

WHO. (2004). Estrategia mundial sobre régimen alimentario , actividad física y salud Fomento del consumo mundial de frutas y verduras. Retrieved May 7, 2017, from <http://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/es/index1.html>

WHO. (2015). European Food and Nutrition Action Plan. Retrieved May 7, 2017, from http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/294474/European-Food-Nutrition-Action-Plan-20152020-en.pdf?ua=1

Xu, G., Liu, D., Jianchu, C., Xingqian, Y., Yaqin, M., & John, S. (2008). Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chemistry*, 106(2), 545–551.