

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL
MEDI NATURAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CARACTERIZACIÓN DE POLVOS DE PIEL DE MANDARINA PARA SU USO COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EN ALIMENTOS

TRABAJO FINAL DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA
AGRONÓMICA

ALUMNA: Dña. RAQUEL SÁEZ GARCÍA

TUTORA: Dra. LUCÍA SEGUÍ GIL

COTUTORA: Dra. NOELIA BETORET VALLS

Curso Académico: 2017-2018

Valencia, 3 de Noviembre de 2017

Licencia Creative Commons "Reconocimiento no Comercial –Sin Obra Derivada".



Caracterización de polvos de piel de mandarina para su uso como ingrediente funcional en alimentos.

RESUMEN

La industria alimentaria genera una gran cantidad de desechos orgánicos como resultado de su actividad, los cuales actúan en detrimento del medio ambiente y es necesario gestionar adecuadamente, lo que supone un coste añadido. La necesidad de reducir el volumen de residuos y el impacto generado por los mismos, lleva a considerar la revalorización de éstos no sólo como una opción medioambientalmente más sostenible, sino también como una opción ventajosa desde el punto de vista económico. En particular, el residuo de industrialización de mandarina consiste en las pieles o bagazos, ricos en compuestos con propiedades funcionales tales como fibra, aceites esenciales, antioxidantes y vitaminas. Por otro lado, la obtención de polvos de fruta ha cobrado interés en los últimos años, ya que este formato permite su utilización como aditivo, aliño o ser incorporados fácilmente a la formulación de alimentos. Por lo tanto, la obtención de polvos a partir de bagazos supone una oportunidad de revalorización a tener en cuenta.

El objetivo del presente trabajo consistió en la caracterización y valoración como ingrediente funcional del polvo de bagazo de mandarina, obtenido tras un proceso que combina el secado por aire caliente y el triturado. Para ello, se empleó bagazo de mandarina congelado, el cual se descongeló durante 24 h a temperatura ambiente, que fue posteriormente lavado con detergente y enjuagado. Tras un triturado inicial, el bagazo se secó por aire caliente (70 °C durante 24 h), obteniéndose el residuo seco que se trituró de nuevo a diferentes intensidades para obtener polvo de granulometría gruesa y fina. El bagazo de mandarina seco se caracterizó en términos de humedad y actividad del agua. Para valorar el efecto de la granulometría, los polvos se analizaron en términos de sólidos solubles, solubilidad, tamaño de partícula, higroscopicidad, isothermas de sorción, propiedades de hidratación y retención de agua, propiedades emulsionantes, contenido en fibra y efecto prebiótico.

Los resultados del presente trabajo sugieren que la combinación del secado por aire caliente y triturado permite obtener un polvo estable y con propiedades interesantes para ser utilizado en el desarrollo de alimentos funcionales a partir de bagazo de mandarina. En particular, el polvo de bagazo de mandarina, presentó un contenido en humedad y a_w bajos, y un contenido en fibra considerable, la cual podría aportar cierto efecto prebiótico. Sin embargo, la presencia de polvo de mandarina actuó en detrimento del crecimiento del microorganismo probiótico estudiado, lo que sería indicativo de la presencia de otros compuestos, posiblemente aceites esenciales y compuestos antioxidantes, que tendrían efecto inhibitorio sobre el crecimiento microbiano. Las propiedades de solubilidad, humectabilidad y capacidad de hinchamiento, resultaron menores a las obtenidas para otros polvos de frutas. Con respecto las propiedades emulsionantes, los resultados indican que el polvo de mandarina no sería un ingrediente adecuado para productos que requieran la formación de una buena emulsión (salsas, cremas, etc). Por otro lado, se ha comprobado que la granulometría del producto final tiene consecuencias sobre las propiedades fisicoquímicas medidas.

Palabras clave: residuos, subproductos, bagazo, mandarina, fruta, secado por aire caliente, funcional, fibra, prebiótico.

Characterization of mandarin skin powders for its use as a functional ingredient in foods.

ABSTRACT

Food industry generates a great quantity of organic wastes as a result of its activity, which are detrimental to the environment and need to be properly managed, this implying an added cost. The need to reduce the volume of waste and its impact, leads to consider their valorization, not only as an environmentally more sustainable option, but also as an economically advantageous one. In particular, mandarin industrial waste of bagasse is rich in compounds with functional properties such as fiber, essential oils, antioxidants and vitamins. On the other hand, obtaining fruit powders has gained interest in recent years as this format allows its use as an additive or dressing, and it can be easily incorporated to the food formulation. Therefore, obtaining powders from bagasse is an opportunity of valorization that should to be taken into account.

The objective of this work consisted in the characterization and evaluation as a functional ingredient of mandarin bagasse powder, obtained after a process that combines hot air drying and milling. Therefore, frozen mandarin bagasse was used, it being thawed for 24 h at room temperature, and later washed with detergent and rinsed. After milling, the bagasse was hot air dried (70 °C for 24 h), obtaining the dry residue that was milled again at different intensities in order to obtain powders of coarse and fine granulometry. Dry mandarin bagasse was characterized in terms of moisture and water activity. To assess the effect of granulometry, the powders were analyzed in terms of soluble solids, solubility, particle size, hygroscopicity, sorption isotherms, hydration and water retention properties, emulsifying properties, fiber content and prebiotic effect.

The results of the present work suggest that the combination of hot air drying and milling allows obtaining a stable powder with interesting properties to be used in the development of functional foods from mandarin bagasse. In particular, mandarin bagasse powder had a low moisture content and a_w , and a considerable fiber content, which could provide prebiotic effect. However, the presence of mandarin powder had a negative effect on the microorganisms, which would be indicative of the presence of other compounds, possibly essential oils and antioxidants, which would have an inhibitory effect on microbial growth. The properties of solubility, wettability and swelling capacity were lower than those obtained for other fruit powders. Regarding the emulsifying properties, the results indicate that mandarin powder would not be adequate to develop products that require the formation of a good emulsion (sauces, creams, etc). On the other hand, it was proved that powder particle size had an impact on the physicochemical properties measured.

Keywords: waste, by-products, bagasse, mandarin, fruit, hot air drying, functional, fiber, prebiotic.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dedicar estas líneas expresando mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas sin la ayuda de las cuales no habría sido posible la realización de este Trabajo Final de Máster.

En primer lugar, a mis directoras, Lucia Seguí Gil y Noelia Betoret Valls, por la oportunidad que me brindaron al hacerme participe en este proyecto. Por su dedicación, supervisión y compromiso durante el transcurso del mismo.

A mis compañeros de laboratorio y profesores del Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IIAD), por su incondicional ayuda a la hora de compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

A mis amigos de carrera y máster por su sincera amistad, el cariño recibido y el haber compartido juntos momentos inolvidables.

Finalmente, gracias a mis padres, que nunca han dejado de creer en mí. Por su cuidado, paciencia y apoyo incondicional. Por ser siempre una fuente de motivación constante y por sus palabras de ánimo.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	5
3. MATERIAL Y MÉTODOS	6
3.1. Materia prima y proceso de obtención del polvo de residuo de mandarina.....	6
3.1.1. Materia prima.....	6
3.1.2. Procedimiento de obtención del polvo a partir del bagazo de mandarina.	6
3.2. Determinaciones analíticas.	7
3.2.1. Humedad (x_w)	7
3.2.2. Actividad del agua (a_w)	7
3.2.3. Sólidos solubles (x_{ss})	8
3.2.4. Solubilidad (S).....	8
3.2.5. Tamaño de partícula	8
3.2.6. Isotermas de sorción	9
3.2.7. Propiedades de hidratación y retención de agua	10
3.2.7.1. Higroscopicidad (Hi).....	10
3.2.7.2. Humectabilidad.....	10
3.2.7.3. Capacidad de hinchamiento (CH)	11
3.2.7.4. Capacidad de atrapar agua (CAA)	11
3.2.7.5. Capacidad de retención de agua (CRA).....	11
3.2.8. Propiedades emulsionantes.....	12
3.2.8.1. Capacidad de retención de aceite.....	12
3.2.8.2. Actividad emulsionante (AE).....	12
3.2.8.3. Estabilidad de la emulsión (EE)	12
3.2.9. Determinación del contenido en fibra	13
3.2.10. Efecto prebiótico	13
3.2.11. Análisis estadístico	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1. Caracterización del bagazo seco de mandarina en términos de actividad del agua (a_w) y humedad (x_w)	15
4.2. Tamaño de partícula del polvo fino y polvo grueso de mandarina.....	15
4.3. Isotermas de sorción de los polvos de mandarina.....	16
4.4. Contenido en fibra de los polvos de mandarina	18
4.5. Caracterización del polvo de bagazo de mandarina en sus diferentes granulometrías ..	19
4.6. Efecto prebiótico	23
5. CONCLUSIONES	26
6. BIBLIOGRAFÍA.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de sales y actividad del agua empleadas para la obtención de las isothermas de sorción del polvo de mandarina.....	10
Tabla 2. Valores de actividad del agua (a_w) y humedad (x_w) del bagazo de mandarina seco. Media \pm desviación estándar.....	15
Tabla 3. Valores de los parámetros del tamaño de partícula obtenidos por vía húmeda. Media \pm desviación estándar. Siendo: D [4,3]: diámetro equivalente calculado a partir del volumen de las partículas; D [3,2]: diámetro equivalente calculado a partir del área de las partículas y d_{90} , d_{50} y d_{10} representan los percentiles de la distribución.....	16
Tabla 4. Parámetros w_0 y C del modelo de BET. Parámetros w_0 , C y K del modelo de GAB. Valor de R^2 para ambos polvos y modelos.	17
Tabla 5. Contenido en hemicelulosa, celulosa y lignina. Valores de fibra dietética insoluble y fibra dietética total. Porcentaje en base seca. Media \pm desviación estándar.....	19
Tabla 6. Valores de sólidos solubles, solubilidad, propiedades de hidratación y retención de agua y propiedades emulsionantes del polvo de mandarina para ambas granulometrías. Media \pm desviación estándar.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención del polvo fino y grueso a partir del bagazo de mandarina.....	6
Figura 2. Distribución de tamaño de partícula obtenido por vía húmeda para las dos granulometrías.	16
Figura 3. Isothermas de sorción del polvo fino y polvo grueso.	17
Figura 4. Recuento de UFC/ml de <i>Lactobacillus salivarius</i> spp. <i>salivarius</i> (CECT 4063) en el medio control (MRS), en el medio MRS en presencia de glucosa añadida y en los medios enriquecidos con polvo de bagazo de mandarina fino. La zona sombreada se corresponde con el valor promedio de crecimiento en medio MRS \pm desviación típica.....	23
Figura 5. Recuento de UFC/ml de <i>Lactobacillus salivarius</i> spp. <i>salivarius</i> (CECT 4063) en el medio control (MRS), en el medio MRS en presencia de glucosa añadida y en los medios enriquecidos con polvo de bagazo de mandarina grueso. La zona sombreada se corresponde con el valor promedio de crecimiento en medio MRS \pm desviación típica.....	24

1. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria es responsable de la generación de una gran cantidad de residuos dado que, durante el proceso productivo, además del producto deseado, se producen cantidades importantes de residuos orgánicos, subproductos y productos fuera de norma, que son tratados como productos de desecho y podrían ser aprovechados de diversas formas (Méndez, 1995; Milena *et al.*, 2008). De hecho, la industria alimentaria es responsable del 40% de los residuos generados en toda la cadena (Mirabella *et al.*, 2014). A pesar de constituir un problema que se tiene presente desde hace años (Milena *et al.*, 2008), a día de hoy, los residuos agroindustriales siguen siendo un gran reto al que hay que aportar soluciones.

Por otro lado, además de contribuir al detrimento del medio ambiente, existe un problema económico asociado a la generación de residuos. Son las empresas las que se ven obligadas a asumir los altos costes de tratamiento y gestión de los mismos (Milena *et al.*, 2008; Scheel, 2016). Sin embargo, los residuos agroalimentarios pueden convertirse en productos de valor añadido, debido a que contienen compuestos que pueden otorgar funcionalidad, y podrían reintroducirse de diferentes modos en la cadena alimentaria (Goula y Lazarides, 2015).

Las frutas son alimentos de bajo valor calórico, con aproximadamente un 80% de agua en su composición que juegan un papel fundamental en la dieta del ser humano. Constituyen una fuente natural de vitaminas y fibra dietética, que aportan múltiples beneficios, además de otro cúmulo de nutrientes y sustancias no nutritivas, pero con efecto beneficioso para la salud (Mosquera, 2010). Pese a que resulta muy habitual el hecho de consumir frutas “al natural”, también es muy frecuente su ingesta en forma de derivados, tales como, conservas, jaleas, zumos, néctares y otros productos procesados. Esta forma de consumo, aumenta su disponibilidad a lo largo del año y permite aprovechar los excedentes de producción que, por diversos motivos, no pueden ser absorbidos por el mercado de consumo en fresco (Borrego *et al.*, 1996; Elez-Martínez *et al.*, 2006; Wu-Ng *et al.*, 2013).

La utilización integral de frutas, ha constituido un reto para la industria alimentaria debido a la gran cantidad de productos de desecho generados en su producción. En función del procesado, el residuo de industrialización de algunas frutas y hortalizas puede llegar a representar más de la mitad del fruto, estando compuesto principalmente por la cáscara, la pulpa y las semillas (Ayala-Zavala *et al.*, 2011). En general, estos residuos están infra-utilizados, considerándose en su mayoría material de bajo valor (Ojeda, 2009). Sin embargo, son productos que presentan un amplio potencial de aprovechamiento, que debe ser rentabilizado de manera eficiente (Arvanitoyannis y Varzakas, 2008).

Los residuos de industrialización de frutas se han utilizado tradicionalmente en alimentación animal y como fertilizante; además, existen otras aplicaciones ampliamente estudiadas, como son la obtención de biogás y extracción de diversos compuestos tales como aceites esenciales, pectinas o flavonoides, entre otros (Milena *et al.*, 2008). Otra aplicación, también a tener en cuenta, es la utilización de subproductos agroalimentarios o sus componentes, como aditivos para mejorar la calidad o aspecto de los alimentos (Ayala-Zavala

et al., 2011). Las semillas y cáscaras son las únicas partes no comestibles de la fruta cuando ésta es procesada o consumida en fresco. Tanto semillas como cáscaras, han sido ampliamente estudiadas con respecto a la extracción de compuestos con valor añadido (Ketnawa *et al.*, 2012). Cada día es mayor el número de empresas y grupos de investigación que tratan de obtener rendimiento de estos subproductos y reducir la generación de residuos contaminantes, siempre respetando al máximo los recursos naturales (Martín-Luengo *et al.*, 2011; Raybaudi-Massilia, 2009). En este sentido, existe un interés evidente y creciente por el desarrollo de procesos que permitan valorizar los residuos de bajo valor en nutrientes o ingredientes, para la fabricación de productos de alto valor añadido (Goula y Lazarides, 2015).

Con respecto a sus propiedades nutricionales, los residuos de industrialización de frutas son una fuente de fibra dietética y de compuestos antioxidantes, que serían aprovechables para el desarrollo de alimentos funcionales (Díaz-Vela *et al.*, 2016). La importancia de la presencia de la fibra dietética en la dieta, se fundamenta en la prevención de enfermedades crónicas, ya que diversos estudios epidemiológicos afirman que un alto consumo de fibra está relacionado con una menor incidencia de diabetes, hipertensión arterial y obesidad (Jenkins *et al.*, 1987; AACC, 2001). Por otro lado, la función de los antioxidantes es actuar como forma de defensa y prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos (Coronado *et al.*, 2015). El consumo de alimentos ricos en antioxidantes, previenen o retardan la oxidación mediante la eliminación o neutralización de los radicales libres (www.altonivel.com.mx; Gavilanez, 2017). Éstos, son átomos o grupos de átomos que cuando se presentan en un nivel elevado, pueden producir un riesgo en el organismo, provocando enfermedades comunes tales como problemas cardiacos, inflamaciones, cáncer, problemas respiratorios e incluso un envejecimiento acelerado de las células, entre otros (Peña, 2016).

En el presente trabajo, la materia prima objeto de estudio es el bagazo de mandarina. La cáscara de mandarina es un subproducto del proceso de elaboración del jugo, que representa aproximadamente del 45-60% del peso de ésta (Madrid, 2013). Al igual que el resto de cítricos, la mandarina se caracteriza por presentar una menor proporción de fruto comestible que otras frutas (Fernández-López *et al.*, 2004). La Comunidad Valenciana es la principal región citrícola a nivel nacional, tanto en superficie dedicada al cultivo como en producción. La producción de mandarinas representa el 50% de la producción citrícola de la CV (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, 2016). Según la Secretaría Autónoma de Agricultura y Desarrollo Rural la previsión de la cosecha de mandarinas para la campaña 2016/2017 estaba previsto que aumentase en más de 400.000 toneladas, alcanzando aproximadamente 1.800.000 toneladas (www.agroambient.gva.es).

En el proceso de elaboración de zumo de los cítricos, se descartan las cáscaras, semillas y membranas capilares, generándose un subproducto en principio rico en agua, azúcares solubles, fibra, ácidos orgánicos, aminoácidos y proteínas, minerales, aceites y lípidos, flavonoides y vitaminas (Ayala-Zavala *et al.*, 2011; Nitayapat *et al.*, 2015; Martín-Luengo *et al.*, 2011; Fernández-López *et al.*, 2004). Por lo tanto, este residuo sería válido para la obtención de harinas y la extracción de diversos compuestos, tales como: pectina, aceites esenciales,



pigmentos y productos cítricos especiales; así como compuestos bioactivos con efectos beneficiosos sobre la salud, tales como la fibra y los polifenoles, en especial flavonoides (Rincon, 2005; Madrid, 2013). La extracción de aceites esenciales, utilizados en la industria alimentaria y cosmética, constituye una aplicación importante de estos desechos (Aguilera *et al.*, 2015). Los aceites de frutas cítricas constituyen el sector más grande de la producción de aceites esenciales en el mundo; razón por la cual, el aprovechamiento de la cáscara de mandarina con este fin constituye una alternativa a nivel nacional (Madrid, 2013). El aceite esencial de la cáscara de mandarina contiene más de 30 monoterpenos y de éstos, más del 70% corresponde al D-limoneno (Shimada *et al.*, 2005).

La comercialización de fruta tiene dos grandes limitaciones: su estacionalidad en el tiempo y su corta vida útil; por lo que resulta de gran interés ofrecer al mercado nuevas formas de consumir fruta que cumplan con las expectativas de calidad y sean asequibles para la población (Casanova, 2014). En este sentido, se ha observado desde hace algunas décadas, una alta tendencia hacia el uso de productos en polvo (Mosquera, 2010). Los polvos de frutas, se han convertido en una nueva forma de consumir frutas y vegetales, resultando una alternativa interesante para satisfacer las exigencias y necesidades cambiantes de los consumidores, al mismo tiempo que fomentar su consumo entre la población (Wu-Ng *et al.*, 2013; Aruoma *et al.*, 2012; Arvanitoyannis y Varzakas, 2008; Casanova, 2014).

Se trata de productos con propiedades beneficiosas para la salud, que se presentan en forma concentrada y muy versátiles, con posibilidad de ser utilizados de forma sencilla y rápida como aditivo, aliño o en la formulación de alimentos. Los polvos de frutas son utilizados ampliamente en la industria alimentaria por su estabilidad físico-química y microbiológica, porque aportan cualidades organolépticas, y contribuyen a mejorar las propiedades reológicas de los alimentos (Cuq *et al.*, 2013). Pueden emplearse como ingredientes para la elaboración de alimentos formulados, del tipo ensaladas, productos lácteos, postres, etc., o por ejemplo, consumirse directamente tras su reconstitución para su ingesta como puré, refresco o zumo (Wu-Ng *et al.*, 2013; Aruoma *et al.*, 2012). Además, ofrecen una serie de beneficios: fácil manejo y distribución, mayor estabilidad del producto, versatilidad, menor volumen o peso y una reducción del coste de transporte y almacenamiento (Mosquera, 2010; Telis y Martínez-Navarrete, 2010; Sapper *et al.*, 2015; Casanova, 2014). La fabricación de polvos a partir de los subproductos de industrialización de frutas, podría emplearse con fines similares, con la ventaja de estar convirtiendo un material de desecho en un producto de alto valor añadido.

El proceso de fabricación de polvos de frutas u hortalizas es diferente en función de la fruta u hortaliza procesada; no obstante, en la mayoría de los casos se suceden las etapas de lavado, troceado o triturado y secado (Neacsu *et al.*, 2015). El mayor reto hoy en día es eliminar el agua del alimento de la forma más eficiente, preservando la calidad del producto, minimizando el impacto sobre el medio ambiente, así como los costes de capital y de operación del proceso, siendo necesario llegar a un compromiso entre todos estos factores (Betoret *et al.*, 2016).



El secado es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos. Esta técnica de conservación, trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad del agua (a_w) mediante la disminución del contenido de humedad del producto hasta un nivel seguro para su posterior almacenamiento y transporte, y así evitar la multiplicación microbiana y ralentizar o inactivar la actividad microbiana; en definitiva, evitar el deterioro del alimento (Vega y Lemus, 2006). La operación de secado es un proceso complejo en el que se ven implicados mecanismos de transferencia de energía y materia que originan cambios físicos, químicos y estructurales (Sabarez, 2012; 2014). La tecnología de secado es un factor determinante en las características finales del polvo, como el color, aspecto, propiedades mecánicas (textura) y estructurales, propiedades sensoriales como el aroma y sabor, así como las propiedades nutricionales y funcionales (Karam *et al.*, 2016). Existen diferentes tecnologías que se pueden utilizar para el secado de alimentos. Entre ellas, destacan: el secado solar, el secado por aire caliente, el secado por microondas, la liofilización, la atomización o la deshidratación osmótica (Vega y Lemus, 2006).

El desarrollo de nuevos productos a partir de los residuos de industrialización, en este caso de mandarina, que aporten valor añadido, beneficiaría a los procesadores de frutos cítricos, en especial a productores que utilicen la mandarina como materia prima (Calderón, 2014). La cáscara de mandarina se podría revalorizar para obtener un producto de gran valor nutricional, útil para la elaboración de pasteles, galletas, pan, etc (Basantez *et al.*, 2015).

En el presente trabajo, la fabricación de polvo a partir del subproducto de la mandarina, se presenta como una propuesta de valorización de gran interés por sus múltiples aplicaciones potenciales: ingredientes con componentes bioactivos, colorantes, saborizantes o conservantes naturales, emulsionantes, etc. Sin embargo aunque actualmente existe un desarrollo tecnológico importante para obtener polvo de frutas (Karam *et al.*, 2016; Neacsu *et al.*, 2015; Ramachandraiah y Chin, 2015), la fabricación de polvos a partir de subproductos representa un reto distinto, puesto que los residuos, además de ser muy heterogéneos, presentan características macroestructurales, microestructurales y de composición significativamente diferentes al fruto entero (Karam *et al.*, 2016).



2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El objetivo principal del presente Trabajo Final de Master, consiste en la caracterización del polvo de mandarina resultante del proceso de secado por aire caliente y estudiar el efecto de las condiciones del proceso (fundamentalmente de las operaciones de triturado y deshidratación) sobre las propiedades físico-químicas y funcionales, relevantes para diferentes aplicaciones (sobre todo como ingredientes con componentes activos de especial relevancia para la salud, diseño de nuevos productos o como emulsionante).

Para la consecución del objetivo planteado se estableció el siguiente plan de trabajo:

1. Adquirir cortezas de mandarina congeladas de calidad industrial y someterlas a un proceso de lavado.
2. Efectuar un primer triturado del bagazo de mandarina.
3. Secar con aire caliente a 70°C con el fin de obtener el bagazo de mandarina seco.
4. Caracterizar el bagazo de mandarina seco en términos de humedad y actividad del agua (a_w).
5. Realizar un segundo triturado (triturado del bagazo seco) con el fin de obtener dos granulometrías distintas, denominadas polvo fino y polvo grueso.
6. Caracterizar los polvos obtenidos en términos de sólidos solubles, solubilidad, tamaño de partícula, isoterma de sorción y contenido de cada uno de los componentes de la fibra (hemicelulosa, celulosa y lignina).
7. Profundizar en las propiedades del polvo de mandarina obtenido en relación a su interacción con el agua y las grasas.
 - a. De entre las propiedades de hidratación y retención de agua, determinar la higroscopicidad, la humectabilidad, la capacidad de hinchamiento y la capacidad de atrapar y de retener agua.
 - b. En cuanto a las propiedades emulsionantes, obtener la capacidad de retención de aceite, la actividad emulsionante y la estabilidad de la emulsión.
8. Por último, evaluar el posible efecto prebiótico del polvo de mandarina.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Materia prima y proceso de obtención del polvo de residuo de mandarina.

3.1.1. Materia prima.

En el presente trabajo, la muestra de estudio consistió en las partes no comestibles de la mandarina, conocidas también como bagazo, que se obtiene como resultado del proceso de obtención de zumo. Se emplearon cáscaras de mandarina procedentes de una cooperativa valenciana y suministradas por un intermediario congeladas a granel en bolsas de 10-15 kg. Estos sacos contenían trozos de piel irregulares de aproximadamente 10-15 cm.

3.1.2. Procedimiento de obtención del polvo a partir del bagazo de mandarina.

El procedimiento de obtención de polvo de bagazo de mandarina se resume en la **figura 1**. En primer lugar, se procedió a descongelar las cortezas de mandarina llevándolas a temperatura ambiente durante 24 h aproximadamente. A continuación, y con la finalidad de eliminar los residuos de plaguicidas, el bagazo de mandarina descongelado se sometió a un proceso de lavado a 40 °C con agua y detergente (2 L de agua y 5 g de detergente por cada kg de piel de mandarina). Se realizaron dos lavados consecutivos con detergente y por último un enjuagado con agua. Previo al secado del bagazo, se realizó un primer triturado de éste en el procesador de alimentos Thermomix® (Vorwerk, España) durante 5 s a la máxima velocidad (10000 rpm). Una vez triturado, el residuo se distribuyó de forma homogénea en rejillas de plástico con apertura nominal de 2 mm, para ser sometidas posteriormente a un secado por aire caliente a 70 °C durante 24 h en un secador convectivo (Pol-ekoAparatura, Katowice, Polonia), con la finalidad de conseguir una $a_w < 0,3$.

A partir del bagazo seco se obtuvieron dos granulometrías diferentes, una fina y otra gruesa. La primera de ellas se obtuvo triturando el bagazo seco a 1000 rpm durante 2 min, a intervalos de 30 s cada uno, tras los que la muestra se homogeniza para facilitar el triturado. Por otro lado, la granulometría gruesa se obtuvo triturando el bagazo seco a 1000 rpm durante 30 s (parando y removiendo en este caso cada 10 segundos).

Finalmente, los polvos de bagazo se guardaron en tarros de cristal con tapas metálicas recubiertos con papel de aluminio para evitar el deterioro de las muestras.

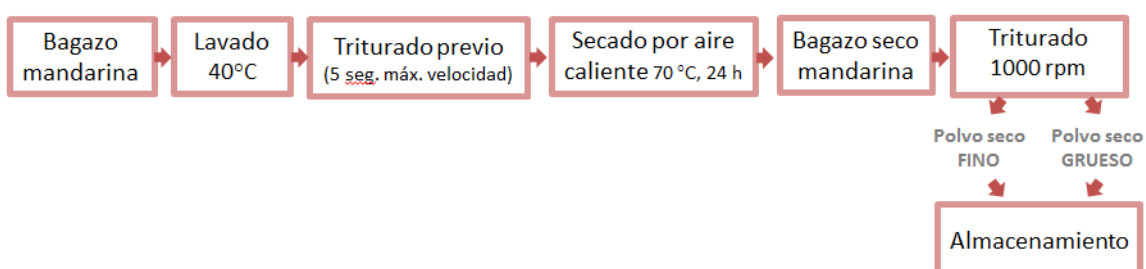


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención del polvo fino y grueso a partir del bagazo de mandarina.

3.2. Determinaciones analíticas.

En primer lugar, se analizaron las características físico-químicas básicas: humedad (x_w) y actividad del agua (a_w) del bagazo seco de mandarina. Así mismo, con el fin de caracterizar los polvos finales obtenidos (polvo fino y polvo grueso), se determinaron las siguientes propiedades: sólidos solubles (x_{ss}), solubilidad (S), tamaño de partícula, isothermas de sorción, propiedades de hidratación y retención de agua, propiedades emulsionantes, contenido en fibra y se evaluó el efecto prebiótico. Las determinaciones analíticas que se listan a continuación se realizaron sobre muestra triturada a dos granulometrías diferentes (fina y gruesa), según se indique en cada caso. Todas las determinaciones se efectuaron, como mínimo, por triplicado.

Todas las muestras fueron analizadas dentro de las 48 h siguientes a su obtención. Entre tanto, se conservaron en tarros de cristal con tapa metálica y en oscuridad, con el fin de evitar posibles migraciones de humedad y minimizar la degradación de compuestos antioxidantes. A continuación, se describe la metodología empleada para cada determinación.

3.2.1. Humedad (x_w)

Se determinó el contenido en agua (x_w) del bagazo seco de mandarina mediante el método gravimétrico de doble pesada (AOAC934.06, 2000), propuesto para alimentos ricos en azúcares. La humedad de la muestra se obtuvo a partir de la **ecuación 1**. Las muestras se secaron en estufa (J.P. Selecta) a 63 °C hasta peso constante para posteriormente ser introducidas durante 48 h en una estufa de vacío (Vaciotem). Tras el secado, las muestras se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador con base de sílica gel. Se empleó una balanza de ± 1 mg de precisión (Mettler Toledo MS3035).

$$x_w(\%) = \frac{M_{0+mh} - M_{0+ms}}{M_{0+mh} - M_0} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

- M_0 : masa del crisol vacío.
- M_{0+mh} : masa del crisol con una pequeña cantidad de muestra húmeda.
- M_{0+ms} : masa del crisol con la muestra secada en estufa.

3.2.2. Actividad del agua (a_w)

La actividad del agua (a_w) del bagazo seco de mandarina se determinó con un higrómetro de punto de rocío (Aqualab 4TE; Decagondevices Inc., Pullman WA, USA) con una precisión de $\pm 0,003$ y una temperatura de 25 °C, previamente calibrado con disoluciones saturadas de referencia.

3.2.3. Sólidos solubles (x_{ss})

Se midieron los sólidos solubles totales (SST) de las muestras por refractometría, mediante la determinación de los grados Brix. Para ello, se realizó una dilución de los polvos en agua destilada en una proporción 1:12 (m:v) y se midieron los grados Brix empleando un refractómetro de mesa (AbbeAtago, 3-T, Japón) termostatado a 20 °C de acuerdo con el método ISO 1743:1982. Finalmente, la medida de grados Brix se transformó a fracción másica de sólidos solubles de la muestra (x_{ss}), teniendo en cuenta la humedad de la misma y la cantidad de agua incorporada para la dilución.

3.2.4. Solubilidad (S)

Se entiende por solubilidad, la velocidad y grado en que los componentes de las partículas del polvo se disuelven en el agua (Sapper *et al.*, 2015). La solubilidad se determinó según el método descrito por Mimouni *et al.* (2009). Este método consiste en determinar la fracción másica de los sólidos disueltos (SD) en la muestra hidratada, por variación de peso por secado en estufa de vacío. Para ello, por una parte, se determinaron los sólidos totales (ST) de la misma y, por otra, los sólidos solubles (SS), de manera que el cociente aporta el dato de la solubilidad (**ecuación 2**).

$$SD = \frac{SS}{ST} \quad (\text{Ec. 2})$$

Para la determinación de los sólidos totales (ST), se disolvieron 2 g de muestra en 50 ml de agua destilada. A continuación, se pesaron 20 g en un vaso manteniendo la agitación para obtener una disolución homogénea. Seguidamente, se introducen las muestras en la estufa; en primer lugar, a presión atmosférica a 60 °C durante 24 h para eliminar parte de humedad y, en segundo lugar, se introducen en la estufa a vacío a 60 °C durante 48 h. Para determinar los sólidos solubles (SS), se toma la misma cantidad de muestra y se centrifugan en refrigeración (4 °C) a 10000 rpm durante 10 min. El sobrenadante obtenido se filtra a vacío empleando filtros Whatman Nº 1 y se somete al mismo proceso de secado descrito para los ST. En ambos casos, se obtuvo la variación de peso de las muestras con estufa a vacío (Vaciotem, P-SELECTA, Barcelona, España).

3.2.5. Tamaño de partícula

Se procedió a la determinación del tamaño de partícula por vía húmeda utilizando un equipo de difracción láser modelo Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Limited, Worcester, Gran Bretaña), acoplado a una unidad Hydro 2000. Para el análisis se empleó un índice de absorción de 1,53 y un índice de refracción de 0,1. El equipo mide el tamaño de partícula abarcando un intervalo de 0,02 a 2000 μm . En la determinación por vía húmeda, se emplea un sistema que utiliza agua desionizada como agente dispersante.

La distribución del tamaño de las partículas obtenida por esta técnica está basada en el volumen, de tal manera que, para un rango de tamaño de partícula, el valor que se obtiene

representa el porcentaje de volumen total de todas las partículas con un diámetro incluido en este rango con respecto al volumen total de las partículas de la distribución.

Tras el análisis, el tamaño de partícula se caracterizó con los siguientes parámetros:

- $D [4,3]$: diámetro equivalente calculado a partir del volumen de las partículas.
- $D [3,2]$: diámetro equivalente calculado a partir del área de las partículas.
- d_{90} , d_{50} y d_{10} : representan los percentiles de la distribución, es decir, el volumen de partículas por debajo del 90%, 50% y 10% de las partículas analizadas, respectivamente.

3.2.6. Isotermas de sorción

Se obtuvieron las isotermas a partir del método gravimétrico estático propuesto por Wolf *et al.* (1985). Para ello, se pesó una cantidad de muestra conocida en crisoles (aproximadamente 1 g) y se introdujeron en cámaras cerradas junto con disoluciones saturadas de sal cuya humedad relativa es conocida a una temperatura de 20 °C. Las sales utilizadas con sus respectivas actividades del agua se muestran en la **tabla 1**. En cada cámara se introdujo una disolución saturada de timol (PANREAC QUÍMICA S.A., Barcelona, España) para evitar la proliferación de hongos. Se realizó una pesada por semana hasta que la muestra llegó a peso constante, es decir, cuando ésta consiguió llegar al equilibrio con el ambiente de la cámara y su actividad de agua es igual a la humedad relativa del ambiente, resultado de la disolución saturada de sal dispuesta en cada cámara. Una vez se alcanzó el equilibrio, se obtuvo la humedad en base seca de cada muestra, para disponer así del par de valores (a_w , X_w) para cada punto.

Se han desarrollado modelos matemáticos con dos o más parámetros para describir las isotermas de sorción de alimentos. Estos modelos se clasifican en teóricos, semiempíricos o empíricos. Los modelos más utilizados en el campo alimentario son el modelo de BET y el modelo de GAB (Labuza y Altunakar, 2007). Es por eso, que para la realización de este trabajo, se modelizaron los datos de sorción mediante ambos modelos (BET y GAB).

El modelo de BET, desarrollado por Stephen Brunauer, Paul Emmet y Edward Teller, relaciona la humedad en el equilibrio (w_e) con la actividad del agua (a_w) a través de los parámetros w_0 y C (**ecuación 3**), donde w_0 es la humedad del producto correspondiente a la capa monomolecular de agua adsorbida ($g_w/g_{\text{materia seca}}$) y C es una constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción. Cabe destacar que para ajustar este modelo, solo se incluyeron valores para $a_w \leq 0,5$, ya que una de las limitaciones que presenta este modelo es que ajusta las isotermas dentro de un intervalo limitado de valores de a_w (de 0 a 0,55); no obstante, el concepto del valor de monocapa de BET se acepta como referencia del contenido de humedad de mayor estabilidad para alimentos secos (Martínez-Navarrete *et al.*, 2011; Labuza y Altunakar, 2007).

$$w_e = \frac{w_0 * C * a_w}{(1 - a_w) * (1 + (C - 1) * a_w)} \quad (\text{Ec. 3})$$

Las limitaciones del modelo de BET a altos niveles de a_w dio lugar a otros modelos, entre los que destaca el modelo de GAB (**ecuación 4**), propuesto por Guggenheim, Anderson y De Boer. Este modelo viene descrito por 3 parámetros, w_0 , humedad de la monocapa ($g_w/g_{sólido seco}$); C, constante de Guggenheim, característica del producto, y relacionada con el calor de sorción de la monocapa y K, constante relacionada con el calor de sorción de la multicapa (Ramírez-Miranda *et al.*, 2014).

$$W_e = \frac{w_0 * C * K * a_w}{(1 - K * a_w) * (1 + (C - 1) * K * a_w)} \quad (\text{Ec. 4})$$

La ecuación de GAB representa adecuadamente los datos experimentales en un intervalo de a_w de 0 a 0,95 para la mayoría de los alimentos de interés práctico (Ramírez-Miranda *et al.*, 2014).

Ambos modelos, BET y GAB, están basados en los mismos principios de la monocapa, sin embargo, el modelo de GAB introduce un grado de libertad adicional (la constante K) que le otorga gran versatilidad, ya que en el modelo de BET asume que la adsorción física se localiza en las multicapas sin interacciones laterales. Con la incorporación del parámetro K, el modelo de GAB asume que las moléculas en multicapas, tienen interacciones con el adsorbente en valores energéticos similares a los que tienen las moléculas de la monocapa (Ramírez-Miranda *et al.*, 2014).

Tabla 1. Listado de sales y actividad del agua empleadas para la obtención de las isotermas de sorción del polvo de mandarina (Greenspan, 1977).

Sal	LiCl	CH3COOK	K2CO3	Mg(NO3)2	NaCl	KCl	BaCl2
Aw	0,1	0,23	0,43	0,5	0,7	0,85	0,9

La conservación de estas se realiza en un lugar con ausencia de luz para evitar la oxidación de producto, y a una temperatura estándar y constante (25 °C), para evitar posibles modificaciones debidas al aumento o descenso de ésta.

3.2.7. Propiedades de hidratación y retención del agua

3.2.7.1. Higroscopicidad (Hi)

La higroscopicidad se determinó según el método descrito por Cai y Corke (2000), que consiste en introducir 2 g de muestra en una placa de Petri de vidrio de 3 cm de diámetro en un ambiente creado por una disolución saturada de sulfato sódico (Na_2SO_4) a 25 °C durante 7 días en un desecador cerrado herméticamente. La higroscopicidad se evalúa como la capacidad que tiene el producto de absorber humedad, por tanto, se realizó una pesada después de una semana para determinar la cantidad de agua que había ganado la muestra. El resultado se expresó en g de agua/100 g de muestra.

3.2.7.2. Humectabilidad

Se denomina humectabilidad, a la capacidad de un polvo para ser penetrado por un líquido debido a las fuerzas capilares (Sapper *et al.*, 2015). La humectabilidad se mide como el tiempo



que tarda en mojarse por completo cierta cantidad de muestra. Se puso en contacto 2 g de muestra con 20 ml de agua destilada y se midió el tiempo.

3.2.7.3. Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento mide la relación del volumen ocupado por la muestra hidratada durante un determinado tiempo, en un exceso de agua, con el peso original de la muestra (Raghavendra *et al.*, 2004; Robertson *et al.*, 2000).

Se pesaron alrededor de 0,2 g de polvo y se colocaron en un tubo cónico graduado añadiendo 10 ml de agua. Esta muestra se dejó hidratar durante 18 h a 25 °C. Después de este tiempo, se midió el volumen final alcanzado por el polvo. La **ecuación 5** muestra el cálculo de la capacidad de hinchamiento (CI).

$$CH = \frac{\text{Volumen ocupado por la muestra (ml)}}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}} \quad (\text{Ec. 5})$$

3.2.7.4. Capacidad de atrapar agua (CAA)

La capacidad de atrapar agua se define como la cantidad de agua que queda retenida por el bagazo sin aplicación de fuerza externa alguna, a excepción de la gravedad y la atmósfera. Se calcula como la relación entre la cantidad de agua retenida por el polvo y el peso seco de éste tras liofilizar. Para ello, se pesaron alrededor de 0,2 g de polvo de mandarina y se colocaron en un tubo cónico graduado añadiendo 10 ml de agua. Esta muestra se dejó hidratar durante 18 h a 25 °C. A continuación, se eliminó el sobrenadante y se obtuvo el peso del residuo decantado (RH). Posteriormente, el residuo se sometió a un proceso de liofilizado para obtener el peso seco de la muestra (RL). Por último, la CAA se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CAA \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{RH-RL}{RL} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

- RH: peso del residuo húmedo (g).
- RL: peso del residuo seco (g).

3.2.7.5. Capacidad de retención de agua (CRA)

A diferencia de la CAA, en este caso se mide la capacidad de retención de agua tras someter la muestra a una fuerza externa como la presión o la centrifugación. Se pesó alrededor de 1 g de polvo de mandarina y se colocó en un tubo cónico graduado añadiendo 10 ml de agua. Esta muestra se dejó hidratar durante 18 h a 25 °C. Transcurrido el tiempo de hidratación se centrifugó durante 30 min a 2000 rpm. A continuación, el sobrenadante se eliminó y se obtuvo el peso del residuo decantado. Se pesó la fibra húmeda restante (R+W2), así como el residuo seco (R), calculándose la WRC como (Raghavendra *et al.*, 2004; de Escalada Pla *et al.*, 2012):

$$CRA = \frac{w_2 (g \text{ agua})}{R (g \text{ residuo seco})} \quad (\text{Ec. 7})$$

3.2.8. Propiedades emulsionantes

3.2.8.1. Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite se midió siguiendo el método de Garau *et al.*, (2007). Se pesaron 0,2 g de muestra y se mezclaron con 1,5 g de aceite de girasol, dejándolo en reposo durante una noche a temperatura ambiente. A continuación, se centrifugaron las muestras a 1.500× g durante 5 min. El sobrenadante se decantó y se obtuvo el peso del residuo. De esta forma, la capacidad de retención de grasa se entiende como el incremento de peso de la muestra y se expresa en gramos de aceite absorbido por gramos de muestra inicial.

3.2.8.2. Actividad emulsionante (AE)

La actividad emulsionante se determinó a partir del método de Yasumatsu *et al.* (1972). Se realizó una disolución en agua de polvo al 2% (w/v); a continuación, se mezclaron 7 ml de dicha disolución con 7 ml de aceite de girasol y se homogeneizaron durante 5 minutos a alta velocidad (2400 rpm) con un Vortex (Reax top, Heidolph, Germany). Posteriormente, la muestra fue centrifugada a 10000 rpm durante 5 min y el volumen de emulsión formado se midió usando la siguiente ecuación:

$$\%AE = \frac{VE}{V} * 100 \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

- AE: actividad emulsionante (%).
- VE: volumen de la emulsión (ml).
- V: volumen total del fluido (ml).

3.2.8.3. Estabilidad de la emulsión (EE)

La estabilidad emulsionante se determinó a partir del método modificado de Yasumatsu *et al.* (1972). Se preparó una disolución en agua de polvo al 2% (w/v), a continuación, se mezclaron 7 ml de dicha disolución con 7 ml de aceite de girasol y se homogenizó durante 5 min con un Vórtex a 2400 rpm (Reax top, Heidolph, Germany). Las emulsiones fueron calentadas a 80 °C durante 30 min, enfriadas durante 15 min en agua corriente y centrifugadas a 2000 rpm durante 5 min. La estabilidad de la emulsión fue calculada usando la siguiente ecuación:

$$\%EE = \frac{VE}{V} * 100 \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

- VE: volumen de la emulsión (ml).
- V: volumen total del fluido (ml).



3.2.9. Determinación del contenido en fibra

Para la determinación del contenido de fibra del polvo fino y polvo grueso de mandarina, se aplicó el método descrito por Van Soest (AOAC, 2000; Mertens, 2002) a partir de una muestra de aproximadamente 0,5 gramos de polvo de cada una de las granulometrías. El análisis de fibra por el método Van Soest devuelve diferentes valores. Por un lado, se determinó la FND (Fibra Neutra Detergente) cuyo valor incluye la lignina, la celulosa y la hemicelulosa. Por otro lado, se halló el valor de FAD (Fibra con Detergente Ácido), que incluye la cantidad de fibras insolubles que son la lignina y la celulosa. Además se determinó FDL (Lignina con Detergente Ácido), que indica el valor de la lignina pura que se obtiene incorporando a las fibras insolubles ácido sulfúrico al 72%. A partir de los parámetros anteriores se puede deducir la cantidad de hemicelulosa (que correspondería con la fibra dietética soluble), la cantidad de celulosa y lignina (que formarían la fibra bruta o fibra insoluble), y la fibra dietética total. El contenido de cada uno de los componentes se expresó en porcentaje y en base seca.

3.2.10. Efecto prebiótico

Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles (oligosacáridos) que llegan al colon y sirven de sustrato a los microorganismos, originando energía, metabolitos y micronutrientes utilizados por el hospedador y estimulando el crecimiento selectivo de determinadas especies beneficiosas (principalmente, bifidobacterias y lactobacilos) de la microbiota intestinal (Corzo *et al.*, 2015).

Para analizar si los polvos obtenidos a partir del bagazo de mandarina tienen efecto prebiótico se adaptó el método publicado por Moreno-Vilet (2014) empleando como microorganismo una especie de bacteria probiótica del género *Lactobacillus*, en concreto *Lactobacillus salivarius* spp. *Salivarius* (CECT 4063).

La recuperación del microorganismo se realizó a partir del liófilo empleando medio de cultivo MRS broth (SharlauChemie®, Barcelona, España), y cultivando a 37 °C durante 24 h. El inóculo inicial así obtenido, se utilizó en las series experimentales posteriores. De este modo, 1 ml de inóculo inicial se sembró en 250 ml de medio MRS broth, que se utilizó como control, haciéndose crecer el probiótico a 37 °C durante 24 h. Una vez transcurrido este tiempo, se llevó a cabo el cultivo del microorganismo en matraces de 100 ml (añadiendo en este caso 0,4 ml), en las mismas condiciones, en presencia de distintas cantidades de polvo de mandarina (fino o grueso), calculadas a partir de diversos porcentajes equivalentes de fibra presentes en cada polvo 0,5%, 1% y 2% (m/v). Asimismo, con el fin de controlar el posible efecto de la adición de azúcares como fuente de carbono junto con el polvo de mandarina, se realizó el cultivo del microorganismo en presencia de cantidades equivalente de glucosa. Para ello, se estimaron los azúcares añadidos junto con el polvo de mandarina 0,5, 1 y 2% fibra equivalente, a partir de la fracción másica de sólidos solubles (x_{ss}) obtenida previamente. Tras el cultivo en medio líquido se procedió a realizar diluciones seriadas en agua de peptona (SharlauChemie®, Barcelona, España) y posterior siembra en placa con medio MRS-agar. Debido a las características microaerófilas del microorganismo, la siembra en placa se realizó por



inmersión en agar doble capa. A continuación, las placas se llevaron a estufa de incubación (PSelecta modelo Incudigit), a 37 °C durante 24 h. Trascorrido este tiempo, se procedió al recuento de colonias en placa, leyéndose únicamente aquellas placas en las que se podían contar de 30 a 300 Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

3.2.11. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se realizó con el programa Statgraphics (versión Centurion XVI.I, StatPoint Technologies, Inc.). Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis estadístico, en concreto análisis de la varianza (ANOVA simple y multifactor) con objeto de determinar las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de datos de las muestras estudiadas, con un nivel de confianza del 95% (p -valor $<0,05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del bagazo seco de mandarina en términos de actividad del agua (a_w) y humedad (x_w)

En la **tabla 2** se muestran los resultados obtenidos de la actividad del agua (a_w), y la humedad del bagazo seco. Entendiendo como bagazo seco, al producto resultante del primer triturado y posterior secado con aire caliente (**figura 1**).

Tabla 2. Valores de actividad del agua (a_w) y humedad (x_w) del bagazo de mandarina seco. Media \pm desviación estándar.

	a_w	$x_w(\text{kg}_w/\text{kg})$
Polvo seco	0,283 \pm 0,002	0,048 \pm 0,002

Con respecto a los valores de a_w , los resultados indican que el residuo estudiado tiene una actividad del agua similar a la publicada para otros polvos de cáscara de frutas. Diversos estudios constatan valores de a_w entre 0,2 y 0,4 para harinas procedentes de cáscaras de frutas de mango (Serna-Cock *et al.*, 2015), sandía (Quek *et al.*, 2007), plátano verde (Pacheco-Delahaye *et al.*, 2004) y arándano (Juliá, 2017). En otros estudios realizados empleando polvos de hortalizas, como zanahoria (a temperaturas superiores a 50 °C), apio y cubio, los valores entran dentro del mismo intervalo que los citados anteriormente (Hernández y Blanco, 2015; Quiñones *et al.*, 2016).

Por lo que se refiere a la humedad (x_w), los valores correspondientes al bagazo de mandarina seco se consideran notablemente bajos. En comparación con otros polvos, se han reportado valores de 0,07 (Domínguez, 2016), 0,092-0,095 (Quiñones *et al.*, 2016), 0,126 (Gutiérrez y Pascual, 2016) o 0,014 (Juliá, 2017) (g_w/g) para productos como cáscara de naranja tangelo, harina de apio y cubio, cáscara de mandarina, o polvo de arándano, respectivamente.

4.2. Tamaño de partícula del polvo fino y polvo grueso de mandarina

El análisis del tamaño de partícula de los polvos fino y grueso se realizó por vía húmeda, con el fin de valorar el empleo de este tipo de polvos en la formulación de zumos, bebidas isotónicas o algún formato similar.

En la **figura 2** se han representado las curvas de distribución del tamaño de partícula del polvo de mandarina de granulometría fina y gruesa. En este gráfico, se observa que el polvo fino presenta una mayor amplitud de distribución (SPAN), que el polvo grueso. Este resultado sería indicativo de que con una mayor molienda se consigue un tamaño menor pero una mayor distribución de tamaño, es decir, mayor variabilidad entre las diferentes partículas que componen el polvo. La curva observada en este caso, es más plana y la distribución más amplia. Sin embargo, en el caso de polvo grueso, la distribución está más concentrada y en un intervalo de tamaños mayor, entre los valores 200 y 2000 μm , sugiriendo una distribución más homogénea.

En la **tabla 3** se muestran los valores de $D [4,3]$, $D[3,2]$, d_{10} , d_{50} y d_{90} , donde los resultados obtenidos confirman que existen diferencias estadísticamente significativas entre las partículas que conforman el polvo fino y el polvo grueso.

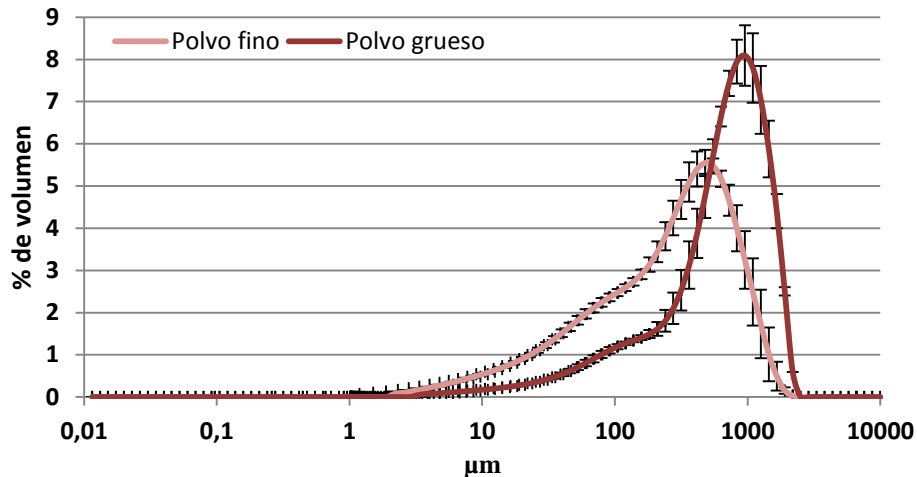


Figura 2. Distribución de tamaño de partícula obtenido por vía húmeda para las dos granulometrías.

Tabla 3. Valores de los parámetros del tamaño de partícula obtenidos por vía húmeda. Media \pm desviación estándar. Siendo: $D [4,3]$: diámetro equivalente calculado a partir del volumen de las partículas; $D [3,2]$: diámetro equivalente calculado a partir del área de las partículas y d_{90} , d_{50} y d_{10} representan los percentiles de la distribución.

	Polvo fino	Polvo grueso
$D [4, 3]$	352 ± 41^a	699 ± 39^b
$D [3, 2]$	63 ± 3^a	166 ± 10^b
d_{10}	29 ± 2^a	98 ± 8^b
d_{50}	270 ± 21^a	653 ± 51^b
d_{90}	810 ± 112^a	1354 ± 50^b

^{a,b,c...} Letras distintas en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%.

4.3. Isotermas de sorción de los polvos de mandarina

En lo que se refiere a la calidad y estabilidad de los productos alimentarios, es más importante el control de la a_w que el del contenido total de agua. La isoterma de sorción del agua es una forma adecuada de analizar el grado de interacción del agua con el sustrato (Mosquera, 2010; Labuza, 1971). La isoterma de sorción representa la relación entre la actividad termodinámica del agua en el producto y el contenido de humedad del alimento, en un intervalo dado de humedades. Indica, en el equilibrio y para una temperatura dada, la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmosfera que lo rodea (Rockland y Beuchat, 1987). Si el alimento no se encuentra en equilibrio termodinámico con su entorno, ganará o perderá agua hasta alcanzarlo (Mosquera, 2010). El conocimiento de las isotermas de sorción, tiene aplicaciones en el análisis y diseño de procesos alimentarios como el secado, mezclado o envasado, y además sirve para determinar las

condiciones óptimas de almacenamiento, predicción de vida útil y selección del material de envasado adecuado (Talens, 2017).

Para obtener la isoterma de sorción de los polvos de bagazo de mandarina, se calculó la humedad de equilibrio del polvo fino y del polvo grueso con la atmósfera equilibrada con cada una de las sales indicadas en la **tabla 1**. A continuación, se representó la curva de sorción (**figura 3**), en la que se observa cómo la humedad de equilibrio (expresada en base seca) aumenta a medida que aumenta la actividad del agua. Aunque no se aprecian diferencias significativas entre ambos polvos, se distinguen valores de humedad ligeramente mayores para a_w elevadas, lo cual podría ser indicativo de una mayor higroscopicidad en estos ambientes.

La forma que presentan ambas curvas es de tipo II (Brunauer *et al.*, 1940), que se corresponde con la típica curva que describe frutas y hortalizas (Martínez-Las Heras *et al.*, 2017). El tipo de curva obtenida es muy similar a las presentadas por otros autores para productos secos distintos de las fruta u hortalizas, como es el caso de hojas de caqui secas (Martínez-Las Heras *et al.*, 2017), polvo de zumo de naranja deshidratado (Edrisi y Langrish, 2014), o bien hojas y tallos de melisa (Argyropoulos *et al.*, 2012).

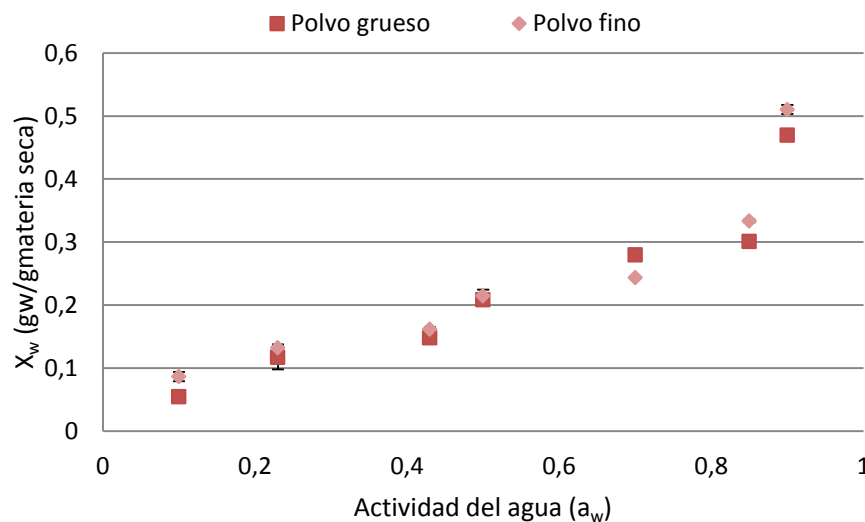


Figura 3. Isotermas de sorción del polvo fino y polvo grueso.

Las isotermas se modelizaron de acuerdo con los modelos de BET y de GAB, según se indica en el apartado de material y métodos. Los resultados del ajuste de ambos modelos se presentan en la **tabla 4**.

Tabla 4. Parámetros w_0 y C del modelo de BET. Parámetros w_0 , C y K del modelo de GAB. Valor de R^2 para ambos polvos y modelos.

		w_0	C	K	R^2
BET	Polvo fino	0,1049	30,6934	-	0,9716
	Polvo grueso	0,1087	8,7669	-	0,9216
GAB	Polvo fino	0,1173	30,3279	0,8132	0,8383
	Polvo grueso	0,1519	7,0585	0,7196	0,5345

Dado que los modelos que mejor se ajustan a los datos experimentales son aquellos que tienen valores de R^2 más próximos a la unidad (Calvo, 2013), se deduce que el modelo de BET es el que mejor se ajusta a los datos experimentales obtenidos, y define con precisión el comportamiento de ambos polvos de mandarina. Sin embargo, es importante recordar que en el ajuste de este modelo, solo se han incluido los valores correspondientes al intervalo de a_w de 0 a 0,55 (Martínez-Navarrete *et al.*, 2011; Labuza y Altunakar, 2007).

Con respecto a los parámetros de los modelos ajustados, el valor de la humedad de la monocapa w_0 es de interés particular, ya que indica la cantidad de agua que está fuertemente adsorbida a sitios específicos de la superficie del alimento y se considera como el valor de humedad del alimento de mayor estabilidad durante el almacenamiento (Gabas *et al.*, 2009). Además, el conocimiento de esta humedad de la monocapa es importante para la determinación de las condiciones adecuadas de almacenamiento y el control de las reacciones de deterioro (Aviara y Ajibola, 2002; Vega-Gálvez *et al.*, 2006). Por debajo de esta humedad, las reacciones de deterioro son mínimas, a excepción de las reacciones de deterioro de grasas (Casa, 2013). Como puede observarse, la humedad de la monocapa (w_0) estimada por GAB fue sensiblemente superior al estimado por BET, resultados similares a los obtenidos por Martínez (2016). Timmermann (2003) atribuyó esta desigualdad en los valores de humedad de la monocapa a la naturaleza física y matemática de ambos modelos. Cabe recordar que los modelos de BET y GAB están basados en los mismos principios de la monocapa; sin embargo, el modelo de GAB introduce un grado de libertad adicional (la constante K) (Ramírez-Miranda *et al.*, 2014).

En cuanto al parámetro C, éste estaría relacionado con el tipo de isoterma descritos en la clasificación de Brunauer (Brunauer *et al.* 1940), de forma que las isotermas de tipo II presentan valores de $C > 2$. Los valores que toma C para cada isoterma son bastante similares, para ambos modelos ajustados.

4.4. Contenido en fibra de los polvos de mandarina

La relación entre fibra y salud ha sido tema de estudio en un elevado número de trabajos de investigación, los cuales apuntan a que la fibra alimentaria ejerce efectos saludables sobre el consumidor habitual (Sastre, 2003). Además, conviene señalar que el contenido en fibra está relacionado con otras propiedades. En el caso de emplear los polvos como ingrediente funcional, el contenido en fibra del polvo va a determinar características de los alimentos a los que se adicione puesto que ésta mejora las propiedades de hidratación y retención de agua, determina las propiedades emulsionantes, y afecta a las características organolépticas (Elleuch *et al.*, 2011).

En la **tabla 5** se muestran los resultados correspondientes al contenido en fibra de los diferentes polvos de cáscara mandarina. Las pequeñas diferencias existentes entre ambas granulometrías no resultaron significativas, presentando el polvo grueso un mayor porcentaje de cada fracción de fibra analizada. Las diferencias obtenidas podrían deberse a que el triturado mecánico intenso al que ha sido sometido el producto para obtener un polvo fino,



conlleva una mayor proporción de fibras fragmentadas, algunas de las cuales podrían incluso solubilizarse (Licona, 2013).

Tabla 5. Contenido en hemicelulosa, celulosa y lignina. Valores de fibra dietética insoluble y fibra dietética total. Porcentaje en base seca. Media \pm desviación estándar.

	Hemicelulosa o Fibra Dietética Soluble(%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	Fibra Dietética Insoluble (%)	Fibra Dietética Total (%)
Polvo fino	10 \pm 1 ^a	21,2 \pm 0,3 ^a	0,20 \pm 0,09 ^a	21,4 \pm 0,4 ^a	31,5 \pm 0,7 ^a
Polvo grueso	13 \pm 3 ^a	21,3 \pm 0,2 ^a	0,52 \pm 0,09 ^a	21,9 \pm 0,1 ^a	35 \pm 3 ^a

^{a,b,c...}Letras distintas en la misma columna indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

El contenido de fibra dietética total en ambos casos supera el 30%, siendo la mayor parte fibra insoluble. No obstante, los resultados obtenidos con respecto al contenido en fibra del polvo de cáscara de mandarina se encuentran por debajo de los publicados por otros autores, tanto para polvo de cáscara de mandarina, como para otros residuos de frutas.

En particular, Wang *et al.* (2015) obtuvieron un valor de fibra en cascara de la mandarina en polvo de un 62,9%; sin embargo, según Rincón *et al.* (2005) este valor es de un 52,9%, ambos en base seca. De acuerdo con Gutiérrez y Pascual (2016), las diferencias obtenidas entre estos autores y el valor obtenido experimentalmente en este trabajo podrían deberse a la variedad considerada o al proceso tecnológico empleado para obtener el polvo a partir del producto fresco.

Los valores de fibra total obtenida se encuentran por debajo de los publicados para otros residuos de industrialización de frutas, tales como la piña (62,5%) (Larrauri *et al.*, 1997), uva de las variedades Eureka y Fino (61,8-68,3%) (Figuerola *et al.*, 2005) o polvo de cáscara de naranja (64%) (Figuerola *et al.*, 2005, Sáenz *et al.*, 2007). El contenido en fibra de polvo de pulpa de manzana es cercano al 72% (Cerdeira-Tapia *et al.*, 2015).

4.5. Caracterización del polvo de bagazo de mandarina en sus diferentes granulometrías

A continuación, se muestran los resultados de caracterización de los polvos de cáscara de mandarina, para las dos granulometrías obtenidas (polvo fino y polvo grueso) (**tabla 6**).

Tabla 6. Valores de sólidos solubles, solubilidad, propiedades de hidratación y retención de agua y propiedades emulsionantes del polvo de mandarina para ambas granulometrías. Media \pm desviación estándar.

		Polvo fino	Polvo grueso
Propiedades de hidratación y retención de agua	Sólidos solubles (x_{ss})	0,2 \pm 0,2 ^b	0,13 \pm 0,06 ^a
	Solubilidad	0,194 \pm 0,007 ^a	0,176 \pm 0,010 ^a
	Higroscopicidad (%)	19,4 \pm 0,5 ^a	19,0 \pm 0,4 ^a
	Humectabilidad (s)	53 \pm 11 ^b	17 \pm 2 ^a
	Capacidad de hinchamiento (ml/g)	9,9 \pm 0,3 ^a	10,5 \pm 0,6 ^a
	Capacidad de atrapar agua (g/g)	10,4 \pm 0,3 ^a	12,6 \pm 0,2 ^b
	Capacidad de retención de agua ($g_{\text{agua}}/g_{\text{producto seco}}$)	8,1 \pm 0,3 ^a	9,0 \pm 0,5 ^b
Propiedades emulsionantes	Capacidad de retención de aceite ($g_{\text{aceite}}/g_{\text{muestra}}$)	3,1 \pm 0,3 ^a	3,4 \pm 0,3 ^a
	Actividad emulsionante (%)	1,7 \pm 0,4 ^a	0,750 \pm 0,016 ^b
	Estabilidad emulsionante (%)	1,0 \pm 0,4 ^a	0,75 \pm 0,02 ^a

^{a,b,c...} Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas con un intervalo de confianza del 95%.

En cuanto a los valores obtenidos de fracciones másicas de sólidos solubles, se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas granulometrías (p -valor < 0,05); los resultados son mayores para la granulometría fina. Esto podría explicarse teniendo en cuenta que un mayor triturado provoca mayor desestructuración mecánica, favoreciendo la rotura de fibras además de una mayor liberación de sólidos solubles a la fase líquida.

Por lo que respecta a la solubilidad, ésta se define como la velocidad y grado en que los componentes de las partículas de polvo se disuelven en agua (Ortega, 2008). La literatura reporta trabajos que demuestran que la solubilidad de un polvo instantáneo está directamente relacionada con su microestructura (Cano-Chauca *et al.*, 2005). De los valores recogidos en la **tabla 6**, se deduce que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas granulometrías, no obstante, la solubilidad obtenida es ligeramente superior en el caso del polvo fino. Estos resultados coinciden con los reportados por Serna-Cock *et al.* (2015), que atribuyen una mayor solubilidad al polvo de menor tamaño de partícula. Por un lado, este resultado podría estar asociado al hecho de que a menor tamaño de partícula mayor es la velocidad de disolución; por otro lado, atendiendo a una solubilización completa de los componentes solubles del polvo, estaría relacionado con la mayor cantidad de sólidos solubles presentes consecuencia de una molienda más intensa, según se ha descrito en el párrafo anterior. Finalmente, en relación con otros polvos obtenidos a partir de bagazo de frutas, el polvo de mandarina presenta una menor solubilidad que otros polvos tales como el polvo de bagazo de arándano (valor obtenido mediante el mismo procedimiento analítico) (Roig, 2017). Además cabe destacar comparando ambos polvos, que el polvo fino presenta mayores valores de solubilidad y menores de fibra, a diferencia de lo que ocurre con el polvo grueso.

Las propiedades de hidratación y retención del agua del polvo obtenido a partir de la cáscara de mandarina, dependen de la composición fisicoquímica del producto, de la porosidad y del tamaño de partícula del bagazo (Ramírez y Pacheco de Delahaye, 2009). La fibra dietética contenida en los subproductos de frutas, les confiere propiedades funcionales asociadas a su capacidad de captación de agua, lo cual resulta de interés para la formulación de determinados productos (Ayala-Zavala *et al.*, 2011).

Las propiedades de hidratación de la fibra dietética se refieren a su habilidad de retener agua dentro de su matriz, propiedades que dependen en gran medida de la naturaleza fisicoquímica de los constituyentes de la fibra. Están determinadas fundamentalmente por su contenido en pectinas, gomas, mucílagos y hemicelulosas solubles, mientras que la celulosa, hemicelulosa insoluble, lignina y otros componentes relacionados con la fibra tienen una influencia limitada sobre estas propiedades (Figuerola *et al.*, 2005). Por tal razón, los alimentos ricos en fibra soluble como frutas y verduras presentan mayor capacidad de hidratación que los cereales (Ramírez y Pacheco de Delahaye, 2009).

La higroscopicidad se define como la habilidad de un material de absorber la humedad en un ambiente de alta humedad relativa. Generalmente, un polvo con baja higroscopicidad, bajo contenido en agua y grado de apelmazamiento y alta solubilidad, se considera un buen polvo (Bhusari *et al.*, 2014). Por el contrario, un polvo que presente alta higroscopicidad, se humectará rápidamente, aumentando su actividad del agua y ocasionando situaciones desfavorables durante su almacenamiento. Según indican Sapper *et al.* (2015), los bajos valores del contenido en agua que presentan los polvos de frutas, pueden originar algunos problemas en sus propiedades derivados de su alta higroscopicidad, dando lugar a problemas de pegajosidad y apelmazamiento. Hay que recordar, no obstante, que el riesgo de apelmazamiento en los polvos de fruta es significativamente mayor al que se daría en el polvo de bagazo, dado que su elevado contenido en azúcares contribuye de forma significativa a estos procesos de degradación. Por lo que respecta a los resultados obtenidos en el presente trabajo (**tabla 6**), se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos granulometrías obtenidas. Los valores obtenidos para esta propiedad son similares a los reportados por Casanova (2014) en pomelo triturado y liofilizado, siendo estos próximos al 18%, y a valores obtenidos para frambuesa (Si *et al.*, 2016).

A la capacidad de un polvo para ser penetrado por un líquido debido a las fuerzas capilares se le denomina humectabilidad (Hogekamp y Schubert, 2003). En este estudio, existen diferencias significativas entre ambas granulometrías. Se evidenció, como ya había sido constatado por Serna-Cock *et al.* (2015), que existe una relación inversa entre el diámetro de partícula y la humectabilidad en el polvo de cáscara de mandarina, es decir, a mayor diámetro de partícula, menor tiempo de humectabilidad. Según Forny *et al.* (2011) este comportamiento inverso puede ser atribuido a que al aumentar el tamaño de partícula, se aumenta la cantidad de poros de la microestructura, y por consiguiente al aumentar la porosidad se aumenta la humectabilidad. De acuerdo a Dhanalakshmi *et al.* (2011), la humectación depende de factores microestructurales como el tamaño de partícula, la densidad y la porosidad. Las partículas pequeñas ofrecen una gran relación área/masa, por lo que no se humedecen individualmente,



sino que forman grumos, quedando cubiertas por una capa superficial mojada, la cual reduce la velocidad con que el agua penetra hacia el interior de las partículas del grumo (Brennan *et al.*, 1998). Si comparamos los valores obtenidos en el presente trabajo, con el estudio realizado por Serna-Cock *et al.* (2015) para polvos alimentarios de cáscara de mango, la humectabilidad del polvo de mandarina resulta menor.

Por lo que respecta a la capacidad de hinchamiento, no existen diferencias significativas, obteniéndose una mayor capacidad de hinchamiento para el polvo grueso. Según Kethireddipalli *et al.* (2002), un elevado triturado puede afectar negativamente a las propiedades de hidratación, tal y como se observa en los resultados obtenidos. Al comparar el valor obtenido de capacidad de hinchamiento de la mandarina con el de otras fibras comerciales de frutas, como por ejemplo, melocotón, manzana, limón y naranja, se observa que éstas presentan valores inferiores (Martínez-Las Heras *et al.*, 2017).

En lo que se refiere a la capacidad de atrapar agua, los resultados han sido superiores en el caso del polvo grueso. Lo mismo ocurre para la capacidad de retener agua. Existiendo en ambos casos, diferencias significativas. En comparación con fibras de melocotón, manzana, limón y naranja comprobamos que tanto los valores de capacidad de atrapar agua, como los de capacidad de retener agua son del orden a los obtenidos para el caso de la mandarina, superando en todos los casos los $9 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{producto seco}}$. Cabe destacar también, que los valores obtenidos para la capacidad de retención de agua, son del mismo orden que los obtenidos por Serna-Cock *et al.* (2015), para cáscaras de mango liofilizadas.

Por último, por lo que respecta a las propiedades emulsionantes, de acuerdo a Villarroel *et al.* (2003), la capacidad de retención de aceite en la fibra dietética está relacionada con la composición química, así como con el tamaño y área superficial de las partículas de fibra. Se ha determinado que las fibras insolubles, presentan mayores valores de absorción de aceite o moléculas orgánicas que las solubles, tanto por su contenido de lignina como por su mayor tamaño de partícula. Los valores obtenidos para la capacidad de retención de aceite del polvo de mandarina, son del orden de los reportados por Serna-Cock *et al.*, 2015, para cáscaras de mango liofilizadas. Cabe destacar, que polvos alimentarios con estas características de retención de aceites podrían utilizarse en la formulación de alimentos funcionales con efectos benéficos en la salud; de acuerdo a Elleuch *et al.* (2011), polvos alimentarios con estas cualidades podrían emplearse para reducir el colesterol sérico.

Para el caso de la capacidad de retención de aceite los valores obtenidos son mayores para el caso del polvo grueso, cosa que corresponde con lo reportado por Serna-Cock *et al.* (2015). Comparando los valores de capacidad de retención de aceite obtenidos para los polvos de mandarina, con los valores obtenidos para el melocotón, la manzana, el limón y la naranja se podría decir, que la mandarina presenta valores un poco superiores a los obtenidos para estos residuos, encontrándose los valores de la mandarina en un intervalo entre 3,1 y 3,4 $\text{g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{muestra}}$ y los valores para el resto de residuos entre 2,5 y 2,9 $\text{g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{muestra}}$ (Martínez-Las Heras *et al.*, 2017).

La actividad emulsionante y la estabilidad de la emulsión son también índices importantes para medir la funcionalidad de un componente alimenticio y su uso potencial (Ramírez y Pacheco de Delahaye, 2009). La capacidad de formar emulsiones depende del equilibrio de los grupos hidrofílicos y lipofílicos presentes en los componentes de la fibra (Khalid *et al.*, 2003). Por un lado, para la actividad emulsionante, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambas granulometrías; por otro, no se encontraron diferencias entre ambos polvos con respecto a la estabilidad. Sin embargo, cabe destacar que en el análisis de ambas propiedades (actividad emulsionante y estabilidad emulsionante) la emulsión obtenida fue mínima en todos los casos, por lo que no se trataría de un ingrediente adecuado para la formulación de productos que requieran la formación de una buena emulsión tales como salsas, cremas, etc.

4.6. Efecto prebiótico

Se entiende como prebióticos aquellos ingredientes alimenticios no digeribles, principalmente oligosacáridos, que afectan de manera positiva al organismo al estimular la actividad de bacterias intestinales específicas (Betalleluz, 2015). Según se indica en el apartado de material y métodos, se determinó el potencial efecto prebiótico del polvo de mandarina sobre el crecimiento del microorganismo probiótico *Lactobacillus salivarius* spp. *salivarius*.

A continuación, en la **figuras 4 y 5**, están representados los valores correspondientes al crecimiento del microorganismo probiótico *Lactobacillus salivarius* spp. *salivarius* (UFC/ml) en el medio control MRS, en el medio MRS con glucosa añadida y en los medios enriquecidos con los polvos de mandarina fino y grueso.

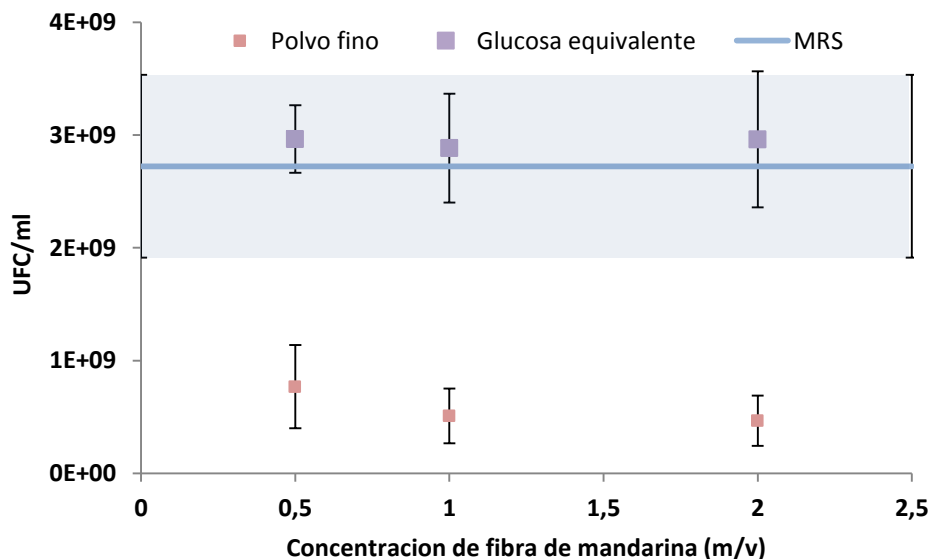


Figura 4. Recuento de UFC/ml de *Lactobacillus salivarius* spp. *salivarius* (CECT 4063) en el medio control (MRS), en el medio MRS en presencia de glucosa añadida y en los medios enriquecidos con polvo de bagazo de mandarina fino. La zona sombreada se corresponde con el valor promedio de crecimiento en medio MRS \pm desviación típica.

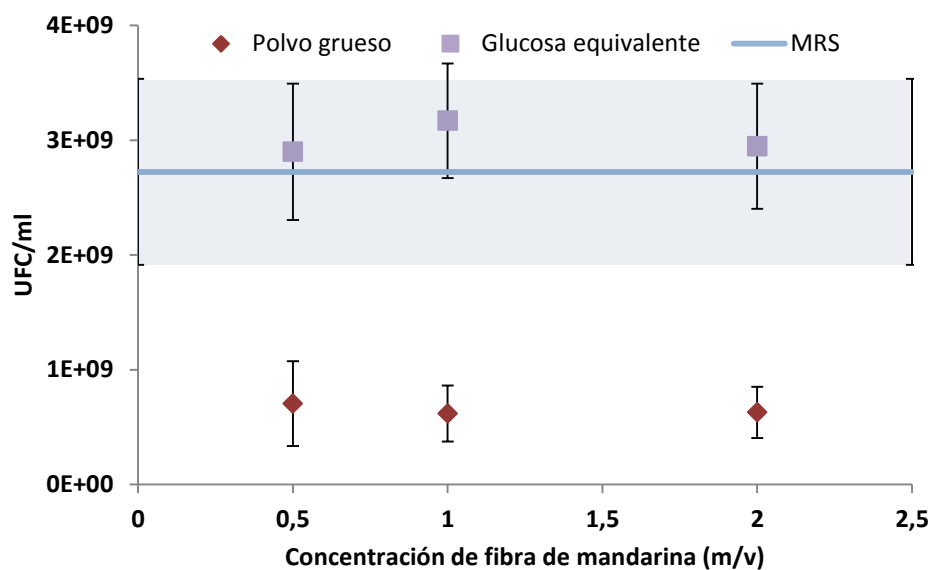


Figura 5. Recuento de UFC/ml de *Lactobacillus salivarius* spp. *salivarius* (CECT 4063) en el medio control (MRS), en el medio MRS en presencia de glucosa añadida y en los medios enriquecidos con polvo de bagazo de mandarina grueso. La zona sombreada se corresponde con el valor promedio de crecimiento en medio MRS \pm desviación típica.

Según puede observarse en ambos gráficos, el resultado de adicionar polvo de mandarina al medio de cultivo, ya sea en su granulometría fina o gruesa, es el de reducir el crecimiento del microorganismo. Por otro lado, con respecto a los medios MRS con glucosa añadida, no se aprecia un efecto significativo de ésta sobre el crecimiento microbiano.

De este modo, no se confirmaría el posible efecto prebiótico sino que se evidenciaría un posible efecto negativo de la adición del polvo de mandarina sobre las propiedades prebióticas del alimento. En este caso, y aunque la fibra presente en el bagazo podría presentar propiedades prebióticas, parece ser que el polvo de mandarina estaría aportando otros compuestos que pueden impedir el crecimiento microbiano. Concretamente, la presencia de compuestos fenólicos (antioxidantes) o de aceites esenciales, presentes en las cáscaras de las frutas cítricas, puede inhibir su desarrollo y contribuir negativamente al crecimiento de éste.

Los aceites esenciales son comúnmente llamados esencias. En los cítricos, se encuentran almacenados en las vesículas de las cáscaras, que contienen las sustancias responsables del aroma y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), alimentaria (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes) (Martínez-Vásquez, 2014). El componente mayoritario de los aceites esenciales de la mandarina, objeto del presente estudio, es un hidrocarburo monoterpénico, identificado como limoneno, de fórmula molecular $C_{10}H_{16}$ (Biocomercio Sostenible, 2003). La composición lipídica del aceite de la cáscara de la mandarina contiene compuestos volátiles y no volátiles. Más del 90% de la fracción volátil corresponde al limoneno. En la fracción no volátil se encuentran: triglicéridos, carotenoides (libres y esterificados) y fosfolípidos. Según Castro *et al.* (2016), el aceite de cáscara de mandarina tiene un gran potencial como agente quimiopreventivo y/o quimioterapéutico; otros estudios demuestran que los subproductos de cítricos (limón, naranja y mandarina), al contener aceites esenciales en su corteza, presentan capacidad

antimicrobiana efectiva y propiedades bacteriostáticas y/o bactericidas, pudiendo actuar como barrera a la proliferación microbiana (Picón, 2013; Dembitsky *et al.*, 2012; Sánchez, 2016).

Para analizar en mayor detalle los resultados del estudio sobre las propiedades prebióticas del polvo de mandarina, se llevó a cabo un ANOVA multivariante teniendo en cuenta los factores granulometría, concentración y la interacción entre ambos.

Los resultados indican que incrementar la cantidad de polvo de mandarina en el medio implica un descenso del crecimiento microbiano, esto se debería a la mayor concentración de compuestos que limitan el crecimiento microbiano. Este hecho es más evidente en el caso del polvo fino, posiblemente porque una mayor molienda habría provocado una mayor exposición de los microorganismos a los compuestos inhibitorios (aceites, antioxidantes), debido a una mayor solubilización de los mismos y a la mayor área superficial disponible dado el menor tamaño de partícula. En el caso del polvo grueso, aumentar la concentración de fibra el 1 al 2% no provoca un descenso, e incluso parece recuperar ligeramente los valores, en comparación con el polvo fino. El análisis estadístico reveló que esta diferencia es notable dado que la interacción entre ambos factores resultó significativa. Además de la mayor disponibilidad de compuestos inhibitorios, otro factor que podría estar afectando es que el grueso de las partículas provoca que éstas estén más o menos suspendidas en el medio, o sedimentadas en el fondo del matraz. Las partículas gruesas tenderían a sedimentar más al fondo del matraz, dejando en la zona superior o sobrenadante un medio en el que los microorganismos crecerían con una menor exposición a los compuestos inhibitorios. Este hecho, que se constata aquí de manera sutil, resultó evidente en otro trabajo realizado en el mismo laboratorio sobre polvo de bagazo de arándano (Juliá, 2017).

A tenor de los resultados obtenidos y con el fin de descartar el posible efecto de la presencia de partículas sólidas en el cultivo y muestreo para la siembra y recuento de microorganismos, se decidió realizar una comprobación de los resultados modificando parcialmente el protocolo. De este modo y, adicionalmente a los resultados presentados anteriormente, se realizó otra serie experimental en la que una vez finalizado el periodo de incubación el medio de cultivo se introdujo en bolsa de stomacher (Bagmixer® 400) provista de un filtro y se homogeneizó durante 1 min. Seguidamente, se recogió 1 ml del medio filtrado, el cual se llevó al procedimiento de diluciones seriadas y posterior siembra, según se hizo en el caso anterior. Los resultados obtenidos con la modificación del protocolo fueron del mismo orden a los anteriores, por lo que se concluyó que éstos no se habrían visto afectados por este motivo, y se decidió no incluirlos en el presente documento.

Por tanto, tras realizar el efecto prebiótico y con los resultados obtenidos en estudios sobre esta materia, podemos concluir que este tipo de polvo no puede utilizarse como prebiótico, ya que no favorece el crecimiento de los microorganismos. Siendo posible utilizar este polvo para otras aplicaciones distintas.



5. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se concluye que ha sido posible la obtención de polvos deshidratados a partir del bagazo de mandarina, en dos granulometrías distintas, mediante el proceso de secado por aire caliente y diferente intensidad de triturado.

El procedimiento seguido ha permitido obtener un polvo con una humedad muy inferior a la humedad de la capa monomolecular y una actividad de agua inferior a 0,3, lo que asegura su estabilidad durante el almacenamiento. Las propiedades de solubilidad, humectabilidad y capacidad de hinchamiento, dieron como resultados valores menores a los obtenidos en otros polvos de frutas. Con respecto a las determinaciones de actividad emulsionante y estabilidad de la emulsión cabe destacar que la emulsión obtenida fue mínima en ambos casos, por lo tanto se deduce que el polvo de mandarina no sería un ingrediente adecuado para productos que requieran la formación de una buena emulsión (salsas, cremas, etc).

Con respecto a su composición, el polvo obtenido presenta un elevado contenido en fibra (aunque inferior si se compara con otros polvos de frutas), la cual podría tener cierto efecto prebiótico. Sin embargo, aunque la fibra presente en el bagazo podría presentar propiedades prebióticas, parece ser que el polvo de mandarina estaría aportando otros componentes importantes, no analizados en este trabajo, pero que están presentes, tales como: aceites esenciales presentes en la cáscara de la mandarina (en su mayoría el limoneno), compuestos fenólicos (antioxidantes), etc., con efecto inhibitorio sobre el crecimiento microbiano. Por otro lado, se ha comprobado que la granulometría del producto final tiene consecuencias sobre las propiedades fisicoquímicas medidas.

Con todo esto, los resultados sugieren que el polvo de bagazo de mandarina, no puede utilizarse como prebiótico, ya que no favorece el crecimiento de los microorganismos. Siendo posible utilizar este polvo para otras aplicaciones distintas, como por ejemplo saborizante y aromatizante de dulces y pasteles (bizcochos, helados, etc), zumos, néctares, refrescos, gominolas, cócteles, té e infusiones, etc.

6. BIBLIOGRAFÍA

AACC. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46: 112-126.

AGUILERA, S.L.; ARELLANO, F.; HERNÁNDEZ, I.; JUÁREZ, D. y TEMPLOS, A. (2015). Elaboración de un producto alimenticio a partir de harina suplementada con bagazo seco de naranja. *PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 3(5): 1-6.

AOAC (2000). Official method 973.18. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18th edition. *Association of Official Analytical Chemist*, Arlington, VA, EEUU.

ARGYROPOULOS, D.; ALEX, R.; KOHLER, R. y MÜLLER, J. (2012). Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of leaves and stems of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) established by dynamic vapor sorption. *LWT-Foodscience and technology*, 47(2): 324-331.

ARUOMA, O.I.; COLES, L.S.; LANDES, B. y REPINE, J.E. (2012). Functional benefits of ergothioneine and fruit - and vegetable - derived nutraceuticals: Overview of the supplemental issue contents. *Preventive Medicine*, 54(4-8).

ARVANITOTANNIS S. y VARZAKAS H. (2008). Fruit/Fruit Juice Waste Management: Treatment Methods and Potential Uses of Treated Waste. *Waste Management for the Food Industries*, 629-702.

AVIARA, N.A. y AJIBOLA, O.O. (2002). Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. *Journal of Food Engineering*, 55(2): 107-113.

AYALA-ZAVALA, J.F.; VEGA-VEGA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLARODRIGUEZ, J.A.; WASIM SIDDIQUI, MD.; DÁVILA-AVIÑA, J.E. y GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit by products as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7): 1866-1874.

BASANTEZ, J.E.; CARTAGENA, M.I.; SANGACHA, A.R. y SANGACHA, R.G. (2015). Elaboración de harina a base de la corteza de melón y sandía en el cantón de san miguel de bolívar. *Revista Científica HORIZONTE EMPRESARIAL*, 2(1): 1-10.

BETALLELUZ, I.M. (2015). Estudio del enriquecimiento de manzana con prebióticos, probióticos y componentes antioxidantes provenientes de zumo de mandarina por impregnación a vacío para el desarrollo de aperitivos altamente funcionales y con bajo contenido calórico. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral. 1-312.

BETORET, E.; CALABUIG-JIMÉNEZ, L.; BARRERA, C. y DALLA ROSA, M. (2016). Sustainable Drying Technologies for the Development of Functional Foods and Preservation of Bioactive Compounds. *Sustainable Drying Technologies*.



BHUSARI, S.N.; MUZAFFAR, K. y KUMAR, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266: 354-364.

BIOCOMERCIO SOSTENIBLE. (2003). Estudio del mercado nacional de aceites esenciales. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, Colombia. 109.

BORREGO, M.M.; ÁNGULO, R.; COSTABER, I.; JODRAL, M. y SERRANO, S. (1996). *Alimentaria*, Octubre (96): 19-27.

BRENNAN, J.G.; BUTTERS, J.R.; COWELL, N.D. y LILLEY, A.E.V. (1998). Las operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia. 1-714.

BRUNAUER, S.; DEMING, L.S.; DEMING, W.E. y TELLER, E. (1940). On a theory of the van der waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*, 62(7): 1723-1732.

CAI, Y.Z. y CORKE, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65 (7):1248-1252.

CALVO, A. (2013). Determinación experimental y modelización de isothermas de sorción de agua de hojas de alcachofa. Universidad Politécnica de Valencia. Máster en Ciencia e Ingeniería de Alimentos. 1-21.

CALDERÓN, E.A. (2014). Utilización de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) en la elaboración de *Shichimi Togarashi* y la evaluación sensorial de jueces. Universidad San Francisco de Quito. Tesis (Ingeniero en Alimentos).

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P.C.; RAMOS, A.M. y CAL-VIDAL, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4): 420-428.

CASA, F. (2013). Influencia de la deshidratación en la calidad de diferentes variedades de pimiento. Estudio de las condiciones de almacenamiento. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis de Máster. 1-19.

CASANOVA, M.A. (2014). Estudio de viabilidad para la comercialización de fruta en polvo. Universidad Politécnica de Valencia. Trabajo fin de grado. 1-24.

CASTRO M.A.; PETERSON, G.; MASSONE, A.R.; RODENAK, B.E.; MONTERO, S.; POLO, M.P.; GARCÍA DE BRAVO, M.M. Y CRESPO R. (2016). Los lípidos del aceite de cáscara de mandarina inhiben la proliferación de células tumorales A549 *in vitro e in vivo*. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*, 6(5): 1.



CERDA-TAPIA, A.; PÉREZ-CHABELA, M. DE L.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.Á.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. y VIUDA-MARTOS, M. (2015). Valorization of pomace powder obtained from native Mexican apple (*Malus domestica* var. rayada): chemical, techno-functional and antioxidant properties. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(3), 310-316.

CORONADO, M.; VEGA, S.; GUTIÉRREZ, R.; VÁZQUEZ, M. y RADILLA, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2): 206-212.

CORZO, N.; ALONSO, J. L.; AZPIROZ, F.; CALVO, M. A.; CIRICI, M.; LEIS, R.; LOMBO, F.; MATEOS-APARICIO, I.; PLOU, F. J.; RUAS-MADIEDO, P.; RÚPEREZ, P.; REDONDO-CUENCA, A.; SANZ, M. L. y CLEMENTE, A. (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1): 99-118.

CUQ, B.; GAIANI, C.; TURCHIULI, C.; GALET, L.; SCHER, J.; JEANTET, R.; MANDATO, S.; PETIT, J.; MURRIETA-PAZOS, I.; BARKOUTI, A.; SCHUCK, P.; RONDET, E.; DELALONE, M.; DUMOULIN, E.; DELAPLACE, G. y RUIZ, T. (2013). Advances in Food Powder Agglomeration Engineering. *Advances in Food and Nutrition Research*, 69: 41-103.

DE ESCALADA PLA, M.F.; GONZÁLEZ, P.; SETTE, P.; PORTILLO, F.; ROJAS, A.M. y GERSCHENSON, L.N. (2012). Effect of processing on physico-chemical characteristics of dietary fibre concentrates obtained from peach (*Prunus persica* L.) peel and pulp. *Food Research International*, 49(1): 184–192.

DEMBITSKY, V.M.; POOVARODOM, S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; VEARASILP, S.; TRAKHTENGERB, S. y GORINSTEIN, S. (2012). The multiple nutrition properties of some exotics fruits: Biological activity and active metabolites. *Food Research International*, 44(7): 1671-1701.

DHANALAKSHMI, K.; GHOSAL, S. y BHATTACHARYA, S. (2011). Agglomeration of food powder and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5): 432-441.

DÍAZ-VELA J.; TOTOSAUS A. y PÉREZ-CHABELA, M.L. (2016). Efecto de harina de cáscaras de tuna y piña sobre las características físicoquímicas y texturales de salchichas cocidas inoculadas con bacterias ácido lácticas. *Investigacion y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 851-856.

DOMÍNGUEZ, M.T. (2016). Flavonoides extraídos de la cascara de naranja tangelo (*Citrus reticulata* x *Citrusparadisi*) y su aplicación como antioxidante natural en el aceite vegetal sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria*, 7(4): 419-431.

EDRISI, M. y LANGRISH, T.A.G. (2014). Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1): 875.



ELEZ-MARTINEZ, P.; AGUILO-AGUAYO, I. y MARTIN-BELLOSO, O. (2006). Inactivation of orange juice peroxidase by high-intensity pulsed electric fields as influenced by process parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1): 71-81.

ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C. y ATTIA, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food chemistry*, 124(2): 411-421.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; FERNÁNDEZ-GINÉS, J.M.; ALESON-CARBONELL, L.; SENDRA, E.; SAYAS-BARBERÁ, E. y PÉREZ-ALVAREZ, J.A. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science and Technology*, 15(3-4): 176-185.

FIGUEROLA, F.; HURTADO, M. L.; ESTÉVEZ, A. M.; CHIFFELLE, I. y ASENJO, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91(3): 395-401.

FORNY, L.; MARABI, A. y PALZER, S. (2011). Wetting disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. *Powder Technology*, 206: 72-78.

GABAS, A.L.; TELIS-ROMERO, J.; GIRALDO-GÓMEZ, G.I. y NICOLETTI, V.R. (2009). Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. *Food Science and Technology*, 29(4).

GARAU, M.C.; SIMAL, S.; ROSSELLÓ, C. y FEMENIA, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104(3): 1014-1024.

GAVILANEZ, R.S. (2017). Evaluación de dos Antioxidantes en la Adhesión de un Cemento Resinoso en un Esmalte sometido a tratamiento de Clareamiento. Proyecto de Investigación presentado como requisito parcial para aprobar el trabajo de titulación, para optar por el Título de especialista en Estética y Operatoria Dental. Universidad Central de Ecuador. 1-68.

GOULA, A.M. y LAZARIDES, H.N. (2015). Integrated processes can turn industrial food waste into valuable food by-products and/or ingredients: The cases of olive mill and pomegranate wastes. *Journal of Food Engineering*, 167(A): 45-50.

GREENSPAN, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of research of the national bureau of standards-A. Physics and Chemistry*, 81(1), 89-96.

GUTIÉRREZ, E. y PASCUAL, G. (2016). Caracterización de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) en polvo e inclusión en una formulación panaria. Departamento de Tecnología de Alimentos y Productos Agropecuarios, Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú), 1: 5-8.

HERNÁNDEZ, R.M. y BLANCO, D.J. (2015). Evaluación de polvos de zanahoria obtenidos por deshidratación por aire forzado a diferentes temperaturas. *IDESIA (Chile)* 33(4): 75-80.



HOGEKAMP, S. y SCHUBERT, H. (2003). Rehydration of food powders. *Food Science and Technology International*, 9(3): 223-235.

JENKINS, D.J.; JENKINS, A.L.; WOLEVER, T.M.; COLLIER, G.R.; RAO, V.A. y THOMPSON, L.U. (1987). Starch foods and fiber: reduced rate of digestion and improved metabolism. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 129: 132-141.

JULIÁ, M. (2017). Caracterización de polvos deshidratados obtenidos a partir de bagazo de arándano y valoración de su utilización como ingrediente funcional. Universitario en Ciencia Y Tecnología de los Alimentos. Trabajo fin de Máster. 1-21.

KARAM, M.C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E.B. y SCHER, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188: 32-49.

KETNAWA, S.; CHAIWUT, P. y RAWDKUEN S. (2012). Pineapple waste. A potential source for bromelain extraction. *Food and Bioprocess Processing*, 90(3): 385-391.

KHALID E.K.; BABIKER E.E. y EL TINAY, A.H. (2003). Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry*, 82: 361-366.

KETHIREDDIPALLI, P.; HUNG, Y.C.; MCWATTERS, K.H. y PHILLIPS, R.D. (2002). Effect of milling method (wet and dry) on the functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) pastes and end product (Akara) quality. *Journal of Food Science*, 67(1): 48-52.

LABUZA, T.P. (1971). Properties of water and the keeping quality of foods. Proceedings of the Third International Congress of Food Science & Technology. *Food Safety Magazine*.

LABUZA, T.P. y ALTUNAKAR, B. (2007). Water prediction and moisture sorption isotherms. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, 109-154.

LARRAURI J.A.; RUPÉREZ P. y SAURA F.C. (1997). Pineapple shell as a source of dietary fiber with associated polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10): 4028-4031.

LICONA, A.I. (2013). Obtención de fibra dietética nutricional de valor agregado a partir de bagazo de caña. Doctoral dissertation.

MADRID, J.G. (2013). Diseño de máquina procesadora de cáscara de mandarina. Universidad Pontificia Bolivariana. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico.

MARTÍNEZ, R. (2016). Caracterización de las propiedades físicas de polvos de cacao sometidos a diferentes niveles de alcalinización. Universidad Politécnica de Valencia. Máster en Gestión de Seguridad y Calidad Alimentaria.



MARTÍNEZ-LAS HERAS, R.; LANDINES, E.F.; HEREDIA, A.; CASTELLÓ, M.L. y ANDRÉS, A. (2017). Influence of drying process and particle size of persimmon fibre on its physicochemical, antioxidant, hydration and emulsifying properties. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9): 2902-2912.

MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FITO, P. y ANDRÉS, A. (2011). Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 1-372.

MARTÍNEZ-VÁSQUEZ, A. (2014). Evaluación de actividad antioxidante y antimicrobiana del extracto de la cáscara de naranja (citrus sinensis).

MARTÍN-LUENGO, M.A.; YATES, M.; DIAZ, M.; SAEZ, E. y GONZALEZ, L. (2011). Renewable fine chemicals from rice and citric subproducts: Ecomaterials. *Applied Catalysis B: Environmental*, 106(3-4): 488-493.

MÉNDEZ, R. (1995). Aprovechamiento de subproductos agropecuarios. Unisur, Santafé de Bogotá. 336.

MERTENS, D.R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *Mertens: Journal of AOAC International*, 85(6): 1217-1240.

MILENA, S.; MONTOYA, L.J.; OROZCO, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del valle del aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61(1): 4422-4431.

MIMOUNI, A.; DEETH, H.C.; WHITTAKER, A.K.; GIDLEY, M.J. y BHANDARI, B.R. (2009). Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. *Food Hydrocolloids*, 23(7): 1958–1965.

MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V. y SALA, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner production*, 65: 28-41.

MORENO-VILET, L.; GARCIA-HERNANDEZ, M.H.; DELGADO-PORTALES, R.E.; CORRAL-FERNANDEZ, N.E.; CORTEZ-ESPINOSA, N.; RUIZ-CABRERA, M.A. y PORTALES-PEREZ, D. P. (2014). In vitro assessment of agave fructans (Agave salmiana) as prebiotics and immune system activators. *International Journal of Biological Macromolecules*, 63: 181-187.

MOSQUERA, L.H. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábiga) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral.



NEACSU, M.; VAUGHAN, N.; RAIKOS, V.; MULTARI, S.; DUNCAN, G.J.; DUTHIE, G.G. y RUSSELL, W.R. (2015). Phytochemical profile of commercially available food plant powders: their potential role in healthier food reformulations. *Food Chemistry*, 179: 159-169.

NITAYAPAT, N.; PRAKARNSOMBUT, N.; JU-LEE, S. y BOONSUPTHIP, W. (2015). Bioconversion of tangerine residues by solid-state fermentation with *Lentinus polychrous* and drying the final products. *LWT – Food Science and Technology*, 63(1): 773-779.

OJEDA, J.W. (2009). Análisis situacional de la gestión de residuos sólidos urbanos casos: Catalunya (España) y Loja (Ecuador). Universidad Autónoma de Madrid, 1-63.

ORTEGA, E. (2008). Bulk Properties of Food Particulate Materials: An Appraisal of their Characterisation and Relevance in Processing. *Food and Bioprocess Technology*, 2(1): 28-44.

PACHECO-DELAHAYE, E.; PÉREZ, R. y SCHNELL, M. (2004). Evaluación nutricional y sensorial de polvos para bebidas a base de papaya, plátano verde y salvado de arroz. Índice glucémico. *Interciencia*, 29(1): 46-51.

PEÑA, J.N. (2016). Las vitaminas y los antioxidantes naturales y su impacto en el consumo de alimentos perecibles en los estudiantes de 2do año de bachillerato general unificado de la Unidad Educativa Ficoa de Montalvo. Universidad de Guayaquil. Facultad de Comunicación Social. 1- 145.

PICÓN, E. (2013). Capacidad antimicrobiana de subproductos cítricos de limón, naranja y mandarina frente a *Escherichia coli* O157:H7 y *Salmonella Typhimurium*. Universidad Politécnica de Valencia. Máster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

QUEK, S.Y.; CHOK, N.K. y SWEDLUND, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Science direct. Chemical Engineering and Processing*, 46: 386-392.

QUIÑONES, Y.; HERNÁNDEZ, M.S.; CORZO-BARRAGÁN, D.C. y TORRES, M.E. (2016). Obtención de harinas compuestas a partir de tubérculos y su aplicación en productos horneados. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 34(1): 614-617.

RAGHAVENDRA, S.N.; RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. y THARANATHAN, R.N. (2004). Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *European Food Research and Technology*, 218(6): 563–567.

RAMACHANDRAIAH, K. y CHIN, K.B. (2016). Evaluation of ball-milling time on the physicochemical and antioxidant properties of persimmon by-products powder. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37: 115–124.



RAMÍREZ, A. y PACHECO DE DELAHAYE, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4): 293-297.

RAMÍREZ-MIRANDA, M.; CRUZ Y VICTORIA, M.T.; VIZCARRA-MENDOZA, M.G. y ANAYA-SOSA, I. (2014). Determinación de las isoterms de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(1): 165-178.

RAYBAUDI-MASSILIA, R.M.; MOSQUEDA-MELGAR, J.; SOLIVA-FORTUNY, R. y MARTÍN-BELLOSO, O. (2009). Control of pathogenic and spoilage microorganism in fresh-cut fruit juices by traditional and alternative natural antimicrobials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(3): 157-180.

RINCÓN, A.M.; VÁSQUEZ, A.M.; PADILLA, M. y FANNY, C. (2005). Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cascaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 55(3): 305-310.

ROBERTSON, J.A.; MONREDON, F.D.; DYSELER, P.; GUILLON, F.; AMADÓ, R. y THIBAUT J.F. (2000). Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: A European collaborative study. *LWT-Food Science and Technology*, 33(2): 72-79.

ROCKLAND, L. y BEUCHAT, L.R. (1987). Water activity: theory and applications to food. *Meat Science*, 21(2): 157-158.

ROIG, S. (2017). Caracterización del polvo obtenido a partir de residuo de arándano y su uso como ingrediente funcional en la formulación de galletas. Universidad Politécnica de Valencia. Trabajo fin de grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 1-47.

SABAREZ, H.T. (2012). Computational modelling of the transport phenomena occurring during convective drying of prunes. *Journal of Food Engineering*, 111(2): 279-288.

SABAREZ, H. T. (2014). Mathematical modeling of the coupled transport phenomena and color development: finish drying of trellis-dried sultanas. *Drying technology*, 32(5): 578-589.

SÁENZ, C.; ESTÉVEZ, A.M. y SANHUEZA, S. (2007). Utilización de residuos de la industria de jugos de naranja como fuente de fibra dietética en la elaboración de alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2): 186.

SÁNCHEZ, A. (2016). Estudio del proceso de deshidratación para la obtención de productos funcionales a partir de piel de mandarina. Universidad Politécnica de Valencia. Trabajo Final de Máster.



SAPPER, M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. y CAMACHO, M.M. (2015). Medida de las propiedades físicas de productos de fruta en polvo. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Tesis de máster. 1-19.

SASTRE, A. (2003). Fibra y prebióticos: conceptos y perspectivas. *Gastroenterología y Hepatología*, 26(1): 6-12.

SCHEEL, C. (2016). Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner production*, 131(10): 376-386.

SERNA-COCK, L.; TORRES-LEÓN, C. y AYALA-APONTE, A. (2015). Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Scielo, Información tecnológica*, 26(2): 41-50.

SHIMADA, T.; ENDO, T.; FUJII, H. y OMURA, M. (2005). Isolation and characterization of a new d-limonene synthase gene with a different expression pattern in *Citrus unshiu* Marc. *Scientia Horticulturae*, 105(4): 507-512.

SI, X.; CHEN, Q.; BI, J.; WU, X.; YI, J.; ZHOU, L. y LI, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6): 2055-2062.

TALENS, P. 2017. Determinación de la isoterma de sorción de agua de un alimento. Artículos docentes ETSIAMN.

TELIS, V.R.N. y 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.

TIMMERMANN, E.O. (2003). Multilayer sorption parameters: BET or GAB values?. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 220(1), 235-260.

VEGA-GALVEZ, A.; ARAVENA, E.L. y LEMUS-MONDACA, R. (2006). Adsorption isotherms of corn (*Zea mays* L) flour. *Ciencia e-Tecnología de-Alimentos*, 26: 821-827.

VEGA A.A. y LEMUS R.A. (2006). Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Revista Información Tecnológica*, 17(3): 23-31.

VILLARROEL, M.; ACEVEDO, C.; YAÑEZ, E. y BIOLEY, E. (2003). Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 53(4).

WANG, L.; XU, H.; YUAN, F.; PAN, Q.; FAN, R. y GAO, Y. (2015). Physicochemical characterization of five types of citrus dietary fibers. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(2): 250-258.



WOLF, W.; SPIESS, W.E.L. y JUNG, G. (1985). Standardization of Isotherm Measurements (COST-Project 90 and 90 bis). *Properties of Water in Foods*. 661–679.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MARITAKA, S.; MIKASI, M.; TODA, J.; WADA, T. y ISHI, K. (1972). Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural and Biological Chemistry*, 36(5): 719-727.

WU-NG, Y.; BENLLOCH-TINOCO, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E. y MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2013). Impacto de la adición de carboximetilcelulosa en la calidad de kiwi en polvo obtenido por liofilización y atomización. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis de Máster. 1-21.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Alto Nivel. La importancia de los antioxidantes en la alimentación (2009). Visto el 26 de Octubre de 2017

<https://www.altonivel.com.mx/la-importancia-de-los-antioxidantes-en-la-alimentacion/>

Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio climático y Desarrollo Rural (2017). Visto el 28 de Septiembre de 2017

www.agroambient.gva.es

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (2016). Visto el 28 de Septiembre de 2017

www.ivia.gva.es