



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE  
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## ***CARACTERIZACIÓN DE POLVO DE BAGAZO DE LULO (*Solanum quitoense*) PARA SU UTILIZACIÓN COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EN ALIMENTOS***

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E  
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A:  
Stevens Duarte Serna

TUTOR/A ACADEMICO:  
Dra. Lucía Seguí Gil

COTUTOR/A:  
Dra. Noelia Betoret Valls

DIRECTOR/A EXPERIMENTAL:  
Leidy Indira Hinestroza Córdoba

*Curso Académico: 2018-2019*

**VALENCIA, SEPTIEMBRE DE 2019**

# **CARACTERIZACIÓN DE POLVO DE BAGAZO DE LULO (*Solanum quitoense*) PARA SU UTILIZACIÓN COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EN ALIMENTOS**

Duarte, S., Hinestroza, L.<sup>2</sup>, Betoret, N.<sup>1</sup>, Seguí, L.<sup>1</sup>

## **RESUMEN**

La planta del lulo (*Solanum quitoense Lam*) es una especie de fruta tropical de cultivo importante en países como Colombia. Su procesado para la obtención de zumo genera como subproducto el bagazo. Aunque este es utilizado normalmente en alimentación animal, como fertilizante, o como sustrato agrícola, su alto contenido en compuestos de interés nutricional y funcional como la fibra, los minerales y los compuestos con actividad antioxidante lo hacen atractivo para la obtención de ingredientes alimentarios de alto valor añadido. La obtención de un polvo funcional de bagazo de lulo puede llevarse a cabo por combinación de una operación de deshidratación y un triturado. En este trabajo se plantea la posibilidad de utilizar el secado por aire caliente a 60 y 70 °C y la liofilización como operaciones de deshidratación. El objetivo principal del trabajo es evaluar el efecto de la temperatura de secado por aire caliente y de la liofilización, así como de la intensidad del triturado sobre las propiedades físico-químicas y funcionales (humedad, tamaño de partícula, propiedades antioxidantes y color), propiedades de interacción con el agua (solubilidad, higroscopicidad, capacidad de hinchamiento, isoterma, capacidad retener y atrapar agua) y propiedades emulsionantes del polvo final.

Los resultados obtenidos muestran que la operación de liofilización proporciona un polvo con mejores propiedades antioxidantes y de interacción con el agua. El estudio del efecto de la temperatura de secado por aire caliente reveló una clara influencia de la temperatura tanto en la cinética del proceso como en las propiedades del producto final.

**PALABRAS CLAVE:** bagazo de lulo, deshidratación, propiedades antioxidantes, polvo de bagazo de lulo, liofilización.

## **ABSTRACT**

The lulo plant (*Solanum quitoense Lam*) is a tropical fruit specie grown in countries like Colombia. Its processing to obtain juice generates bagasse as a byproduct. Although this is normally used in animal feed, as a fertilizer, or as an agricultural substrate, its high content of compounds of nutritional and functional interest such as fiber, minerals and compounds with antioxidant

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Valencia, Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD), Departamento Tecnología de Alimentos, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España.

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Chocó, Grupo de Investigación en Valoración y Aprovechamiento de la Biodiversidad, Carrera 22, No. 18 B–10 Quibdó, Colombia

activity make it attractive for obtaining high added value food ingredients. Obtaining a functional lulo bagasse powder can be carried out by combining a dehydration method with a crushing operation. In this work, hot air drying at 60 and 70 °C and lyophilization are considered. as dehydration operations The main objective of this work is to evaluate the effect of hot air drying temperature and lyophilization, as well as the intensity of crushing on the physical-chemical and functional properties (humidity, particle size, antioxidant properties and colour), properties of interaction with water (solubility, hygroscopicity, swelling capacity, isotherms, ability to retain and trap water) and emulsifying properties of the final powder.

The results obtained show that the lyophilization operation provides a powder with better antioxidant and water interaction properties. The study of the effect of hot air-drying temperature reveals a clear influence of temperature both in the kinetics of the process and in the properties of the final product.

**KEY WORDS:** lulo bagasse, dehydration, antioxidant properties, lulo bagasse powder, lyophilization

## **RESUM**

La planta del lulo (*Solanum quitoense* Lam) és una espècie de fruita tropical de cultiu important en països com Colòmbia. El seu processat per a l'obtenció de suc genera com a subproducte el bagàs. Encara que aquest és utilitzat normalment en alimentació animal, com a fertilitzant, o com a substrat agrícola, el seu alt contingut en compostos d'interès nutricional i funcional com la fibra, els minerals i els compostos amb activitat antioxidant el fan atractiu per a l'obtenció d'ingredients alimentaris d'alt valor afegit. L'obtenció d'una pols funcional de bagàs de lulo es pot dur a terme per combinació d'una operació de deshidratació i un triturat. En aquest treball es planteja la possibilitat d'utilitzar l'assecat per aire calent a 60 i 70 °C i la liofilització com a operacions de deshidratació. L'objectiu principal del treball és avaluar l'efecte de la temperatura d'assecat per aire calent i de la liofilització, així com de la intensitat del triturat sobre les propietats fisicoquímiques i funcionals (humitat, mida de partícula, propietats antioxidants i color), propietats d'interacció amb l'aigua (solubilitat, higroscopicitat, capacitat d'inflament, isoterms, capacitat de retenir i atrapar aigua) i propietats emulsionants de les pols finals.

Els resultats obtinguts mostren que l'operació de liofilització proporciona una pols amb millors propietats antioxidants i d'interacció amb l'aigua. L'estudi de l'efecte de la temperatura d'assecat per aire calent va revelar una clara influència de la temperatura tant en la cinètica del procés com en les propietats del producte final.

**PARAULES CLAU:** bagàs de lulo, deshidratació, propietats antioxidants, pols de bagàs de lulo, liofilització.

## INTRODUCCIÓN

El género *Solanum* se considera uno de los grupos más grandes de angiospermas que contienen más de 1500 especies en todo el mundo (Bohs, 2007). El lulo (*Solanum quitoense* Lam) es una importante especie de fruta tropical que pertenece a la familia Solanaceae. Tradicionalmente, las solanáceas se subdividen en dos subfamilias, Solanoideae y Cestroideae (Heywood *et al.*, 2007). La estructura interna del fruto es similar a la del tomate: la pulpa verde-amarillenta (mesocarpio y endocarpio) forma cuatro compartimentos separados por particiones membranosas y rellenos de pulpa translúcida verde o amarillenta, muy jugosa y ácida (Igual *et al.*, 2014). En un estudio reciente, Forero *et al.* (2016) demostraron el efecto potencial del lulo como antihipertensivo, debido a que identificaron en la fruta compuestos activos como las aminas *N1*, *N4*, *N8*-tris (Dihidrocafeoil) y *N1*, *N8*-bis (Dihidrocafeoil) de la espermidina.

Se estima que a nivel mundial se desecha hasta una tercera parte de los alimentos que son adecuados para el consumo humano (Pérdidas, F.A.O.,2012), generándose residuos desde el cultivo de la materia prima hasta su comercialización. La generación de residuos depende principalmente de la posición en la que se encuentra cada país con respecto al ingreso promedio, al producto interior bruto y al consumo de la población, ya que estos influyen en la cantidad y el tipo de consumo.

El cultivo de lulo se lleva a cabo en un 74% de forma tradicional y en un 26% dentro de la economía empresarial. Según el Centro Internacional de Agricultura Tropical (2007), las diferencias en productividad y calidad de los sistemas productivos de lulo entre regiones, no se pueden adjudicar a un factor determinado, pues cada región cultiva lulos de diferentes características genéticas; las variaciones en calidad y productividad pueden deberse a variabilidad entre las regiones geográficas donde está establecido el cultivo, a la variabilidad genética de las poblaciones usadas por los agricultores y a diferencias en los niveles de tecnología usados en las agro empresas productoras de lulo. Sin embargo, la industrialización del lulo es baja, ya que el producto se vende principalmente en fresco.

Una opción viable para incrementar la industrialización, y por tanto su aprovechamiento, es el procesado para la obtención de zumo, ya que este tiene un valor nutricional alto y propiedades diuréticas y tónicas (Asohofrucol, Corpoica y Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, 2002). Sin embargo, este procesado producirá una gran cantidad de subproductos como es el bagazo de lulo, constituido principalmente por la piel junto con restos de pulpa y semillas.

En Colombia se generan alrededor de 728 T/año de subproductos procedentes de diferentes frutas. Los problemas medioambientales asociados a esta alta producción de residuos obligan a la agroindustria a considerar su reutilización y/o revalorización (Cury *et al.*, 2017).

Los procedimientos tradicionales de empleo de subproductos de la industria alimentaria son la alimentación de ganado, como fertilizantes, o como sustratos agrícolas. Sin embargo, estos usos no aportan el valor que la empresa alimentaria necesita para reforzar su competitividad, y menos

teniendo en cuenta que los subproductos son una fuente importante de compuestos de alto valor, como la fibra, los ácidos grasos esenciales, los minerales, etc.

La elaboración de polvo a partir de subproductos generados no es tarea sencilla, ya que el producto posee características tanto macroestructurales como microestructurales distintas al fruto entero; la composición también es diferente a la del fruto del cual proviene. Las diferencias más significativas se encuentran en el contenido de agua, fibra, componentes bioactivos y azúcares. Dichas diferencias determinan en gran medida tanto la cinética como los mecanismos de las operaciones de transformación a las que se ha de someter el producto, condicionando la calidad nutritiva, funcional, organoléptica y físico-química del producto final (Karam *et al.*, 2016).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de las condiciones de secado y molienda sobre las propiedades funcionales, propiedades de interacción con el agua y propiedades emulsionantes de un polvo obtenido a partir del bagazo resultante de la obtención de zumo de lulo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Preparación de la materia prima y obtención del residuo de lulo**

El residuo fue obtenido a partir del lulo fresco de la variedad *Solanum quitoense* Lam., proveniente de Colombia y Ecuador, los cuales fueron adquiridos en el Mercado Central de la ciudad de Valencia. La materia prima fue almacenada a temperatura ambiente hasta su posterior procesamiento.

Al fruto entero se le retiró el pedúnculo, se lavó y posteriormente se licuó (Phillips Avance Collection Standmixer, 800W 2L) durante 10 min, en esta etapa se obtuvo como producto principal el zumo de lulo y como subproducto el bagazo de lulo. El producto de interés fue el bagazo de lulo, el cual fue rotulado y almacenado en congelación hasta su posterior análisis.

### **Proceso de obtención del polvo a partir del bagazo de lulo**

La obtención del polvo de bagazo de lulo se muestra en la **Figura 1**, para lo cual se procedió a descongelar el residuo a temperatura ambiente durante 24 h aproximadamente. El residuo se distribuyó de forma homogénea en rejillas plásticas con apertura nominal de 2 mm. Luego, este residuo fue introducido en un secador convectivo (Pol-eko Aparatura, Katowice, Polonia), donde se llevó a cabo un secado por aire caliente (SAC), a 60 ó 70 °C durante 24 h, o bien un secado por liofilización (LIO) en un liofilizador (Telstar, Lioalta-g), con la finalidad de reducir la actividad del agua ( $a_w$ ) por debajo de 0,3.

Una vez secadas las muestras, se procedió a reducir el tamaño de partícula utilizando un procesador de alimentos (Thermomix®, Vorwerk, España). A partir de cada residuo seco, se obtuvieron dos granulometrías diferentes, una fina y otra gruesa. Para la obtención de la granulometría fina se realizó una molienda a 10.000 rpm durante 2 min en intervalos de 20 s, y para la granulometría gruesa se realizó una molienda a 4.000 rpm durante 20

s y posteriormente a 10.000 rpm durante 20 s en intervalos de 5 s. Finalmente, los polvos se guardaron en tarros de cristal con tapas metálicas recubiertos con papel aluminio para evitar el deterioro y oxidación de las muestras.

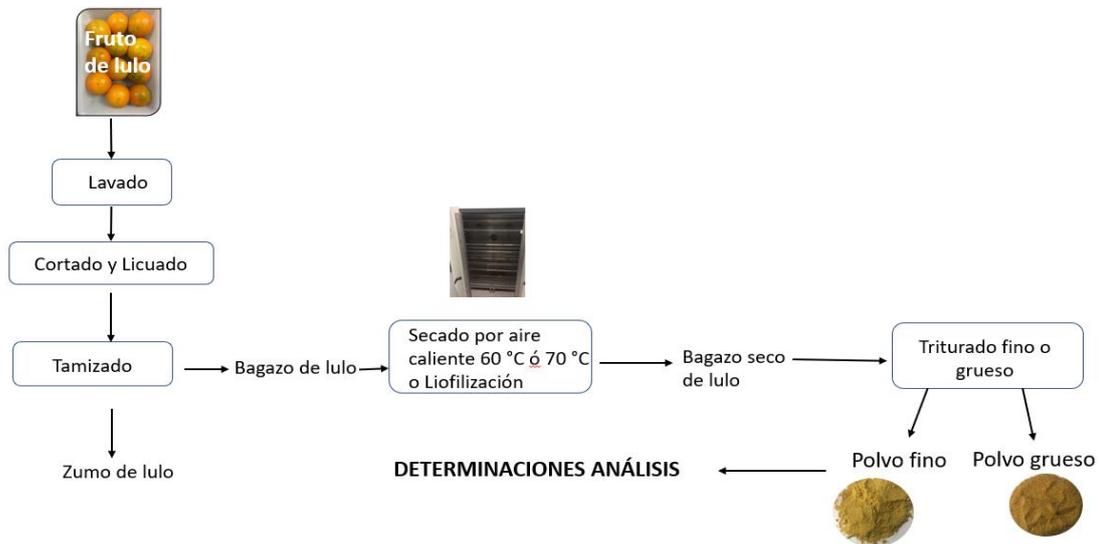


FIGURA 1. Diagrama de flujo de obtención del polvo a partir del bagazo de lulo.

## Determinaciones analíticas del polvo

### ACTIVIDAD DEL AGUA

La actividad del agua ( $a_w$ ) del bagazo seco de lulo se determinó con un higrómetro de punto de rocío (DECAGÓN Aqualab 4TE) con sensibilidad  $\pm 0,003$  a una temperatura de 25 °C.

### HUMEDAD

Se determinó el contenido en humedad siguiendo el método oficial establecido por la AOAC (AOAC 934.06, 2000) para alimentos ricos en azúcares. Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de las muestras mediante desecación de las mismas en una estufa de vacío (Vaciotem, J.P. Selecta) ( $P=10$  mm Hg), a una temperatura no superior a 63 °C, hasta llegar a peso constante. Pasado ese tiempo, y previo a cada pesada, las muestras fueron enfriadas en un desecador con una base de sílica gel. La variación de peso se midió en una balanza analítica (METTLER AE 100) de precisión 0,1 mg. El contenido de humedad ( $x_w$ ) de los polvos se calculó mediante la ecuación 1.

$$x_w(\%) = \frac{M_0 - M_2}{M_1 - M_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

$M_0$ : peso del crisol (g).

$M_1$ : peso del crisol y de la muestra antes del secado (g).

$M_2$ : peso del crisol y de la muestra tras el secado (g)

## CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES

Se determinaron los sólidos solubles totales (SST) de los diferentes polvos por refractometría, mediante la determinación de los grados Brix. Para esto, se realizó una dilución de los polvos en agua destilada en proporción 1:10 (m/v) y se midieron los grados Brix mediante un refractómetro (ABBE ATAGO 3-T) termostatado a 20 °C. La medida de grados Brix se expresó en fracción másica de sólidos solubles de la muestra ( $x_{ss}$ ), teniendo en cuenta la humedad de la muestra y la cantidad de agua incorporada a la disolución.

## CONTENIDO EN FIBRA

El contenido en fibra se determinó siguiendo el método descrito por Van Soest *et al.* (1991). Se determinó la fibra con detergente ácido (FAD) la cual incluye celulosa y lignina. Por otro lado, se halló la lignina con detergente ácido (FAL), la cual hace referencia a la lignina. Además, se determinó la fibra con detergente neutro (FDN) siguiendo el método de Mertens (2002) el cual es una modificación de la metodología descrita por Van Soest *et al.* (1991).

## VOLUMEN ESPECÍFICO

Se determinó el volumen específico de los diferentes polvos, midiendo el volumen ocupado. Para ello, se tomaron 5 g de muestra y fueron introducidos en una probeta de 10 mL. Para eliminar el aire ocluido entre la muestra, se golpeó suavemente la probeta hasta mantener constante el nivel de la muestra.

## PROPIEDADES DE INTERACCIÓN CON EL AGUA

Se determinaron la solubilidad, la higroscopicidad, la humectabilidad, la capacidad de hinchamiento, la capacidad de atrapar agua y la capacidad de retener agua.

La solubilidad (SD) se determinó siguiendo el procedimiento descrito por Mimouni *et al.* (2009), el cual se basa en la determinación de la fracción másica de un sólido disuelto en una muestra rehidratada, mediante la ecuación 2, donde SS son los sólidos solubles, y ST los totales.

$$SD = \frac{SS}{ST} \cdot 100 \quad (2)$$

Para los sólidos totales (ST), se disolvió 1 g de muestra en 50 mL de agua destilada, se agitó hasta conseguir una muestra homogénea y se tomaron 20 g de esta mezcla. Seguidamente, se introdujo la muestra en una estufa a 60°C a presión atmosférica durante 24 h, y trascurrido este tiempo, se llevó a una estufa a vacío a 60°C durante 48 h. Para la determinación de los sólidos solubles (SS), se pesó la misma cantidad de muestra y se centrifugó a 10.000 rpm a 4 °C durante 10 min, el sobrenadante se filtró a vacío usando papel filtro Whatman N°1 y se sometió al mismo procedimiento descrito para ST.

La higroscopicidad se evaluó según el método descrito por Cai y Corke (2000). Se pesaron 0,5 g de cada muestra en crisoles de vidrio, y se llevaron a una cámara hermética junto a una disolución saturada de sulfato sódico

(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) durante 7 días. Transcurrido este tiempo, se determinó la ganancia de agua de la muestra. Los resultados se expresaron en g de agua/100 g de muestra.

La humectabilidad, definida por el tiempo que tarda la muestra en mojarse en su totalidad, se determinó pesando 2 g de cada polvo que se vertieron lentamente en un vaso de precipitación con 20 mL de agua destilada y se midió el tiempo que tardó el polvo en mojarse por completo (Martínez, 2018).

La capacidad e hinchamiento (CH) se obtuvo pesando 1 g de muestra en un cilindro graduado, al que se añadieron 10 mL de agua destilada, dejando reposar durante 18 h a 25 °C (Raghavendra *et al.*, 2004; Robertson *et al.*, 2000). Trascurrido este tiempo, se midió el volumen y se calculó la capacidad de hinchamiento mediante la ecuación 3.

$$CH \left[ \frac{mL}{g} \right] = \frac{VM}{PM} \quad (3)$$

Donde:

VM: Volumen de muestra (mL)

PM: Peso de muestra (g)

La capacidad de atrapar agua (CAA) se define como la cantidad de agua retenida sin aplicar ninguna fuerza externa al polvo seco tras ser liofilizado. Para su determinación, se pesó 0,2 g de muestra en un tubo cónico graduado, y se añadieron 10 mL de agua destilada, dejando reposar durante 18 h a 25°C. Luego, se retiró el sobrenadante con ayuda de una pipeta Pasteur y se obtuvo el residuo sedimentado (RH). Finalmente, este residuo se liofilizó para obtener el peso seco de la muestra (RL) (Raghavendra *et al.*, 2006). La capacidad de atrapar agua se determinó con la ecuación 4.

$$CAA \left[ \frac{g}{g} \right] = \frac{RH - RL}{RL} \quad (4)$$

La capacidad de retener agua (CRA) se define como la capacidad de una muestra para retener agua tras ser sometida a una fuerza externa como la centrífuga (Martínez *et al.*, 2012). Para su determinación, se pesó 1 g de muestra en un tubo cónico graduado y se añadieron 10 mL de agua destilada y se dejó reposar durante 18 h a 25°C. Trascurrido este tiempo, se centrifugó durante 30 min a 2.000 rpm, el sobrenadante se eliminó y se obtuvo el residuo sedimentado. Posteriormente, se liofilizó para obtener el peso seco de la muestra. La CRA se calculó con la ecuación 5.

$$CRA \left[ \frac{g}{g} \right] = \frac{W}{R} \quad (5)$$

Donde:

W: cantidad de agua retenido (g)

R: residuo seco (g)

## PROPIEDADES EMULSIONANTES

Se determinaron la capacidad de retención de aceite, la actividad emulsionante y la estabilidad de la emulsión.

La capacidad de retención de aceite se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Garau *et al.*, (2007). Para ello, se mezclaron 0,2 g de muestra y 1,5 g de aceite de girasol, y se dejó reposar durante la noche a temperatura

ambiente. Se centrifugó a 3.416 rpm durante 5 min, y con la ayuda de una pipeta Pasteur se retiró el sobrenadante y se obtuvo el peso del residuo. La capacidad de retención de aceite, se evaluó en base al aumento del peso de la muestra, y los resultados se expresaron en g de aceite absorbido por g de muestra inicial.

La actividad emulsionante se determinó siguiendo la metodología propuesta por Yasumatsu *et al.*, (1972). Para llevar a cabo el procedimiento, se realizó una disolución polvo-agua al 2% (m/v). A continuación, se mezclaron 7 mL de dicha disolución con 7 mL de aceite de girasol, se homogenizaron 5 min en un vortex (Reax top, Heidolph, Germany) a 2.400 rpm. Finalmente, se centrifugó a 10.000 rpm durante 5 min y el volumen de la emulsión formada se calculó con la ecuación 6.

$$AE (\%) = \frac{VE}{V} \cdot 100 \quad (6)$$

Donde:

AE = actividad emulsionante (%)

VE = volumen de emulsión (mL)

V = volumen total del fluido (mL)

La actividad emulsionante se determinó siguiendo la metodología propuesta por Yasumatsu *et al.*, (1972). Para esto, se realizó una disolución polvo-agua al 2% (m/v). Luego, se mezclaron 7 mL de dicha disolución con 7 mL de aceite de girasol, se homogenizaron 5 min en un vortex (Reax top, Heidolph, Germany) a 2.400 rpm. Finalmente, se calentó a 80 °C durante 30 min, se dejó enfriar y se centrifugó a 2.000 rpm durante 5 min. La estabilidad emulsionante se calculó con la ecuación 7.

$$EE (\%) = \frac{VE}{V} \cdot 100 \quad (7)$$

Donde:

EE = estabilidad emulsionante (%)

VE = volumen de emulsión (mL)

V = volumen total del fluido (mL)

## TAMAÑO DE PARTÍCULA

Se determinó el tamaño de partícula por vía húmeda y vía seca. En ambos casos se utilizó un equipo de difracción laser (Masterizer, Malvern Instruments Limited, Worcester, Gran Bretaña), con un rango de medida entre 0,02-200 micras, equipada con una luz azul de 470 nm de longitud de onda.

Para el análisis por vía húmeda, se diluyó una pequeña cantidad de muestra en agua desionizada hasta alcanzar una obscuración de 8-9%. Para el caso del análisis por vía seca, se adicionó directamente una pequeña cantidad de muestra al equipo hasta alcanzar una obscuración de 8-9%.

Finalmente, se obtuvo la distribución del tamaño de partícula por ambas vías y se caracterizó mediante el diámetro medio de volumen equivalente D [4,3]. Los resultados obtenidos son la media de 5 repeticiones.

## PROPIEDADES ÓPTICAS (COLOR)

El color de los diferentes polvos se determinó con la ayuda de un espectrocolorímetro (MINOLTA, CM-3600D), previamente calibrado sobre fondo negro y fondo blanco. Las muestras fueron colocadas en cubetas plásticas para su posterior medida. Se utilizó el espacio de color CIEL\*a\*b\* donde L\* representa la luminosidad, a\* el componente rojo-verde y b\* el componente amarillo-azu. El tono ( $h_{ab}$ ), el croma ( $C_{ab}$ ) y las diferencias de color ( $\Delta E$ ) existentes entre los diferentes polvos se calcularon mediante las ecuaciones 8, 9 y 10.

$$h_{ab}^* = \arctg(b^*/a^*) \quad (8)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (9)$$

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

## DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

Para la extracción de los antioxidantes se empleó como disolvente una mezcla metanol-agua en proporción 80:20 (v/v)., esta extracción se realizó en una proporción polvo:disolvente 1:10 (m/w). Tras 1 h de agitación magnética, se centrifugó (Selecta, "Medrifriger BL-S") a 10.000 rpm durante 5 min a 20°C. Las determinaciones se realizaron sobre el sobrenadante.

### Contenido en fenoles y flavonoides totales

La determinación de fenoles totales se realizó siguiendo el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Wolfe *et al.*, 2003; Singleton *et al.*, 1999), que mide la intensidad de color azul que genera el reactivo al interaccionar con los compuestos fenólicos a una longitud de onda de 765 nm, y su principal fundamento es la reducción del reactivo por los compuestos fenólicos.

En una cubeta de espectrofotometría se adicionaron 0,125 mL de extracto, 0,125 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich) y 0,5 mL de agua bidestilada en dicho orden, se dejó reaccionar durante 6 min. Trascorrido este tiempo, se adicionaron 1,25 mL de carbonato de sodio al 7% (m/v) y 1 mL de agua bidestilada. Como referencia se utilizó un blanco donde la muestra fue sustituida por agua bidestilada, se dejó reaccionar durante 90 min y se realizó la medida de la absorbancia en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Helios Zeta U/Vis). Los resultados obtenidos fueron comparados con una curva patrón de ácido gálico (pureza  $\geq 98\%$ , Sigma-Aldrich) comprendida entre 0 y 500 mg/L (mg EAG), y fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra.

El contenido en flavonoides se determinó mediante el método descrito por Luximon-Ramma *et al.* (2005). En una cubeta de espectrofotometría se adicionaron 1,5 mL de extracto y 1,5 mL de una disolución de cloruro de aluminio al 2% (m/v) en metanol, y se dejó reposar en oscuridad durante 10 min. Se utilizó un blanco como referencia, donde la muestra fue sustituida por agua bidestilada. Luego, se realizó la medida de la absorbancia a una longitud de onda de 368 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Helios Zeta

U/Vis). Los resultados obtenidos fueron comparados con una curva patrón de quercetina (pureza  $\geq 95\%$ , Sigma-Aldrich) comprendida entre 0 y 350 mg/L. Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de quercetina (mg EQ) por gramo de muestra.

### Capacidad antioxidante por los métodos DPPH y ABTS

Se determinó la capacidad antioxidante siguiendo el método DPPH descrito por Stratil *et al.* (2006) y Kuskoski *et al.* (2005), basado en el cambio de coloración debido a la reducción del radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Para llevar a cabo el procedimiento, se hicieron reaccionar en una cubeta de espectrofotometría 0,1 mL del extracto, 0,9 mL de metanol y 2 mL de la disolución metanol-DPPH, esta última fue preparada usando una disolución de DPPH 100  $\mu\text{M}$  (39,4  $\mu\text{g/mL}$ ) en metanol (pureza mayor o igual al 99,9%, Sigma-Aldrich). Como referencia se utilizó un blanco donde la muestra fue sustituida por agua bidestilada. La absorbancia se midió a tiempo 0, 30 y 60 min, a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Helios Zeta U/Vis). Los resultados obtenidos se expresaron como miligramos de trólox equivalentes por gramo de materia seca (mg TE/g ms), utilizando la recta de calibrado de trólox ( $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$ , pureza  $\geq 7\%$ , Sigma-Aldrich) como antioxidante estándar de referencia, para el intervalo de concentraciones comprendido entre 0 y 500 mg/L.

La actividad antioxidante también se evaluó siguiendo el método del radical ABTS (ácido 2,20-azobis-3-etil benzotiazolin-6-sulfónico), el cual consiste en medir la decoloración que experimenta el catión ABTS tras secuestrar los componentes antioxidantes, cambiando de color verde-azulado a incoloro. Se siguió la metodología propuesta por Re *et al.*, (1999), para lo cual se preparó una disolución del ácido (7 mM, pureza  $\geq 99\%$ ) con persulfato potásico (2,45 mM, pureza 99,99%) en agua bidestilada, y se incubó en oscuridad a temperatura ambiente durante 16 h. Una vez transcurrido este tiempo, se realizó una dilución con tampón fosfato para alcanzar una absorbancia  $0,70 \pm 0,02$  leída a 734 nm. Luego, en una cubeta de espectrofotometría se hicieron reaccionar 0,1 mL de extracto con 2,9 mL de disolución ABTS. Como referencia se utilizó un blanco donde la muestra fue sustituida por agua bidestilada. La absorbancia fue medida al tiempo 0, 3 y 7 min de reacción a una longitud de onda de 734 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Helios Zeta UV/Vis). El tampón fosfato fue preparado a partir de dos disoluciones stock: disolución A, fosfato sódico monobásico 0,2 M ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), y disolución B, fosfato sódico dibásico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , pureza del 99%, Sigma-Aldrich). Los resultados obtenidos se expresaron como mg de trólox equivalentes por gramo de materia seca (mg TE/g ms), utilizando la recta de calibrado de trólox ( $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$ , pureza  $\geq 97\%$ , Sigma-Aldrich) como antioxidante de referencia, en el intervalo de concentración de 0 a 500 mg/L.

### ISOTERMAS DE SORCIÓN

Se determinaron las isotermas de sorción siguiendo el método propuesto por Wolf *et al.* (1985). Para ello, se pesó 1 g de muestra en un crisol y se

introdujo en una cámara hermética cerrada junto con una disolución saturada de sal con actividad de agua conocida. En cámaras con sales de actividad de agua superiores o iguales a 75%, se introdujo una disolución saturada de timol para prevenir la proliferación de hongos. Las muestras fueron pesadas cada 8 días hasta alcanzar peso constante. Las sales utilizadas y su correspondiente  $a_w$  se muestran en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Actividad del agua ( $a_w$ ) de las sales saturadas a 20°C. (Greenspan, 1977).

Sales	$a_w$ (%)
LiCl	0,1
CH <sub>3</sub> COOK	0,23
MgCl <sub>2</sub>	0,3
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,43
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,5
NaCl	0,7
KCl	0,85
BaCl <sub>2</sub>	0,9

Una vez alcanzado el equilibrio de las muestras, se obtuvo la humedad en base seca de cada muestra y se modelizaron los datos con ayuda de los modelos de BET y GAB que se presentan en las ecuaciones 11 y 12, respectivamente.

$$W_e = \frac{W_0 \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot a_w)} \quad (11)$$

Siendo:

$W_0$ : humedad de la capa molecular (kg<sub>agua</sub>/kg<sub>materia seca</sub>)

C: parámetro empírico relacionado con el calor de sorción

$$W_e = \frac{W_0 \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot K \cdot a_w)} \quad (12)$$

Siendo:

$W_0$ : humedad de la monocapa (kg<sub>agua</sub>/kg<sub>materia seca</sub>)

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

K: factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa

## Análisis estadístico

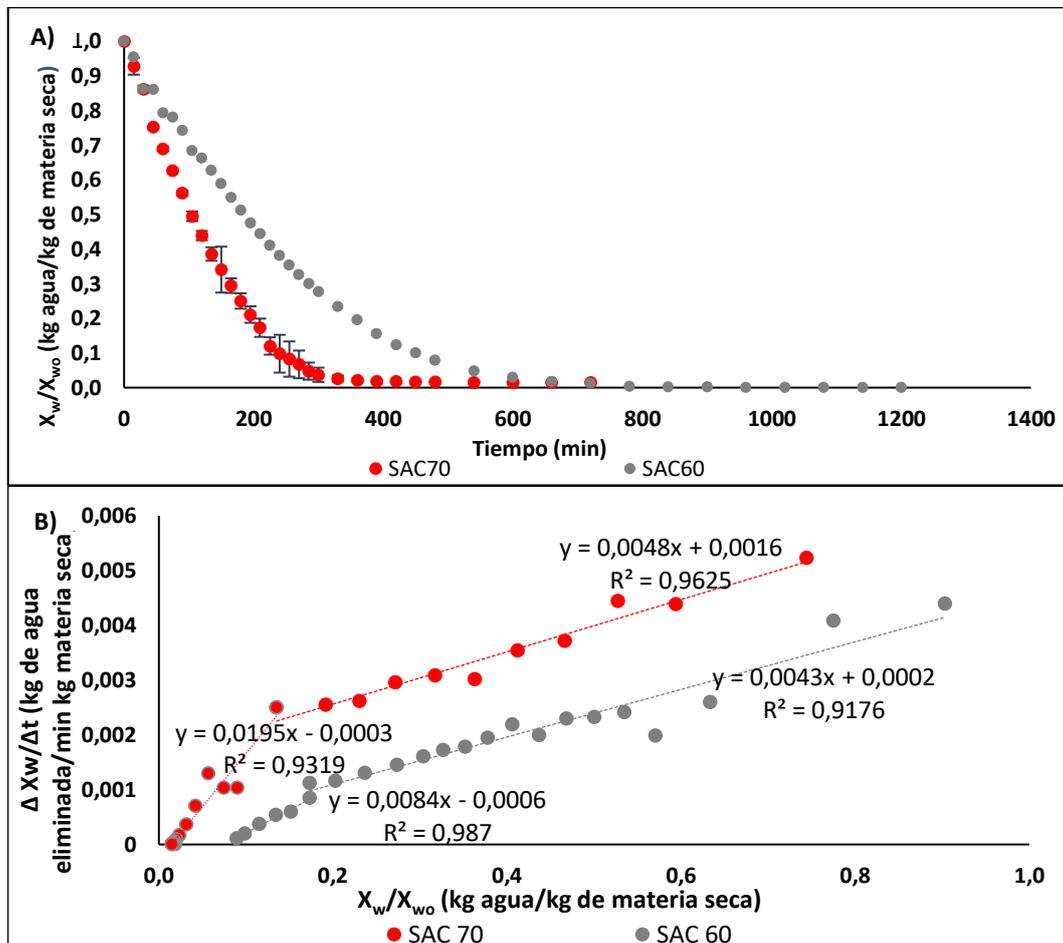
Se realizó un análisis estadístico de los datos mediante el software Statgraphics Centurion XVII, utilizando un análisis de varianza (ANOVA) simple y multifactorial con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Curvas de secado y de velocidad de secado de los polvos secados por aire caliente

En la **Figura 2** se presentan las curvas de secado por aire caliente a 60 y 70 °C (A) y las de velocidad de secado (B) del bagazo de lulo. Con el fin de

facilitar la comparación de las curvas se ha representado la humedad reducida ( $X_w/X_{w0}$ ) en función del tiempo.



**FIGURA 2.** Curvas de secado (A) y de velocidad de secado (B) obtenidas durante el secado por aire caliente a 60 y 70°C de bagazo de lulo. SAC60; bagazo de lulo secado por aire caliente a 60°C. SAC70; bagazo de lulo secado por aire caliente a 70°C.

Tal y como cabía esperar, puede observarse un claro efecto de la temperatura sobre la cinética del proceso; la pérdida de agua ocurre a mayor velocidad cuanto mayor es la temperatura del aire. Cuando el secado se realiza con aire a 70 °C se requieren de unas 6-7 h de proceso para que el producto llegue a un peso prácticamente constante, correspondiente a una humedad de alrededor del 2%. Sin embargo, cuando se utiliza aire a 60 °C se necesitan unas 10-12 h para llegar al mismo nivel de humedad. Si bien en la obtención de un producto funcional será necesario tener en cuenta el efecto de este aumento de temperatura sobre los componentes bioactivos, el importante aumento que se observa en el tiempo de proceso resultará relevante en el consumo energético y los niveles de producción, y debería ser considerado en la puesta en marcha de un proceso a nivel industrial.

En la curva de velocidad de secado (Figura 2B) puede observarse que, independientemente de la temperatura del aire, la velocidad va disminuyendo durante todo el proceso de secado. Teniendo en cuenta que, en la realización de las experiencias de secado se utilizó una relación volumen de aire/ masa

de producto lo suficientemente grande como para evitar cambios en las condiciones del aire, la velocidad decreciente pone de manifiesto un control interno a lo largo del proceso de secado. Las características estructurales del producto y su elevado contenido en fibra son los principales aspectos responsables de estos resultados.

El ajuste lineal de los datos de velocidad proporcionó buenos resultados, pudiendo observarse la existencia de dos periodos diferentes. Durante el primer periodo de velocidad, la disminución de esta fue muy similar para las dos temperaturas de secado. Este hecho hace pensar que es el mayor o menor calentamiento de las moléculas de agua el principal factor responsable de la difusividad de las mismas desde el interior del producto hasta la superficie. Durante esta primera etapa la resistencia interna que ofrece el producto al desplazamiento de las moléculas de agua hasta la superficie no se ve afectada por la temperatura. Sin embargo, en la segunda etapa (cuando el producto alcanza un nivel de humedad inferior al 10%) el descenso de la velocidad es más acusado cuando el secado se lleva a cabo a 70°C. Transiciones de fase de algunos componentes junto con una mayor compactación del lecho de bagazo sobre las bandejas permitirían explicar estas diferencias.

### Propiedades físico-químicas de los polvos de bagazo de lulo

En la **Tabla 2** se muestran los resultados obtenidos de actividad del agua ( $a_w$ ), humedad y contenido en sólidos solubles totales (SST) del polvo liofilizado y del polvo secado por aire caliente a 60 y 70 °C. Se puede observar que todos los valores de actividad del agua se encuentran por debajo de 0,3, según lo fijado, y que el análisis estadístico indica que existen diferencias significativas entre las diferentes muestras.

**TABLA 2.** actividad de agua ( $a_w$ ), humedad ( $x_w$ ) (g agua/g muestra) y sólidos solubles ( $x_{ss}$ ) (g sólidos solubles/100g muestra). Media  $\pm$  desviación estándar de tres repeticiones. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

	$a_w$	$x_w$ (g <sub>w</sub> /g <sub>muestra</sub> )	$x_{ss}$ (g <sub>ss</sub> /g <sub>total</sub> )
<b>SAC60F</b>	0,119 $\pm$ 0,006 <sup>a</sup>	0,021 $\pm$ 0,004 <sup>a</sup>	0,414 $\pm$ 0,006 <sup>e</sup>
<b>SAC60G</b>	0,199 $\pm$ 0,006 <sup>a</sup>	0,035 $\pm$ 0,003 <sup>a</sup>	0,149 $\pm$ 0,012 <sup>a</sup>
<b>SAC70F</b>	0,258 $\pm$ 0,006 <sup>b</sup>	0,018 $\pm$ 0,002 <sup>ab</sup>	0,222 $\pm$ 0,006 <sup>b</sup>
<b>SAC70G</b>	0,267 $\pm$ 0,007 <sup>b</sup>	0,015 $\pm$ 0,001 <sup>bc</sup>	0,239 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>
<b>LIO-F</b>	0,166 $\pm$ 0,003 <sup>b</sup>	0,0194 $\pm$ 0,0006 <sup>c</sup>	0,21 $\pm$ 0,11 <sup>b</sup>
<b>LIO-G</b>	0,134 $\pm$ 0,003 <sup>a</sup>	0,022 $\pm$ 0,002 <sup>d</sup>	0,26 $\pm$ 0,14 <sup>d</sup>

<sup>a,b,c...</sup> letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas estadísticamente con un nivel de confianza del 95%.

Dado que los valores de  $a_w$  obtenidos en este estudio estuvieron en el intervalo entre 0,134 y 0,267, se puede afirmar que los polvos obtenidos son estables. No obstante, se advierte que el SAC a 70 °C da lugar a  $a_w$  más elevadas que el resto de tratamientos, lo cual sería consecuencia de la mayor compactación del bagazo que limitaría la deshidratación cuando se emplean temperaturas elevadas, según se ha comprobado en las curvas de secado obtenidas. Los resultados se encuentran dentro de los valores publicados por otros autores para polvos de bagazo de frutas, tales como el bagazo de grosella negra (Michalsk *et al.*, 2017), polvos de berry (ReiBer *et al.*, 2018),

cáscara de mango (Serna-Cock *et al.*, 2015), subproducto de sandía (Quek *et al.*, 2007) y cáscara de plátano verde (Pacheco-Delahaye *et al.*, 2004). Por otro lado, los valores están por debajo de lo publicado por Gurak *et al.* (2014) y Alam *et al.* (2013).

Con respecto al contenido de humedad analizado, este fue bajo en relación con el de otros polvos de bagazo de frutas, como, por ejemplo, la naranja con valores de 0,07 g<sub>w</sub>/g<sub>muestra</sub> (Domínguez, 2016), la mandarina con valores de 0,126 g<sub>w</sub>/g<sub>muestra</sub> (Gutiérrez y Pascual, 2016) y arándanos con valores de 0,14 g<sub>w</sub>/g<sub>muestra</sub> (Juliá, 2017).

### Contenido de fibra

El contenido en fibra de los polvos de bagazo de lulo se muestra en la **Tabla 3**. Puede observarse que existen diferencias significativas entre las diferentes muestras. La hemicelulosa o fibra soluble es la que confiere propiedades de viscosidad, capacidad para formar geles y capacidad emulsionante (Elleuch *et al.*, 2011). Por su parte, la fibra insoluble se destaca por tener mayor porosidad y a su vez menor densidad (Sastre, 2003). Puede observarse un menor contenido en fibra total y en todas las fracciones, excepto para la lignina, en los polvos de granulometría fina. El triturado más intenso en estos polvos puede haber provocado la rotura de las largas cadenas de carbohidratos que integran las diferentes fracciones resultando un menor contenido en fibra. Llama la atención las diferencias entre los valores obtenidos en los dos polvos secados con aire a 60 °C. Posibles errores en la selección de las muestras usadas para esta determinación o en la determinación de humedad de las mismas explicaría estos resultados.

**TABLA 3.** SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	Fibra insoluble (%)	Fibra total (%)
<b>SAC60F</b>	5,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	18,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	10,1 ± 0,3 <sup>a</sup>	28,7 ± 0,5 <sup>a</sup>	33,9 ± 0,3 <sup>a</sup>
<b>SAC60G</b>	14,52 ± 0,09 <sup>e</sup>	26±1 <sup>c</sup>	20,84 ± 3 <sup>b</sup>	46±2 <sup>d</sup>	61±3 <sup>d</sup>
<b>SAC70F</b>	5,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	21,2 ± 0,6 <sup>b</sup>	17,6 ± 0,23 <sup>a</sup>	38,8 ± 0,6 <sup>c</sup>	44,3 ± 0,7 <sup>bc</sup>
<b>SAC70G</b>	11,30 ± 0,4	24,61± 0,05 <sup>c</sup>	10,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	35,2 ± 0,2 <sup>b</sup>	46,5 ± 0,3 <sup>c</sup>
<b>LIO-F</b>	10,3 ± 0,2 <sup>b</sup>	22,2 ± 0,2 <sup>b</sup>	8,5 ± 0,5 <sup>b</sup>	30,7 ± 0,6 <sup>a</sup>	41,0 ± 0,8 <sup>b</sup>
<b>LIO-G</b>	10,7 ± 0,4 <sup>bc</sup>	24,6 ± 0,3 <sup>c</sup>	10,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	35,4 ± 0,2 <sup>b</sup>	46,1 ± 0,3 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c...</sup> letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas estadísticamente con un nivel de confianza del 95%.

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), polvo de cáscara de mandarina (Sáez, 2017).

### Volumen específico, solubilidad y propiedades de hidratación y emulsionantes de los polvos de bagazo de lulo seleccionados

En la **Tabla 4** se presentan los valores de solubilidad, volumen específico, propiedades de hidratación y propiedades emulsionantes de los polvos de bagazo de lulo.

**TABLA 4.** Solubilidad, volumen específico, propiedades de hidratación y retención de agua y propiedades emulsionantes de los polvos de bagazo de lulo. Media  $\pm$  desviación estándar de tres repeticiones. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

	SAC60F	SAC60G	SAC70F	SAC70G	LIO-F	LIO-G
Solubilidad (%)	35 $\pm$ 5 <sup>b</sup>	27 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	32 $\pm$ 2 <sup>d</sup>	19 $\pm$ 4 <sup>c</sup>	45 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	30 $\pm$ 4 <sup>c</sup>
Volumen específico (mL/g)	7,87 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	8,41 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	8.2 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	8.6 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	11 $\pm$ 0,1 <sup>c</sup>	8,0 $\pm$ 0,1 <sup>ab</sup>
Propiedades de hidratación y retención de agua						
Higroscopicidad (%) (g agua/100g de muestra)	30,9 $\pm$ 0,4 <sup>c</sup>	23,0 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	23,0 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	22,7 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>	22,1 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>	25,32 $\pm$ 1,1 <sup>b</sup>
Humectabilidad (seg)	31,7 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	8,7 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup>	10,0 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	11,0 $\pm$ 1,7 <sup>a</sup>	195,0 $\pm$ 2,6 <sup>c</sup>	170,0 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>
Capacidad de hinchamiento (mL/g)	4.98 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	4,46 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	4,97 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	4,98 $\pm$ 0.05 <sub>b</sub>	7,46 $\pm$ 0,05 <sup>d</sup>	5,48 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>
Capacidad de atrapar agua (g/g)	5,89 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	5,7 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	6,3 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	7,6 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	8,2 $\pm$ 0,7 <sup>b</sup>	6,4 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>
Capacidad de retención de agua (g <sub>w</sub> /g <sub>prod sec</sub> )	4,75 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	4,5 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	5,5 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	5,83 $\pm$ 0,06 <sub>cd</sub>	5,9 $\pm$ 0,1 <sup>d</sup>	5,9 $\pm$ 0,4 <sup>bc</sup>
Propiedades emulsionantes						
Capacidad de retención de aceite (g <sub>aceite</sub> /g <sub>muestra</sub> )	0,142 $\pm$ 0,004 <sup>a</sup>	0,18 $\pm$ 0,03 <sup>ab</sup>	0,20 $\pm$ 0.02 <sup>bc</sup>	0,20 $\pm$ 0,01 <sub>b</sub>	0,24 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	0,45 $\pm$ 0,04 <sup>d</sup>
Actividad emulsionante	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Estabilidad emulsionante	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

<sup>a,b,c...</sup> letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas estadísticamente con un nivel de confianza del 95%.  
N.D: No detectado.

La solubilidad se considera uno de los parámetros físicos que determinan las propiedades funcionales de los productos en polvo, ya que describe su comportamiento en una solución acuosa. Una solubilización rápida indica la presencia de moléculas hidrófilas y su capacidad de interactuar con el agua (Selomulya y Fang., 2013). La solubilidad también depende de varios factores como el tamaño de partícula y el contenido de fibra. Los polvos liofilizados presentaron valores de solubilidad más altos, lo que podría justificarse teniendo en cuenta que la liofilización es uno de los tratamientos de secado menos agresivo, en el que se preservan mejor los compuestos solubles (Fito *et al.*, 2016). El análisis estadístico muestra que hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, siendo la granulometría de menor tamaño de partícula la que presenta mayor solubilidad. Estos resultados son similares a los obtenidos por Serna-Cock *et al.* (2014) en polvos de diferentes variedades de cáscara de mango, aunque éstos presentaron valores más altos de solubilidad (50,3% - 70,4%). En otro estudio realizado por Garau *et al.* (2007) sobre polvo de subproducto de naranja secado por aire caliente, los valores de solubilidad estuvieron entre el 25,9% y 38,5%.

Respecto al volumen específico, los resultados obtenidos fueron significativamente distintos ( $p < 0,05$ ), siendo el polvo liofilizado fino el que obtuvo un valor mayor con respecto a los secados a 60 y 70 °C. Este resultado puede ser debido a que este proceso confiere una mayor porosidad a las

muestras que el secado por aire caliente, y esto repercute en las características del polvo tras la etapa de triturado.

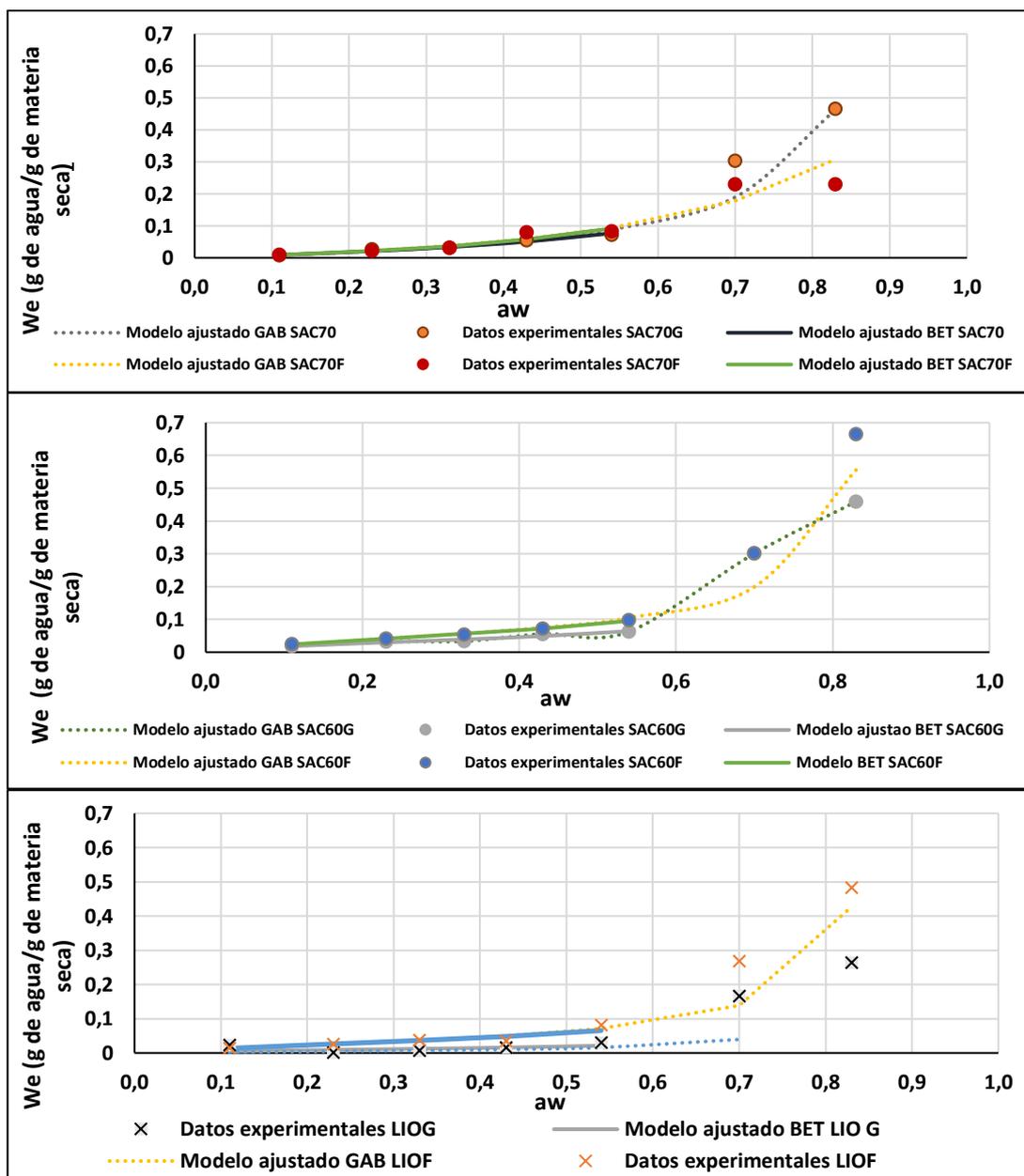
La higroscopicidad se define como la capacidad del producto para absorber agua (Bhusari *et al.*, 2014). Bakar *et al.* (2012) describen que un polvo con baja higroscopicidad, baja humedad, bajo grado de apelmazamiento y alta solubilidad se traducirá en un polvo estable y con buenas características. Los resultados obtenidos para los diferentes polvos presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), los valores de higroscopicidad disminuyen al aumentar la temperatura de secado, esto se observa en el polvo SAC a 60 y 70 °C, lo cual podría estar relacionado con la mayor compactación del bagazo secado a 70 °C. Según Ahmed *et al.* (2009), una variación de humedad en los polvos repercute directamente sobre la higroscopicidad.

Respecto a la humectabilidad, capacidad de hinchamiento, capacidad de atrapar agua y capacidad de retener agua, los resultados muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los diferentes polvos. Los polvos liofilizados fino y grueso presentaron la mayor humectabilidad. Según lo descrito por Serna-Cock *et al.* (2015), la humectabilidad depende de factores microestructurales como el tamaño de partícula, la densidad y la porosidad. De este modo, el polvo liofilizado posee una superficie más porosa lo que dificulta la penetración del agua, debido a la mayor tensión superficial que es necesario superar. De igual forma, los polvos liofilizados presentan los valores más altos para capacidad de hinchamiento, esto puede ser debido al proceso de liofilización, valores obtenidos del polvo de bagazo de lulo son similares a otros tipos de productos, como los concentrados de fibra dietética de mango (6,4 g de H<sub>2</sub>O / g) y los concentrados de fibra dietética de maracuyá (13,5 g de H<sub>2</sub>O / g). Sin embargo, los valores obtenidos para el bagazo de lulo son superiores a otros tipos de residuos, tal como bagazo de jugo de granada (4,5 g H<sub>2</sub>O / g) (Martínez *et al.*, 2012). En cuanto a la capacidad de retención de agua, los resultados obtenidos pueden ser comparados con los analizados por Martínez-Las Heras *et al.* (2017), que evalúa la CAA de algunas fibras comerciales (limón, naranja, melocotón y manzana), estando el polvo de bagazo de lulo dentro del intervalo de valores obtenido.

Las propiedades emulsionantes son un factor importante, puesto que el aceite es considerado como potenciador del sabor de los alimentos (Aremu *et al.*, 2007). Sin embargo, en el caso del bagazo de lulo no se obtuvieron resultados concluyentes en la actividad emulsionante y estabilidad emulsionante, debido a que no han tenido buenas propiedades de interacción con el aceite. La capacidad de retener aceite también puede estar afectada por el menor contenido en fibra en el bagazo de lulo, comparado con otros bagazos, dando lugar a valores pequeños. Polvos similares de bagazo de limón, naranja, melocotón y manzana, poseen una capacidad de retener aceite mayor (entre 2,5 a 2,9 de g de aceite/ g de muestra según Martínez-Las Heras *et al.*, 2017a).

### **Isotermas de sorción**

Las isotermas de sorción de los polvos de bagazo de lulo se muestran en la **Figura 2**, junto a los ajustes de los datos de los modelos de BET y GAB.



**FIGURA 2.** Isotermas de sorción; polvo de bagazo de lulo secado por aire caliente a 60°C y de granulometría fina. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

Las curvas obtenidas tienen la forma típica de las isotermas de productos vegetales y son similares a las obtenidas por otros autores para el caso de hojas secas de Persimon (Martínez-Las Heras *et al.*, 2014), polvo de zumo de naranja (Edrisi y Langrish, 2014), polvo del bagazo de arándano (Roig, 2017) o polvo de piel de mandarina (Sáez, 2017). Para el caso de productos en polvo con una actividad de agua menor o igual a 0,3 como los obtenidos en este trabajo, la isoterma de sorción proporciona información sobre la estabilidad (en términos de humedad) durante el almacenamiento, de modo que permite determinar la ganancia de agua que experimentará el polvo si hay una variación en la humedad relativa del ambiente que le rodea. Es importante destacar que en el intervalo de actividades de agua entre 0,1 y 0,5, el polvo

experimenta variaciones de humedad relativamente pequeñas. En cualquier caso, se trata de productos cuyas principales características de calidad exigen que la actividad de agua se mantenga por debajo de 0,3. Este aspecto debe ser tenido en cuenta para llevar a cabo un adecuado almacenamiento de los polvos, que deberán ser envasados y almacenados de forma que se eviten pequeñas ganancias de agua.

En la **Tabla 5** se muestran los parámetros obtenidos del ajuste de los datos experimentales de los modelos de BET y GAB. El valor de la humedad de la monocapa ( $W_0$ ) obtenido mediante los ajustes tiene un interés particular, ya que indica la cantidad de agua que se encuentra fuertemente absorbida a lugares específicos de la superficie del alimento y es considerado como el valor de humedad del alimento de mayor estabilidad durante el almacenamiento (Gabas *et al.*, 2009). Los valores de humedad de la monocapa, son ligeramente superiores en el polvo fino que en el grueso, esto puede ser debido a que la superficie específica del polvo fino es mayor. También se observa que la humedad de la monocapa en los polvos liofilizados es menor que en el resto de los polvos, lo que puede deberse a que la mayor desestructuración que sufre el producto durante este proceso reduce el número de puntos activos disponibles para interaccionar con el agua.

**TABLA 5.** Parámetros  $w_0$  (humedad de la monocapa) y C del modelo de BET. Parámetros  $w_0$ , C y K del modelo de GAB. Valor de  $R^2$  para los tres polvos y ambos modelos. bagazo de lulo. SAC60F; polvo de bagazo de lulo secado por aire caliente a 60°C y de granulometría fina. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

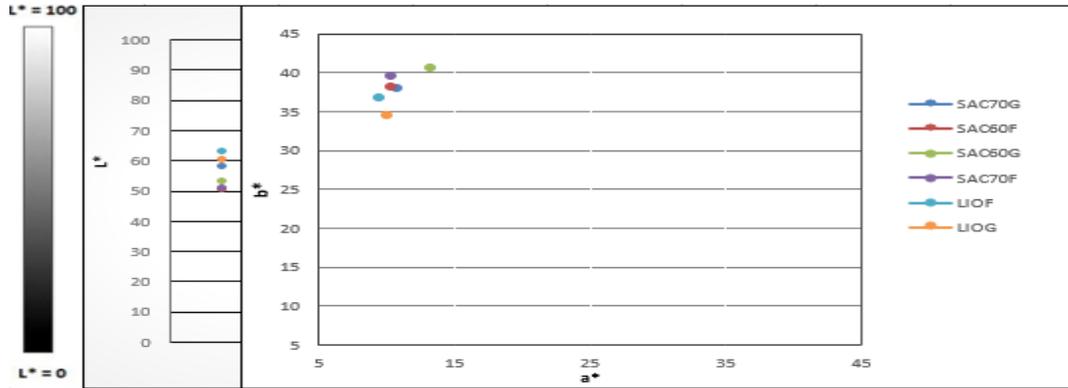
	Granulometría	BET			GAB			
		C	$W_0$	$R^2$	C	$W_0$	K	$R^2$
SAC60	Fino	5,9	0,05	0,99	-4,10	0,11	-0,61	0,92
	Grueso	8,21	0,033	0,91	0,48	0,022	-3,21	0,84
SAC70	Fino	0,77	0,089	0,05	0,89	0,056	1,29	0,92
	Grueso	1,21	0,060	0,06	0,94	0,06	1,11	0,93
LIO	Fino	3,98	0,034	0,50	-324	0,10	-0,47	0,80
	Grueso	5,23	0,011	0,28	-469	0,056	-0,08	0,58

## Propiedades ópticas

En la **Figura 4** se muestra una distribución de coordenadas  $L^*a^*b^*$  de los polvos. En cuanto a los valores de luminosidad  $L^*$ , se observa una disminución en los polvos SAC70F y SAC70G. Según lo descrito por Rivera *et al.* (2016), esto puede ser debido a la formación de compuestos marrones como resultado de la reacción de Maillard, la cual se presenta por la temperatura y la duración del tratamiento térmico.

Respecto a los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , que representan (+rojo/verde-) y (+amarillo/azul-) respectivamente, todos fueron positivos, lo que indica que en el caso del parámetro  $a^*$  los polvos tienden a colores rojos y en el caso del parámetro  $b^*$  tienden a colores amarillos. Sin embargo, los polvos que han sido sometidos a procesos de liofilización tienden a tener valores más cercanos al origen, comparados con los secados por aire caliente. Según el estudio realizado por Rahman *et al.* (1999) y Lee *et al.* (2006), cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada es la temperatura,

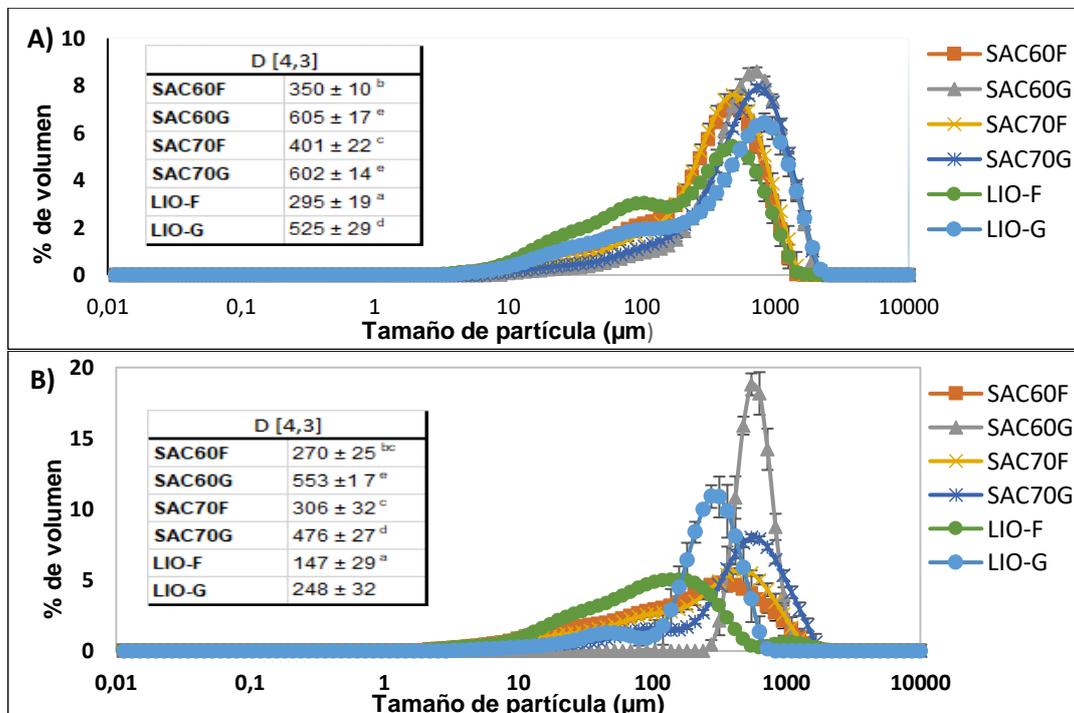
mayores serán las pérdidas en los pigmentos. Los polvos LIO-F y LIO-G al no ser sometidos a altas temperaturas no perderán la misma cantidad de pigmentos que los secados por aire caliente y además reducen en gran medida las reacciones de Maillard, lo que traduce en un color más verde, similar al del bagazo fresco.



**FIGURA 4.** Distribución de coordenadas L\*a\*b\* del bagazo de lulo fresco y de todos los polvos. BL; bagazo de lulo. SAC60F; polvo de bagazo de lulo secado por aire caliente a 60°C y de granulometría fina. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

### Tamaño de partícula

En la **Figura 3** se muestran los resultados de distribución de tamaño de partícula del polvo de bagazo de lulo por vía seca (Figura 3A) y por vía húmeda (Figura 3B). En ambos casos se muestra una distribución comprendida entre 10 y 1000 µm.



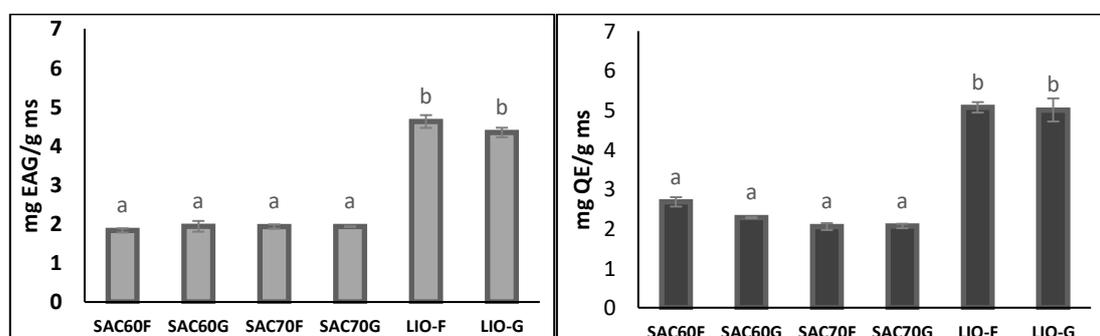
**FIGURA 3.** Distribución del tamaño de partícula y diámetro equivalente D[4,3]. A) Vía seca. B) Vía húmeda. Media ± desviación estándar de tres repeticiones. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

Como era de esperar, los polvos que han sido sometidos a un triturado para obtener una granulometría fina presentan un menor tamaño de partícula en general. Los resultados obtenidos por vía seca no muestran diferencias destacables entre los polvos. En los polvos liofilizados se muestra una distribución bimodal, adquiriendo relevancia un pico cercano a los 100  $\mu\text{m}$ . Las mayores diferencias se reflejan en el análisis por vía húmeda, donde la solubilización de compuestos solubles dirige las curvas a tamaños de partícula menores, y concentra un mayor volumen de partículas alrededor del tamaño de los insolubles de cada polvo. Se revelan diferencias notables entre las granulometrías fina y gruesa de cada polvo, presentando la granulometría fina un perfil más plano y mayor solubilización, asociada a la rotura de fibras experimentada durante la molienda. Este hecho es menos destacable en el caso de SAC70, debido probablemente a que la mayor compactación del bagazo implica mayor resistencia al triturado.

## Propiedades antioxidantes

### CONTENIDO EN FENOLES Y FLAVONOIDES TOTALES

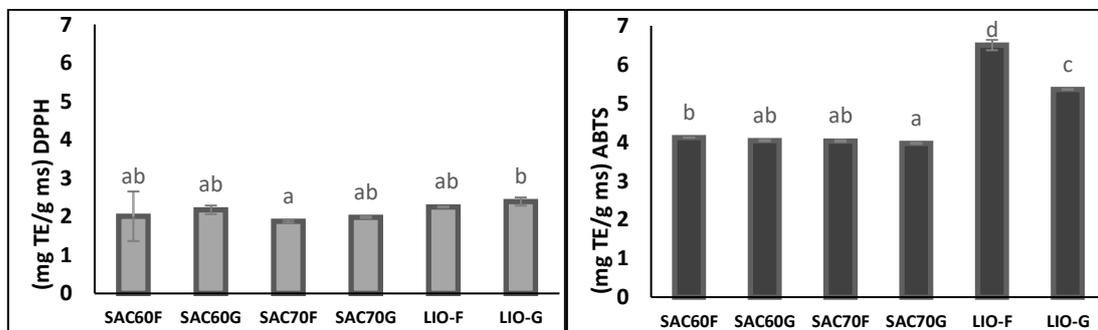
En cuanto al contenido en fenoles y flavonoides (**Figura 6**) se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los polvos LIO y los polvos SAC 60°C Y 70°C, de forma que los polvos LIO mostraron valores significativamente mayores en ambos casos. La desestructuración durante la congelación y la porosidad originada por la sublimación, podrían contribuir a mejorar la extracción de compuestos. Además, un menor tamaño de partícula también mejora el rendimiento de extracción, al verse incrementada el área superficial que permite el contacto entre sólido y disolvente. Todo esto, unido al hecho de que en esta operación se trabaja a bajas temperaturas y en condiciones de vacío que limitan las reacciones de oxidación (Elleuch *et al.*, 2011). Resultados similares fueron reportados por Crozier *et al.* (2011) en polvo de granada y frutos rojos. Por otro lado, para flavonoides totales únicamente existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los polvos liofilizados y los polvos secados por aire caliente. Como se ha comentado antes, el proceso de congelación y posterior sublimación del agua durante la liofilización, implica un daño mínimo a la macroestructura celular, lo que favorece el proceso de extracción de dichos compuestos. Los resultados obtenidos se encuentran por debajo de otras frutas tales como, fresa, mora y níspero (Lin y Tang, 2007).



**FIGURA 6.** mg EAG/g ms (Fenoles) y mg QE/g ms (Flavonoides) BL; bagazo de lulo. SAC60F; polvo de bagazo de lulo secado por aire caliente a 60°C y de granulometría fina. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

## CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR LOS MÉTODOS ABTS Y DPPH

En la **Figura 5** se muestran los resultados de las propiedades antioxidantes de los polvos, expresados por gramo de materia seca.



**FIGURA 5.** mg TE/g ms (ABTS) y. mg TE/g ms (DPPH) BL; bagazo de lulo. SAC60F; polvo de bagazo de lulo secado por aire caliente a 60°C y de granulometría fina. SAC60, SAC70: secado por aire caliente a 60 y 70 °C, respectivamente; LIO: liofilizado; F: granulometría fina; G: granulometría gruesa.

Los resultados obtenidos de DPPH muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los polvos SAC y los polvos LIO. Estos resultados están en línea con los resultados presentados en el apartado anterior, y lo publicado por otros autores (Yamaguchi *et al.*, 2001; Chan *et al.*, 2009 ;Chan, 2013), que afirman que procesos como la liofilización y el secado a bajas temperaturas favorecen la extracción de antioxidantes, mientras que, al aumentar la temperatura, las propiedades antioxidantes se verán afectadas. En cuanto a los resultados de ABTS, se presenta la misma tendencia que en el análisis de DPPH, con valores superiores en los polvos LIO-F y LIO-G con respecto a los SAC. Comprando otros productos, tales como piel de caqui (Martínez-Las Heras *et al.*, 2017) y piel de mandarina (Arguero., 2018), estos son superiores a los obtenidos en el polvo de bagazo de lulo.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, el bagazo de lulo es un buen candidato para obtener polvos con propiedades funcionales, que podrían ser empleados como ingrediente funcional en la industria alimentaria. Las operaciones de deshidratación y molienda empleadas han permitido obtener polvos estables, con buenas propiedades de interacción con el agua y escasa interacción con el aceite. Aunque por debajo de otros bagazos, los polvos presentan un contenido en fibra importante. Por otro lado, los polvos de bagazo de lulo contienen fenoles y flavonoides con capacidad antioxidante, lo que los hace interesantes para enriquecer diferentes tipos de matrices alimentarias con estos compuestos.

Con respecto al proceso de secado y triturado, los polvos liofilizados se diferencian de los secados por aire caliente, principalmente con respecto a las propiedades antioxidantes de los polvos, debido a que las condiciones de secado más suaves impuestas por este tipo de deshidratación, permiten preservar en mayor medida los compuestos antioxidantes presentes en el bagazo. El tipo de secado también ha condicionado otras características del

polvo como son el tamaño de partícula o su contenido en fibra. En los polvos secados por aire caliente, se ha constatado una mayor compactación del bagazo y consecuente resistencia interna a la transferencia de agua al aumentar la temperatura de secado. Este hecho afecta a propiedades del polvo tales como el tamaño de partícula o la humedad. Por su parte, la molienda fina o gruesa determina también el tamaño de partícula, la fibra o las propiedades antioxidantes, entre otras.

Así pues, la obtención de polvos a partir del bagazo de lulo como ingrediente funcional, se presenta como una oportunidad interesante de valorización del residuo de obtención de zumo de lulo, promoviendo así su industrialización e incrementando su valor.

## REFERENCIAS

- Ahmed, A. M., Ishida, Y., & Shimamoto, T. (2009). Molecular characterization of antimicrobial resistance in Salmonella isolated from animals in Japan. *Journal of applied microbiology*, 106(2), 402-409.
- Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi pharmaceutical journal*, 21(2), 143-152.
- Bakar, J., Ee, S., Muhammad, K., Hashim, D. and Adzahan, N. (2012). Spray-Drying Optimization for Red Pitaya Peel (*Hylocereus polyrhizus*). *Food and Bioprocess Technology*, 6(5), pp. 1332-1342.
- Arguero aulestia, e. j. (2018). Propiedades físico-químicas y estabilidad microbiológica de mermeladas de fresa formuladas con polvo de piel mandarina empleado como ingrediente funcional y sostenible.
- Bhusari, S, Muzaffar, K, Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, pp. 354-364.
- Bohs L (2007) Phylogeny of the cythomandra clade of the genus Solanum (Solanaceae) based on ITS sequence data. *Taxon* 56:1012–1026
- Cai, Y.Z., Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65 (7), pp. 1248-1252.
- Chan, E. W. C., Lye, P. Y., Eng, S. Y., & Tan, Y. P. (2013). Antioxidant properties of herbs with enhancement effects of drying treatments: A synopsis. *Free Radicals and Antioxidants*, 3(1) 2-6.
- Chan, E.W.C., Lin, Y.Y., Wong, S.K. *et al.* (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food Chemistry*, 113, 166–172.
- Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R., & Ch, L. C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 122-132.
- del Huila, G., & de Colombia-Asohofrucol, A. H. (2006). Desarrollo de la Fruticultura en el Huila.
- 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 sachá inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria*, 7(4): 419-431
- Doymaz, I., Drying characteristics and kinetics of okra, *Journal of Food Engineering*, 69, 275-279(2005).
- E. Pacheco-Delahaye, R. Pérez, M. Schnell Nutritional and sensory evaluation of powder drinks based on papaya, green plantain and rice bran. *Glycemic index Interciencia*, 29 (2004), pp. 46-51
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., 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.
- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91(3), 395-401.
- Fito, P., Andrés, A., Barat, J.M., Albors, A.M (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia 1-216.
- Forero, D.P.; Masatani, C.; Fujimoto, Y.; Coy-Barrera, E.; Peterson, D.; Osorio, C. 2016. Spermidine Derivatives in Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Fruit: Sensory (Taste) versus Biofunctional (ACE-Inhibition) Properties, *Journal Agric. Food Chem*, 64:5375–5383

- Gabas, A.L., Telis-Romero, J., Giraldo-Gómez, G.I., 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., Rossello, C., 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), pp. 1014-1024.
- Gurak, P. D., Mercadante, A. Z., González-Miret, M. L., Heredi and colour associated with the formation of  $\beta$ -carotene epoxides and oxidative cleavage derivatives. *Food Chemistry*, 147, 160-169,
- Gutiérrez, E., 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.
- Heywood, V. H., Brummitt, R. K., Culham, A., & Seberg, O. (2007). Flowering plant families of the world (No. Sirsi) i9781554072064). Ontario: Firefly Books.
- Igual, M.; Ramires, S.; Mosquera, L.H.; Martínez-Navarrete, N. 2014. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256:233–238.
- J. Tang, T. Yang Dehydrated vegetables: principles and systems Y.H. Hui, S. Ghazala, D.M. Graham, K.D. Murrell, W.K. Nip (Eds.), *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*, Marcel Dekker, New York (2004)
- Juliá, M. (2017). Caracterización de polvos deshidratados obtenidos a partir de bagazo de arándano y valoración de su utilización como ingrediente funcional. Trabajo fin de Máster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1-21.
- Karam, M.C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E.B. Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering* 188, 32-49.
- Kuskoski, E.M., Asuero, A.G., Troncoso, A.M., Mancini-Filho, J. y Fett, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology (Campinas)* 25(4):726-732.
- Lee, C. Y., Wilkinson, B. D., Siegrist, S. E., Wharton, R. P., & Doe, C. Q. (2006). Brat is a Miranda cargo protein that promotes neuronal differentiation and inhibits neuroblast self-renewal. *Developmental cell*, 10(4), 441-449.
- Lin, J. and Tang, C. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*, 101(1), pp.140-147.
- Luximon-Ramma, A., Bahorun, T., Soobrattee, M.A., Aruoma, O.I. (2002). Antioxidant activities of phenolic, proanthocyanidin, and flavonoid components in extracts of *Cassia fistula*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 5042–5047.
- Martínez-Las Heras, R., Landines, E.F., Heredia, A., Castelló, M.L., 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, D., Betoret, N., Seguí, L. (2018) Estudio de la deshidratación de subproductos de caqui para la obtención de productos en polvo. Propuesta de diseño de un secador continuo.
- MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; ŁYSIAK, G.P.; FIGIEL, A. (2017). Effect of different drying techniques on physical properties, total polyphenols and antioxidant capacity of blackcurrant pomace powders. *LWT – Food Science and Technology*, 78 (1), 114-121.
- 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), pp. 1958–1965.7
- Mohapatra, D. y P. Rao, A thin layer drying model of parboiled wheat, *Journal of Food Engineering*: 66, 513-518 (2005).
- Monzón, C. I. C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- 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.
- Park, K.J, Z. Vohnikova y F.P. Reis Bros, Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.), *Journal of Food Engineering*: 51, 193-199 (2002).
- Pérdidas, F. A. O. (2012). desperdicio de alimentos en el mundo–Alcance, causas y prevención.
- Quek, S.Y.; Chok, N.K.; Swedlund, P. The physicochemical properties of spray dried watermelon powders. *Chem. Eng. Process.* 2007, 46, 386–392.

- Quek, S.Y., Chok, N.K. y Swedlund, P. (2007). Las propiedades fisicoquímicas de los polvos de sandía secados por aspersión. *Ingeniería química y procesamiento: intensificación de procesos*, 46 (5), 386-392.
- Raghavendra, S.N., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Tharanathan, R.N. (2004) Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *Eur Food Res Technol* 218:563–56.
- Raghavendra, S. N., Swamy, S. R., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar, S., Tharanathan, R. N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering*, 72(3), pp. 281-286
- Rahman, K.S.M., Vasudevan, N., Lakshmanaperumalsamy, P., 1999. Enhancement of biosurfactant production to emulsify different hydrocarbons. *J. Environ. Poll.* 6, 87-93.
- Rana, S., Gupta, S., Rana, A. y Bhushan, S. (2015). Functional properties, phenolic constituents and antioxidant potential of industrial apple pomace for utilization as active food ingredient. *Food Science and Human Wellness*, 4(4), 180-187.
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical action decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10):1231-1237.
- Robertson, J, Monredon F, Dysseleer P, Guillon F, Amado R. (2000) Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: a European collaborative study. *LWT-Food Sci Technol* 33:72–79.
- Rockland, L., Beuchat, L.R. (1987). Water activity: theory and applications to food. *Meat Science*, 21(2): 157-158.
- Sastre, A. (2003). Fibra y prebióticos: conceptos y perspectivas. *Gastroenterología y Hepatología*, 26(1): 6-12.
- Sáez, R. (2017). Caracterización de polvos de piel de mandarina para su uso como ingrediente funcional en alimentos. Trabajo fin de máster en Ingeniería agrónoma. 1-42.
- Selomulya, C., & Fang, Y. (2013). Food powder rehydration. In *Handbook of food powders* (pp. 379-408). Woodhead Publishing.
- Serna-Cock, L., Torres-León, C., & Ayala-Aponte, A. (2015). Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Información tecnológica*, 26(2), 41-50.
- Simal, S., A. Femenia., M.C. Garau y C. Roselló, Use of exponential, Pages and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit, *Journal of Food Engineering*: 43, 109-114 (2005).
- Stratil, P.; Klejdus, B.; Kubán, V. 2006. Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables- evaluation of spectrophotometric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:607-616.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597.
- Vega, A. A., & Lemus, R. A. (2006). Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Información tecnológica*, 17(3), 23-31.
- Vega, A., A. Andrés y P. Fito, Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum Annuum* L. cv Lamuyo. *Revista Información Tecnológica*: 16(6), (2005b).
- 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.
- Wolfe, K., Wu, X., Liu, R. H. (2003). Antioxidant activity of apple peels. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(3), 609-614.
- Yamaguchi, T., Mizobuchi, T., Kajikawa, R. *et al.* (2001). Radical-scavenging activity of vegetables and the effect of cooking on their activity. *Food Science and Technology Research*, 7, 250–257.
- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T., Ishii, K. (1972). Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural and Biological Chemistry*, 36(5), pp. 719-727.