

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL
TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

CARACTERIZACIÓN DEL POLVO OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUO DE ARÁNDANO Y SU USO COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EN LA FORMULACIÓN DE GALLETAS

ALUMNO/A:

Sara Roig Crespo

TUTOR/A ACADEMICO:

Lucía Seguí Gil

COTUTOR/A:

Noelia Betoret Valls

DIRECTOR/A EXPERIMENTAL:

Laura Calabuig Jiménez

Curso Académico: 2016-2017
VALENCIA, JULIO 2017



RESUMEN

La industria agroalimentaria genera una gran cantidad de residuos que perjudican el medio ambiente, es por ello que cada vez se le da mayor importancia al aprovechamiento de residuos procedentes de la industrialización de frutas y hortalizas. En el presente trabajo se ha caracterizado el subproducto generado en el proceso de obtención de zumo de arándano y se ha estudiado su posterior incorporación como ingrediente funcional para la formulación de galletas. El arándano se caracteriza por tener un elevado contenido en compuestos antioxidantes (polifenoles, antocianinas) y su residuo también es rico en fibra, motivo por el cual es interesante revalorizar dicho residuo. En el proceso llevado a cabo, se ha secado el bagazo con aire caliente a 70 °C durante 4 h hasta alcanzar una actividad de agua inferior a 0,2 y tras el secado se ha triturado a dos granulometrías distintas, obteniendo un polvo grueso y otro fino. Se han determinado las características fisicoquímicas (sólidos solubles totales, actividad de agua, humedad, tamaño de partícula y propiedades ópticas) y funcionales (contenido en fenoles, antocianinas y capacidad antioxidante) tanto del bagazo fresco como del seco, así como el contenido en fibra y las isothermas de sorción de los polvos a las dos granulometrías. Además, se han analizado varias propiedades relacionadas con su interacción con el agua y las grasas, observándose diferencias entre las dos granulometrías. Para evaluar su uso como ingrediente funcional, se estudió el efecto de diferentes porcentajes de reemplazo de harina por polvo de arándano en la formulación de galletas, concretamente se reemplazó un 10%, 30% y 40%. Se analizó la textura, color y la humedad de la masa de las galletas, así como también la actividad de agua en el caso de las galletas horneadas. Se encontraron algunas diferencias tanto en las propiedades ópticas como en las propiedades mecánicas. Por último, se realizó un análisis sensorial de las galletas, en el que la que presentaba un 30% de reemplazo tuvo una aceptación global mayor.

Palabras clave: subproducto, bagazo de arándano, polvo, secado, propiedades funcionales, galletas.

ABSTRACT

The processed food industry produces a wide variety of waste that damages the environment, because of that more importance is given each time to the exploitation of waste coming from the industrialization of fruits and vegetables. In the current work, it has been characterized the by-product originated in the process of getting blueberry juice and its further incorporation as a functional ingredient to the creation of cookies. The blueberry is known because of its high content of antioxidant components (polyphenol, anthocyanin) and its waste is also high in fiber, that's why it's interesting to push up the value of that waste. In the process taken into term, the bagasse has been dried out with hot air at 70 °C during 4h until reaching a water activity lower than 0,2. After drying it, it has been grind at two granulometries, obtaining a thick powder and a thin one. There have been determined the physiochemical characteristics (SST, water activity, moisture), functional (phenols, anthocyanin, antioxidant capacity) and the the colour both from the fresh and powder, just like the content in fiver and the study of isotherms of sorption of the powder at different granulometries. Furthermore, there have

been analysed the properties related to its interaction with water and fats, through them, it has been possible to see the differences between both of the powder types. In order to evaluate its use as an ingredient, there have been done different replacement percentages of flour by blueberry powder in the creation of cookies, specifically it has been replaced a 10%, 30%, 40% and 0% as control. It has been analysed the texture, colour and humidity of the cookies dough, just like the activity of the water in the baked cookies. Some differences have been found in the optical properties and the mechanical properties. Finally, a sensorial analysis of the cookies was done, in which the one that presented a 30% replacement has the best global acceptance.

Key words: by-product, blueberry bagasse, powder, drying, functional properties, cookies.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO.....	4
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	5
3.1 Materia prima y procesos de obtención.....	5
3.1.1. Materia prima.....	5
3.1.2. Procedimiento de obtención del bagazo fresco y seco.....	5
3.1.3. Elaboración de galletas con polvo de arándano.....	5
3.2. Determinaciones analíticas.....	6
3.2.1. Humedad (x_w).....	6
3.2.2. Actividad de agua (a_w).....	7
3.2.3. Sólidos solubles.....	7
3.2.4. pH.....	7
3.2.5. Tamaño de partícula.....	7
3.2.6. Contenido en fibra.....	8
3.2.7. Volumen específico.....	8
3.2.8. Solubilidad.....	8
3.2.9. Propiedades de hidratación y retención de agua.....	8
3.2.10. Propiedades emulsionantes.....	10
3.2.11. Isotermas de sorción.....	11
3.2.12. Propiedades antioxidantes.....	12
3.2.13. Propiedades ópticas.....	14
3.2.14. Propiedades mecánicas.....	15
3.2.15. Análisis sensorial.....	15
3.2.16. Análisis estadístico.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1 Propiedades del bagazo fresco y seco.....	16
4.2 Tamaño de partícula de los polvos.....	16
4.3 Caracterización de los polvos.....	17
4.4 Isotermas de sorción de los polvos de arándano.....	21
4.5 Contenido en fenoles y antocianinas del bagazo fresco y de los polvos de arándano a distintas granulometrías.....	23
4.5.1 Contenido en fenoles.....	23
4.5.2. Contenido en antocianinas monoméricas.....	24
4.6. Análisis de la capacidad antioxidante del bagazo fresco y los polvos de arándano mediante DPPH y ABTS.....	25
4.7 Propiedades ópticas.....	27

4.8. Propiedades físico-químicas de la masa de galletas y las galletas horneadas.....	27
4.9. Análisis sensorial.....	32
5. CONCLUSIONES.....	33
6. BIBLIOGRAFIA.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de las diferentes formulaciones de galletas.....	3
Tabla 2. Humedades relativas de las sales saturadas a 20 °C.....	11
Tabla 3. Valores de sólidos solubles totales (Brix), actividad de agua, humedad y pH del bagazo de zumo arándano fresco y bagazo seco. Media ± desviación estándar.....	16
Tabla 4. Valores de los parámetros del tamaño de partícula por vía seca y húmeda. Media ± desviación estándar.....	17
Tabla 5. Contenido en hemicelulosa, celulosa y lignina. Valores de fibra total y fibra insoluble. Porcentaje en base seca. Media ± desviación estándar.....	18
Tabla 6. Valores de solubilidad, higroscopicidad, humectabilidad, propiedades de hidratación y retención de agua y propiedades emulsionantes del polvo de arándano a las dos granulometrías consideradas. Media ± desviación estándar.....	19
Tabla 7. Parámetros W_0 y C del modelo de BET y valor de R^2 de ambos polvos de arándano....	23
Tabla 8. Resultado de la actividad antioxidante por el método DPPH expresado en % de inhibición del bagazo fresco a una dilución 1:20 y una dilución 1:200 para el polvo de arándano. Media ± desviación estándar.....	25
Tabla 9. Parámetros de color C^* y h^* del bagazo y de los polvos de arándano. Media ± desviación estándar.....	27
Tabla 10. Humedad de las masas y las galletas y actividad de agua de las galletas. Media ± desviación estándar.....	28
Tabla 11. Parámetros de color C^* y h^* de las masas de galletas. Media ± desviación estándar.....	30
Tabla 12. Diferencia coordenadas $L^*a^*b^*$ y diferencia de color global ΔE respecto la masa galletas 0%. Media ± desviación estándar.....	30
Tabla 13. Parámetros de color C^* y h^* de las galletas. Media ± desviación estándar.....	31

Tabla 14. Diferencia coordenadas L*a*b* respecto la galleta 0%. Media ± desviación estándar.....	31
Tabla 15. Fuerzas de fractura de las masas y galletas con diferentes porcentajes de reemplazo. Media ± desviación estándar.....	31
Tabla 16. Resultados del análisis sensorial de las galletas con diferentes porcentajes de reemplazo. Media± desviación estándar.....	32

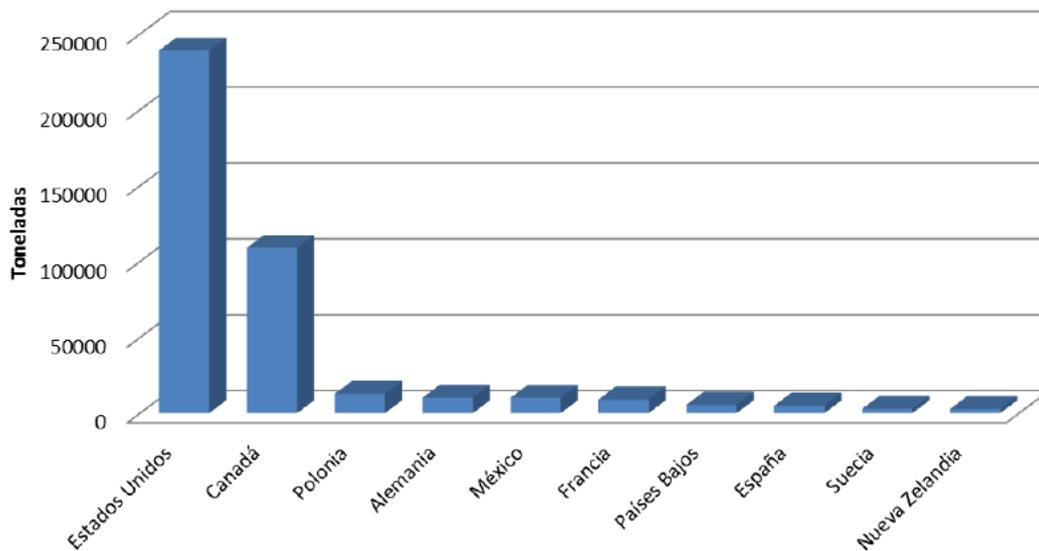
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales productores de arándano a nivel mundial.....	1
Figura 2. Distribución de tamaño de partícula obtenida por vía seca y por vía húmeda para las dos granulometrías.....	17
Figura 3. Isoterma de sorción a 20°C para los polvos de arándano a las dos granulometrías ensayadas.....	22
Figura 4. Ajuste de las isotermas por BET.....	23
Figura 5. Contenido de fenoles en mg de ácido gálico equivalentes por 100 gramos de producto seco en el bagazo fresco y polvos de arándano.....	24
Figura 6. Contenido en antocianinas expresadas en mg de de glucósido-3-cianidina por cada 100 gramos de producto seco del bagazo fresco y polvos de arándano.....	25
Figura 7. Capacidad antioxidante Método DPPH.....	26
Figura 8. Capacidad antioxidante. Método ABTS.....	26
Figura 9. CoordenadasL*a*b* del bagazo fresco y polvos de arándano.....	27
Figura 10. Coordenadas L*a*b* de las masas con diferentes porcentajes de reemplazo de harina por polvo de arándano de granulometría gruesa.....	29
Figura 11. Coordenadas L*a*b* de las galletas con diferentes porcentajes de reemplazo de harina por polvo de arándano.l bagazo fresco y polvos de arándano.....	30
Figura 12. Características evaluadas en el análisis sensorial de las galletas.....	32

1. INTRODUCCIÓN

El arándano es una planta arbustiva perteneciente al género *Vaccinium* de la familia de las *Ericáceas*, cuyo fruto es distinto según la especie de la que se trate. Son muchas las especies que podemos encontrar dentro de este género entre las cuales destacan *V. corimbosum* L, *V. ashei* Reade, *V. angustifolium* Aiton y algunos híbridos de *V. angustifolium* x *V. corymbosum* (García, 2005).

Este frutal es de origen norteamericano y su domesticación es muy reciente. Mundialmente es en Estados Unidos donde más cantidad de arándano se produce y se comercializa, siguiéndole en importancia Chile y Canadá, mientras que, en la Unión Europea, las mayores producciones de arándano se encuentran en Alemania, Polonia y España (García, 2010).



Fuente. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013)

Figura 1. Principales productores de arándano a nivel mundial.

Comparada con EEUU, Canadá y Chile, la producción en España es escasa, pero a pesar de ello, año tras año las hectáreas utilizadas para el cultivo de arándano van en aumento. Es en Andalucía donde más arándano se produce a nivel nacional, en Huelva, se han pasado de 1676 a 2075 hectáreas cultivadas del año 2015 al 2016, lo que supone un total de 24660 toneladas de arándano, que corresponde al 98,66% de la producción total de España (Ministerio de Agricultura y Pesca), aunque, desde hace algunos años también encontramos importantes plantaciones en Asturias y en otras provincias del norte. La especie con mayor presencia es *V. mirtyllus* L., la cual se distribuye por la Cornisa Cantábrica, Gredos, Guadarrama, y Pirineos Catalán y Aragonés (García et al., 2010).

El interés creciente por este producto se debe principalmente a sus propiedades funcionales y antioxidantes, ya que contiene un elevado porcentaje de compuestos fenólicos, entre los cuales los más abundantes son las antocianinas. Existen numerosos estudios

científicos sobre los beneficios que aporta la presencia de estas sustancias; desde propiedades antiinflamatorias y anticarcinógenas y sus efectos protectores cardiovasculares, hasta la disminución de enfermedades coronarias y el riesgo de aterosclerosis, previniendo, además, la oxidación del colesterol y trastornos neurodegenerativos (Michalska y Łysiak, 2015; Routray y Orsat, 2011). Su aplicación más popular es como tratamiento para la prevención de infecciones urinarias. Compuestos presentes en el arándano como ácido hipúrico y la proantocianidina previenen la adhesión al urotelio vesical de la bacteria *E. Coli*, principal causante de las infecciones urinarias (De León-Jaén SC et al, 2009).

Por otro lado, por lo que respecta a la composición nutricional, se puede considerar un alimento bajo en calorías ya que su contenido en hidratos de carbono es escaso. Son fuente de fibra, hierro, potasio, calcio y vitamina C. Un consumo de 100 g de arándanos, aportan una media de 10 mg de ácido ascórbico, lo que equivale a 1/3 de la ingesta diaria recomendada de ácido ascórbico. (Michalska y Łysiak, 2015)

Por lo que respecta a su comercialización y consumo, se puede consumir fresco o bien destinarlo a la industria. A nivel industrial el arándano se comercializa congelado para su posterior utilización. En el mercado podemos encontrar productos derivados del arándano como zumos, mermeladas, confituras, licores, salsas, cervezas y snacks entre otros. Cada vez se están produciendo más productos que incluyen el arándano como ingrediente, motivo por el que cobra relevancia la generación de subproductos y residuos como producto de su industrialización. La creciente industrialización genera residuos difíciles de eliminar que causan múltiples daños como la mala calidad del aire, escasez de tierras cultivadas y contaminación de agua entre otros, es decir, conlleva a problemas tanto sociales como económicos. Es por ello que conviene mejorar las prácticas empresariales e industriales para crear procesos más sostenibles y que no perjudiquen el medio ambiente, la sociedad ni la economía (Scheel, 2016). En este contexto, cada vez es más interesante el uso de subproductos así como las tecnologías que permitan su revalorización.

Se ha comprobado que las cortezas, pulpas y semillas de frutas y hortalizas tienen en ocasiones una composición química con mucho valor. Un ejemplo claro son los cítricos, en los que en la elaboración de zumo se descartan las cáscaras y semillas que son ricas en agua, azúcares solubles, fibra, ácidos orgánicos, aminoácidos y proteínas, minerales, aceites y lípidos, flavonoides y vitaminas (Ayala-Zavala et al., 2011). En el caso del arándano y otras bayas, se trata de frutas con un elevado contenido en antioxidantes como los ácidos fenólicos, flavonoides, polifenoles y fibra (Mirabella et al., 2014).

Muchos de los subproductos de las frutas y hortalizas se utilizan como aditivos para mejorar la calidad o aspecto de los alimentos por tener características ideales para actuar como antioxidantes, antimicrobianos, aromatizantes, colorantes y texturizantes (Ayala-Zavala et al., 2011). Una de las formas más empleadas para la introducción como aditivos o ingredientes es la transformación de los residuos en polvos. Por lo que respecta a la obtención del polvo, según la fruta u hortaliza se procede de forma diferente, pero en la mayoría de los casos se lavan, se trocean o trituran y se secan (Neacsu et al., 2015). El secado es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos, este se aplica con el objetivo de

disminuir la humedad del producto hasta un nivel seguro para el almacenamiento y transporte, evitar la multiplicación microbiana, ralentizar/ inactivar la actividad microbiana, es decir, evitar el deterioro del alimento.

La operación de secado es un proceso bastante complejo en el que se ven implicados mecanismos de transferencia energía y materia que origina cambios físicos, químicos y estructurales (Sabarez, 2012; Sabarez, 2014). Por tanto, la tecnología de secado empleada es un factor determinante en las características finales del polvo, como el color, aspecto, propiedades texturales y estructurales, propiedades sensoriales como el aroma y sabor, así como las propiedades nutricionales y funcionales (Karam et al., 2016). Es por ello, que cada vez se realizan más estudios para poder obtener unas características óptimas de los polvos procedentes de frutas y sus subproductos.

Muchas son las tecnologías que se pueden utilizar para el secado de los alimentos. Céleste et al., (2016), estudia el efecto de distintos métodos de secado y molienda en los polvos de fruta, entre los que explica el secado por convección, secado por microondas, secado al vacío, liofilización y deshidratación osmótica entre otros en el que remarca la creciente popularización del secado por microondas y a vacío. Muchos estudios afirman que la liofilización es una de las mejores opciones ya que conserva mejor las características, sobretodo funcionales, del producto original (Xu Si et al., 2015; Michalska et al., 2016). No obstante, la liofilización es una técnica de conservación larga y cara (Liapis et al., 1996; Ratti, 2001), siendo el coste de 4 a 8 veces mayor que en el caso del secado por aire caliente (Mafart,1991; Ratti, 2001). Por ello, el uso de la liofilización, suele emplearse en el caso de los productos con un elevado valor (Lin et al., 1998; Yang et al., 2010). 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 y los costes de capital y de operación del proceso (Betoret et al., 2016) siendo necesario llegar a un compromiso entre todos estos factores.

Profundizando más en las aplicaciones estudiadas de los polvos encontramos, la adición de fibra obtenida de subproductos de cítricos en productos cárnicos, permitiendo la disminución del contenido de nitritos, y en consecuencia la probabilidad de que se formen nitrosaminas con su consiguiente efecto sobre la salud (Fernández et al., 2004). Otra de las aplicaciones es la incorporación de polvos a formulaciones panarias, como es el caso del polvo de piel de mandarina (Gutiérrez y Pascual, 2016) y la fibra procedente de piel de mango (Vergara et al., 2006). La incorporación de polvo de piel de uva a dulces de fruta también ha sido estudiada disminuyendo el tiempo de procesado (Cappa et al., 2014). Otro ejemplo estudiado es la incorporación de polvo de piel de piña a yogures con el objetivo de aumentar el efecto probiótico y mejorar las características fisicoquímicas (Sah et al., 2015).

Respecto a la utilización de polvo de arándano como ingrediente, se ha utilizado para la elaboración de galletas libres de gluten junto con polvo de frambuesa (Šarić et al., 2015). Se comprobó que las galletas mejoraron sus características funcionales, nutricionales y sensoriales, remarcando la disminución del contenido en grasas, problema de muchos de los productos sin gluten. Otras de las aplicaciones que emplean el polvo del subproducto de

arándano, es la adición a ingredientes alimenticios coloidales para obtener ingredientes funcionales estables (Correira et al., 2017).

En este contexto se plantea el objetivo del presente trabajo en el que se ha llevado a cabo la caracterización del polvo obtenido a partir de residuo de arándano y se ha estudiado su uso como ingrediente funcional en la formulación de galletas.

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El objetivo principal del presente Trabajo Final de Grado consiste en la caracterización del bagazo de arándano resultante del proceso de obtención de zumo, determinando el efecto del secado por aire caliente y del tamaño de partícula del polvo obtenido, sobre sus principales propiedades. Como ejemplo de aplicación se estudia su uso como ingrediente en la formulación de galletas con valor añadido

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

1. Obtener bagazo de arándano fresco a partir del proceso de obtención de zumo de arándanos. Se adquirirán arándanos congelados de calidad industrial y se llevará a cabo el proceso de obtención de zumo descrito por Castagnini et al. (2015).
2. Caracterizar el bagazo de arándano fresco en términos de sólidos solubles totales (SST), humedad y a_w .
3. Obtener el bagazo de arándano seco mediante secado del fresco con aire caliente a 70°C.
4. Caracterizar el bagazo de arándano seco en términos de sólidos solubles totales (SST), humedad y a_w .
5. Obtener polvo de arándano de dos granulometrías distintas mediante el triturado del bagazo seco.
6. Caracterizar los polvos obtenidos en términos de SST, humedad, a_w , volumen específico, tamaño de partícula y contenido de cada uno de los componentes de la fibra (hemicelulosa, celulosa y lignina). Analizar el efecto de la granulometría.
7. Evaluar las propiedades del polvo obtenido de arándano en relación a su interacción con el agua y las grasas. Determinar el efecto de la granulometría y del contenido en fibra.
 - De entre las propiedades de hidratación y retención de agua se determinó la higroscopicidad, la humectabilidad, la capacidad de hinchamiento y la capacidad de atrapar y de retener agua
 - En cuanto a las propiedades emulsionantes se determinó la capacidad de retención de aceite, la actividad emulsionante y la estabilidad de la emulsión.
8. Obtener las isoterms de sorción a temperatura ambiente del polvo con las dos granulometrías.
9. Evaluación de las propiedades antioxidantes. Se estudió el efecto de la granulometría y de la operación de secado sobre el contenido en antocianinas monoméricas, fenoles totales y la actividad antioxidante por los métodos DPPH y TEAC.

10. Elaboración de galletas de arándano con alto contenido en fibra mediante la sustitución parcial de la harina por el polvo obtenido. Se trabajó con diferentes porcentajes de reemplazo: 0%, 10%, 30% y 40%.
11. La masa de las galletas y la galleta horneada se caracterizó en términos de humedad, propiedades ópticas y mecánicas.
12. Evaluación de la aceptación por parte del consumidor de las galletas formuladas mediante una prueba de análisis sensorial.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Materia prima y procesos de obtención

3.1.1. Materia prima

Se utilizaron arándanos ecológicos congelados de la variedad "DUKE", de calidad industrial, cultivados en Navarra y comprados a granel en bolsas de 20 kg a la empresa Importaciones Samanes S.L.

3.1.2. Procedimiento de obtención del bagazo fresco y seco

Para obtener el bagazo se trituró arándano en la Thermomix® (Vorwerk, España). El arándano triturado se calentó a 50 °C utilizando un baño termostatado de agua (PSELECTA mod. PRECISTERM S-141, Barcelona, España). Una vez alcanzada la temperatura se añadió 1 mL de un preparado enzimático comercial (Viscozyme® L) por litro de triturado con el objetivo de despectinizarlo y se dejó en el baño durante 150 min en constante agitación. La despectinización se lleva a cabo para que el triturado no gelifique, reduzca su viscosidad y turbidez, de forma que se aumenta el rendimiento en zumo. A continuación, se tamizó con un tamiz de 0,7 mm de diámetro para obtener el bagazo fresco. El bagazo obtenido, se distribuyó de forma uniforme sobre unas rejillas y se sometió a un secado por aire caliente a 70 °C, en una estufa de secado (Pol-eko Aparatura, Katowice, Polonia) durante 4 h hasta llegar a una actividad de agua inferior 0,2. Por último, a partir del bagazo seco se obtuvieron dos granulometrías diferentes, una gruesa y una fina. La granulometría gruesa se obtuvo triturando el bagazo seco durante 20 s a 4000 rpm y posteriormente 5 s a 10000 rpm con la Thermomix®. Para la granulometría fina, se trituró durante 2 minutos, en intervalos de 30 s a 10000 rpm con la Thermomix®.

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

3.1.3. Elaboración de galletas con polvo de arándano

El polvo de arándano de granulometría gruesa se utilizó para elaborar galletas. Se empleó una formulación base y posteriormente, se sustituyó parcialmente la harina de trigo con diferentes porcentajes de polvo de arándano (10%, 30%, 40%). En la tabla 1 se indica la composición de cada una de las formulaciones.

En primer lugar, para la elaboración de la masa de cada una de las formulaciones, se mezclaron todos los ingredientes menos la leche en la Thermomix® (Vorwerk, España) a 500 rpm durante 1 min. A continuación, se amasó la mezcla y se añadieron 10 mL de leche, mezclándolo a 100 rpm durante 1 min. Por último, las galletas se hornearon a 180 °C durante 10 min.

Tabla 1. Composición de las diferentes formulaciones de galletas.

INGREDIENTES	Galleta 0%	Galleta 10%	Galleta 30%	Galleta 40%
Harina (g)	50	45	35	30
Bagazo seco (g)	-	5	15	20
Azúcar (g)	12	12	12	12
Mantequilla (g)	25	25	25	25
Levadura (g)	0,5	0,5	0,5	0,5
Leche (mL)	10	10	10	10

3.2. Determinaciones analíticas.

Se determinaron las características fisicoquímicas del bagazo fresco, del bagazo seco de ambas granulometrías, de las masas de galletas y de las galletas. Concretamente se determinó humedad, actividad de agua, color y actividad antioxidante de los bagazos. Por un lado, en el caso del bagazo fresco, se obtuvo también el pH. por lo que respecta a los polvos, se determinó a su vez, la solubilidad, higroscopicidad, humectabilidad, tamaño de partícula, contenido en sólidos solubles, volumen específico, propiedades de hidratación, así como propiedades emulsionantes, capacidad de retención de aceite e isothermas de sorción.

Por otro lado, se determinó también la humedad, el color y la textura de las galletas horneadas y sin hornear, además de la actividad de agua para las galletas horneadas. Cada análisis se realizó por triplicado.

3.2.1. Humedad (x_w)

Se determinó la humedad a partir del método oficial para alimentos ricos en azúcares (AOAC 934.06, 2000). Éste tiene como objetivo determinar la pérdida de agua que sufre la muestra introduciéndola en una estufa a vacío (Vaciotem, J.P. Selecta, Barcelona, España) a 60°C hasta peso constante. En todos los casos los pesos se obtuvieron con una balanza de 1 mg de precisión (Mettler Toledo Inc., Barcelona, Spain).

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

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).

3.2.2. Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua se determinó con un higrómetro de punto de rocío (Aqualab 4TE; Decagon devices Inc., Pullman WA, USA) con una precisión de $\pm 0,003$ y una temperatura de $25\text{ }^\circ\text{C}$ calibrado con disoluciones saturadas de referencia.

3.2.3. Sólidos solubles

Se midieron los sólidos solubles totales (SST) de las muestras por refractometría, mediante la determinación de los grados Brix. La medida de las muestras secas se realizó a partir de disoluciones acuosas 1:10(p:v) con un refractómetro modelo ABBE ATAGO, 3-T (Japón) termostatado a $20\text{ }^\circ\text{C}$, de acuerdo con el método ISO 1743:1982.

3.2.4. pH

Se determinó el pH del bagazo fresco mediante un pH-metro digital (Mettler-Toledo GmbH., Schwezenbach, Switzerland), previamente calibrado con disoluciones tampón a pH 4 y pH 7.

3.2.5. Tamaño de partícula

Se procedió a la determinación del tamaño de partícula tanto por vía seca como por vía húmeda utilizando en ambos casos un equipo de difracción láser (Masterizer, Malvern Instruments Limited, Worcester, Gran Bretaña). El equipo mide el tamaño de partícula abarcando un rango de $0,02$ a $2000\text{ }\mu\text{m}$. Para la determinación del tamaño de partícula del polvo por vía seca Scirocco 2000, se emplea un sistema que utiliza aire seco como agente dispersante a $2,5$ bares de presión y con un 60% de agitación. En la determinación por vía húmeda, se emplea un sistema que utiliza agua desionizada como agente dispersante. Se ha empleado un índice de refracción de $1,53$ para la muestra y $1,35$ para la fase dispersa y un índice de absorción de $0,1$.

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.

Por último, el tamaño de partícula se caracterizó con los parámetros $D [4,3]$, que representa el tamaño basándose en el peso por unidad de partículas, y el diámetro medio del área superficial, $D [3,2]$, que representa el tamaño medio de una superficie específica por unidad de volumen, además de los parámetros característicos de la curva de distribución del tamaño de partícula d_{10} , d_{50} y d_{90} , definidos como el tamaño de partícula para el cual el 10% , 50% y 90% de su distribución, está bajo dicha medida respectivamente (Intruments, M., 2007). Los resultados proporcionados son la media de cinco repeticiones.

$$D [4,3] = \frac{\sum_i n_i d_i^4}{\sum_i n_i d_i^3} \quad (2)$$

$$D [3,2] = \frac{\sum_i n_i d_i^3}{\sum_i n_i d_i^2} \quad (3)$$

Donde n_i es el número de partículas de diámetro d_i .

3.2.6. Contenido en fibra

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

El contenido en cada uno de los componentes se expresó en porcentaje y en base seca.

3.2.7. Volumen específico

Se determinó el volumen específico del polvo midiendo el volumen ocupado por una muestra (5 g) en una probeta graduada de 10 mL. Para eliminar el posible aire ocluido entre la muestra, se golpea suavemente la base de la probeta hasta que el nivel de muestra no disminuya.

3.2.8. Solubilidad

Se determinó la solubilidad siguiendo el método descrito por Mimouni *et al.* (2009) el cual, se basa en la determinación de la fracción másica de los sólidos disueltos (SD) en la muestra rehidratada. Los SD resultan ser el cociente entre los sólidos solubles (SS) y los sólidos totales (ST).

$$SD = \frac{SS}{ST} \quad (4)$$

Para la determinación de los sólidos totales (ST), se disolvió 1 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 12857xg 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).

3.2.9. Propiedades de hidratación y retención de agua

Higroscopicidad

Se determinó la higroscopicidad siguiendo el método descrito por Cai y Corke (2000). Se pesaron 0,5 g de muestra en crisoles de vidrio que, a continuación, se introdujeron en una cámara junto con una disolución saturada de sulfato sódico (Na_2SO_4). La higroscopicidad evalúa la capacidad que tiene el producto de absorber humedad, por tanto, se realizará una

pesada después de una semana para determinar la cantidad de agua que ha ganado la muestra. El resultado se expresó en g de agua/100 g de muestra.

Humectabilidad

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.

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 pesó alrededor de 1 g de polvo en un tubo cónico graduado y se añadieron 10 mL de agua dejándolo hidratar durante 18 h a 25 °C. Transcurrido el tiempo se procedió a la lectura del volumen y el posterior cálculo de la capacidad de hinchamiento con la siguiente ecuación:

$$CH \left[\frac{\text{mL}}{\text{g}} \right] = \frac{VM}{PM_0} \quad (5)$$

Donde:

VM: volumen ocupado por la muestra (mL).

PM₀: peso inicial de la muestra (g).

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 alguna fuerza externa, a excepción de la gravedad y la atmósfera. Se calcula como la relación de la cantidad de agua retenida por el polvo con el peso seco de éste tras liofilizar. Para ello, se pesaron alrededor de 0,2 g en un tubo cónico graduado y se añadieron 10 mL de agua, dejando hidratar las muestras durante 18 h a 25 °C. A continuación, el sobrenadante se eliminó y se obtuvo el peso del residuo decantado (RH). Posteriormente, se liofilizó el residuo para obtener el peso seco de la muestra (RL). Por último, se calcula la CAA con la siguiente ecuación:

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

Donde:

RH: peso del residuo húmedo (g).

RD: peso del residuo liofilizado (g).

Capacidad de retención de agua (CRA)

A diferencia de la CRA, 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 en un tubo cónico de centrífuga y se añadieron 10 mL de agua, dejando hidratar las

muestras 18 h a 25 °C. Transcurrido el tiempo de hidratación se centrifugaron durante 30 minutos a 514xg. A continuación, el sobrenadante se eliminó y se obtuvo el peso del residuo decantado. Posteriormente, se liofilizó el residuo para obtener el peso seco de la muestra. Por último, se calculó la CRA con la siguiente ecuación:

$$\text{CRA} \left[\frac{g_w}{g_r} \right] = \frac{w}{R} \quad (7)$$

Donde:

W: cantidad de agua retenida (g).

R: residuo seco (g).

3.2.10. Propiedades emulsionantes

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 1500 xg 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.

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 homogenizó 5 min con un vortex a 2400 rpm (Reax top, Heidolph, Germany). Posteriormente, se centrifugaron las muestras a 12857xg durante 5 minutos y el volumen de emulsión formada se midió con la siguiente ecuación:

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

Donde:

AE: actividad emulsionante (%).

VE: volumen de la emulsión (mL).

V: volumen total del fluido (mL).

Estabilidad emulsionante (EE)

La estabilidad emulsionante se determinó a partir del método modificado 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 homogenizó 5 min con un vortex a 2400 rpm (Reax top, Heidolph, Germany). Las emulsiones se calentaron a 80 °C

durante 30 minutos, después de enfriarlas se centrifugaron 514xg durante 5 minutos. Mediante la siguiente ecuación se calculó la estabilidad emulsionante:

$$EE (\%) = \frac{VE}{V} \cdot 100 \quad (9)$$

Donde:

VE: volumen de la emulsión (mL).

V: volumen total del fluido (mL).

3.2.11. 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 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 humedades relativas se muestran en la tabla 2. 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 un 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.

Una vez se alcanzó el equilibrio, se obtuvo la humedad en base seca de cada muestra y se modelizaron los datos de sorción mediante BET en el que solo se incluyeron los valores correspondientes a una a_w igual o inferior a 5. La actividad de agua de las sales es igual a su humedad relativa entre 100. Para ello se utilizaron las ecuaciones descritas por Van der Berg y Bruin, 1978.

Tabla 2. Humedades relativas de las sales saturadas a 20 °C (Greenspan, 1977). ¹HR: humedad relativa.

Sales	HR ¹ (%)
LiCl	11,31
CH ₃ COOK	23,11
MgCl ₂	33,97
K ₂ CO ₃	43,16
Mg(NO ₃) ₂	54,38
NaCl	75,47
KCl	85,11
BaCl ₂	90,85

3.2.12. Propiedades antioxidantes.

Contenido en fenoles y antocianinas

El contenido en fenoles y antocianinas tanto del bagazo fresco como del bagazo seco se realizó mediante el método de Folin Ciocalteu (FC) y el método diferencial del pH para la determinación de las antocianinas monoméricas.

La extracción se realizó sobre una dilución 1:20 (p/v) de la muestra (bagazo fresco o polvo) en una disolución de metanol al 80% (v/v) que se mantuvo en agitación durante 1 h. Posteriormente, se llevó a centrifugación 5 minutos a 10000 rpm. Por último, se preparó en el caso del polvo, una dilución 1:10 y 1:5 del sobrenadante en la disolución de metanol al 80% (v/v) para la determinación del contenido en fenoles y antocianinas respectivamente. Para el bagazo fresco se preparó una dilución 1:2 del sobrenadante en la disolución de metanol al 80% (v/v) para ambas determinaciones.

Fenoles totales

Para la determinación de fenoles totales se utilizó el método espectrofotométrico de Folin Ciocalteu (Singleton et al., 1999; Wolfe et al., 2003) el cual mide la intensidad de coloración azul que genera el reactivo al interaccionar con los compuestos fenólicos a una longitud de onda de 760 nm.

Para ello, se añadieron en una cubeta, 0,125 mL de la muestra diluida (dilución 1:40 en el caso del bagazo fresco y 1:200 para el polvo de arándano) y 0,125 mL del reactivo de Folin Ciocalteu (Sigma Aldrich). Se dejó reaccionar el conjunto en oscuridad durante 6 minutos. Seguidamente se adicionaron 1,25 mL de carbonato sódico al 7% (m/v) y se añadió a la mezcla 1 mL de agua bidestilada. Tras 90 minutos en oscuridad se procedió a la medida de la absorbancia a 760 nm de longitud de onda, utilizando un espectrofotómetro Helios Zeta UV/Vis Thermo scientific.

Como patrón se utilizó ácido gálico con una pureza mayor o igual al 98% (Sigma-Aldrich), trabajando con un rango de concentraciones de 0 a 0,5 mg/mL. El contenido total de fenoles se expresó como equivalentes de ácido gálico (GAE, del inglés Galic Acid Equivalent por 100 gramos de muestra).

Antocianinas monoméricas totales

El contenido en antocianinas manométricas totales se determinó mediante el método diferencial del pH (Giusti y Wrolstad, 2001, Lee et al., 2005). Para ello, se prepararon las disoluciones tampón pH 1,0 y pH 4,5. El tampón de pH 1,0 se trata de una disolución de cloruro de potasio 0,025 M. Por otro lado, el tampón de pH 4,5 es una disolución de acetato de sodio 0,4 M. En una cubeta se añadieron 100µL de la muestra diluida y 2900 µL de cada tampón. Tras 30 minutos de reacción se leyó la absorbancia a 510 y 700 nm.

Para la obtención de las antocianinas totales se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$ABS = (Abs_{510} - Abs_{700})_{pH 1,0} - (Abs_{510} - Abs_{700})_{pH 4,5} \quad (10)$$

Donde:

Abs₅₁₀: absorbancia de la muestra a 510 nm

Abs₇₀₀: absorbancia de la muestra a 700 nm

$$\text{Antocininas totales} = \frac{ABS \cdot Pm \cdot f \cdot 1000}{\epsilon \cdot l} \quad (11)$$

Donde:

ABS: absorbancia determinada en la ecuación 12.

Pm: peso molecular de la glucósido-3-cianidina (449,2 g/mol)

f: factor de dilución

ε: coeficiente de extinción molar (26900 L/mol cm)

l: ancho de la cubeta (1 cm)

El contenido total en antocianinas se expresó en miligramos de glucósido-3-cianidina por cada 100 gramos de muestra.

Análisis de la capacidad antioxidante

La evaluación de la capacidad antioxidante se realizó mediante los métodos DPPH y ABTS (o también llamado método TEAC, de las siglas en inglés Trolox Equivalent Antioxidant Capacity).

Método DPPH

El método DPPH se basa en la capacidad que posee el radical DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) de secuestrar componentes antioxidantes. Ésta se mide a partir de la decoloración de la disolución DPPH en metanol al reaccionar con el compuesto antioxidante contenido en la muestra analizada (Molyneux, 2004; Brand- Williams *et al.*, 1995; Yu *et al.*, 2002).

Se partió de una disolución madre 100 μM del reactivo DPPH en metanol y se preparó un dilución 1:9 (v/v) de la disolución madre en metanol.

Posteriormente, en una cubeta se añadieron 2 mL de la disolución met-DPPH, 30 μL de muestra diluida (1:40 bagazo seco y 1:200 polvo) y 970 μL de metanol. Como referencia se utilizó un blanco preparado con la misma cantidad de reactivos y conteniendo agua bidestilada en lugar de la disolución problema (Stratil *et al.*, 2006; Payet *et al.*, 2006). Por último, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm, cada 5 minutos durante dos horas.

Los resultados se expresaron en trólox equivalente a partir de una recta de calibrado con el mismo y en porcentaje de inhibición, calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$I (\%) = \frac{(AB - AA)}{AB} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

I (%): porcentaje de inhibición del DPPH.

AB: absorbancia del blanco.

AA: absorbancia de la disolución de la muestra.

Método ABTS

La capacidad antioxidante también se determinó a partir del método de decoloración del ABTS (ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazoline-6-sulfónico), o también llamado método TEAC (Re *et al.*, 1999).

La metodología empleada fue la descrita por Re *et al.*, 1999 y Moura Rufino *et al.*, 2007, en la que el radical ABTS+ se obtiene tras la reacción del ABTS con persulfato potásico. Se preparó una disolución con 7 mM de ABTS de una pureza igual o superior al 99,0% (Sigma-Aldrich) y 2,45 mM de persulfato potásico.

La mezcla se incubó a temperatura ambiente en oscuridad durante 16 horas. Transcurrido este tiempo se diluyó el ABTS+ en tampón fosfato hasta que se obtuvo una dilución con una absorbancia de $0,70 \pm 0,01$ leída a 734 nm de longitud de onda (longitud de máxima absorción).

Posteriormente, se hicieron reaccionar en una cubeta 30 μ L de muestra diluida (1:40 bagazo seco y 1:200 polvo) y 2900 μ L de la dilución ABTS+ con absorbancia 0,7. De este modo se midió el valor de la absorbancia a 734 nm durante los primeros minutos de la reacción (1, 2, 3 y 6 minutos).

Se utilizó trólox ($C_{14}H_{18}O_4$) como antioxidante estándar de referencia, con una pureza igual al 97%, de la marca comercial Sigma-Aldrich, que se ensayó a una concentración de entre 0 y 1000 ppm de concentración final en tampón fosfato. Los resultados se expresan en mg de trólox equivalente (Payet *et al.*, 2005) por gramo de muestra.

3.2.13. Propiedades ópticas

Se evaluó el color de las muestras frescas y secas además del color de las galletas con los diferentes porcentajes de reemplazo. Las coordenadas de color CIEL* a^* b^* de las muestras se midieron con un espectrocolorímetro (MINOLTA modelo CM-1000R) por reflectancia, utilizando el iluminante D65 y un ángulo de observador de 10° como referencia. Para la calibración del equipo se utilizó cerámica blanca y una cámara negra suministrados por el fabricante. Las muestras del bagazo fresco y el bagazo en polvo se introdujeron en una cubeta de metacrilato transparente de 25 mL con 2 cm de espesor.

Se obtuvieron las coordenadas de color en el espacio CIE $L^*a^*b^*$ y las coordenadas psicométricas de tono (h_{ab}) (ec.10) y croma (C_{ab}) (ec. 11) a partir de los valores de L^* , a^* , y b^* mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (13)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (14)$$

3.2.14. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las galletas se determinaron con un analizador de textura mod.TA.XT PLUS, Stable micro Systems (Godalming, Reino Unido) junto con el software Textura exponent 32.

Se realizó un ensayo de punción sobre las caras planas y se establecieron las condiciones de manera que el punzón atravesara toda la muestra y la rompiera. Se establecieron las siguientes condiciones: las velocidades de pre-ensayo, ensayo y post-ensayo fueron 2,5 mm/seg, 2,0 mm/seg y 10 mm/seg respectivamente. La distancia que recorre el punzón fueron 15 mm, el tipo de activación automática y la fuerza de activación 0,04903 N.

3.2.15. Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó en la sala de catas normalizada según la norma UNE-ISO 8587:2010 del Instituto Universitario De Ingeniería de los Alimentos para el Desarrollo de la Universitat Politècnica de València. El grado de aceptación de las galletas se valoró cuantitativamente siguiendo la norma UNE-ISO 4121:2006 (AENOR, 2006). La prueba se llevó a cabo con un panel de 30 catadores no entrenados que puntuaron en una escala del 1 al 9 diferentes atributos de los productos, correspondiendo el 1 a la valoración “no me gusta nada” y el 9 a la valoración “me gusta mucho”. Para el procesado de los datos, se ha realizado un análisis de varianza de acuerdo con la Norma ISO 8587.

Los atributos evaluados fueron: el aspecto global, el color, el aroma, la textura, el sabor, el dulzor, la acidez y aceptación global del producto. Además, se realizaron dos últimas preguntas sobre la intención de compra. En el anexo se encuentra la ficha de cata que se utilizó para realizar el análisis.

Las muestras para la evaluación se presentaron codificadas con un número de 3 dígitos. Los catadores evaluaron 4 muestras: la galleta control, galleta con la sustitución de un 10% de harina por el bagazo seco, galleta con la sustitución de un 30% de harina por el bagazo seco y galleta con la sustitución de un 40% de harina por el bagazo seco.

3.2.16. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se realizó con el programa StatgraphicsCenturion XVI.II. Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) simple para evaluar las diferencias entre las muestras de las determinaciones realizadas, con un nivel de confianza del 95%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades del bagazo fresco y seco

En la Tabla 3 se muestran los sólidos solubles totales (SST), la a_w y la humedad del bagazo fresco y del bagazo seco a 70 °C, así como el pH del bagazo fresco. Se puede observar como existen diferencias significativas en los SST, actividad de agua y humedad. La actividad de agua y la humedad en el bagazo seco son lo suficientemente bajos como para asegurar su estabilidad. En cuanto al pH del bagazo fresco, comparado con estudios sobre zumo de arándano (Castaglini, 2014), presenta un valor más bajo.

Tabla 3. Valores de sólidos solubles totales (Brix), actividad de agua, humedad y pH del bagazo de zumo arándano fresco y bagazo seco. Media \pm desviación estándar.

	SST (Brix)	a_w	x_w (kg _w /kg)	pH
Bagazo fresco	9,8 \pm 0,3 ^a	0,990 \pm 0,003 ^b	0,720 \pm 0,004 ^b	2,93 \pm 0,02
Bagazo seco	21,3 \pm 0,6 ^b	0,189 \pm 0,006 ^a	0,014 \pm 0,006 ^a	-

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%

4.2 Tamaño de partícula de los polvos

El análisis del tamaño de partícula se realizó tanto por vía seca como por vía húmeda. El interés de la determinación por una u otra vía depende de la aplicación para la cual se quiera utilizar el polvo; si se trata de productos líquidos como refrescos o zumos, conviene disponer de información obtenida por vía húmeda mientras que, si se trata de alimentos sólidos, conviene la determinación por vía seca. El tamaño de partícula es una característica que condiciona otras propiedades como pueden ser las propiedades de hidratación. En algunas ocasiones un menor tamaño de partícula aumenta la superficie específica favoreciendo propiedades relacionadas con fenómenos de adsorción superficial (Raghavendra et al., 2006). En otras ocasiones, fundamentalmente cuando la fibra es un componente mayoritario, los procesos de trituración mecánica pueden modificar la matriz porosa, influyendo sobre las propiedades de hidratación (Lario et al., 2004).

En la figura 2 se han representado las curvas de distribución de tamaño de partícula del polvo de arándano a las dos granulometrías a las que se ha obtenido, y en ambos casos analizado tanto por vía seca como por vía húmeda. Se observa en todos los casos un mayor tamaño de partícula por vía seca que por vía húmeda. Esto es debido a que, en el análisis por vía húmeda, los compuestos solubles del bagazo se disuelven, y pasan a formar parte de la fase dispersa, como consecuencia las partículas se hacen más pequeñas por lo que se desplaza desplazando la curva ligeramente. En la tabla 4 se muestran los valores de D [4,3], D [3,2], d_{10} , d_{50} y d_{90} . Todos los parámetros son más pequeños para la granulometría fina tal y como cabía esperar.

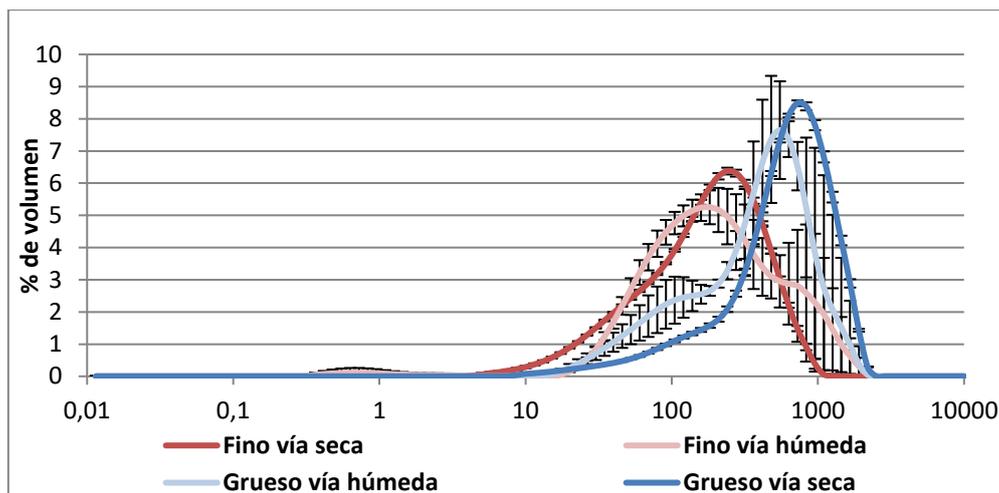


Figura 2. Distribución de tamaño de partícula obtenida por vía seca y por vía húmeda para las dos granulometrías.

Tabla 4. Valores de los parámetros del tamaño de partícula por vía seca y húmeda. Media \pm desviación estándar.

	Polvo grueso		Polvo fino	
	Vía húmeda	Vía seca	Vía húmeda	Vía seca
D [4, 3]	659 \pm 11 ^c	437 \pm 106 ^d	211 \pm 2 ^b	293 \pm 66 ^a
D [3, 2]	239,00 \pm 8,15 ^b	177 \pm 32 ^c	81 \pm 4 ^a	101 \pm 48 ^a
d₁₀	129 \pm 5 ^c	71 \pm 13 ^d	35,6 \pm 1,2 ^b	52 \pm 6 ^a
d₅₀	606 \pm 11 ^b	398 \pm 79 ^c	170,1 \pm 0,7 ^a	209 \pm 51 ^a
d₉₀	1247 \pm 17 ^c	873 \pm 236 ^d	446 \pm 7 ^b	680 \pm 206 ^a

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

4.3 Caracterización de los polvos

En la tabla 5 se muestran los porcentajes referentes al contenido en fibra. Se observa que existen pequeñas diferencias entre las granulometrías, teniendo la gruesa mayor porcentaje de todos los componentes analizados. Esto, puede ser debido a que la trituración mecánica más intensa llevada a cabo en el caso de la granulometría fina, afecta la estructura de las cadenas de polisacáridos, liberando azúcares o cadenas cortas de mayor solubilidad y/o digestibilidad, y en consecuencia disminuyendo el porcentaje en cada uno de los tres componentes analizados.

Conviene destacar que el contenido en fibra va a afectar en las posteriores determinaciones y en las características de los alimentos a los que se adicione, ya que mejora las propiedades de hidratación y retención de agua, las propiedades emulsionantes, así como las características organolépticas (Elleuch et al., 2011). El contenido total de fibra en ambos casos supera el 30%, siendo la mayor parte fibra insoluble. La fibra insoluble, es más porosa y tiene menor densidad, además, su capacidad de retener agua y su escasa viscosidad aceleran el tránsito intestinal. Por lo que respecta a la fibra soluble, aporta viscosidad, capacidad de formar geles y actuar como emulsionante siendo más fácil su incorporación a los alimentos (Elleuch et al., 2011). Desde un punto de vista nutricional, contrariamente a la fibra insoluble,

la fibra soluble enlentece el tránsito intestinal favoreciendo la absorción de macronutrientes, además, disminuye los niveles de colesterol y favorece el crecimiento e integridad de la mucosa intestinal (Martínez y García, 2006). Un factor que provoca un deterioro en la fibra es el secado a elevadas temperaturas, sobre todo de la fibra soluble, lo cual se traduce de nuevo en una disminución de las propiedades de hidratación (Larrauri, 1999).

Si comparamos el contenido en fibra del polvo de arándano con el de otros polvos de frutas, vemos que el contenido en fibra del polvo de bagazo de arándano es inferior. El polvo obtenido de las variedades de uva *Ruby* y *Marsh*, tienen un contenido en fibra del 62,6% y 44,2% respectivamente, el obtenido a partir de variedades de limón *Eureka* y *Fino 49*, 61,8% y 68,3%, los valores de la fibra de polvo de naranja *Valencia* rondan el 64,3% (Figuerola et al., 2004) y un 71,91% es el contenido en fibra del polvo de pulpa de manzana (Cerde-Tapia et al., 2015). Por el lado contrario, el polvo de arándano tiene un mayor contenido en fibra que la harina de piña, la cual tiene un 13,65% (Ramírez y Pacheco, 2009) y la fibra de concentrado de mango la cual tiene un 28,05% (Vergara-Valencia et al. 2007).

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

	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	Fibra total (%)	Fibra insoluble (%)
Polvo grueso	12,85 \pm 0,018 ^b	18,0 \pm 0,4 ^b	7,6 \pm 0,2 ^b	38,5 \pm 0,8 ^b	25,6 \pm 0,2 ^b
Polvo fino	10,444 \pm 0,003 ^a	16,69 \pm 0,14 ^a	6,6 \pm 0,2 ^a	33,69 \pm 0,06 ^a	23,24 \pm 0,06 ^a

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

A continuación, se muestran los resultados de las diferentes determinaciones realizadas (tabla 6) para las dos granulometrías del polvo de arándano.

Tabla 6. Valores de solubilidad, higroscopicidad, humectabilidad, propiedades de hidratación y retención de agua y propiedades emulsionantes del polvo de arándano a las dos granulometrías consideradas. Media \pm desviación estándar.

	Polvo grueso	Polvo fino
SST (Brix)	25,3 \pm 0,6 ^a	30,7 \pm 0,6 ^b
Solubilidad (%)	31,6 \pm 1,5 ^a	33,1 \pm 0,7 ^a
Volumen específico (mL/g)	9,60 \pm 0,12 ^b	7,57 \pm 0,06 ^a
Propiedades de hidratación y retención de agua		
Higroscopicidad (%)	61 \pm 3 ^a	62,7 \pm 1,8 ^a
Humectabilidad (s)	175 \pm 21 ^b	77 \pm 6 ^a
Capacidad de hinchamiento (mL/g)	2,88 \pm 0,13 ^b	2,56 \pm 0,06 ^a
Capacidad de atrapar agua (g/g)	5,1 \pm 0,2 ^b	4,63 \pm 0,16 ^a
Capacidad de retención de agua (g_w/g_{prod sec})	3,4 \pm 0,3 ^a	3,08 \pm 0,18 ^a
Propiedades emulsionantes		
Capacidad de retención de aceite (g_a/g_m)	2,7 \pm 0,6 ^a	2,9 \pm 0,5 ^a
Actividad emulsionante (%)	0,3 \pm 0,1 ^a	0,53 \pm 0,12 ^a
Estabilidad emulsionante (%)	3 \pm 2 ^b	1,5 \pm 0,7 ^a

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

Se observa que existen diferencias entre los SST, siendo mayores para la granulometría fina ya que como se ha comentado anteriormente, la desestructuración mecánica favorece a la liberación de sólidos solubles a la fase líquida, siendo mayor cuanto más triturado este el producto.

Por lo que respecta al volumen específico de los polvos, a pesar de que existen diferencias significativas entre las dos granulometrías, los resultados son similares al de otros polvos. El bagazo con una granulometría más gruesa tiene un mayor volumen específico que el de granulometría fina, ya que tiene una porosidad mayor (Martínez-Las Heras et al., 2017), Además el bagazo fino y el grueso tienen diferente proporción de fibra insoluble, que es más porosa y tiene menor densidad (Elleuch et al., 2011) lo que también explicaría su mayor volumen específico.

La solubilidad dependerá tanto del tamaño de partícula, la composición fisicoquímica y el contenido en fibra soluble. La mayor cantidad de fibra insoluble frente a la soluble explica la baja solubilidad de los bagazos secos, entre los cuales no hay diferencias. Al comparar la solubilidad con un estudio realizado sobre la adición de azúcares de caña no refinados a un cacao (Esparza, 2015), se comprueba que el polvo de bagazo de arándano tiene una solubilidad menor que el cacao con azúcar blanco, el que menos solubilidad presenta en este estudio. Respecto a otros estudios realizados con polvos de frutas, se ha comprobado que la solubilidad depende entre otros factores, de la microestructura del polvo (Aznar, 2014). La solubilidad de los polvos de arándano se asemeja a la solubilidad de la fibra de espárrago cuyo porcentaje oscila entre el 22,6% al 34,7 % (Fuente et al., 2009). Por otro lado, Siet al., (2015) compara en su estudio diferentes métodos de secado de polvo de frambuesa, la solubilidad del producto es de un 45,26%, superando la solubilidad de polvo de bagazo de arándano.

Las propiedades de hidratación y retención de agua del polvo de bagazo de arándano son importantes para plantear aplicaciones como ingrediente en la formulación de alimentos ya que determinan la capacidad del producto de captar agua, así como de humectarse y ser capaz de retenerla en su matriz. Estas características dependen, como se ha dicho anteriormente, de la composición fisicoquímica del producto, sobre todo afecta el contenido en fibra soluble e insoluble, así como de la porosidad y el tamaño de partícula del bagazo (Ramírez y Pacheco, 2009). En el caso de la fibra, el tratamiento mecánico, como la agitación que se realiza en algunas de las determinaciones, abre su estructura dejando a los grupos hidroxilos de la celulosa libres, de forma que quedan disponibles para unirse con el agua (Sangnark y Noomhorm, 2004). Estos parámetros condicionarán en gran medida las propiedades sensoriales de los productos finales.

La higroscopicidad está relacionada con la capacidad de absorber agua, un polvo con una elevada higroscopicidad se humectará rápidamente aumentando su actividad de agua lo cual puede ser desfavorable si se quiere almacenar, por lo que para evitar este fenómeno, es necesario que el envase esté bien sellado y presente buenas propiedades barrera a las moléculas de agua. No existen diferencias entre las granulometrías, no obstante, ambos valores son muy altos en comparación con otros polvos de frutas. La frambuesa, presenta una higroscopicidad entre 13% y 18% (Si et al., 2015). Por otro lado, se han encontrado valores similares al del polvo de arándano en un estudio sobre kiwi liofilizado y atomizado, los cuales tienen una higroscopicidad del 65% y 54% respectivamente (Wu-Ng et al., 2013).

La humectabilidad es la facilidad con la que un líquido penetra en un polvo, esta característica se encuentra muy relacionada con la solubilidad y es muy importante en el caso de que el producto se quiera para producir como polvo instantáneo. Existen diferencias significativas entre la granulometría gruesa y fina. La granulometría fina se humecta más rápidamente que la gruesa, esto se debe a que el bagazo de granulometría gruesa tiene una mayor proporción de fibra insoluble la cual, como se ha dicho anteriormente, es más porosa y tiene menor densidad, por lo que flota más tiempo sobre la superficie y aumenta el tiempo en mojarse por completo. Comparado con un estudio sobre polvo de cáscara de Mango, el producto con un tamaño de partícula similar al de la granulometría fina del bagazo seco de arándano, se humecta mucho más rápido que éste (Serna-Cock et al., 2014). Teniendo en cuenta, el tiempo de humectación del producto y la escasa solubilidad si quisiéramos destinar el bagazo a la producción de refrescos, zumos o bebida instantánea en polvo, deberíamos de añadir algún aditivo o compuesto que aumente su solubilidad o bien alguna operación tecnológica previa que mejore estas propiedades.

La capacidad de hinchamiento, además de tener implicaciones en la matriz del alimento, ejerce un efecto saciante durante el proceso digestivo en el estómago (Martínez-Las Heras et al., 2017). En comparación con fibras comerciales de fruta, como son las de limón, melocotón, naranja y manzana, el bagazo de arándano presenta una capacidad de hinchamiento de 2,88 mL/g, mientras que las fibras de estos otros productos superan los 7 mL/g. Existen diferencias significativas entre las granulometrías obteniéndose una mayor capacidad de hinchamiento para la gruesa. Kethireddipalli et al. (2002) aseguran que un elevado triturado puede afectar negativamente a las propiedades de hidratación, lo cual justifica el resultado obtenido. Hay que tener en cuenta el mayor contenido en sólidos solubles totales del bagazo con menor

granulometría, ya que se disuelven en el agua sin quedar retenidos. En cuanto a la capacidad de atrapar agua y retener agua, existen diferencias significativas entre los bagazos y en ambos casos el resultado ha sido mayor en la granulometría gruesa. Tal y como se ha comentado anteriormente en el caso de la capacidad de hinchamiento, al triturar el bagazo seco, la matriz estructural de la fibra se altera y disminuye estas capacidades, no obstante, en algunos artículos existe controversia en este tema ya que polvos con menor tamaño de partícula han resultado tener mejores propiedades de hidratación. Por ejemplo, Raghavendra et al., (2006) obtuvo que la disminución del tamaño de partícula de fibra de coco, de 1127 a 550 μm resultó en un aumento en las propiedades de hidratación. En comparación con otras fibras, concretamente de limón, naranja, melocotón y manzana, comprobamos que los valores de capacidad de atrapar agua y capacidad de retención de agua, son menores para el bagazo de arándano, ya que en todos los casos tienen capacidades mayores de 9 g de agua por g de producto seco para ambas capacidades (Martínez-Las Heras et al., 2017). Por otro lado, los polvos de arándano presentan mayor capacidad de retención de agua que los concentrados de fibra de uva, limón, naranja y manzana del estudio de Figuerola et al., (2005), en el que la mayor capacidad de retención de agua la presenta la uva Marsh y su valor es de 2,26 g de agua por g de muestra seca.

Por lo que respecta a las propiedades emulsionantes, los alimentos con elevado contenido en fibra tienden a atrapar la grasa. Las fibras con una elevada capacidad de retención de aceite se utilizan para producir emulsiones y estabilizar alimentos ricos en grasa (Chantaro et al., 2007, Thebaudin et al., 1997). En el caso del bagazo de arándano, la capacidad de retención de aceite es similar a la de las fibras comerciales citadas anteriormente de limón, naranja, melocotón y manzana ya que oscilan en un rango de 2,5 a 2,9 g de aceite por gramo de muestra (Martínez-Las Heras et al., 2017), pero por el contrario presentan mayor retención de aceite que las fibras de uva, limón, naranja y manzana estudiadas por Figueroa et al., (2005) que no llegan a retener 2 g de aceite por gramo de muestra. No obstante, cuando se realizó el análisis de la actividad emulsionante con los polvos de arándano, la emulsión que se produjo fue mínima en ambos casos, obteniéndose un resultado muy bajo comparado con la actividad de otros productos deshidratados en polvo (Martínez-Las Heras et al., 2017; Ramírez y Pacheco, 2009). Por último, al evaluar la estabilidad de la emulsión se obtiene, como en el caso anterior, un valor más bajo que en otros productos, aunque en este caso sí que existen diferencias entre las granulometrías, siendo mayor la estabilidad de la granulometría gruesa, debido fundamentalmente a su mayor contenido en fibra insoluble.

4.4 Isotermas de sorción de los polvos de arándano

Se calculó la humedad en equilibrio de cada uno de los polvos para cada una de las sales saturadas indicadas en la tabla 2 de materiales y métodos. A continuación, se realizó la curva de sorción (figura 3), en la que se observan ligeras diferencias entre las granulometrías sobre todo en las sales con actividad de agua menor que 0,5.

En la figura 3 se observa como la humedad en equilibrio aumenta a medida que aumenta la actividad de agua para ambas granulometrías. El polvo fino presenta una mayor humedad en equilibrio que el grueso en las actividades de agua correspondientes a 0,1131 y 0,5438 lo cual puede deberse a la mayor higroscopicidad y humectabilidad que tiene el polvo fino.

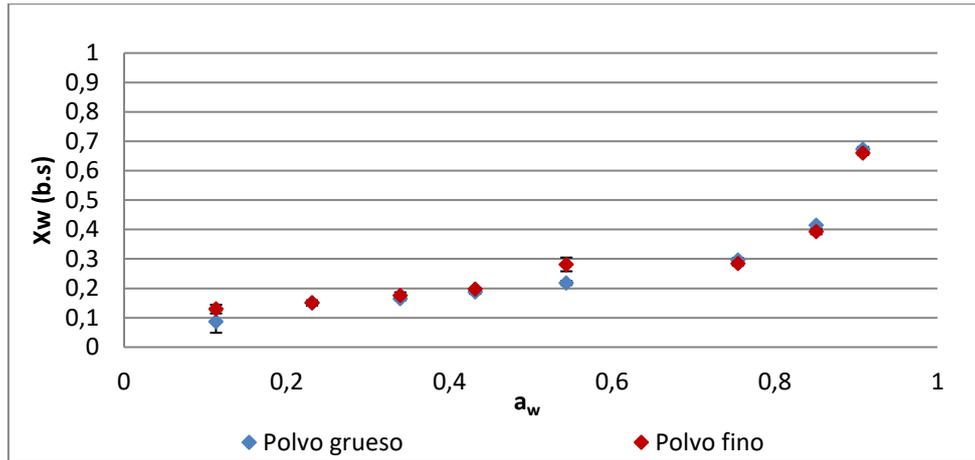


Figura 3. Isoterma de sorción a 20 °C para los polvos de arándano a las dos granulometrías ensayadas.

Se obtiene una curva sigmoideal que se asemeja a la isoterma de tipo II de acuerdo con la clasificación de Brauner (Brunauer, Deming, Deming, & Troller, 1940), además se comprueba que el valor del parámetro C obtenido en el ajuste de BET (tabla 6) es mayor que 2. Es la curva típica de productos vegetales y similar a las obtenidas por Martínez-Las Heras et al., 2014 en hojas secas de persimmon, al polvo de zumo de naranja (Edrisi y A.G. Langrish, 2014) y hojas y tallos de bálsamo de limón (Argyropoulos et al., 2012) entre otros.

Las isotermas se modelizaron de acuerdo con el modelo de BET (figura 4), incluyendo los resultados obtenidos para actividades de agua inferiores a 0,5. Además, se trata de un producto en polvo cuya finalidad es almacenarlo, conservarlo y comercializarlo, modificando lo menos posible su actividad de agua.

Ecuaciones del modelo de BET:

$$W_e = \frac{W_0 \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot a_w)} \quad (15)$$

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot W_e} = \frac{1}{W_0 \cdot C} + \frac{C - 1}{W_0 \cdot C} a_w \quad (16)$$

Donde:

W_e : humedad en equilibrio (g agua/g materia seca).

W_0 : humedad de la monocapa (g agua/g materia seca).

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

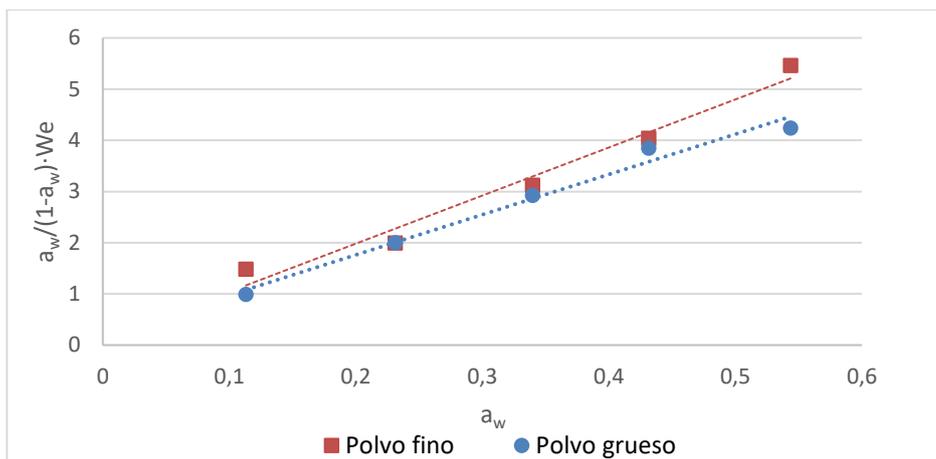


Figura 4. Ajuste de las isotermas por BET.

Tabla 7. Parámetros W_0 y C del modelo de BET y valor de R^2 de ambos polvos de arándano.

	W_0	C	R^2
Polvo grueso	0,1053	90,6705	0,9813
Polvo fino	0,1242	42,1608	0,9723

4.5 Contenido en fenoles y antocianinas del bagazo fresco y de los polvos de arándano a distintas granulometrías

4.5.1 Contenido en fenoles

El contenido de fenoles del bagazo fresco y de los polvos de arándano se representan en la figura 5. Se observa como existen diferencias estadísticamente significativas (p -valor $<0,05$) entre las distintas muestras, siendo el contenido en fenoles mayor en el caso de los polvos. El motivo por el cual el contenido de fenoles del bagazo es menor puede deberse a la desestructuración que sufre la matriz durante el triturado, aumentando la posibilidad de extracción de fenoles (Elleuch et al., 2011).

Comparado con otros polvos de frutas y sus subproductos, el polvo de arándano tiene un menor contenido en fenoles que el polvo de frambuesa, que contiene 10 mg AGE/100g de producto seco (Xu Si, 2015). Por otro lado, en un estudio sobre el efecto del secado en subproductos de naranja donde se compara el contenido de fenoles entre diferentes pieles de cítrico (Garau et al., 2007), se comprueba que el polvo de arándano tiene mayor contenido en fenoles totales para todos los casos.

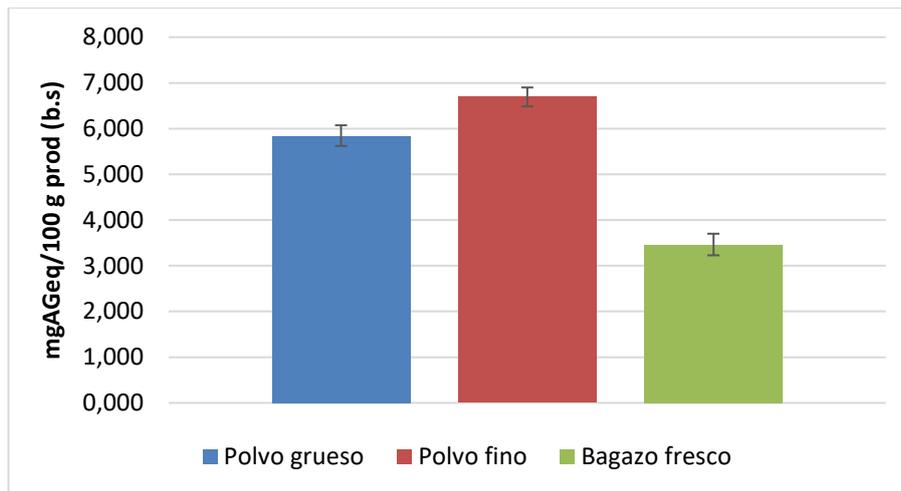


Figura 5. Contenido de fenoles en mg de ácido gálico equivalentes por 100 gramos de producto seco en el bagazo fresco y polvos de arándano.

4.5.2. Contenido en antocianinas monoméricas

En la figura 6 se presenta el contenido de antocianinas totales expresado en miligramos de glucósido-3-cianidina por cada 100 gramos de muestra. El bagazo fresco tiene un mayor contenido en antocianinas que los polvos, esto puede explicarse teniendo en cuenta una cierta degradación de las antocianinas durante el secado. El tratamiento térmico provoca que las antocianinas y sus azúcares conjugados se rompan en pequeñas cadenas de aldehídos y derivados del ácido benzoico (Zorić et al., 2013). En un estudio sobre comparación de métodos de secado y su efecto en las propiedades nutricionales y antioxidantes de moras negras, se obtuvo que en el caso del secado por aire caliente solo quedaron un 20,67% de las antocianinas iniciales (Chen et al., 2017).

Por otro lado, las antocianinas son compuestos muy sensibles a la oxidación, es por ello que durante el tratamiento de las muestras se pueden degradar parte de los compuestos. Durante la etapa de triturado, y a medida que el tamaño de partícula disminuye, la exposición al oxígeno aumenta, contribuyendo esta operación a la pérdida de antocianinas.

Al comparar con un estudio en el que obtienen polvo de arándano, el contenido de antocianinas del bagazo fresco y del polvo grueso es mayor que el del polvo de Aretaga, (2016). Comparando con otros estudios sobre polvo de frutas o sus subproductos, se ha visto que el polvo de arándano tiene un mayor contenido de antocianinas que en el polvo de frambuesa cuyo contenido es de 20 mg/100 g m.s (Xu Si et al., 2015), también presenta mayor contenido en antocianinas que el polvo de ciruela obtenido por Michalska et al., (2016) con 5,9 mg/100 g m.s.

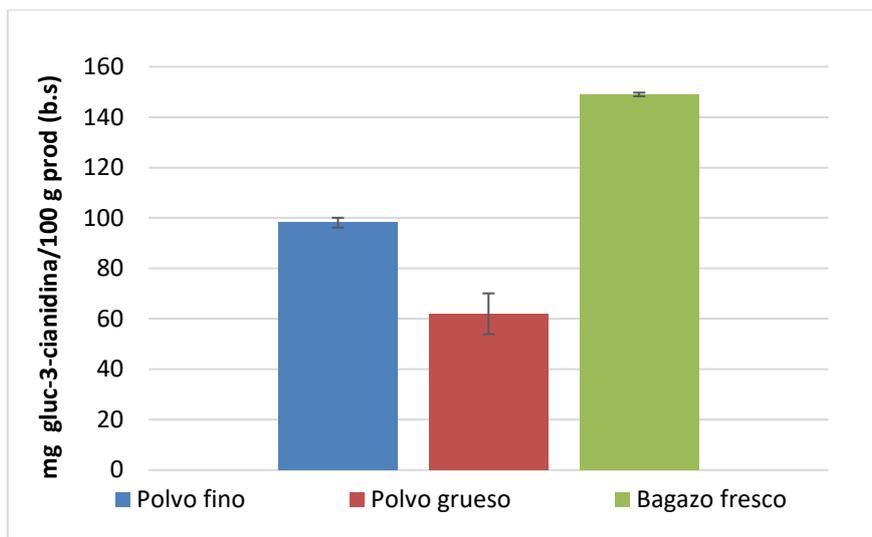


Figura 6. Contenido en antocianinas expresadas en mg de de glucósido-3-cianidina por cada 100 gramos de producto seco del bagazo fresco y polvos de arándano.

4.6. Análisis de la capacidad antioxidante del bagazo fresco y los polvos de arándano mediante DPPH y ABTS.

La capacidad antioxidante mediante el método DPPH se ha expresado como el porcentaje de inhibición del radical DPPH* y en trólox equivalentes. En la tabla 8 se presenta el porcentaje de inhibición de las muestras a una dilución 1:40 para el bagazo fresco y a una dilución 1:200 para el polvo de arándano al final de la reacción. El porcentaje de inhibición es un resultado que depende de las condiciones en las que se ha realizado la reacción, por lo que no permite comparar muestras que se han analizado a diferente concentración. Para poder evaluar las diferencias entre el bagazo fresco y los polvos de arándano, se ha expresado la actividad antioxidante en trólox equivalente.

Tabla 8. Resultado de la actividad antioxidante por el método DPPH expresado en % de inhibición del bagazo fresco a una dilución 1:40 y una dilución 1:200 para el polvo de arándano. Media \pm desviación estándar.

	Bagazo fresco	Polvo grueso	Polvo fino
% Inhibición	77,2 \pm 0,5	59 \pm 1	49 \pm 2

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

En las figuras 7 y 8 se muestra capacidad antioxidante del bagazo fresco y de los polvos de arándano por los métodos DPPH y ABTS respectivamente.

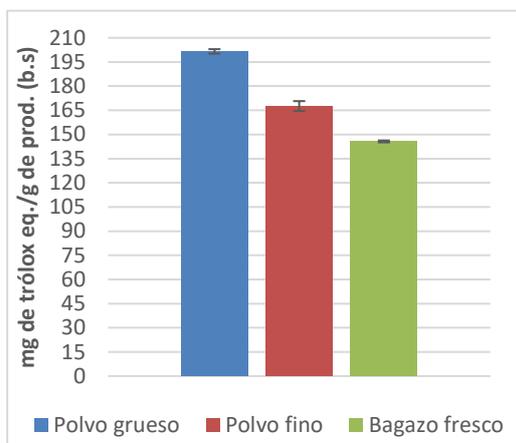


Figura 7. Capacidad antioxidante.
Método DPPH.

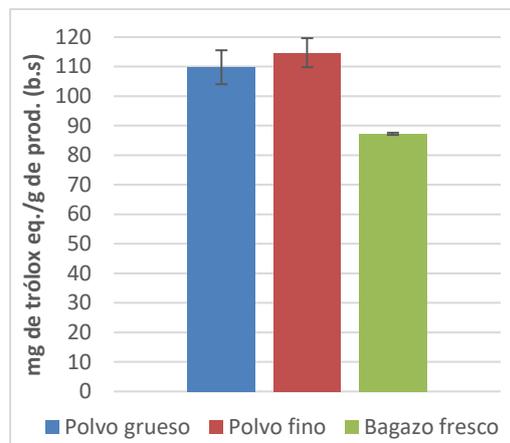


Figura 8. Capacidad antioxidante.
Método ABTS

La capacidad antioxidante del polvo de arándano es mayor que la del bagazo fresco de arándano, ya bien se determine por el método DPPH o por el método TEAC. Esto puede deberse a que durante la operación de secado se producen ciertas reacciones químicas que originan nuevos compuestos con mayor capacidad antioxidante, como las reacciones de Maillard o bien puede ocurrir que durante los tratamientos térmicos se mejore la capacidad antioxidante de los ya presentes (Yamaguchi et al., 2001; Chan et al., 2009; Chan et al., 2013). Además del efecto del secado, los cambios estructurales de la matriz producidos durante la operación de triturado pueden favorecer la extracción de componentes en el método de análisis (Davey et al., 2002; Karam et al., 2016).

En la determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras (p -valor $<0,05$) presentando el polvo de arándano de granulometría gruesa mayor valor de trólox equivalente que el de granulometría fina. Por el contrario, al evaluar la capacidad antioxidante con el método TEAC, es la granulometría fina la que presenta mayor capacidad antioxidante, aunque estas diferencias no son estadísticamente significativas. El hecho de que haya diferencias en los resultados al evaluarlo por los dos métodos se debe a que cada uno presenta diferente sensibilidad hacia los compuestos antioxidantes de diferente naturaleza (Seguí et al., 2015). Debido a la naturaleza del radical DPPH, este tiene mayor sensibilidad por los compuestos antioxidantes de naturaleza hidrofóbica, en cambio el método TEAC cuantifica en mayor medida los compuestos de naturaleza hidrofílica (Gil et al., 2000 y Arnao, 2000). Esto podría indicar que en el caso del polvo de arándano de granulometría fina se hayan podido degradar compuestos de carácter hidrofóbico bien durante la etapa de triturado o bien durante el manejo de la muestra hasta su determinación.

4.7 Propiedades ópticas

En la figura 9 se muestran las coordenadas L*a*b* para el bagazo fresco y los polvos de las dos granulometrías. Puede observarse que los tres bagazos tienen una luminosidad inferior a 50, siendo estadísticamente ($p < 0,05$) menor en el caso del bagazo fresco que resulta ser más oscuro. Respecto a la coordenada a*, se observan valores positivos en los tres casos, lo cual indica un color rojo, siendo más intenso en el caso de los bagazos secos. En el caso de la coordenada b*, los valores de ambos son positivos lo cual indica un color amarillo, no obstante, son muy bajos.

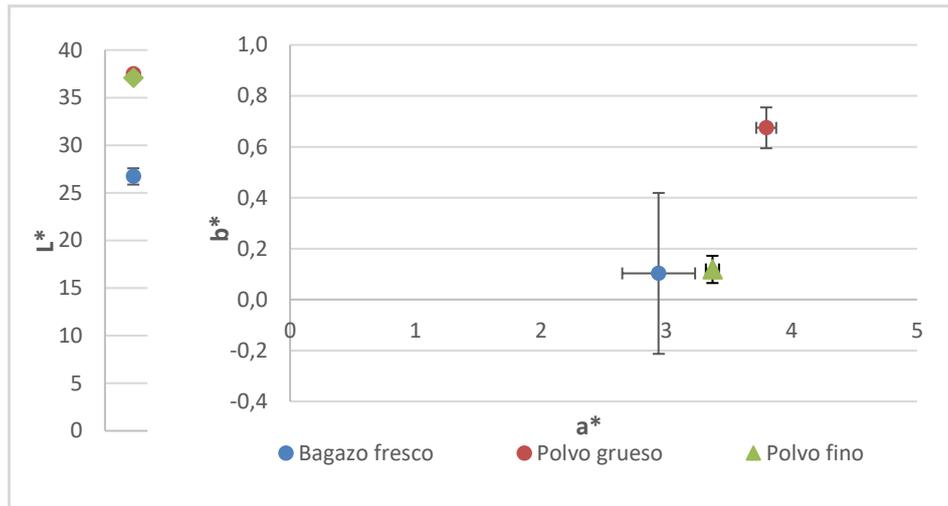


Figura 9. Coordenadas L*a*b* del bagazo fresco y polvos de arándano.

Observando los valores de la tabla 9, se comprueba que existen diferencias significativas entre el bagazo fresco y los polvos de arándano, pero, no obstante, los tres presentan valores de C* bajos lo que indica que no es un color saturado, siendo el polvo grueso el que más saturación presenta. Estas diferencias podrían explicarse teniendo en cuenta la mayor porosidad debida a la menor compactación del lecho de muestra sobre el que se realiza la medida. No se observan diferencias estadísticamente significativas en cuanto al tono. Aunque, el bagazo fresco presenta un valor de tono inferior al de los polvos de arándano, lo que significa que está más próximo a la tonalidad estrictamente roja.

Tabla 9. Parámetros de color C* y h* del bagazo y de los polvos de arándano. Media \pm desviación estándar.

	C*	h*
Bagazo fresco	2,9 \pm 0,3 ^a	6 \pm 3 ^a
Polvo grueso	3,86 \pm 0,07 ^c	10,1 \pm 1,3 ^a
Polvo fino	3,37 \pm 0,05 ^b	2,0 \pm 0,9 ^a

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

4.8 Propiedades físico-químicas de la masa de galletas y las galletas horneadas.

A continuación, en la tabla 10 se muestran la humedad y actividad de agua de las masas de galletas y las galletas horneadas. Si bien en todos los casos las diferencias de humedad de las

galletas horneadas son los suficientemente pequeñas como para atribuirles a irregularidades en el grosor de las galletas o a la sensibilidad del método de determinación de humedad, para la masa y las galletas con un porcentaje de reemplazo del 40% sí que podría estar influyendo el mayor porcentaje en fibra insoluble, con mayor capacidad de retención de agua, del polvo de arándano en relación a la harina de trigo utilizada en la formulación (Berton et al., 2002; Thebaudin et al.,1997).

Con respecto a la actividad de agua de las galletas horneadas, todas presentan valores similares, no existiendo diferencias significativas.

Tabla 10. Humedad de las masas y las galletas y actividad de agua de las galletas. Media \pm desviación estándar.

	X_w (g agua/g total)	a_w
Masa 0% reemplazo	0,175 \pm 0,006 ^a	-
Masa 10% reemplazo	0,187 \pm 0,001 ^b	-
Masa 30% reemplazo	0,168 \pm 0,001 ^a	-
Masa 40% reemplazo	0,192 \pm 0,004 ^b	-
Galleta 0% reemplazo	0,01252 \pm 0,0011 ^a	0,219 \pm 0,007 ^a
Galleta 10% reemplazo	0,011 \pm 0,002 ^a	0,236 \pm 0,008 ^a
Galleta 30% reemplazo	0,0139 \pm 0,006 ^{ab}	0,218 \pm 0,028 ^a
Galleta 40% reemplazo	0,019 \pm 0,003 ^b	0,238 \pm 0,014 ^a

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

Propiedades ópticas

En la figura 10, se han representado las coordenadas $L^*a^*b^*$ de las masas de galleta con diferentes porcentajes de reemplazo. La muestra control es la de mayor luminosidad, seguida de la masa con un 10% de reemplazo y a continuación, la de 30% y 40% que tienen valores similares. Todas las masas tienen un valor positivo de a^* , por lo que contienen color rojo, siendo en la coordenada b^* donde hay una mayor diferencia entre la masa control y el resto. La masa control tiene una b^* positiva por lo que tiene un color amarillo, mientras que el resto tienen un valor de b^* negativo, lo que significa que se han desplazado hacia el azul. Entre las masas con distintos porcentajes de reemplazo, las de un 30% y 40% se asemejan más entre ellas ya que tienen valores similares de a^* y b^* , siendo la del 10% la que se diferencia más por tener un valor de a^* más elevado.

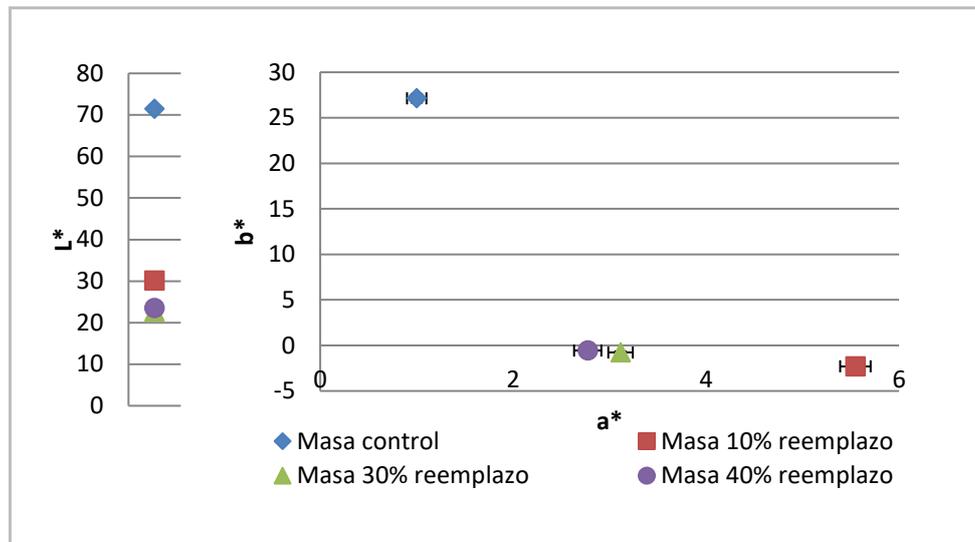


Figura 10. Coordenadas L*a*b* de las masas con diferentes porcentajes de reemplazo de harina por polvo de arándano de granulometría gruesa.

En la tabla 11 se muestran los valores del croma (C*) y el tono (h*) para la masa de la galleta control y las masas con los diferentes reemplazos de harina por el polvo de arándano grueso. Se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($p < 0.05$), a excepción de los porcentajes 30 y 40 entre los que no hay diferencias. La masa control tiene mayor saturación que las masas con cierto porcentaje de polvo de arándano, asimismo la masa con un 10% de reemplazo se diferencia de las restantes porque tiene mayor saturación. En cuanto al tono, existen diferencias estadísticamente significativas entre todas las masas. La masa control se acerca a la región de los tonos amarillos, mientras que el resto se encuentran en el ángulo de los tonos que van de azul a rojo, por lo que se puede decir que las masas presentan un tono morado propio del arándano.

Tabla 11. Parámetros de color C* y h* de las masas de galletas. Media \pm desviación estándar.

	C*	h*
Masa galleta control	27,5 \pm 0,5 ^c	80,54 \pm 0,08 ^a
Masa galletas 10% reemplazo	6,1 \pm 0,2 ^b	336,9 \pm 0,5 ^b
Masa galletas 30% reemplazo	3,26 \pm 0,13 ^a	344,7 \pm 0,9 ^c
Masa galletas 40% reemplazo	2,895 \pm 0,117 ^a	347 \pm 1 ^d

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

En la tabla 12 se muestran las diferencias de color (ΔE) de las galletas con polvo de arándano con respecto de la masa control. Existen diferencias estadísticamente significativas entre la masa con un 10% de reemplazo y las otras dos, entre las cuales no las hay.

Por lo general, el ojo humano percibe una diferencia de color de 5 o mayor. Por lo que sí que se aprecian visualmente las diferencias de color entre las galletas que tienen polvo de arándano en su formulación y la galleta control, ya que la ΔE es mayor de 50 para todos los casos. Al comparar las galletas que tienen polvo de arándano entre sí, el ojo humano sí que

diferenciaría entre la que tiene un 10% de polvo de arándano y las otras dos restantes. No obstante, entre las galletas con un 30% y 40% de reemplazo no hay diferencias

estadísticamente significativas ($p < 0,05$) y el ojo humano tampoco podría apreciar las diferencias.

Tabla 12. Diferencia coordenadas $L^*a^*b^*$ y diferencia de color global ΔE respecto la masa galletas 0%. Media \pm desviación estándar.

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Masa galletas 10%	41,5 \pm 0,7 ^a	-1,05 \pm 0,15 ^a	29,5 \pm 0,6 ^b	50,9 \pm 0,4 ^a
Masa galletas 30%	49,0 \pm 0,5 ^b	1,4 \pm 0,2 ^b	28,0 \pm 0,5 ^a	56,5 \pm 0,6 ^b
Masa galletas 40%	48,2 \pm 0,4 ^b	1,7 \pm 0,2 ^b	27,8 \pm 0,5 ^a	55,6 \pm 0,5 ^b

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

En la figura 11, están representadas las coordenadas $L^*a^*b^*$. La luminosidad es mayor en el caso de la galleta control que en el resto, al igual que ocurría con las masas. En cuanto a la coordenada a^* , todos los valores son positivos por lo que contienen color rojo, además, tienen valores similares entre ellas. Los valores de la coordenada b^* son también positivos, por lo que las galletas contienen color amarillo, no obstante, el valor de la galleta control es mucho más elevado que las del resto.

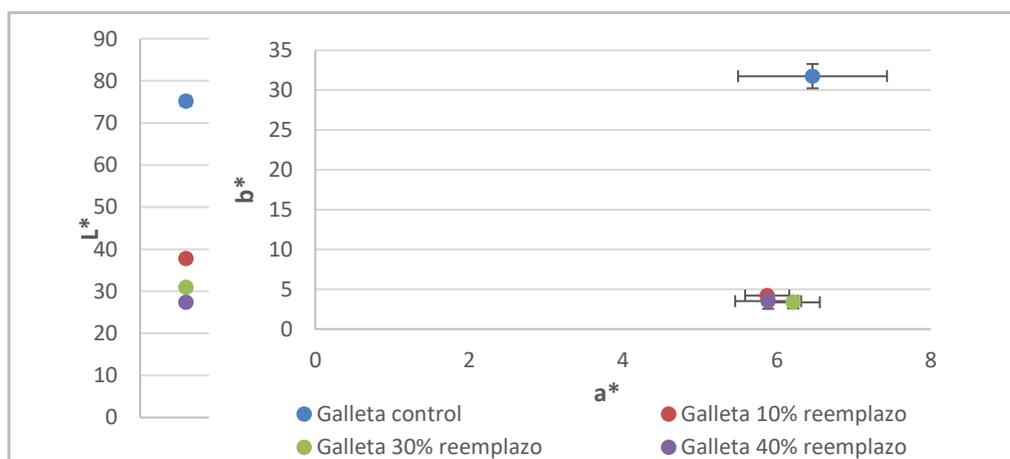


Figura 11. Coordenadas $L^*a^*b^*$ de las galletas con diferentes porcentajes de reemplazo de harina por polvo de arándano.

En la tabla 13, se presentan los valores de C^* y h^* para las galletas horneadas. Por lo que respecta al croma, existen diferencias entre las galletas, a excepción de los porcentajes de 30 y 40 que presentan valores similares. Como en el caso anterior, la galleta control presenta más saturación que el resto. En el caso del tono, existen diferencias significativas, la galleta control se acerca a los tonos amarillos, mientras que el resto se encuentra más cerca de la tonalidad roja. En la tabla 14, se muestran las diferencias de color respecto a la galleta control y, como en el caso anterior, existen diferencias entre la galleta con un 10% de reemplazo y los dos restantes que presentan valores similares, teniendo estas dos últimas una mayor diferencia de color global.

Tabla 13. Parámetros de color C* y h* de las galletas. Media ± desviación estándar.

	C*	h*
Galletas 0%	32,4±1,7 ^c	78,54±1,16 ^a
Galletas 10%	7,2±0,3 ^b	35,61±1,19 ^b
Galletas 30%	7,10±0,05 ^a	28±7 ^c
Galletas 40%	6,9±0,8 ^a	30±6 ^d

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 14. Diferencia coordenadas L*a*b* respecto la galleta 0%. Media ± desviación estándar.

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
Galletas 10%	37,4±0,9 ^a	0,6 ±0,8 ^a	27,6±1,4 ^b	46,5±0,4 ^a
Galletas 30%	44,2 ±0,4 ^b	0,3± 0,9 ^b	28,4±1,8 ^a	52,6±0,6 ^b
Galletas 40%	47,79 ±1,18 ^b	0,6±1,1 ^b	28,3±1,7 ^a	55,6±0,5 ^b

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

Por último, tras hornear las galletas, la saturación aumenta y el tono se ha desplazado a la región entre los tonos rojos y amarillos. En cuanto a la diferencia de color global, no se observan valores similares antes y después del horneado.

Propiedades mecánicas

La tabla 15 muestra la Fuerza (N) que ejerció el punzón para fracturar las masas y las galletas.

En el caso de las masas, existen diferencias entre ellas y se observa como a medida que se añade más polvo de bagazo de arándano seco, la fuerza necesaria para atravesar la muestra es menor. Por el contrario, una vez horneadas, la fuerza para romper la galleta con el mayor porcentaje resultó ser la más elevada. Por tanto, se obtiene una masa más blanda que al hornear se vuelve más dura. Estos efectos son consecuencia de la disminución del contenido de gluten al sustituir parte de la harina de trigo por polvo de arándano.

Tabla 15. Fuerzas de fractura de las masas y galletas con diferentes porcentajes de reemplazo. Media ± desviación estándar.

	Fuerza (N)		Fuerza (N)
Masa 0%	1,78±0,04 ^c	Galleta 0%	18±5 ^a
Masa 10%	1,19±0,04 ^b	Galleta 10%	34±6 ^b
Masa 30%	1,087±0,018 ^b	Galleta 30%	42±5 ^{bc}
Masa 40%	0,95±0,08 ^a	Galleta 40%	53±7 ^c

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

4.9. Análisis sensorial

Los resultados del análisis sensorial se encuentran en la tabla 16 y en la figura 12. Empezando por el aspecto global, la galleta con un 10% de reemplazo presenta diferencias con el resto, siendo la que menos gustó a los catadores. Lo mismo ocurre con el color, la galleta control es la más valorada mientras que la del 10% obtuvo la puntuación más baja. Por lo que respecta al aroma, la galleta control y la galleta con un 40% de reemplazo fueron puntuadas de forma similar, obteniendo una mayor puntuación que las dos restantes. En cuanto a la textura del producto, no existen diferencias significativas, a pesar de ello, la galleta control fue la mejor valorada seguida de la galleta con un 40% de reemplazo. Tampoco existen diferencias significativas para la textura en boca, pero en este caso la galleta que más gustó fue la que tiene un reemplazo del 30%, ocurriendo lo mismo con el sabor y el dulzor. Respecto a la acidez, existen diferencias entre alguna de las formulaciones y en este caso es la galleta del 10% la que mayor puntuación obtuvo. Por último, no se han dado diferencias en la aceptación global de las galletas, no obstante, es la galleta con un 30% de reemplazo la que mayor puntuación recibió.

Tabla 16. Resultados del análisis sensorial de las galletas con diferentes porcentajes de reemplazo. Media± desviación estándar.

	Porcentajes de reemplazo de harina por polvo de arándano			
	0%	10%	30%	40%
Aspecto global	7,2±1,6 ^b	5,0±2,1 ^a	6,6±1,5 ^b	6,7±1,9 ^b
Color	7,2±1,6 ^b	5±2 ^a	6±2 ^b	6±2 ^b
Aroma	6,9±1,7 ^b	5,7±1,8 ^a	6,0±1,8 ^a	6,1±1,7 ^{ab}
Textura producto	7,2±1,3 ^a	6,35±1,7 ^a	6,6±1,7 ^a	6,7±1,9 ^a
Textura en boca	6,7±1,5 ^a	6,6±1,6 ^a	7,3±1,5 ^a	7,1±1,7 ^a
Sabor	6,3±1,7 ^a	6,4±1,9 ^a	6,9±1,8 ^a	6±2 ^a
Dulzor	6,1±1,9 ^a	6,5±1,9 ^a	7,0±1,8 ^a	6±2 ^a
Acidez	6,9±1,7 ^b	7,1±1,3 ^b	6,8±1,7 ^{ab}	6±2 ^a
Aceptación global	6,5±1,8 ^a	6,4±1,4 ^a	6,9±1,8 ^a	6,3±1,9 ^a

Letras distintas indica diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.

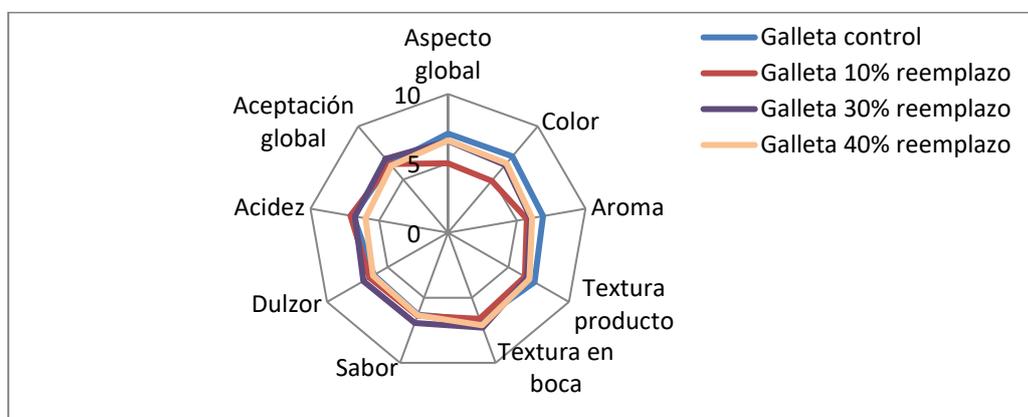


Figura 12. Características evaluadas en el análisis sensorial de las galletas.

5. CONCLUSIONES

Los problemas medioambientales asociados a la alta producción de residuos agroalimentarios junto con las propiedades funcionales (contenido en fibra y propiedades antioxidantes) del bagazo de arándano, ponen de manifiesto el interés de un polvo de arándano para su uso como ingrediente en la formulación de alimentos.

El secado por aire caliente a 70°C del bagazo fresco seguido por un triturado, permitió obtener un producto de características adecuadas, tanto en lo que respecta a su conservación como a sus propiedades antioxidantes.

La intensidad de la operación de triturado y en consecuencia el tamaño de partícula del polvo final afecta de manera significativa al contenido en fibra. Estas dos características (tamaño de partícula y contenido en fibra) resultaron relevantes en todas las propiedades de interacción con el agua y las grasas, así como también en las propiedades antioxidantes.

En general, los valores obtenidos para todas las propiedades analizadas hacen recomendable el uso del polvo para su aplicación en formulaciones alimentarias sólidas y no para zumos o bebidas y en todos los casos la granulometría gruesa resulta más favorable.

El reemplazo de un 30% o un 40% de harina de trigo por polvo de arándano de granulometría gruesa en la formulación de galletas, afectó de manera significativa el color y la textura, haciendo las galletas ligeramente más duras y de un color morado intenso. Sin embargo, ambas galletas presentaron una buena aceptación por parte del consumidor, que en términos globales prefirió las galletas con un 30% de reemplazo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC Official Method 934.06 Moisture in Dried Fruits. *JAOAC* 17, 215(1934); 18, 80(1935).
- Argyropoulos, D., Alex, R., Kohler, R., & 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-Food science and technology*, 47(2), 324-331.
- Arnao, M.B. (2000). Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: A practical case. *Trends in Food Science & Technology*, 11: 419-421.
- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimización de la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides. *Scientia Agropecuaria*, 7(SPE), 191-200.
- Ayala-Zavala, J.F., Vega-Vega, V., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodriguez, J.A., Wasim Siddiqui, Md., Dávila-Aviña, J.E. González-Aguilar, G.A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866-1874.
- Aznar, M., Martínez, N., Agudelo. (2014). Optimización de las condiciones de almacenamiento y rehidratación del pomelo liofilizado trabajo fin de grado en ciencia y tecnología de los alimentos. Trabajo de final de grado Ciencia e Tecnología de los Alimentos en Universitat Politècnica de València.
- Balaguer, R. E., Gil, L. S., & Puigdollers, C. B. (2015). *Uso de azúcares de caña no refinados en la formulación de un producto de cacao soluble con propiedades antioxidantes mejoradas*. Trabajo de final de máster Ciencia e Ingeniería de los Alimentos en Universitat Politècnica de València.

- Berton, B., Scher, J., Villieras, F., & Hardy, J. (2002). Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics. *Powder Technology*, 128(2), 326-331.
- Betoret, E., Calabuig-Jiménez, L., Barrera, C., & Dalla Rosa, M. (2016). Sustainable Drying Technologies for the Development of Functional Foods and Preservation of Bioactive Compounds. In *Sustainable Drying Technologies*. InTech.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Cai, Y.Z.;Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65 (7):1248-1252.
- Cappa, C., Lavelli, V., & Mariotti, M. (2015). Fruit candies enriched with grape skin powders: physicochemical properties. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 569-575.
- Castagnini, J. M. (2014). *Estudio del proceso de obtención de zumo de arándanos y su utilización como ingrediente para la obtención de un alimento funcional por impregnación a vacío*. Tesis Doctoral en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València.
- Cerda-Tapia, A., de Lourdes Pérez-Chabela, M., Pérez-Álvarez, J. Á., Fernández-López, J., & 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.
- 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.
- Chantaro, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1987-1994.
- Correia, R., Grace, M. H., Esposito, D., & Lila, M. A. (2017). Wild blueberry polyphenol-protein food ingredients produced by three drying methods: Comparative physico-chemical properties, phytochemical content, and stability during storage. *Food Chemistry*, 235, 76-85.
- Davey, M. W., Montagu, M. V., Inzé, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., ... & Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825-860.
- de Escalada Pla, M. F., González, P., Sette, P., Portillo, F., Rojas, A. M., & 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.
- De-León-Jaén, S. C., Ovadía-Rosenfeld, L., Vásquez-Delgado, L. R., & Fainsod-Aronowitz, T. (2009). El arándano y su aplicación en urología. *Rev Mex Urol*, 69(3), 104-107.
- 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.

- Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J.M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Pérez-Alvarez, J.A. (2004). Application of functional citrus byproducts to meat products. *Trends Food Science and Technology*, 15, 176-185.
- 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.
- Fuentes-Alventosa, J. M., Rodríguez-Gutiérrez, G., Jaramillo-Carmona, S., Espejo-Calvo, J. A., Rodríguez-Arcos, R., Fernández-Bolaños, J., ... & Jiménez-Araujo, A. (2009). Effect of extraction method on chemical composition and functional characteristics of high dietary fibre powders obtained from asparagus by-products. *Food Chemistry*, 113(2), 665-671.
- 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), 1014-1024.
- García, J.C.; García, G.; Ciordia, M. (2010). Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. Dirección URL: <<http://www.serida.org/pdfs/5566.pdf>>. [Consulta: 21 de Junio 2017]
- García, J.C.G.G. (2005). Orientaciones para el cultivo del arándano. *Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA)*, 32.
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 48(10), 4581-4589.
- Giusti MM, Wrolstad RE (2001) Anthocyanins. Characterization and measurement with UV visible spectroscopy. In: *Current protocols in food analytical chemistry*, wrolstad RE (ed). JohnWiley & Sons, New York, USA, pp. 1–13
- Greenspan, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of research of the national bureau of standards*, 81(1), 89-96.
- ISO. (1997). ISO 1743:1982. Glucose syrup determination of dry matter content. Refractive index method. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- 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.
- Kethireddipalli, P., Hung, Y. C., McWatters, K. H., & 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.
- La Torre, E. G., & Pascual, G. (2016). Caracterización de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) en polvo e inclusión en una formulación panaria. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S776-S778.
- Lario, Y., Sendra, E., Garcí, J., Fuentes, C., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(1), 113-117.
- Larrauri, J. A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 10(1), 3-8.
- Liapis, A. I., Pim, M. L., & Bruttini, R. (1996). Research and development needs and opportunities in freeze drying. *Drying technology*, 14(6), 1265-1300

- Lin, T.M., Durance, T.D., Scaman, C.H., (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Res. Int.* 31 (2), 111e117.
- Mafart, P., 1991. Food industry engineering. In: Physical processes involved in conservation: Technique et Documentation Lavoisier.
- Martínez Monzó, J., & García Segovia, P. (2005). *Nutricion humana*. Alfaomega. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Martínez Navarrete, N. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez-Las Heras, R., Landines, E. F., Heredia, A., Castelló, M. L., & Andrés, A. Influence of drying process and particle size of persimmon fibre on its physicochemical, antioxidant, hydration and emulsifying properties. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11.
- MERTENS, D.R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *J. Assoc. Off. Assoc. Chem. Int.* 85: 1217-1240.
- Michalska, A., & Łysiak, G. (2015). Bioactive compounds of blueberries: Post-harvest factors influencing the nutritional value of products. *International journal of molecular sciences*, 16(8), 18642-18663.
- Michalska, A., Wojdyło, A., Lech, K., Łysiak, G. P., & Figiel, A. (2016). Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food chemistry*, 207, 223-232.
- Mimouni, A., Deeth, H. C., Whittaker, A. K., Gidley, M. J., & Bhandari, B. R. (2009). Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1958-1965.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.<
<<http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos>> [Consulta: 8 Julio 2017]
- Mirabella, N., Castellani, V., Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner production*, 65: 28-41.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 26(2), 211-219.
- Neacsu, M., Vaughan, N., Raikos, V., Multari, S., Duncan, G. J., Duthie, G. G., & Russell, W. R. (2015). Phytochemical profile of commercially available food plant powders: their potential role in healthier food reformulations. *Food chemistry*, 179, 159-169.
- Norma UNE-ISO 4121:2006 Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas. 2014-01-20
- Norma UNE-ISO 8587:2010. Análisis sensorial. Metodología. Ordenación.2010-05-12
- Payet, B., Shum Cheong Sing, A., & Smadja, J. (2005). Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: determination of their polyphenolic and volatile constituents. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(26), 10074-10079.
- Raghavendra SN, Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Tharanathan RN (2004) Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *Eur Food Res Technol* 218:563–567

- 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), 281-286.
- Ramírez, A., & Pacheco de Delahaye, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4).
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of food engineering*, 49(4), 311-319.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9), 1231-1237.
- Robertson JA, Monredon FD, 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
- Routray, W., & Orsat, V. (2011). Blueberries and their anthocyanins: factors affecting biosynthesis and properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(6), 303-320.
- Rufino, M. D. S. M., Alves, R. E., de Brito, E. S., de Moraes, S. M., Sampaio, C. D. G., Pérez-Jimenez, J., & Saura-Calixto, F. D. (2007). Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS^{•+}. *Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*.
- S. Brunauer, L.S. Deming, W.E. Deming, E. Troller (1940) On the theory of Van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*, 62, pp. 1723-1732
- 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.
- Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 978-986.
- Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2004). Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food Research International*, 37(1), 66-74.
- Šarić, B., Mišan, A., Mandić, A., Nedeljković, N., Pojić, M., Pestorić, M., & Đilas, S. (2016). Valorisation of raspberry and blueberry pomace through the formulation of value-added gluten-free cookies. *Journal of food science and technology*, 53(2), 1140-1150.
- Scheel, C. (2016). Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner production*, 131(10), 376-386.
- Seguí, L., Calabuig-Jiménez, L., Betoret, N., & Fito, P. (2015). Physicochemical and antioxidant properties of non-refined sugarcane alternatives to white sugar. *International journal of food science & technology*, 50(12), 2579-2588.
- 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.

- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., & 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.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299, 152-178.
- Sormoli, M. E., & Langrish, T. A. (2015). Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 875-882.
- Stratil, P., Klejdus, B., & Kubáň, 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(3), 607-616.
- Thebaudin JY, Lefebvre AC, Harrington M, Bourgeois CM. 1997. Dietary fibers: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology* 8: 41-48.
- Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Harrington, M., & Bourgeois, C. M. (1997). Dietary fibres: nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8(2), 41-48.
- Vergara-Valencia, N., Granados-Pérez, E., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Ruales, J., & Bello-Pérez, L. A. (2007). Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *LWT-Food Science and Technology*, 40(4), 722-729.
- Wolf, W., Spiess, W. E. L., Jung, G. (1985). Standardization of Isotherm Measurements (Cost Project 90 and 90 bis). En: Simatos, D., Multon, J. L. (eds). *Properties of Water in Foods*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, 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.
- Wu-Ng, Y., Benlloch-Tinoco, M., García-Martínez, E., & Martínez-Navarrete, N. (2013). *Impacto de la adición de carboximetilcelulosa en la calidad de kiwi en polvo obtenido por liofilización y atomización*. Trabajo de final de máster en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos en Universitat Politècnica de València.
- 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.
- Yang, J., Chen, J.F., Zhao, Y.Y., Mao, L.C., 2010. Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. *Agric. Sci. China* 9 (10), 1522e1529.
- 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), 719-727.
- Yu, L., Haley, S., Perret, J., & Harris, M. (2002). Antioxidant properties of hard winter wheat extracts. *Food chemistry*, 78(4), 457-461.
- Zoric, Z., Dragovic-Uzelac, V., Pedisic, S., Kurtanjek, Z., & Garofulic, I. E. (2014). Kinetics of the degradation of anthocyanins, phenolic acids and flavonols during heat treatments of freeze-dried sour cherry Marasca paste. *Food Technology and Biotechnology*, 52(1), 101.

ANEXO

Ficha de Cata Galletas

Muestra nº _____

Fecha

Edad
galletas?

Sexo

¿Con que frecuencia consume

- < 20 años
 20-30 años
 31-45 años
 45-65 años
 > 65 años

- Hombre
 Mujer

- Todos los días
 Varias veces a la semana
 Una vez a la semana
 Una vez al mes
 Esporádicamente
 Nunca

A continuación se le va a presentar galletas a las que se les ha añadido arándano en su formulación. Evalúe los atributos que aparecen a continuación en una escala del 1 al 9, siendo el 1 “No me gusta nada” y el 9 “me gusta mucho”.

Evalúe utilizando la vista y el olfato

1. ¿Le gusta el aspecto global del producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

2. ¿Le gusta el color del producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

3. ¿Le gusta el aroma del producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

--

Evalúe utilizando el tacto (puede usar los dedos para romper la galleta)

4. ¿Le gusta la textura/crujencia del producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

Pruebe el producto en boca y evalúe los siguientes atributos

5. ¿Le gusta la textura/crujencia del producto en boca?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

6. ¿Le gusta el sabor del producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

7. ¿Le gusta el grado de dulzor del producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

8. ¿Le gusta el grado de acidez del producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

9. Aceptación global ¿le gusta el producto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:

10. Si encontrara este producto en el supermercado, ¿lo compraría?

11. Si supiera que este producto es más saludable que el producto tradicional ya que posee propiedades antioxidantes, ¿estaría dispuesto a comprarlo en lugar del que compra habitualmente?

12.Cuál de los productos presentados le ha gustado más

Gracias por su participación