

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

EFFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y DEL ALMACENAMIENTO EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE UN PRODUCTO EXTRUIDO DE HARINA DE MAÍZ Y CHONTADURO (*Bactris gasipaes H.B.K*)

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS

Juana Rubira Martínez

Tutora: Eva María García Martínez

Tutora experimental: Claudia Agudelo Sterling

Curso 2017/2018

Julio 2018, Valencia

RESUMEN:

EFFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y DEL ALMACENAMIENTO EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE UN PRODUCTO EXTRUIDO DE HARINA DE MAÍZ Y CHONTADURO (*Bactris gasipaes* H.B.K)

La extrusión es un proceso tecnológico versátil y de bajo coste empleado en la industria alimentaria para la elaboración de distintos alimentos, entre ellos los productos tipo snack. La mayoría de estos productos están elaborados a partir de materias primas ricas en almidón, como el maíz o el trigo, y suelen caracterizarse por un bajo valor nutricional en términos de vitaminas, minerales, aminoácidos y fibra. En este sentido, incorporar fruta en este tipo de productos extruidos puede mejorar su calidad nutricional y su atractivo de cara al consumidor. El chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) es un fruto tropical atípico por ser rico en proteínas y grasa, además de destacar por su contenido en minerales, vitaminas y compuestos fitoquímicos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar los principales compuestos bioactivos (fenoles totales, vitamina C y carotenoides) y la actividad antioxidante de un producto extruido obtenido utilizando como materias primas harina de chontaduro y harina de maíz (25:75, p/p). El producto extruido se acondicionó en cámaras con humedades relativas (HR) entre 10 y 75 % hasta alcanzar el equilibrio con las mismas. Se calculó la isoterma de sorción de agua del producto y se estudió la evolución de los compuestos bioactivos y de la capacidad antioxidante a los 2 y a los 4 meses de almacenamiento a partir del equilibrio en cada una de las HR, a temperatura ambiente, con el fin de establecer las mejores condiciones que permitan mantener las características funcionales del producto estables durante el tiempo. Los resultados mostraron que la harina de chontaduro presentó un alto contenido en compuestos fenólicos (105 mg ácido gálico/100 g base seca (bs)), vitamina C (49 mg ácido ascórbico/100g bs) y carotenoides (5,8 mg β -Caroteno /100g bs). Por su parte el producto extruido presentó 59 mg ácido gálico/100 g bs y 32 mg ácido ascórbico/100g bs, lo que contribuyó a su capacidad antioxidante (0,225 mmol Trolox/100 g bs para DPPH y 0,503 mmol Trolox/100 g bs, para FRAP), significativamente ($p < 0,05$) mayor que la presentada por las harinas. En todos los casos, la fracción hidrosoluble de las muestras presentó mayor ($p < 0,05$) actividad antioxidante que la fracción liposoluble, siendo los compuestos fenólicos los que mejor se correlacionaron estadísticamente con la misma. En conclusión, la incorporación de harina de chontaduro al producto extruido de maíz es una buena opción para el desarrollo de snacks de buena calidad nutricional y funcional. En cuanto a los cambios producidos durante el almacenamiento, en general se observó una disminución de los compuestos bioactivos y de la actividad antioxidante al aumentar la a_w y el tiempo. Los compuestos fenólicos fueron los que se mantuvieron más estables. Para garantizar la calidad funcional del producto se recomienda su almacenamiento en humedades relativas inferiores a 43%, conservándose a temperatura ambiente, hasta 4 meses desde su envasado.

PALABRAS CLAVES: Extrusión; chontaduro; compuestos fenólicos; vitamina C; carotenoides; actividad antioxidante; almacenamiento.

ABSTRACT:

EFFECT OF RELATIVE HUMIDITY AND STORAGE IN THE BIOACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF AN EXTRUDED PRODUCT OF CORN FLOUR AND PEACH PALM FRUIT (*Bactris gasipaes* H.B.K).

Extrusion is a versatile and low-cost technological process used in the food industry for the preparation of foods, including snack products. Most of these products are made from raw materials rich in starch, such as corn or wheat, and are usually characterized by a low nutritional value in terms of vitamins, minerals, amino acids and fibre. In these sense, incorporating fruit in this type of extruded products can improve its nutritional quality and its attractiveness to the consumer. Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) is an atypical tropical fruit because it is rich in proteins and fat, as well as in minerals, vitamins and phytochemicals. The objective of this work was to characterize the main bioactive compounds (total phenols, vitamin C, carotenoids) and the antioxidant capacity of an extruded product obtained using chontaduro and corn flour as raw materials (25:75, w/w). The extruded product was conditioned in chambers with relative moisture (RM) between 10 and 75% until reaching equilibrium. The water sorption isotherm of the product was calculated and the evolution of the bioactive compounds and antioxidant capacity for 2 and 4 months of storage was studied from the equilibrium at each RM, at room temperature, in order to establish the best conditions that allow to maintain the functional characteristics of the product stable over time. The results showed that chontaduro flour had a high content of phenolic compounds (105 mg gallic acid / 100 g dry basis (db)), 49 mg ascorbic acid / 100 g db and carotenoids (5.8 mg β -Carotene / 100 g db). Moreover, the extruded product presented 59 mg gallic acid / 100 g phenolic db and 32 mg ascorbic acid / 100 g db, which contributed to its antioxidant capacity (0.225 mmol Trolox / 100 g bs for DPPH and 0.503 mmol Trolox / 100 g bs , for FRAP), significantly ($p < 0.05$) higher than that presented by the flours. In all cases, the water-soluble fraction of the samples showed higher ($p < 0.05$) antioxidant capacity than the fat-soluble fraction, with phenolic compounds being the ones that correlated better statistically with it. In conclusion, the incorporation of chontaduro flour to the corn extruded product is a good option for the development of snacks of good nutritional and functional quality. In respect of changes during storage, a decrease in the bioactive compounds and the antioxidant capacity was observed with increasing a_w and time. The phenolic compounds were the ones that remained more stable. To guarantee the functional quality of the product, it is recommended to store it at relative humidities below 43%, keeping it at room temperature, up to 4 months since its packaging.

KEYWORDS: Extrusion; chontaduro; phenolic compounds; vitamin C; carotenoids; antioxidant capacity; storage.

DEDICTORIAS Y AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo se lo dedico a mi familia, sobre todo a mis padres ya que han hecho un gran esfuerzo para que pudiera realizar estos cuatro años de Grado, además del gran apoyo incondicional que he tenido por parte de ellos en aquellos momentos donde veía que todo iba mal.

Por otra parte, agradezco enormemente el gran esfuerzo realizado por mi tutora, Eva García, y mi cotutora, Claudia Aguledo. Gracias a ellas he podido realizar este Trabajo Fin de Grado, donde la ayuda de ambas ha sido crucial para que este trabajo saliera a la perfección.

Por último, agradecer a mis compañeros de clase por estar presente en esta etapa.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	08
2. OBJETIVOS.....	13
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
3.1. MATERIA PRIMA.....	14
3.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	14
3.3. EXPERIMENTOS DE SORCIÓN.....	14
3.4. ANÁLISIS.....	16
3.4.1. Humedad.....	16
3.4.2. Análisis de compuestos funcionales.....	16
3.4.2.1. Fenoles totales (FT).....	16
3.4.2.2. Compuestos carotenoides (β -caroteno y licopeno).....	16
3.4.2.3. Vitamina C (VC).....	17
3.4.3. Análisis de la actividad antioxidante.....	17
3.4.3.1. Método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo).....	17
3.4.3.2. Método FRAP.....	18
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1. CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO EXTRUIDO.....	19
4.2. COMPORTAMIENTO DE SORCIÓN DEL PRODUCTO EXTRUIDO.....	22
4.3. CAMBIOS EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DURANTE EL ALMACENAMIENTO.....	26
5. CONCLUSIONES.....	31
6. REFERENCIAS.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Actividad del agua de equilibrio de las disoluciones salinas sobresaturadas seleccionadas a 20 °C.....	16
TABLA 2. Valores medios y desviación estándar del contenido en fenoles totales (FT), vitamina C (VC), β -caroteno y licopeno de las harinas de chontaduro (HC) y de maíz (HM) y del producto extruido.....	19
TABLA 3. Parámetros de los modelos de BET, GAB y Caurie ajustados a los datos experimentales obtenidos para el producto extruido.....	24
TABLA 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos fenólicos (TF) y la vitamina C (VC) y la actividad antioxidante (AAO).....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Fruto del chontaduro (<i>Bactris Gasipaes</i>).....	06
FIGURA 2. Partes del fruto de Chontaduro (<i>Bactris Gasipaes</i>).....	06
FIGURA 3. Partes de un extrusor monohusillo.....	10
FIGURA 4. Capacidad antioxidante total de las muestras de harinas de chontaduro (HC) y maíz (HM) y del producto extruido, medida por el método DPPH.....	21
FIGURA 5. Capacidad antioxidante total de las muestras de harinas de chontaduro (HC) y maíz (HM) y del producto extruido, medida por el método FRAP.....	22
FIGURA 6. Isotherma de sorción del producto extruido, Datos experimentales del contenido de agua en el equilibrio en base seca (w_{ebs}) a cada actividad del agua (a_w).....	23
FIGURA 7. Datos experimentales (EXP) del contenido de agua en el equilibrio en base seca (w_{ebs}) a cada actividad del agua (a_w). Datos ajustados (GAB) al modelo de GAB.....	25

FIGURA 8. Contenido de fenoles totales (FT: mg ácido gálico/100 g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento.....26

FIGURA 9. Contenido de Vitamina C (VC: mg ácido ascórbico/100 g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento.....27

FIGURA 10. Actividad Antioxidante total (DPPH: mmol trolox equivalente (TE)/100g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento.....28

FIGURA 11. Actividad Antioxidante total (FRAP: mmol trolox equivalente (TE)/100g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento.....28

1. INTRODUCCIÓN

El chontaduro, *Bactris Gasipaes* (Figura 1), es un fruto procedente de una planta tropical de América Latina, concretamente, del Litoral Amazónico (Restrepo y Estupiñan, 2007). Puede recibir distintos nombres según la región en la que se encuentre. El primer nombre que recibió fue el de “pijibaye” en Perú, “tembe” en Bolivia, “pupunha” en Brazil y “chontaduro” en Colombia (Restrepo et al., 2012).

La altura de la palmera de chontaduro es de más de 20 m. Es una planta monocotiledónea, con flores masculinas y femeninas en el mismo racimo (Restrepo y Estupiñan, 2007). El fruto tiene un tamaño de 2 a 7 cm de largo y presenta una forma ovoide, cilíndrica, cónica o achatada, la cual está envuelta por un epicarpio delgado. El fruto es una drupa, con una única semilla, que se encuentra cubierto de una capa amilácea que puede ser de diferentes colores. El 92% del fruto corresponde a la piel y la pulpa, mientras que el 8% restante pertenece a la semilla. El peso del fruto se encuentra alrededor de 20 y 100 g, dependiendo de la variedad (Martínez-Girón et., 2017).



Figura 1. Fruto del chontaduro (*Bactris Gasipaes*). Imagen tomada de Castillo, 2006.

En la Figura 2 se observa que la morfología del fruto está compuesta por brácteas, pericarpio, mesocarpio y la nuez, en su interior contiene una cápsula blanca que recuerda al coco (Restrepo y Estupiñan, 2007).

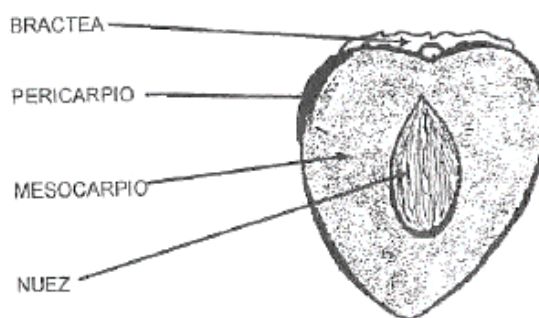


Figura 2. Partes del fruto de Chontaduro (*Bactris Gasipaes*). Imagen tomada de Reyes et al., 1997.

El chontaduro se considera un alimento muy completo por su importante valor nutricional, funcional y energético (Martínez-Girón et al., 2017; Restrepo y Estupiñán, 2007), contiene alrededor de 38% en carbohidratos, 52% agua, 5% grasa, 3% proteínas, 1,5% fibra, 23 mg calcio, 47 mg fósforo y 0,7% hierro (Daza et al., 2015). Aunque el valor nutricional depende de la variedad de chontaduro, en todas ellas se puede encontrar un elevado contenido de almidón, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados (ácido oleico) y poliinsaturados (linoleico y linolénico). Especialmente es destacable la proteína de elevada calidad que presenta, ya que aporta a la dieta siete de los ocho aminoácidos esenciales (Rojas-Garbanzo et al., 2011; López-Calvo et al., 2015). A su vez presenta un elevado valor energético debido al alto contenido en almidón y grasa, aportando alrededor de 185 calorías/100 g. Además de sus excelentes propiedades nutritivas, el chontaduro también presenta propiedades funcionales destacadas debido a su relevante contenido en compuestos antioxidantes, principalmente micronutrientes como hierro, calcio, fósforo, zinc y vitaminas A, E y C, carotenoides (Jatunoy et al., 2010) y compuestos fenólicos (Contreras et al., 2011; Rojas-Garbanzo et al., 2016). Estas sustancias se ha comprobado que actúan beneficiosamente en algunas funciones del organismo, y ejercen un papel preventivo en la aparición de enfermedades relacionadas con el daño oxidativo, asociándose con un descenso en el desarrollo de distintos procesos crónicos, como enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, algunos desordenes neurológicos, ciertos procesos inflamatorios y distintos tipos de cáncer.

Aunque sus propiedades nutritivas son conocidas, el procesado de chontaduro todavía no se ha extendido ya que los diversos productos obtenidos de manera tradicional partir de este fruto no han sido promovidos, siendo su consumo restringido principalmente a las comunidades indígenas, ya que los vínculos entre los agricultores y la industria alimentaria a día de hoy en muchos países de América Latina son prácticamente inexistentes (Graefe et al., 2013). El chontaduro puede consumirse directamente en crudo aunque lo más habitual es consumirlo hervido con sal. Tradicionalmente es utilizado para la producción de conservas, mermeladas, bebidas fermentadas, nutrición animal, extracción de aceites o incluso para cosmética (Graefe et al., 2013; Restrepo et al., 2012). También puede ser secado y transformado en harina, la cual puede emplearse para la elaboración de productos de panadería, pastelería, pasta... Dadas las características nutricionales, funcionales y sensoriales comentadas anteriormente el chontaduro es una materia prima potencial para la elaboración de nuevos productos que generen valor añadido y que permitan el aprovechamiento de todas sus propiedades. En este sentido es necesario evaluar métodos alternativos para su transformación que garanticen la conservación de sus propiedades funcionales y la estabilidad de sus componentes para que puedan ser efectivas sus aplicaciones industriales.

En la industria alimentaria una de las técnicas que permite la mayor conservación de los alimentos es la deshidratación, basada en la reducción de la actividad del agua (a_w) del alimento, ralentizando los procesos de deterioro causados especialmente por agentes químicos y microbiológicos. La deshidratación conlleva a un apreciable cambio en las propiedades morfogeométricas del alimento, con la consecuente reducción del peso y del volumen del producto, lo que facilita su transporte y almacenamiento. De igual forma provoca una serie de cambios relacionados con sus propiedades nutricionales, reológicas, organolépticas, ópticas y texturales (Bennett et al., 2011). Un método versátil y eficiente utilizado en alimentos para la obtención de productos deshidratados es la extrusión (Alam et al., 2016). La extrusión es un proceso termomecánico por medio del cual, materiales que contienen biopolímeros (almidones) son plastificados y cocidos por la acción combinada de presión, calor y esfuerzo de corte,

forzándolos a pasar por una boquilla. En la actualidad, al extrusor se le considera un biorreactor de alta temperatura y corto tiempo de residencia, que transforma una amplia variedad de materias primas en productos intermedios y/o productos finales como, por ejemplo, pastas, cereales para el desayuno, galletas, alimentos infantiles, alimentación animal, etc (Pardeshi y Chattopadhyay, 2014; Pawar et al., 2014; Moscicki y Zuilichem, 2011; Eastman et al., 2001).

Dentro de las ventajas que aporta la extrusión se encuentran la alta capacidad de procesado en continuo y eficiencia energética, el procesado de materiales relativamente deshidratados y viscosos, la mejora de las características de textura y sabor de los alimentos, su bajo coste, la amplia variedad de formas que puede tener el producto final, la producción de nuevos productos alimenticios de elevada calidad, la prolongación de la vida útil por destrucción microbiana e inactivación enzimática (Chakraborty et al., 2009; Chang et al., 2001). No obstante, las reacciones químicas que tienen lugar durante la extrusión podrían modificar las propiedades funcionales de los alimentos, lo cual puede afectar los nutrientes y fitoquímicos presentes. (Ainsworth, 2011; Alam et., al 2015; Castells et al., 2005).

En la industria alimentaria se puede encontrar dos tipos de extrusores, siendo el más común el extrusor monohusillo o de tornillo único, donde el tornillo está formado por una única pieza y que se diferencia de la de doble husillo por el grado de corte y la fuente de calor (Riaz, 2000). Las partes de un extrusor monohusillo (Figura 3) son: el sistema de pre-acondicionamiento, la matriz, el tornillo, el sistema de alimentación, el barril, y el mecanismo de corte (Navale et., al 2015).

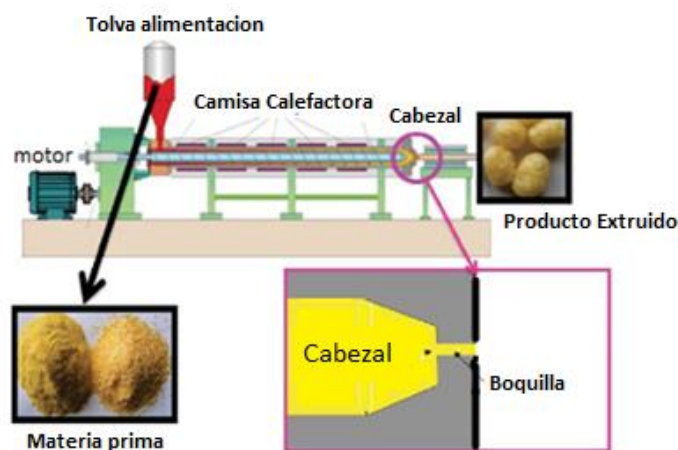


Figura 3. Partes de un extrusor monohusillo. Imagen tomada de Nor, 2012.

Los factores más importantes en la transformación por extrusión, y que por tanto contribuyen al rendimiento, son el cizallamiento, la temperatura a la que se encuentra el cilindro, la velocidad de alimentación y del tornillo, la configuración en la que se encuentra dicho tornillo y el cilindro, el grado de apertura del molde y la humedad del producto a extruir. Esta última es uno de los factores más críticos ya que está relacionado con la gelatinización del almidón, el tamaño de partícula (Gómez y Aguilera, 1984) y la composición del alimento (Navale et al., 2015). Hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea la temperatura empleada, los productos estarán más expandidos y por tanto su humedad será más reducida (Muthukumarappan y Karunanithy, 2012). En

el caso de la composición de la materia prima, esta influye en la calidad del producto final según la proporción de almidón, proteína, lípidos/grasas y fibra que contenga. Por lo que suelen ser utilizados almidones y materias primas proteicas para llevar a cabo el proceso de extrusión.

Esta técnica permite la elaboración de una gran variedad de productos tipo snack. Los snacks, por definición, son productos alimenticios que se consumen en un periodo de tiempo corto, fuera del horario normal de alimentación. Su forma de consumo es sencilla, no requieren de una preparación previa o de utensilios y por lo general, cuentan con presentaciones portátiles que permiten su disponibilidad y transporte (Pineda, 2017). Estos productos son muy apreciados especialmente por los consumidores que debido al acelerado ritmo de vida actual, buscan productos listos para comer fuera de casa en horarios diferentes a los de las comidas principales. La demanda de este tipo de productos alimenticios va aumentando progresivamente (Clemenzt y Del Moro, 2011). No obstante, estos productos suelen relacionarse con la denominada “comida basura”, por su elevado contenido en carbohidratos y grasa. Por ello incorporar fruta en este tipo de productos puede mejorar su calidad nutricional y atractivo para el consumidor, cada vez más interesado en incorporar en su dieta alimentos nutritivos que proporcionen compuestos con beneficios para la salud (Brennan et., al 2013). En esta línea, el reto de la industria es desarrollar nuevas alternativas para satisfacer estas necesidades del consumidor, y de ahí la tendencia de producir snacks más saludables, seleccionando materias primas más naturales que tengan beneficios nutricionales, como alto porcentaje proteico, bajo contenido de sodio, azúcar y grasa (Reddy et al., 2014; Pineda, 2017). De igual forma que provengan de fuentes sostenibles, que utilicen materias primas orgánicas y que estén orientados al aprovechamiento de cultivos locales. Por todo esto, la formulación de un producto extruido a base de chontaduro y maíz puede ser una alternativa viable, no solo para darle un valor agregado a esta fruta, sino para crear productos innovadores que satisfagan las necesidades del consumidor actual y sean estable en el almacenamiento.

Por último, la aplicación de este tipo de técnicas de deshidratación da lugar a productos con un contenido de agua muy bajo y, si bien es cierto que por su baja actividad del agua gozan de una alta estabilidad microbiológica, química y bioquímica, son altamente higroscópicos debido a su composición química, porosidad y presencia de almidón en estado amorfo (Marzec y Lewicki, 2004). Por tanto, su estabilidad se ve considerablemente influenciada por las condiciones de temperatura, humedad relativa y tiempo a las cuales es almacenado, por lo que es necesario establecer condiciones que garanticen la estabilidad de sus características nutritivas, funcionales y sensoriales. Para poder establecer tales condiciones es necesario conocer el comportamiento de sorción del producto a través del estudio de la isoterma de sorción, la cual relaciona, a una temperatura constante, el contenido en agua (kg agua/kg base seca) con la actividad termodinámica del agua en el producto, en un intervalo dado de humedad (Martínez-Navarrete et al., 1998). Un conocimiento sólido de la relación entre el contenido de agua y la humedad relativa de equilibrio es esencial para modelar, diseñar y optimizar procesos de secado, evaluar la estabilidad y la seguridad microbiológica del producto durante el almacenamiento, determinar los cambios de humedad y seleccionar el material apropiado de envasado (Rahman y Labuza, 1999). Numerosos estudios han sido llevados a cabo para evaluar el comportamiento de la sorción de agua en alimentos durante las últimas décadas, siendo aplicados varios modelos matemáticos propuestos para describir este comportamiento (Lee y Lee, 2008). El modelo más aceptado y representativo es el modelo de GAB, debido a su precisión y su validez en una amplia gama de actividades del agua de 0,1 a 0,9 (Sablani et al., 2007). Específicamente en

productos extruidos de distintos cereales como maíz, avena, arroz y trigo se encuentran en bibliografía estudios que evalúan sus propiedades de sorción (Martínez-Navarrete, 1998; Camire et al., 2005; Sablani et al., 2010; Lazoy y Krokida, 2011; Dar et al., 2016). Sin embargo la información sobre la sorción de agua de productos a base de chontaduro es todavía muy limitada, y por eso se hace necesario recopilar datos de sorción relevantes de este producto para mejorar los procesos de secado, minimizar el costo de procesamiento y establecer los límites de a_w y humedad seguros para su almacenamiento, que garanticen la estabilidad no solo de sus propiedades fisicoquímicas, sino también de sus propiedades funcionales.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue desarrollar un producto extruido tipo snack, a partir de harina de maíz y harina de chontaduro, de alta calidad funcional.

Para la consecución del objetivo de este estudio se propusieron los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterización de las materias primas, así como del producto extruido en cuanto a su composición en compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

2. Estudiar la estabilidad del producto obtenido con el fin de establecer la humedad y actividad del agua a partir de las cuales se lleva a cabo la pérdida de calidad funcional del producto y, así, conocer las mejores condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MATERIA PRIMA

Para la realización de este estudio se partió de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) que fue proporcionada por la Facultad de Ciencia Agropecuarias de la Universidad del Cauca (Colombia). La harina fue obtenida a partir del fruto deshuesado y triturado, el cual se sometió a un tratamiento de secado por aire caliente a 50°C durante 10 horas empleando un secador de bandejas con una velocidad del aire de 7,62 m/s. Finalmente la harina fue envasada al vacío y enviada al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia (España). Además, también se utilizó harina de maíz que fue proporcionada por la empresa DACSA (Valencia, España).

Las harinas de chontaruro (HC) y de maíz (HM) fueron caracterizadas en cuanto a humedad, compuestos funcionales (fenoles totales, vitamina C, carotenoides totales) y actividad antioxidante, tal y como se describe en el apartado 3.4 de análisis.

3.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN

Antes de la extrusión, la harina de maíz se mezcló de forma manual a temperatura ambiente (22°C) con la harina de chontaduro en proporción 75:25 (p/p), respectivamente. El proceso de extrusión se realizó en un extrusor monohusillo o de tornillo único (modelo KE19/25, Brabender, Duisburg, Alemania), equipado con un tornillo de dimensiones 1:3 a una velocidad de 150 rpm, una velocidad del alimentador de 20 rpm y una boquilla de 3 mm de tamaño. El proceso de extrusión se llevó a cabo a través de 4 secciones, cuyas condiciones fueron variando hasta que se alcanzaron las temperaturas óptimas en cada sección: 40°C para la sección 1, 73°C para la sección 2, 174°C para la sección 3, 178°C para la sección 4, y una presión de 133,9 bar. A continuación, los productos extruidos se cortaron a una longitud de 4 cm, y se sometieron a un proceso de secado por aire caliente con una temperatura de 60°C (Estufa HSRS, Selecta, Barcelona, España) hasta obtener un producto con una humedad menor al 5% (Jardim et al., 2016). Una parte del producto recién extruido se caracterizó en cuanto a las mismas características medidas en la materia prima (apartado 3.4). Otra parte del producto se almacenó en cámaras herméticas de distintas humedades relativas (HR) para realizar el estudio de sorción, tal y como se describe en el siguiente apartado.

3.3 EXPERIMENTOS DE SORCIÓN

Se estudió el comportamiento del producto extruido obtenido frente a la sorción de agua a 20 °C. Para ello se prepararon una serie de cámaras herméticas en cuyo interior se colocaron disoluciones sobresaturadas de diferentes sales (LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg(NO₃), NaNO₂ y NaCl), las cuales permitieron obtener, en su interior, ambientes con HR entre el 11-75% (Tabla 1). En cada una de las cámaras se colocaron aproximadamente 60 g de producto extruido. Posteriormente, se controló periódicamente la evolución del peso de las muestras, por triplicado, hasta obtener un valor constante ($\Delta m < \pm 0,0005$ g). En ese momento la actividad del agua (a_w) de cada muestra se asumió igual a la correspondiente HR/100 (Spiess y Wolf, 1983). Con los valores iniciales de humedad de las muestras (ver apartado 3.4.1) y la variación de peso sufrida en cada una de ellas, se calcularon las humedades en el equilibrio (W_e),

construyéndose las correspondientes isotermas de sorción. Los valores obtenidos del contenido de agua en el equilibrio fueron expresados en base seca (w_{ebs}).

Para la construcción y el análisis de la isoterma de sorción del producto extruido, los datos experimentales obtenidos $w_{ebs}-a_w$ fueron ajustados a tres modelos matemáticos de sorción: el modelo de GAB (Van den Berg y Bruin, 1981), el modelo de BET (Brunauer et al., 1938) y el modelo de Caurie (Caurie, 1970) (Ecuaciones 1-3).

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

$$w_e = \frac{w_0 * C * a_w}{((1 - a_w) * (1 + (C - 1) * a_w))} \quad (\text{BET}) \quad (\text{Ec.2})$$

$$w_e = \exp\left(a_w * \ln(r) - \frac{1}{4.5 * w_s}\right) \quad (\text{Caurie}) \quad (\text{Ec.3})$$

Donde w_0 es la humedad de la monocapa (g agua/g muestra en base seca); C: Constante de Guggenheim relacionada al calor de sorción de la monocapa; K: constante relacionada con la sorción de calor de la multicapa; w_s : contenido de humedad de seguridad de almacenamiento (g agua/g muestra en base seca); r: parámetro adimensional relacionado con el modelo de Caurie.

El ajuste de los modelos a los datos experimentales se realizó primero de forma lineal obteniendo un valor inicial de los parámetros de cada modelo y posteriormente se realizó un ajuste no lineal para obtener los parámetros de cada modelo aplicando el procedimiento de mínimos cuadrados mediante el uso de Statgraphics Centurion XVII.

Tabla 1. Actividad del agua de equilibrio de las disoluciones salinas sobresaturadas seleccionadas en este estudio, a 20 °C.

Sal	Actividad del agua (a_w)
LiCl	0,113
CH ₃ COOK	0,230
MgCl ₂	0,330
K ₂ CO ₃	0,430
Mg(NO ₃) ₂	0,520
NaNO ₂	0,680
NaCl	0,750

Fuente: Greenspan (1977)

Una vez el producto extruido alcanzó el equilibrio, fueron analizados los compuestos funcionales (fenoles totales, vitamina C, carotenoides totales) y la actividad antioxidante tal como se describe en el apartado 3.4. Por otra parte, para evaluar los cambios producidos en estas propiedades a lo largo del tiempo, las muestras se mantuvieron 4 meses más en las cámaras siendo analizadas nuevamente a los 2 y 4

meses de almacenamiento. Por lo tanto, se obtuvieron 4 periodos de análisis del producto: recién extruido, al alcanzar el equilibrio (t_e) y a los 2 (t_2) y 4 (t_4) meses de alcanzar dicho equilibrio.

3.4. ANÁLISIS

3.4.1 Humedad (x_w)

El contenido en agua de las muestras se obtuvo mediante el método gravimétrico (AOAC, 2000), para ello se colocó un peso conocido de muestra en una estufa (Vaciotem, J.P. Selecta, España) a 60 ± 1 °C y a una presión <100 mm Hg con el fin de determinar la pérdida de agua hasta alcanzar peso constante (balanza analítica Mettler Toledo Inc., Barcelona, España).

3.4.2 Análisis de compuestos funcionales

3.4.2.1 Fenoles totales (FT)

La extracción de los compuestos fenólicos se realizó mezclando 1 g de muestra con 9 mL de una disolución de metanol: agua (70:30, v/v), según estudios previos (Farinha, 2014; Spaggiari, 2014). La mezcla se mantuvo en agitación magnética durante 30 minutos y se centrifugó (Gyrozen 1236R, Daejeon, Korea) 10 minutos a 8570 G a una temperatura de 4°C. El sobrenadante obtenido se recuperó en viales y se utilizó para determinar el contenido en FT, por espectrofotometría mediante el ensayo Folin-Ciocalteu, según Benzie y Strain, (1999) y Selvendran y Ryden (1990). Para ello se tomaron 250 μ L de extracto al que se le añadieron 15 mL de agua destilada y 1,25 mL de reactivo Folin Ciocalteu (Sigma, Alrich, Alemania). Todo ello fue mezclado y permaneció durante 8 min en reposo y bajo oscuridad. Seguidamente se añadió 3,75 mL de una solución acuosa de carbonato de sodio (7,5%, p/v) y se enrasó con agua destilada en un matraz aforado de 25 mL. Posteriormente, permanecieron en reposo y en la oscuridad durante 2 horas a temperatura ambiente, e inmediatamente se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, Estados Unidos). El contenido de FT fue expresado como mg de ácido gálico/100 g de muestra en base seca (bs) usando una curva patrón de 0-800 mg de ácido gálico/1000 g.

3.4.2.2 Compuestos carotenoides (β -caroteno y licopeno)

La extracción de los compuestos carotenoides se realizó en las mismas proporciones y condiciones descritas anteriormente empleándose en este caso como disolvente una disolución de hexano: acetona: etanol (50:25:25, v/v/v) según Olives et al., (2006) y Wang et al., (1996). El sobrenadante obtenido tras la centrifugación fue recuperado en viales y se utilizó para determinar el contenido de β -caroteno y licopeno. Esta determinación se realizó según los estudios de Olives et al., (2006), Shim y Kim, (2002) y Wang et al., (2007): Se le añadió agua bidestilada al sobrenadante del extracto (a razón de 100 μ L de agua por cada 1 mL de extracto), agitándose manualmente durante 2 minutos. Cuando se separaron las fases, se tomó una alícuota de la parte superior, la cual se depositó en cubetas de vidrio y se midió la absorbancia a 446 nm para determinar el β -caroteno y a 501 nm para el licopeno, en un espectrofotómetro UV-

Visible (Thermo Electron Corporation, Estados Unidos). El contenido de carotenoides totales fue expresado como mg de β -caroteno y mg de licopeno/100 g muestra (bs), usando una curva patrón de 0-50 mg de β -Caroteno y otra de 0-10 mg de licopeno/1000 g.

3.4.2.3 Vitamina C (VC)

Para cuantificar el contenido total de VC se llevó a cabo la reducción del ácido dehidroascórbico a ácido ascórbico mediante la mezcla de 0,5 g de muestra en 2 mL de una solución de 20g/L de DL-Ditiotreitol (SigmaAldrich), durante 2 horas a temperatura ambiente y en oscuridad (Iguar et al., 2014). Para la extracción de la VC, a 1 g de esta mezcla se añadió 9 mL de ácido oxálico al 0,1% (p/v), se mezcló durante 3 minutos y se filtró inmediatamente a través de un filtro de membrana de 0,45 μ m antes de la inyección (Xu et al., 2008). Su cuantificación se realizó mediante el método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) según Xu et al., (2008). El HPLC empleado (Jasco, Italia) consta de una bomba ternaria (Jasco PU-1580 HPLC pumb), un generador de gradiente (LG-1580-02 Ternary Gradient Unit) y un detector UV-visible (MD-1510) con un intervalo de medida de longitud de onda 190 hasta 650 nm. El equipo cuenta también con un desgasificador incorporado y un inyector automático. Se utilizó una columna Zorbax SBC18 de 5 μ m (4,6 x 25 mm) (España); ácido oxálico 0,1% como fase móvil, volumen de inyección de 20 μ l, velocidad de flujo de 1 mL/min, detección a 243 nm y 25 °C. Se preparó una solución estándar de ácido ascórbico (Panreac, España).

3.4.3 Análisis de la actividad antioxidante (AAO)

La actividad antioxidante de los extractos hidrofílico (EH) y lipofílico (EL) obtenidos para la cuantificación de fenoles y carotenoides, respectivamente, fue determinada por dos métodos: DPPH y FRAP. Los experimentos fueron realizados por triplicado.

3.4.3.1 Método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

El método DPPH se basa en la capacidad que presentan las sustancias antioxidantes de captar radicales libres. Para su determinación se tomaron 0,1 mL de cada extracto y se adicionaron a 3,9 mL de DPPH diluido en metanol (0,030 g/L, Sigma-Aldrich, Alemania). Se midió la absorbancia de las muestras a tiempo inicial y trascurridos 15 minutos a 515 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Thermo Electron Corporation, Estados Unidos). El porcentaje de DPPH fue calculado según la ecuación 4. Los resultados finales fueron expresados como mmol de trolox equivalente (TE)/100 g, usando una curva de calibración de Trolox (Sigma-Aldrich, Alemania) de 0-250 mg TE/ 1000 g.

$$\%DPPH = \frac{A_0 - A_{15}}{A_0} \cdot 100 \quad (\text{Ec.4})$$

Donde: A_0 es la absorbancia a tiempo 0; A_{15} es la absorbancia de la muestra cuando la reacción se ha estabilizado, a los 15 minutos.

3.4.3.2 Método FRAP

El método de FRAP se basa en la evaluación de la capacidad antioxidante de la muestra de acuerdo con su capacidad para reducir el hierro férrico (Fe^{+3}), presente en un complejo con la 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ), hasta la forma ferrosa (Fe^{+2}). Este método se llevó a cabo en un tampón con ácido acético-acetato de sodio (pH 3,6), que contenía TPTZ y FeCl_3 . Se utilizaron 900 μL de la solución anteriormente descrita, 30 μL del extracto y 30 μL de agua bidestilada. La absorbancia se midió a 593 nm (Espectrofotómetro UV-visible Thermo Electron Corporation, Estados Unidos) tras mantener la mezcla 30 minutos incubada a 37 °C. Los resultados finales fueron expresados como mmol de trolox equivalente (TE)/100 g, usando una curva de calibración de Trolox (Sigma-Aldrich, Alemania) de 0-250 mg TE /1000 g.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron análisis de varianza simples (ANOVA) y multifactorial (MANOVA) a un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$). Además, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson entre la actividad antioxidante y los diferentes compuestos analizados. Todos estos análisis se llevaron a cabo con Statgraphics Centurion XVII.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS Y DEL PRODUCTO EXTRUIDO

Para la obtención del producto extruido se partió de harina de maíz, con una humedad de $5,70 \pm 0,08$ g agua/100 g, y de harina de chontaduro, con una humedad fue $2,83 \pm 0,08$ g agua/100 g. El producto extruido obtenido a partir de la mezcla de ambas harinas, tras el tratamiento de secado por aire caliente al que fue sometido, alcanzó una humedad de $1,83 \pm 0,13$ g agua/100 g. Este valor fue similar al alcanzado en el procesado de otros productos extruidos a base de maíz (Salinas, 2011; Jardim et al., 2016).

En la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos de los compuestos bioactivos analizados para las dos harinas (HM y HC) y para el producto extruido. En cuanto al contenido en FT, HC presentó un valor de 105 ± 2 mg ácido gálico/100 g de muestra bs. En bibliografía se han encontrado estudios con valores que van de 23-108 mg ácido gálico/100 g (Martínez-Girón et al., 2017; Garbanzo et al., 2011; Contreras et al., 2011). Las diferencias observadas en el contenido en compuestos fenólicos respecto a los valores encontrados en bibliografía puede deberse a la distinta variedad del fruto y a las condiciones climáticas de la región geográfica de su cultivo (Martínez-Girón et al., 2017). La muestra HM presentó un contenido significativamente menor ($p < 0,05$) en estos compuestos ($50,5 \pm 1,6$ mg ácido gálico/100 g de muestra). En otros estudios con variedades de maíz amarillo, blanco híbrido y blanco criollo los valores encontrados de fenoles fueron muy similares (Díaz, 2017). El producto extruido presentó un contenido en FT significativamente mayor ($p < 0,05$) a HM y menor ($p < 0,05$) que HC. Distintos estudios han observado la disminución del contenido en compuestos fenólicos causada por el proceso de extrusión (Sharma et al., 2012). Los fenoles son sustancias termolábiles, temperaturas por encima de 80 °C puede destruir o alterar su naturaleza (Zielinsky et al., 2001). Las altas temperaturas causan descomposición y alteración de su estructura molecular, lo que conlleva a una disminución de su reactividad y de su extractabilidad, debido a su mayor grado de polimerización (Sarawong et al., 2014). En cualquier caso, estos valores fueron superiores a los descritos en otros estudios del contenido fenólico de snacks extruidos a partir de mezclas de cereales (Dar et al., 2016; Reis et al., 2014; Sharma et al., 2012).

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar del contenido en fenoles totales (FT), vitamina C (VC), β -caroteno y licopeno de las harinas de chontaduro (HC) y de maíz (HM) y del producto extruido. Resultados expresados en base seca (bs).

Compuestos bioactivos	HC	HM	PRODUCTO EXTRUIDO
FT (mg ácido gálico/100 g bs)	105 ± 2^a	$50,5 \pm 1,6^c$	59 ± 2^b
β -Caroteno (mg /100g bs)	$5,85 \pm 0,12^a$	$0,67 \pm 0,07^b$	$0,52 \pm 0,02^c$
Licopeno (mg /100g bs)	$0,31 \pm 0,06$	-	-
VC (mg ácido ascórbico/100g bs)	49 ± 7^a	-	32 ± 6^a

^{a-c} Letras diferentes como superíndices dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el contenido de VC de HC y el producto extruido. En este sentido, el proceso de extrusión no parece tener efecto en esta vitamina. A pesar de ser una vitamina termolábil, algunos estudios muestran que el procesamiento a altas temperaturas y corto tiempo como es el caso de la extrusión, puede ser efectivo para incrementar la retención de vitaminas lábiles al calor y otros nutrientes (Rincón, 2003). En este sentido, la pérdida de vitaminas por procesos térmicos depende de la naturaleza física y química del alimento, entre otros factores. En el caso de la vitamina C, las pérdidas que se producen durante el procesamiento son debidas a la oxidación, que es acelerada por la luz, el oxígeno, el calor, el aumento de pH, la actividad del agua, la presencia de iones cobre y sales ferrosas (Primo, 1998). El ácido ascórbico se oxida a dehidroascórbico, el cual todavía presenta su valor como vitamina, pero la lactona que forma parte de su estructura química es mucho menos estable, y se hidroliza a ácido 2,3 dicetogulónico, que más tarde puede degradarse mediante descarboxilación. A partir de ahí ninguno de los productos generados presenta las propiedades de la vitamina C (Serra y Cafaro, 2007). Por otra parte, no se detectó VC en HM. Según la base de datos de la FAO, la harina de maíz no contiene vitamina C, ya que durante la molienda ésta se pierde, por los factores comentados anteriormente.

En cuanto al contenido en compuestos carotenoides, se observaron diferencias significativas entre las 3 muestras analizadas. El chontaduro se caracteriza por ser un fruto con alto contenido en carotenoides, sobre todo β -caroteno o precursor de vitamina A, seguido de licopeno y pigmentos del grupo de las xantofilas. Así, Rojas-Garbanzo et al., (2011) identificó nueve carotenoides diferentes en el fruto de chontaduro procedente de Costa Rica, siendo el mayoritario el isómero *trans*- β -caroteno. Estas sustancias son las que proporcionan el color anaranjado-rojizo de la pulpa (Graefe et al., 2013) y poseen elevada capacidad antioxidante. En el fruto su contenido puede oscilar entre 0,4-22 mg β -caroteno/100 g (Jatunov et al., 2010; Quesada et al., 2011) dependiendo de la variedad de *B. gasipaes*. En nuestro estudio se obtuvieron valores de β -caroteno de $5,85 \pm 0,12$ mg/100g y $0,31 \pm 0,06$ de licopeno en HC, resultados similares a los descritos por Jatunov et al., (2010) y Quesada et al., (2011) para harinas de chontaduro obtenidas mediante secado por convección y procedentes de frutos cultivados en Costa Rica, Brasil y Ecuador.

Por otra parte, HM presentó un contenido en β -caroteno significativamente menor ($p < 0,05$) que HC y no se detectó licopeno. En general, el contenido de estos carotenoides en los cereales es pequeño, siendo los mayoritarios del maíz la zeaxantina y la β -criptoxantina (Medallo y Hornero, 2017). El proceso de extrusión ocasionó pérdidas en estas sustancias en comparación con la composición de las harinas, obteniéndose $0,52 \pm 0,02$ mg β -caroteno /100g y no detectándose tampoco licopeno en el producto extruido. La inestabilidad de los carotenoides se debe al hecho de que son compuestos altamente insaturados, degradándose fundamentalmente debido a procesos oxidativos. Estas reacciones producen como consecuencia un pardeamiento del producto y una disminución del valor vitamínico (Arguedas et al., 2015; Salinas et al., 2008). Otros factores como la temperatura, la luz o el pH también pueden producir importantes cambios cualitativos en estos compuestos debido a reacciones de isomerización (Meléndez-Martínez et al., 2004).

La actividad antioxidante de las muestras de harinas y del producto extruido fue medida según los métodos descritos en el apartado 3.4.3 de la Metodología. Puesto que la actividad antioxidante de una muestra es debida a reacciones sinérgicas entre distintos compuestos (vitaminas, polifenoles, minerales, compuestos de Maillard...), es recomendable emplear más de un método para medir correctamente dicha actividad

(Thaipong et al., 2006). Los métodos elegidos en este estudio (el método FRAP basado en la capacidad de reducción férrica, y el método DPPH, basado en el potencial captador de radicales libres de este reactivo) son los recomendados por distintos autores (Ozgen et al., 2007). En cualquier caso, las comparaciones entre resultados de capacidad antioxidante solo se pueden realizar para un mismo método y para muestras obtenidas con los mismos disolventes (Pérez-Jiménez et al., 2008).

En las Figuras 4 y 5 se presentan los valores obtenidos de la capacidad antioxidante del extracto hidrofílico (EH) y lipofílico (EL) obtenidos en la extracción de compuestos fenólicos y carotenoides, respectivamente, por los dos métodos de cuantificación realizados: DPPH y FRAP. Para estimar la capacidad antioxidante total de las muestras, se sumaron las actividades antioxidantes de los extractos EH y EL para cada muestra (Van der Berg et al., 1999; Pérez-Jiménez et al., 2008). Puesto que la capacidad antioxidante total de una muestra viene dada por interacciones sinérgicas entre diferentes compuestos, en esta estimación se pueden cometer algunos errores subestimando la capacidad antioxidante total de las muestras. Además, a pesar de haber utilizado combinaciones de disolventes con distinta polaridad para facilitar la extracción de todos los compuestos antioxidantes, lipofílicos e hidrofílicos, también habría que tener en cuenta que pueden haber ciertos compuestos con potencial antioxidante que no hayan sido extraídos con los disolventes utilizados en este estudio.

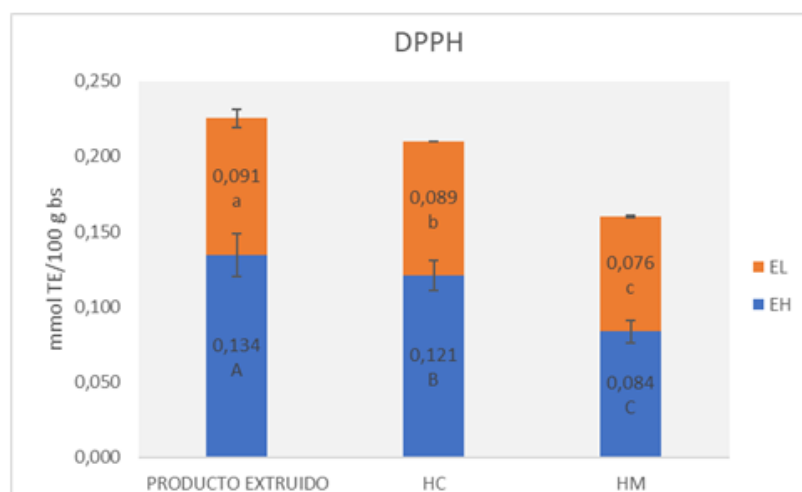


Figura 4. Capacidad antioxidante total de las muestras de harinas de chontaduro (HC) y maíz (HM) y del producto extruido, medida por el método DPPH. Se representa en cada barra la suma de la capacidad antioxidante obtenida para el extracto lipofílico (EL) e hidrofílico (EH). Los resultados se expresan en mmol Trolox Equivalente (TE)/100g base seca (bs). Diferentes letras, indican diferencias significativas establecidos por el ANOVA ($p < 0,05$). Letras mayúsculas, indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras en el extracto hidrofílico (EH). Letras minúsculas, indican diferencias significativas entre muestras en el extracto lipofílico (EL).

En todos los casos la fracción hidrosoluble de las muestras presentó mayor actividad antioxidante que la fracción liposoluble. Esto parece lógico, porque el contenido en fenoles del extracto EH fue mucho mayor que el contenido en carotenoides del extracto EL para las tres muestras. Para ambos extractos se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la actividad antioxidante de las muestras, por los dos métodos de análisis. La AAO medida mediante el método de DPPH (Figura 4) del producto extruido fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en ambos extractos que la de las harinas.

Eso puede ser debido a la producción de melanoidinas generadas en las reacciones de Maillard durante el proceso de extrusión. La reacción de Maillard o glicosilación enzimática de proteínas, se produce por la exposición a temperaturas superiores a 50 °C (Ruiz et al., 2011) y engloba una serie de reacciones químicas complejas en las que reaccionan los grupos aminos primarios de aminoácidos, péptidos y proteínas con el grupo carbonilo de los azúcares reductores (Primo, 1998). Se ha comprobado que estos compuestos tienen actividad antioxidante, con lo que su presencia podría aumentar la actividad antioxidante de esta muestra (Que et al., 2008). Otros estudios con productos extruidos de cereales también han observado un aumento de la AAO medida con el método DPPH tras la extrusión (Sharma et al., 2012).

Por otra parte, la AAO del extracto lipofílico del HC medida por FRAP (Figura 5) fue significativamente mayor ($p < 0,05$). Otros compuestos no cuantificados en este estudio pueden estar contribuyendo a la actividad antioxidante de EL de las muestras. Por ejemplo, puede ser el caso de la vitamina E o tocoferol, cuyo contenido resulta importante en el chontaduro (Graefe et al., 2013).

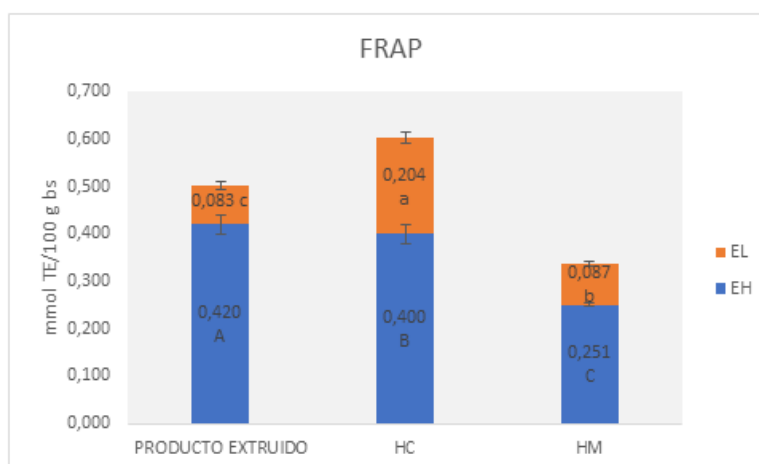


Figura 5. Capacidad antioxidante total de las muestras de harinas de chontaduro (HC) y maíz (HM) y del producto extruido, medida por el método FRAP. Se representa en cada barra la suma de la capacidad antioxidante obtenida para el extracto lipofílico (EL) e hidrofílico (EH). Los resultados se expresan en mmol Trolox Equivalente (TE)/100g base seca (bs). Diferentes letras, indican diferencias significativas establecidos por el ANOVA ($p < 0,05$). Letras mayúsculas, indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras en el extracto hidrofílico (EH). Letras minúsculas, indican diferencias significativas entre las muestras en el extracto lipofílico (EL).

4.2. COMPORTAMIENTO DE SORCIÓN DEL PRODUCTO EXTRUIDO

Como una herramienta a la hora de valorar la estabilidad del producto extruido durante el almacenamiento a diferentes humedades relativas, se construyó la isoterma de sorción de agua en el intervalo de actividades del agua de 0,13 – 0,75 a 20 °C. La isoterma relacionada a una temperatura constante, la cantidad de agua absorbida (g agua/ g de muestra en base seca) en equilibrio con la actividad termodinámica del agua en el producto.

Como ya se ha comentado, el producto extruido de partida presentó un contenido de agua de $1,83 \pm 0,13$ g agua/100 g. Una vez puesto en las cámaras a diferentes humedades relativas, las muestras alcanzaron el equilibrio en relación con el contenido de agua del ambiente entre la tercera y octava semana dependiendo de la humedad

relativa ambiental. La isoterma de sorción del producto extruido presentó una forma sigmoïdal como se aprecia en la Figura 6. De acuerdo a la clasificación de Brunauer et al., (1940) se trata de una Isotherma de tipo II, con un lento aumento en la humedad de equilibrio en el intervalo de baja a_w y un fuerte incremento a partir de valores intermedios de a_w , cuando comienzan a predominar las interacciones soluto-disolvente. Curvas similares han sido reportadas en diferentes estudios para productos extruidos (Lazou y Krokida, 2011; Norajit et al., 2011; Wani y Kumar, 2016). Este tipo de isoterma es normal en películas de almidón, gluten y celulosa y, por tanto, es encontrada especialmente en los alimentos como vegetales, frutas, semillas, así como en alimentos ricos en almidón o altos en proteínas y fibras naturales debido a la naturaleza hidrofílica de los carbohidratos y proteínas presentes (Wani y Kumar, 2016).

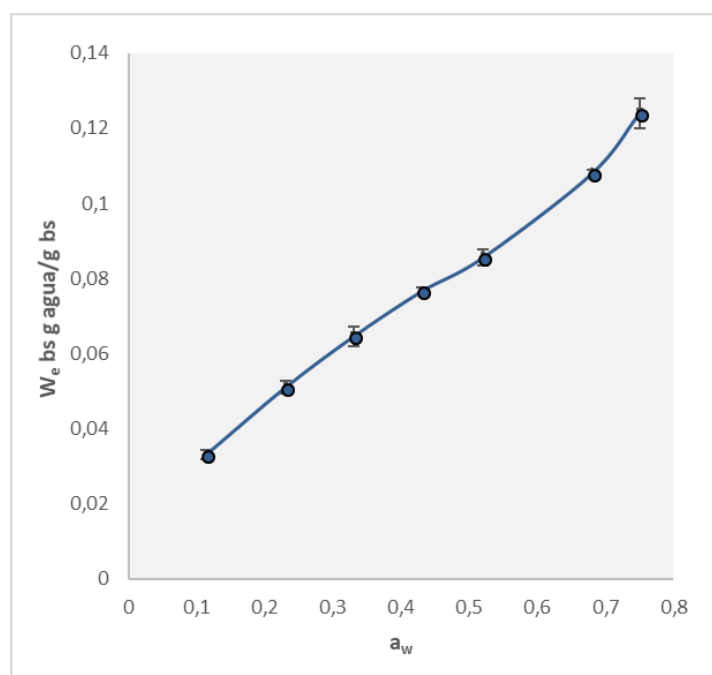


Figura 6. Isotherma de sorción del producto extruido, Datos experimentales del contenido de agua en el equilibrio en base seca (w_{ebs}) a cada actividad del agua (a_w).

Los datos experimentales obtenidos (cantidad de agua adsorbida en las muestras equilibradas, expresada en base seca (w_{ebs}) en función de la a_w) fueron ajustados a tres modelos usados ampliamente en alimentos, el modelo de GAB, el modelo de BET y el modelo de Caurie que permiten predecir las propiedades de sorción de agua del producto a diferentes a_w . Estos modelos son de especial interés en el área de tecnología de alimentos debido a la información que aportan principalmente los parámetros w_0 (contenido de agua de la monocapa) y w_s (humedad de seguridad del producto), los cuales están relacionados con la máxima estabilidad del alimento en las condiciones de procesado y almacenamiento (Vega-Gálvez et al., 2007).

En general, como se aprecia en la Tabla 3, todos los modelos permitieron tener un buen ajuste de los datos experimentales de acuerdo a los valores obtenidos del error estándar (SE), los cuales son cercanos a cero y valores de R^2_{adj} (coeficiente de correlación ajustado) cercanos a la unidad.

Tabla 3. Parámetros de los modelos de BET, GAB y Caurie ajustados a los datos experimentales obtenidos para el producto extruido.

GAB	w_0	0,065
	C	10,70
	K	0,680
	R^2_{adj}	0,9978
	SE	0,0014
BET	w_0	0,045
	C	17,83
	R^2_{adj}	0,9637
	SE	0,0039
Caurie	w_s	0,065
	r	5,597
	R^2_{adj}	0,9753
	SE	0,0049

Coefficientes de las constantes de los modelos: w_0 : humedad de la monocapa (g agua/g muestra base seca); C: Constante de Guggenheim relacionada al calor de sorción de la monocapa; K: constante relacionada a la sorción de calor de la multicapa; w_s : humedad de seguridad de almacenamiento (g agua/g muestra base seca); r: parámetro adimensional relacionado con el modelo de Caurie. Bondad del ajuste: R^2_{adj} : coeficiente de correlación ajustado, SE: Error estándar estimado.

Analizando los parámetros obtenidos se observa que el parámetro C de los modelos de GAB y BET, relacionado con el calor implicado en el fenómeno de adsorción, presentó valores mayores que 2, lo cual confirma la forma obtenida de la isoterma y su clasificación tipo II comentada anteriormente. Por su parte w_0 , que corresponde con la humedad del producto en la que los puntos de adsorción primarios están cubiertos por moléculas de agua, presentó un valor de 6,6 y 4,5 g agua/ 100g de producto seco cuando se ajusta a GAB y BET, respectivamente. El concepto de contenido de agua en la monocapa se ha relacionado con la cantidad de agua presente en el producto a partir de la cual la velocidad a la que ocurren diferentes reacciones de deterioro comienza a aumentar de manera significativa (Rahman y Labuza, 1999). Para establecer el contenido de humedad crítico durante el almacenamiento del producto extruido no se recomienda superar el contenido de humedad de la monocapa, que es la que muchos autores consideran que proporciona su máxima estabilidad (Mosquera et al., 2012). Por encima de esta humedad, el agua podría quedar disponible para participar en reacciones de deterioro que alterarían la calidad y estabilidad del producto. En este sentido, se puede decir que el ajuste de BET es más restrictivo en cuanto a w_0 garantizando la estabilidad del producto cuando se almacena a una $a_w \leq 0,113$ (Figura 7) en donde se alcanza una humedad de 3,3 g agua/100g de producto, mientras que GAB permite un mayor rango hasta una a_w de 0,33, donde el producto presenta una humedad aproximada de 6,5 g agua/100g de producto. Wani y Kumar, (2016) también encontraron valores similares de w_0 (7,31 y 6,07g agua/100g (bs) para GAB y BET, respectivamente) al analizar el comportamiento de sorción de un producto extruido a

base de harinas de maíz, arroz, avena y guisante verde, en un intervalo de a_w de 0,11-0,85.

Aunque GAB y BET permitieron obtener un buen ajuste de los datos experimentales, el modelo de GAB permite predecir mejor el comportamiento de sorción de las muestras, puesto que contempla todo el rango de a_w estudiadas, mientras que el modelo de BET se limita a valores de $a_w \leq 0,5$ (Martínez-Navarrete et al., 1999), lo cual podría haber ocasionado las diferencias en los valores de w_0 obtenidas en ambos modelos. Además, el modelo de GAB fue el que presentó un valor inferior de SE, lo cual indica un mejor ajuste del modelo a los datos experimentales, por lo que se recomienda para la caracterización del comportamiento de adsorción del producto extruido. Por otra parte, al comparar estos resultados con el parámetro de w_s del modelo de Caurie, que tiene un sentido físico similar al de la humedad de la monocapa de BET y GAB, se puede observar que la humedad de seguridad es de 6,5 g agua/100g de producto, similar a la aportada por GAB, por lo tanto, esto confirma que para garantizar la máxima estabilidad del producto durante el almacenamiento este debe estar almacenado en ambientes con humedades relativas máximas de 33%.

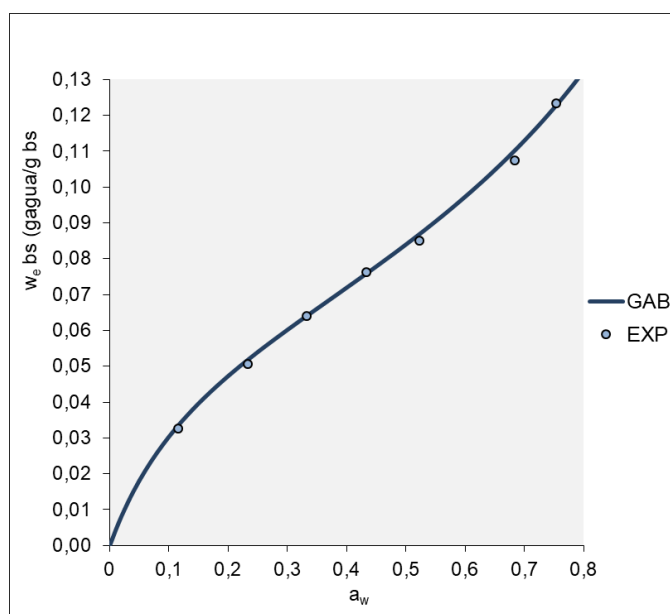


Figura 7. Datos experimentales (EXP) del contenido de agua en el equilibrio en base seca (w_{ebs}) a cada actividad del agua (a_w). Datos ajustados (GAB) al modelo de GAB.

4.3 CAMBIOS EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Como se ha comentado, el proceso de extrusión ocasiona cambios tanto en la estructura física como química de los alimentos, la eliminación rápida del agua durante el procesamiento da lugar a un producto deshidratado poroso e higroscópico. La estabilidad de los compuestos funcionales de dicho producto va a depender de la movilidad molecular y de la disponibilidad de agua presente para facilitar la difusión de los reactantes que pueden ocasionar la degradación de éstos.

Por esta razón se analizó la evolución de los diferentes compuestos bioactivos y de la actividad antioxidante a distintas condiciones de almacenamiento: humedad

relativa y tiempo, tal y como se describe en el apartado 3.4 de la Metodología. Cabe comentar, que no se muestran resultados del contenido en carotenoides (β -caroteno y licopeno), ya que no se detectaron a ninguna a_w desde el primer tiempo de análisis, por lo que la degradación completa seguramente se produjo durante las primeras semanas de almacenamiento antes de que la muestra alcanzase el equilibrio con la HR de las cámaras. Como ya se ha comentado, la degradación de estos compuestos se debe a su fácil oxidación (Meléndez-Martínez et al., 2004). Su disminución provoca cambios organolépticos, como la pérdida de color, pero además también produce una disminución del valor nutritivo del producto (Campo et al., 2006).

Para estudiar la evolución de los fenoles totales (Figura 8), la vitamina C (Figura 9) y la actividad antioxidante (Figuras 10 y 11) se realizó un análisis ANOVA multifactorial para ver la influencia de la humedad relativa y del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de estos compuestos. En general se observó una disminución de los compuestos bioactivos y de la AAO al aumentar la a_w y el tiempo.

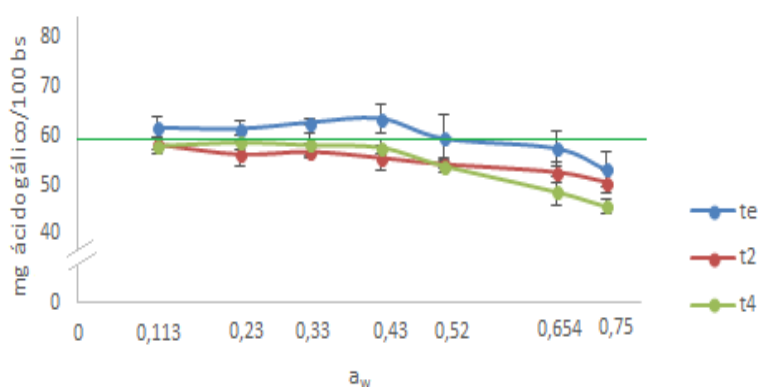


Figura 8. Contenido de fenoles totales (FT: mg ácido gálico/100 g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento (t_e : tiempo de equilibrio, t_2 : 2 meses de almacenamiento y t_4 : 4 meses de almacenamiento a partir del equilibrio). La línea horizontal indica el contenido de fenoles totales en el producto recién extruido.

En el caso de los FT el comportamiento fue diferente para cada tiempo de almacenamiento, aunque en general se observó una gran estabilidad de estos compuestos. Como se observa en la Figura 8, durante el equilibrado de las muestras (t_e) los FT disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) a partir de $a_w > 0,43$. Mientras que a los 2 y 4 meses de almacenamiento la disminución fue significativa a valores de $a_w > 0,52$. Con respecto al tiempo, la disminución de FT fue mayor a tiempos superiores al de equilibrio, a partir de entonces no se observaron ya diferencias significativas entre ellos. Teniendo en cuenta que los compuestos fenólicos son muy inestables y altamente susceptibles a la degradación ya que actúan como sustratos en diversos tipos de reacciones (Bakowska et al., 2003), su estabilidad depende de los complejos moleculares que puedan llegar a formar. En este sentido, reacciones de autooxidación como resultado de la exposición a la luz o al oxígeno pueden dar lugar a la formación de radicales que subsecuentemente pueden reaccionar con otros formando dímeros, y debido a que el radical electrón es deslocalizado muchas estructuras pueden ser formadas dependiendo de la localización precisa de los electrones radicales en el tiempo de reacción (Nimse y Pal, 2015).

En algunos casos, puede incrementarse la fracción de ácidos fenólicos libres, debido probablemente a la ruptura de los fenoles unidos a otros compuestos como los esterificados o los glicosilados (Gallegos-Infante et al., 2013; Rojas-Garbanzo et al., 2012), lo cual puede explicar el ligero mayor contenido ($p > 0,05$) en FT en t_e respecto al producto recién extruido a $a_w < 0,043$. Los cambios observados a las a_w más altas fueron debidas probablemente a la mayor movilidad molecular, lo cual permite la difusión del oxígeno más fácilmente acelerando las reacciones de oxidación (Rocha Parra et al., 2016). De acuerdo a Schebor et al., (1999) el envejecimiento del producto durante el almacenamiento, la movilidad y la difusión del oxígeno a través de los poros del producto puede explicar la ocurrencia de reacciones químicas, incluso a actividades del agua bajas donde se considera que el producto presenta una mayor estabilidad. La pérdida de compuestos fenólicos de productos extruidos de maíz durante el almacenamiento ha sido reportada también por Camire et al., (2005).

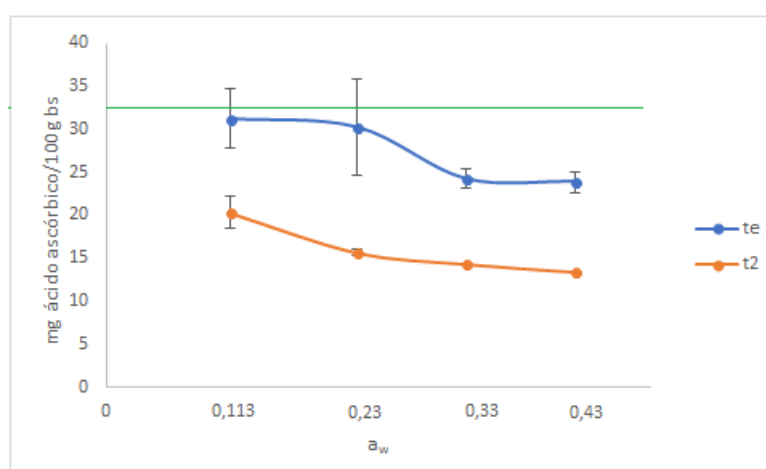


Figura 9. Contenido de Vitamina C (VC: mg ácido ascórbico/100 g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento (t_e : tiempo de equilibrio, t_2 : 2 meses de almacenamiento). La línea horizontal indica el contenido en el producto recién extruido.

Por su parte la vitamina C se mantuvo estable ($p > 0,05$) solo hasta $a_w \leq 0,43$, a partir de la cual no fue detectada ni siquiera a t_e , por lo que se asume que hubo una degradación completa a las mayores humedades relativas. De acuerdo con estudios de Hiatt et al., (2010), el incremento de la a_w puede aumentar o disminuir la velocidad de reacción de la vitamina C, dependiendo de la influencia de la humedad sobre la viscosidad del sistema y el efecto de la disolución. Generalmente la degradación de esta vitamina ocurre más rápido en sistemas acuosos que en sistemas de baja humedad. Con respecto al tiempo de almacenamiento la degradación fue mayor a medida que aumentaba el tiempo, no observándose ningún contenido de esta vitamina a los 4 meses de almacenamiento.

En cuanto a la actividad antioxidante, las Figuras 10 y 11 muestran los valores medios obtenidos de la AAO total de los extractos hidrofílico y lipofílico por los dos métodos de cuantificación realizados: DPPH y FRAP, respectivamente. En general los valores de la AAO de EL fueron inferiores a los obtenidos en EH, tal y como hemos comentado anteriormente y ya ha sido reportado por otros autores (Pérez-Jiménez et al., 2008). Esto se debe al mayor contenido en compuestos hidrosolubles, principalmente compuestos fenólicos presentes, y mucho menor en compuestos de

carácter lipofílico. En este caso probablemente la AAO de los EL puede estar siendo influenciada, como ya se ha comentado, por la presencia de otros compuestos como el tocoferol y la vitamina E presentes en el chontaduro y maíz, ya que los carotenoides se degradaron durante el almacenamiento.

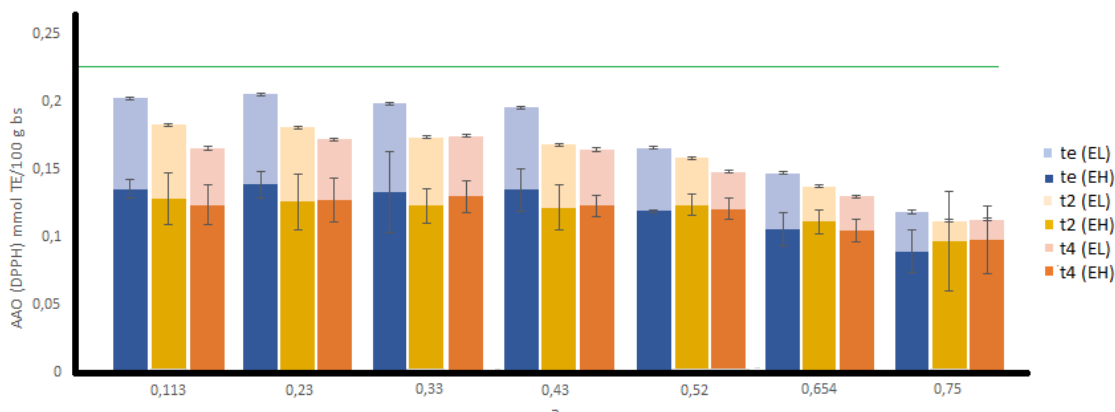


Figura 10. Actividad Antioxidante total (DPPH: mmol trolox equivalente (TE)/100g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento (t_e : Tiempo de equilibrio, t_2 : 2 meses de almacenamiento y t_4 : 4 meses de almacenamiento a partir del equilibrio) para los dos extractos hidrofílico (EH: colores oscuros) y lipofílico (EL: colores claros). La línea horizontal indica el contenido en el producto recién extruido.

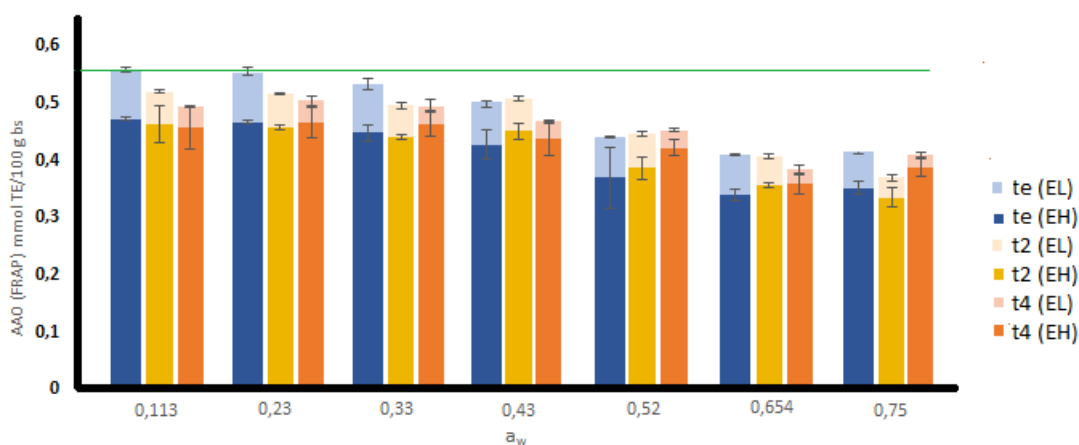


Figura 11. Actividad Antioxidante total (FRAP: mmol trolox equivalente (TE)/100g bs) del producto extruido en función de la actividad del agua (a_w) y del tiempo de almacenamiento (t_e : Tiempo de equilibrio, t_2 : 2 meses de almacenamiento y t_4 : 4 meses de almacenamiento) para los dos extractos hidrofílico (EH: colores oscuros) y lipofílico (EL: colores claros). La línea horizontal indica el contenido en el producto recién extruido.

Dependiendo del método, la AAO se vio influida por la a_w de las muestras y/o el tiempo de almacenamiento. Para el caso del DPPH el almacenamiento de las muestras en ambientes con humedades relativas superiores al 43% supuso una disminución de la AAO total mientras que el efecto del tiempo fue muy poco apreciable ($p > 0,05$). Este mismo comportamiento se aprecia en las mediciones de FRAP, aunque en este caso las pérdidas fueron mayores y significativas ($p < 0,05$) con el aumento del tiempo. La razón por la que disminuye la AAO durante el almacenamiento puede ser atribuida a la

dilución de los componentes antioxidantes al incrementar la humedad y también a la posible oxidación de los compuestos bioactivos tal y como ya se ha comentado (Dar et al., 2016).

Con el fin de establecer correlaciones entre la actividad antioxidante y los diferentes compuestos bioactivos estudiados durante el almacenamiento fue aplicado un análisis de correlación de Pearson (Tabla 4). El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que mide el grado de variación entre distintas variables relacionadas linealmente. El intervalo de variación de este coeficiente es de -1 a +1 y mide la fuerza de relación lineal entre las variables.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre los compuestos fenólicos (TF) y la vitamina C (VC) y la actividad antioxidante (AAO).

AAO	FT	VC
DPPH	0,8107*	0,6814*
FRAP	0,7493*	0,7966 *

*Estadísticamente significativo (nivel de confianza del 95%)

Como se puede observar en la Tabla 4, existe una correlación alta, positiva y significativa ($p < 0,05$) entre la actividad antioxidante cuantificada por cualquiera de los dos métodos y el contenido en fenoles totales y en vitamina C del producto extruido. Hay diversos estudios que también describen una alta correlación entre el contenido de compuestos fenólicos, vitamina C y la capacidad antioxidante (Du et al., 2009; Gardner et al., 2000; Proteggente et al., 2002). En el caso de los fenoles, su capacidad antioxidante se debe a las propiedades redox de estos compuestos, las cuales le permiten actuar como agentes reductores, donadores de oxígeno y eliminadores del oxígeno singulete (Miranda et al., 2010). De igual forma, la vitamina C también presenta diferentes funciones biológicas, entre ellas la de captar radicales libres, atrapar radicales superóxido e hidroxilo, así como regenerar el α -tocoferol (Davey et al., 2000).

5. CONCLUSIONES

La harina de chontaduro presentó un alto contenido en compuestos fenólicos, vitamina C y carotenoides (β -Caroteno). Por su parte el producto extruido destacó por su contenido en fenoles y vitamina C, lo que contribuyó a su capacidad antioxidante, que fue significativamente mayor que la presentada por las harinas de maíz y chontaduro. Posiblemente esto se deba a la producción sustancias con actividad antioxidante como las melanoidinas, generadas en las reacciones de Maillard durante el proceso de extrusión. Los compuestos carotenoides fueron los compuestos más sensibles al proceso de extrusión. En todos los casos, la fracción hidrosoluble de las muestras presentó mayor actividad antioxidante que la fracción liposoluble, siendo los compuestos fenólicos los que mejor se correlacionaron estadísticamente con la misma.

La isoterma de sorción del agua del producto extruido, a 20°C, presentó la forma típica de productos amiláceos. El modelo que permitió un mejor ajuste de los puntos experimentales fue el modelo de GAB. No se recomienda superar el contenido de humedad de la monocapa, con valores de 6,5 g agua/100 g sólidos secos. Este valor coincidió con la humedad de seguridad proporcionada por el modelo de Caurie, lo cual confirma que para garantizar la máxima estabilidad del producto durante el almacenamiento este debe estar almacenado en ambientes con humedades relativas máximas de 33%. A partir de la cual podrían darse cambios importantes tanto en la calidad física (color, textura), sensorial y funcional del producto.

En cuanto a los cambios producidos durante el almacenamiento en la calidad funcional del producto, en general se observó una disminución de los compuestos bioactivos y de la actividad antioxidante al aumentar la a_w y el tiempo. Los compuestos fenólicos fueron los que se mantuvieron más estables, mientras que la vitamina C no se detectó a partir $a_w > 0,43$ y los carotenoides se degradaron durante el periodo de acondicionamiento.

En definitiva, la incorporación de harina de chontaduro al producto extruido de maíz es una buena opción para el desarrollo de snacks de buena calidad nutricional y funcional. Para garantizar la calidad funcional del producto se recomienda su almacenamiento en humedades relativas inferiores a 43%, a temperatura ambiente, conservándose hasta 4 meses desde su envasado.

6. REFERENCIAS

- AINSWORTH, P. (2011). *Extrusion, Food processing handbook*. Ed, Wiley- VCH Verlag and Co, 607 pp.
- AKOWSKA, A.B.; KUCHARSKA, Z.A.; OSZMIÁNSKI, J. (2003). The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin–polyphenol copigment complex. *Food Chemistry*, 81: 349-355.
- ALAM, M.S.; KAUR, J.; KHAIRA, H.; GUPTA, K. (2015). Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters. *Food Science and Nutrition*, 1: 445-473.
- ALAM, M.; PATHANIA, S.; SHARMA, A. (2016). Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*, 74: 135-144.
- ARGUEDAS, G.P.; MORA, M.J.; SANABRIA, M.J. (2015). Comparación del contenido de carotenoides en productos nutracéuticos elaborados a partir de dos variedades de camote y yuca. *Tecnología en Marcha*, 28: 42-53.
- ASHLEY, N.H.; LYNNE, S.T.; MAUER, L.J. (2010). Influence of Simultaneous Variations in Temperature and Relative Humidity on Chemical Stability of Two Vitamin C. Forms and Implications for Shelf Life Models, *J. Agric. Food Chem*, 58.
- BENNETT, L. E.; JEGASOTHY, H.; KONCZAK, I.; FRANK, D.; SUDHARMARAJAN, S.; CHLIGELEFFER, P.C. (2011). Polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions, *Journal of functional foods*, 3: 115 – 124.
- BENZIE, L.F.F.; STRAIN, J.J.; (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous 21 measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, 299: 15-27.
- BRENNAN, C.; BRENNAN, M.; DERBYSHIRE, E.; TIWARI, B.K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 22: 570-575.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60: 309-320.
- BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; & TELLER, E. (1940). On a theory of the van deWaals adsorption of gases. *Journal of American Chemistry Society*, 62, 1723–1732.
- CAMIRE, M.E.; DOUGHERTY, M.P.; BRIGGS, J.L. (2005). Antioxidant-rich foods retard lipid oxidation in extruded corn. *Cereal Chemistry* 82: 666–670.

CAMPO, G.O.; CAPORGNO, M.P.; MARIN, G.M. (2006). Degradación de vitamina A y carotenoides en zanahorias (*Daucus Carota*) mínimamente procesadas. *UTN Villa María*, 1: 1-5.

CASTELLS, M.; MARIN, S.; SANCHIS, V.; RAMOS A.J. (2005). Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: a review. *Food Additives and Contamination*, 22: 150–157.

CASTILLO, E.M.G (2006). Caracterización química de la harina de un fruto del amazonas (*Bactris gasiapaes*) crudo y procesado. *Universidad Simón Bolívar*, 1: 58.

CAURIE, M. (1970). A new model equation for predicting safe storage moisture stability of dehydrated foods. *Journal of Food Technology*, 5: 301-307.

CHANG, Y.K.; HASHIMOTO, J.; MOURA-ALCIOLI, M.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. (2001). Twin-screw extrusion of cassava starch and isolated soybean protein blends. *Molecular nutrition and food research*, 45: 234-240.

CHAKRABORTY, S.K.; SINGH, D.S.; CHAKRABORTY, S. (2009). Extrusion: A novel technology for manufacture of nutritious snack foods. *Beverages and Food World*, 1: 23-26.

CLEMENZT, A.; DELMORO, J. (2011). Snack frutales. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 14: 153-163.

CONTRERAS, C.; CALDERÓN, J.; GUERRA, H.; GARCÍA, V. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44: 2047-2053.

DAR, N.; SHARMA, S.; AHMAD N.G. (2016). Effect of storage period on physiochemical, total phenolic content and antioxidant properties of bran enriched snacks. *Food Measure* 10: ,755–761.

DAZA, J.A.; RODRIGUEZ, J.L.; MOSQUERA, S.A. (2015). Cambios fisiológicos, texturales y fisicoquímicos de dos variedades de chontaduro (*Bactris Gasipaes*) en poscosecha. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 13: 67-75.

DAVEY, M.W.; VAN MONTAGU, M.; INZE, D.; SANMARTIN, M.; KANELIS, A.; SMIRNOFF, N.(2000). Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 825–860.

DU, G.; LI, M.; MA, F.; LIANG, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in Actinidia fruits. *Food chemistry*, 113: 557-562.

EASTMAN, J.; ORTHOEFER, F.; SOLORIO, S. (2011). Using extrusion to create breakfast cereal products. *Cereal Foods World*, 46: 468–471.

FARINHA, P. (2014). Efeito da liofilização e da adição de goma arábica no potencial bioativo de extratos de morango e kiwi. Tesis Final de Master. Instituto Politécnico de Castelo Branco (Portugal).

GALLEGOS, J.A.; ROCHA, N.E.; GONZALEZ, R.F.; GARCIA, M.A. (2013). Efecto del procesamiento térmico sobre la capacidad antioxidante de pinole a base de vainas de mezquite (*Prosopis laevigata*). *Journal of Food*, 11, 162-170.

GARBANZO, P.R.; BUSTOS, C.; VAILLANT, F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. *Food Research International*, 44: 2377-2384.

GARDNER, P.T.; TAMSIN, A.; DONALD, C.W.; MCPHAIL, B.G.; DUTHIE, G. (2000). The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry*, 68: 471-474.

GOMEZ, M.; AGUILERA, J. (1984). A Physicochemical Model for Extrusion of Corn Starch. *Journal of Food Science*, 49: 40-43.

GRAEFE, S.; DUFOUR, D.; VAN ZONNEVELD, M.; RODRIGUEZ, F.; GONZALEZ A. (2013). Peach palm (*Bactris gasipaes*) in tropical Latin America: implications for biodiversity conservation, natural resource management and human nutrition. *Biodiversity and Conservation*, 22: 269-300.

JARDIM, G.; PILER, C.; GOMES, A.; BARBOZA, H.; HIDALGO, D.; GODOY, R.; PACHECO, S. (2016). Physicochemical properties and carotenoid content of extruded and non-extruded corn and peach palm (*Bactris gasipaes*, Kunth). *LWT- Food Science and Technology* 69, 312-318.

JATUNOV, S.; QUESADA, S.; DÍAZ, C.; MURILLO, E. (2010). Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 60: 99-104.

LOPEZ-CALVO, R.; PEREZ, A.M.; IVANKOVICH, G.C.; CALDERÓN, V.S.; PINEDA, C.M.L. (2015). Evaluación de la aceptación por consumidores de un bocadillo de pejibaye (*Bactris gasipaes*) y estudio de su potencial como alimento funcional. *Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 65: 51-58.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. (2011). Thermal characterisation of cornelentil extruded snacks. *Food Chemistry*, 127: 1625-1633.

MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, X.; PINZÓN-ZÁRATE, L.X.; ORDOÑEZ-SANTOS, L.E. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, *Arecaceae*) obtenida por secado convectivo. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, 18: 599-613.

MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; ANDRÉS, G.A.; FITO, P.M.; CHIRALT, B.A. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento-entorno*. Universidad Politécnica de Valencia, 374 pp.

MARZEC, A.; LEWICKI, P.P. (2006). Antiplasticization of cereal-based products by water. Part I. Extruded flat bread. *Journal of Food Engineering*, 73: 1-8.

MEDALLO-ORTEGA, E.; HORNERO-MÉNDEZ, D. (2017). Carotenoides en cereales. *Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo*, 21: 472-500.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.; HEREDIA, J.; VICARIO, M. (2004). Estabilidad de los carotenoides en los alimentos. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 54: 209-215.

MIRANDA, M.; VEGA-GÁLVEZ, A.; LÓPEZ, J.; PARADA, G.; SANDERS, M.; ARANDA, M.; URIBE, E.; DI, K. (2010). Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Industrial Crops & Products*, 32: 258-263.

MOSCICKI, L.; SUILIHEM, D.J. (2011). Extrusion-cooking and related techniques. *Application, Theory and Sustainability*, 1: 1-236.

MUTHUKUMARAPPAN, K.; KARUNANITHY, C. (2012). Extrusion cooking process In: Handbook of Food Process Design. *Blackwell Publishing Ltd*, Pages 1: 710-742.

NAVALE, S.A.; SHRIKANT, B.S.; THAKOR, N.J. (2015). Extrusion Cooking Technology for Foods: A Review. *Journal of Ready to Eat Food*, 2: 66-80.

NIMSE, S.B.; Pal D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Adv*, 5: 27986.

NOR, N. (2013). Development of expanded snack foods containing pumpkin flour and corn grits using extrusion technology. *Tesis doctoral Massey University*, Nueva Zelanda.

NORAJIT, K.; GU, B.; RYU, G. (2011). Effects of the addition of hemp powder on the physicochemical properties and energy bar qualities of extruded rice. *Food Chemistry*, 129: 1919-1925.

OLIVES, B. A.; CÁMARA H.M.; SANCHEZ-MATA, M.C.; FERNÁNDEZ-RUIZ, V.; LOPEZ S.T.M. (2006). Application of a UV-vis detection- HPLC method for a rapid determination of lycopene and β -carotene in vegetables. *Food Chemistry*, 95: 328–336.

OZGEN, M.; SERCE, S.; GUNDUZ, K.; YEN, F.; KAFKAS, E.; PAYDAS, S., (2007). Determining total phenolics and antioxidant capacities of selected *Fragaria* genotype. *Asian Journal of Chemistry*, 19: 5573-5581.

PARDESHI, I.L.; CHATTOPADHYAY, P.K. (2014). Whirling bed hot air puffing kinetics of rice-soy ready-to-eat (RTE) snacks. *Journal of Ready to Eat Foods*, 1: 01-10.

PAWAR, S.G.; PARDESHI, I.L.; BORKAR, P.A.; RAJPUT, M.R. (2014). Optimization of process parameters of microwave puffed sorghum based ready-to-eat (RTE) food. *Journal of Ready to Eat Foods*, 1: 59-68.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ, S.; TABERNERO, M.; DÍAZ-RUBIO, M.E.; SERRANO, J.; GOÑI, I.; SAURA-CALIXTO, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41: 274–285.

PINEDA, D. (2017). *Tendencias en snacks nutritivos*. Ministerio de Economía. España

PRIMO, Y.E. *Química de los alimentos*. Ed síntesis. España 1998.

PROTEGGENTE, R.A.; SEKBER, A.; PAGANGA, G.P.; VAN DUREN, L.; WAGNER, E.; WISEMAN, S. (2002). The Antioxidant Activity of Regularly Consumed Fruit and

Vegetables Reflects their Phenolic and Vitamin C Composition. *Free radical research*, 36.

QUE, F.; MAO, L.; FANG, X.; WU, T. (2008). Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata Duch.*) flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 43: 1195–1201.

QUESADA, S.; GABRIELA, A.; JATUNOV, S.; JIMÉNEZ, G.; NAVARRO, L.; GÓMEZ, G. (2011). Carotenoids composition, antioxidant activity and glycemic index of two varieties of *Bactris gasipaes*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23: 482-489.

RAHMAN, M.S.; LABUZA, T.P. (1999). *Water activity and food preservation*. Ed, M.S. Rahman, New York. 339–382 pp.

REDDY, M.K.; KUNA, A.; DEVI, N.L.; KRISHNAIAH, N.; KAUR, C.; NAGAMALLESWARI, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *Journal of Food Science Technologie*, 51: 1929–1937.

RESTREPO, J.; ESTUPIÑAN, J.A. (2007). Potencial del chontaduro (*Bactris Gasipaes H.B.K*) como fuente alimenticia de alto valor nutricional en países tropicales. *Revista de Ciencias*, 1: 1-8.

RESTREPO, O.J.; VINASCO, I.L.E.; ESTUPIÑAN, R.J.A. (2012). Estudio comparativo del contenido de ácidos grasos en 4 variedades de chontaduro (*bactris gasipaes*) de la región del pacífico colombiano. *Revista de Ciencias*, 16: 123-129.

REYES, C.R.; BASTIDAS, P.S.; PEÑA, R.E.A. (1997). Caracterización de frutos de chontaduro (*Bactris gasipae K.*) de la región de Tumaco, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 1: 45-61.

RIAZ, M.N. (2000). Introduction to extruders and their principles. In: *Extruders in food applications*. Ed, CRC Press, Boca Raton, United States of America. 1- 23 pp.

RINCÓN, A. (2003). *Efecto del procesamiento sobre el valor nutricional de los alimentos*, Capítulo 5. Ed, CYTED, Caracas. 128 pp.

ROCHA-PARRA, D.F.; LANARI, M.C.; ZAMORA, M.C.; CHIRIFE, J. (2016). Influence of storage conditions on phenolic compounds stability, antioxidant capacity and colour of freeze-dried encapsulated red wine. *LWT - Food Science and Technology*, 70: 162-170.

ROJAS-GARBANZO, C.; PEREZ, A.M; BUSTOS-CARMONA, J.; VAILLANT, F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* HBK) flour. *Food Research International*, 44: 2377-2384.

ROJAS-GARBANZO, C.; PÉREZ, A.M.; PINEDA, M.L.; VAILLANT, F. (2012). Major physicochemical and antioxidant changes during peachpalm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour processing. *Fruits*, 67: 415-427.

SABLANI, S.S.; KASAPIS, S.; RAHMAN, M.S. (2007). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*, 78: 266–271.

SABLANI, S.S.; SYAMALADEVI, R.M.; SWANSON, B.G. (2010). A review of methods, data and applications of state diagrams of food systems. *Food Engineering Reviews*, 2: 168-203.

SCHEBOR, C.; BUERA, P.; KARELB, M.; CHIRIFE, J. (1999). Color formation due to non-enzymatic browning in amorphous, glassy, anhydrous, model systems. *Food Chemistry*, 65: 427-432.

SALINAS, N. (2011). Caracterización de snacks extruidos de ocumo-maíz enriquecidos con aceite de palma parcialmente refinado como ingrediente funcional. *Departamento de química*, 24: 72-77.

SALINAS, M.Y.; SAAVEDRA, A.S.; SORIA, R.J. (2008). Physicochemical characteristics and carotenoid content in yellow corn (*zea mays l.*). *Agricultura Técnica en México*, 34: 357-364.

SARAWONG, C.; SCHOENLECHNER, K.R.; SEKIGUCHI, E.; BERGHOFER, P.K.W. (2014). Ng.Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143: 33–39.

SELVENDRAN, R.R.; RYDEN, P. (1990). *Methods in plant biochemistry*. Academy Express – London, 2: 549.

SERRA, H.M.; CAFARO, T.A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41: 525-532.

SHARMA, P.; GUJRAL, H.S.; SINGH, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131: 1406–1413.

SPAGGIARI, M., (2014). Ottimizzazione del proceso di estrazione di composti bioattivi di *Actinidia spp.*, *Fragaria ananassa*, *Morus nigra* e *Humulus lupulus*, per la formulazione di prodotti nutraceutici ad alta capacità antiossidante. Trabajo Final de Carrera. Università degli Studi di Parma (Italia).

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. (1983). Comparison of regression methods for fitting the GAB model to the moisture isotherms of some dried fruit and vegetables. *Journal of Food Engineering*, 13: 115-133.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, K.; CROSBY, L.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; BYRNE, D.H (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 669-675.

VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. (1981). *Water activity and its estimation in food systems*. Ed, L. B. Rockland, G. F. Stewart, New York 61 pp.

VAN DEN BERG, R.; HAENEN, G.R.; VAN DEN BERG, H.; BAST, A.A.L.T. (1999). Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food Chemistry*, 66: 511-517.

VEGA-GÁLVEZ, R.; LEMUS-MONDACA, P.; FITO, A. (2007). Moisture sorption isotherms and isosteric heat of red bell pepper (var. Lamuyo), *Food Sci. Technol*, 13: 309– 316.

WANI, S.A.; KUMAR, P. (2016). Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. *LWT - Food Science and Technology* 74: 448-455.

XU, G.; LIU, D.; CHEN, J.; YE, X.; MA, Y.; SHI, J. (2008). Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chemistry*, 106: 545–551.

ZIELINSKI, H.; KOZLOWSKA, H.; & LEWCZUK, B. (2001). Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 2: 159–169.