

UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL



EFFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y DE LA HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE EN LA ESTABILIDAD DE DIFERENTES FRUTAS DESHIDRATADAS DE ORIGEN COLOMBIANO: PLÁTANO POPOCHO (*Musa exótica* L.), CHONTADURO (*Bactris gasipaes* Kunth) Y PACÓ (*Gustavia superba* Kunth)

TRABAJO FIN DE MASTER DE GESTION EN LA SEGURIDAD Y CALIDAD ALIMENTARIA

PRESENTA: Diana Cartuche Macas

DIRIGIDO: Dra. Gemma Moraga
Dra. Eva García Martínez

Valencia, Septiembre 2015

EFFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Y DE LA HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE EN LA ESTABILIDAD DE DIFERENTES FRUTAS DESHIDRATADAS DE ORIGEN COLOMBIANO: PLÁTANO POPOCHO (*Musa exótica* L.), CHONTADURO (*Bactris gasipaes* Kunth) Y PACÓ (*Gustavia superba* Kunth)

Cartuche, D.; García-Martínez, E.; Moraga, G¹.

RESUMEN

En este trabajo se estudió la estabilidad de diferentes materias primas de interés para la preparación de un alimento complementario destinado a la población infantil del departamento del Chocó (Colombia). Se trabajó con muestras de plátano popocho (*Musa exótica* L.), chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth) y pacó (*Gustavia superba* Kunth), que por su contenido en nutrientes y compuestos fitoquímicos fueron seleccionados en estudios previos. Se partió de muestras deshidratadas, equilibradas en ambientes con dos humedades relativas (11,3% y 75,5%) y almacenadas a 20°C durante 9 meses. Se estudió el efecto del tiempo de almacenamiento y de la humedad relativa ambiente sobre algunas propiedades físicas y funcionales de las muestras. En general, al comparar los valores obtenidos de fenoles y carotenoides, a las dos a_w con los valores iniciales se apreció una merma significativa ($p < 0,05$) en todas las muestras, en mayor grado en las de mayor a_w . El almacenamiento provocó la pérdida de la vitamina C del pacó y del plátano, únicamente se detectó vitamina C en el chontaduro. Se apreció oxidación lipídica. También se observó una disminución significativa ($p < 0,05$) en la actividad antioxidante de todas las muestras respecto a su valor inicial reflejando la degradación de bioactivos. El tiempo de almacenamiento y la a_w de las muestras también afectaron significativamente a la respuesta mecánica de las mismas, a pesar de no presentar problemas evidentes de colapso o apelmazamiento. Las muestras se volvieron menos luminosas con el tiempo, especialmente las de mayor a_w , presentando a su vez cambios significativos en el tono y la pureza de color.

Palabras claves: Plátano popocho, chontaduro, pacó, bioactivos, actividad antioxidante, propiedades físicas, almacenamiento.

RESUM

En aquest treball es va estudiar l'estabilitat de diferents matèries primeres d'interès per a la preparació d'un aliment complementari destinat a la població infantil del departament del Va xocar (Colòmbia). Es va treballar amb mostres de plàtan popocho (*Musa exòtica* L.), chontaduro (*Bactris*

¹ Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria (CUINA). Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022. Valencia.

gasipaes Kunth) i pacó (*Gustavia superba* Kunth), que pel seu contingut en nutrients i compostos fitoquímics van ser seleccionats en estudis previs. Es va partir de mostres deshidratades, equilibrades en ambients amb dues humitats relatives (11,3% i 75,5%) i emmagatzemades a 20°C durant 9 mesos. Es va estudiar l'efecte del temps d'emmagatzematge i de la humitat relativa ambient sobre algunes propietats físiques i funcionals de les mostres. En general, en comparar els valors obtinguts de fenols i carotenoides, a les dues a_w amb els valors inicials es va apreciar un minvament significatiu ($p < 0,05$) en totes les mostres, en major grau en les de major a_w . L'emmagatzematge va provocar la pèrdua de la vitamina C del pacó i del plàtan, únicament es va detectar vitamina C en el chontaduro. Es va apreciar oxidació lipídica. També es va observar una disminució significativa ($p < 0,05$) en l'activitat antioxidant de totes les mostres respecte al seu valor inicial reflectint la degradació de bioactius. El temps d'emmagatzematge i la a_w de les mostres també van afectar significativament a la resposta mecànica de les mateixes, malgrat no presentar problemes evidents de col·lapse o apelmazamiento. Les mostres es van tornar menys lluminoses amb el temps, especialment les de major a_w , presentant al seu torn canvis significatius en el to i la puresa de color.

Paraules Claus: Plàtan popocho, chontaduro, pacó, bioactius, activitat antioxidant, propietats físiques, emmagatzematge.

ABSTRACT

In this work the stability of different raw materials of interest to prepare a complementary food for the Choco's children (Colombia) was studied. Popocho banana (*Musa exotica* L.), peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) and paco (*Gustavia superba* Kunth) samples were selected in previous studies based on their nutritional and phytochemical composition. Dehydrated samples, equilibrated at two relative humidity environments (11,3% and 75,5%) and stored at 20°C for 9 months were analyzed. The effect of storage time and relative humidity on some physical and functional properties was studied. The results showed, at both a_w levels, a significant ($p < 0.05$) decrease in the content of phenols and carotenoids, compared to the initial values, being more pronounced in samples with higher a_w . The storage caused vitamin C loss on banana, paco, being only detected in chontaduro. Lipid oxidation was also observed. The antioxidant activity was significantly ($p < 0.05$) reduced in all samples, compared to their initial values, reflecting the bioactive compounds degradation. The mechanical response of samples was also significantly affected by the storage time and the a_w , nevertheless, they did not show caking or collapse problems. The samples became less bright during storage, especially at higher a_w , with significant changes in their hue and chroma values.

Keywords: Popocho banana, chontaduro, paco, bioactive, antioxidant activity, physical properties, storage.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente hace veinticinco años se aprobó la Convención sobre los derechos del niño (CDN), tratado internacional que recoge y reconoce los derechos económicos, sociales, culturales, civiles y políticos de todos los niños, siendo aplicación obligatoria de todos los Gobiernos (UNICEF, 2015). Una década después de la aprobación de la CDN, en la Cumbre del milenio se firmó la declaración del milenio de las Naciones Unidas en el que se comprometen a cumplir con ocho objetivos de desarrollo del milenio (ODM), siete de ellos enfocados a erradicar la pobreza y seis están vinculados con la buena nutrición (Mosquera et al., 2013b). Con el propósito de lograr los objetivos cada país se planteó estrategias, entre éstas los programas de alimentación, debido a que la desnutrición está asociada a situaciones de pobreza. En la actualidad, las últimas estimaciones de la FAO señalan que en el periodo de 1990-92 al 2012-14, la desnutrición disminuyó a nivel mundial de 18,7% a 11,3%, para países en vía de desarrollo de 23,4% al 13,5% y en América Latina del 14,4% al 5,1% (FAO, 2015). De la última región, particularmente Colombia, en la década anterior ha logrado progresos notables en reducción de la pobreza del 49,7% a 32,7%, sin embargo continúa siendo uno de los países más inequitativos de la región, con tasas de pobreza el 11% para la capital Bogotá y por encima del 60% para el Chocó, departamento ubicado en la región del pacífico, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Colombia (PNUD, 2014). De acuerdo a la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN), las regiones con mayor afectación por falta de alimentos son la atlántica (58,7%) y la pacífica (47,3%) (ICBF, 2010). En el caso particular del Departamento del Chocó, reporta un riesgo de desnutrición infantil de 64,2%, y su prevalencia se encuentra varios puntos por encima del promedio nacional. La desnutrición infantil afecta principalmente a los sectores más vulnerables entre ellos niños menores de cinco años y la deficiencia es sobre todo en proteínas y micronutrientes (Ospina, 2014).

El Departamento del Chocó posee alta disponibilidad de materias primas, de origen natural para la alimentación, siendo así que ésta forma parte de la dieta durante todas las etapas del desarrollo infantil (Mosquera et al., 2013b). La producción agraria del Departamento del Chocó se centra principalmente en cultivos de plátano, maíz, arroz, cacao, borojó, chontaduro, yuca, limón, cimito, guama, guanábana y coco (Gobernación del Chocó, 2008), como también cultivos de pacó (Medina et al., 2007). Muchos de estos alimentos con alto contenido nutritivo, pueden ser utilizados en combinación, para formular complementos alimenticios, considerando las necesidades nutricionales de los infantes.

Con la finalidad de estudio para el presente trabajo, se consideró, una variedad de plátano de cocción popocho (*Musa exótica L.*), chontaduro (*Bactris gasipaes Kunth*) y pacó (*Gustavia superba Kunth*).

En Colombia, los cultivos de plátano son considerados los de mayor importancia social debido a su explotación a nivel tradicional, familiar y técnico-económico (comercial), consecuentemente se convierte en un recurso con elevada disponibilidad para la población, siendo así que

constituye la base fundamental de suministro de hidratos de carbono, para los sectores con bajos recursos económicos (Cayón y Salazar, 2001). En el caso específico del Departamento del Chocó el plátano de variedad popocho (*Musa exótica L.*) es una de las principales fuentes de alimentación infantil, secado al sol, procesado como harina y utilizado para preparar coladas y papillas (primera infancia) (Ospina, 2014). La composición química del plátano depende del tipo y del grado de maduración. En términos generales el componente mayoritario después del agua, son los hidratos de carbono compuestos por polisacáridos como el almidón que posteriormente, durante la maduración, se transformará en azúcares simples como glucosa, sacarosa o fructosa (Astiasarán y Martínez, 2000). Con respecto a los compuestos nitrogenados y lípidos son componentes minoritarios, el plátano también es fuente de minerales (potasio, magnesio y fósforo), vitaminas (A, B1, B2, B6, C y E), y alto contenido de fibra dietética (Wenzel et al., 2011). La fibra dietética está asociada con compuestos bioactivos, los mismos que contribuyen a la actividad antioxidante del plátano (Wenzel et al., 2011). Los compuestos bioactivos o antioxidantes como carotenoides (α caroteno, β caroteno, luteína, zeaxantinas) (De Vasconcelos-Facundo et al., 2015) y compuestos fenólicos, retrasan o impiden el inicio o propagación de las reacciones de oxidación en cadena (Guiné et al., 2015).

El chontaduro (*Bactris gasipaes Kunth*) es una fruta exótica de color amarillo, fibrosa y carnosa, de elevado valor nutritivo debido a su alto contenido de fibra, ácidos grasos, β caroteno, aminoácidos esenciales y por su valor energético (Espinosa-Pardo et al., 2014). El peso del fruto varía entre 20 y 100g, el contenido de pulpa con cáscara es de 92% y de este valor el 81% solo es pulpa (Ordóñez-Santos et al., 2015). En el Chocó, la explotación de este fruto es principalmente la obtención de aceite.

El pacó (*Gustavia superba (Kunth.) O. Berg*) pertenece a la familia Lecythidaceae, la pulpa de la fruta se consume fresca, asada o cocida (Mosquera et al., 2013a). El pacó contiene proteína (Medina et al., 2007), grasa y minerales (Leterme et al., 2006).

Las necesidades nutricionales de los niños del Chocó se pueden combatir con los alimentos tradicionales de consumo diario por su alto valor nutritivo, con la variante que estos sean alimentos deshidratados, controlados a través de la actividad de agua y conservados en condiciones óptimas. Las condiciones de almacenamiento, como la luz, la temperatura, la humedad son parámetros importantes para la optimización de su vida útil y disminuir los procesos de deterioro, para conservar sus características organolépticas y nutricionales.

El objetivo del trabajo fue determinar el impacto del tiempo y de las condiciones de almacenamiento en muestras de plátano popocho (*Musa exótica L.*), chontaduro (*Bactris gasipaes Kunth*) y pacó (*Gustavia superba Kunth*) deshidratadas, acondicionadas en cámaras a dos humedades relativas diferentes (11,3 y 75,5%) y almacenadas durante 9 meses. Se estudió la estabilidad de las muestras mediante la caracterización de los compuestos fitoquímicos mayoritarios (compuestos fenólicos totales, carotenoides), vitamina C, actividad antioxidante y oxidación lipídica.

También se estudiaron algunos parámetros físicos de calidad como el color y las propiedades mecánicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se partió de muestras de plátano popocho (*Musa exótica* L.), chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth) y pacó (*Gustavia superba* Kunth), previamente procesadas en la Universidad Tecnológica del Chocó (Colombia). Éstas fueron sometidas a un tratamiento de secado a 60°C durante 24 horas, simulando el secado tradicional al sol. Posteriormente fueron trituradas y almacenadas en oscuridad en cámaras a 20°C con diferente humedad relativa, 11,3 y 75,5% hasta alcanzar el equilibrio termodinámico con su entorno. Una vez equilibradas, fueron envasadas a vacío y almacenadas en oscuridad, durante 9 meses a 20°C.

Análisis

Para estudiar la estabilidad de las muestras después de 9 meses de almacenamiento, se realizaron análisis de compuestos funcionales (fenoles totales, carotenoides, vitamina C), actividad antioxidante, oxidación lipídica, propiedades ópticas y mecánicas.

Fenoles totales

Para la determinación de los fenoles totales presentes en las muestras se utilizó el ensayo Folin-Ciocalteu según Selvendran y Ryden (1990) y Benzie y Strain (1999). Para la extracción de los compuestos fenólicos se empleó metanol como disolvente y se siguió la metodología descrita por Tomás-Barberán et al. (2001). A 250 µL del extracto obtenido, se añadieron 15 mL de agua bidestilada y 1,25 mL de reactivo Folin- Ciocalteu y se dejó reposar 8 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se añadieron 3,75 mL de una disolución de carbonato de sodio 7,5% (p/v) y se llevó a 25 mL con agua bidestilada. Se mantuvo en oscuridad a temperatura ambiente durante 2 h y se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Para cuantificar los fenoles totales se prepararon disoluciones de diferentes concentraciones de ácido gálico. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como mg ácido gálico/100 g materia seca.

Carotenoides

La determinación de carotenoides totales presentes en las muestras se llevó a cabo mediante espectrofotometría según el método AOAC (1996). Para la extracción de los carotenoides totales se siguió la metodología descrita por Olives et al. (2006), empleando como disolvente una mezcla de

hexano-acetona-etanol (50:25:25). Se midió la absorbancia a 446 nm, mediante un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Para la cuantificación se utilizó una recta de calibrado de β -caroteno como patrón. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como mg de β -caroteno/ 100 g de materia seca.

Vitamina C

La vitamina C se determinó por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) sumando el contenido en ácido ascórbico (AA) y ácido dehidroascórbico (DHAA). El AA se determinó según la metodología descrita por Xu et al. (2008). El DHAA se redujo a AA usando el reactivo DL-ditiotreitol (Sigma-Aldrich), de acuerdo con Sánchez-Mata et al. (2000) y Sánchez-Moreno et al. (2003), y se procedió de nuevo al análisis del AA, obteniéndose así el contenido en Vitamina C.

Se empleó un equipo HPLC (Jasco, Italia) con una bomba ternaria (Jasco PU-1580 HPLC pump), 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 de 190 hasta 650 nm. Además el equipo cuenta con un desgasificador incorporado y un inyector automático. Se empleó una columna Zorbax SB-C18 de 5 μ m (4,6 x 25 mm), junto con una precolumna (C18 Teknokroma). Como fase móvil se empleó ácido oxálico (0,1%) con un flujo de 1 mL/min a 25 °C. Se inyectaron 20 μ L de muestra y se midió la absorbancia a 243 nm. La vitamina C fue identificada por su tiempo de retención y cuantificada por integración de las áreas de los picos obtenidos de los cromatogramas usando ácido ascórbico como patrón. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como mg ácido ascórbico/100 g materia seca.

TBA Ácido 2-tiobarbitúrico

Se empleó la metodología descrita Guzmán-Chozas et.al. (1997). Este método consiste en condensación de una molécula de malonaldehído y dos moléculas de TBA, formando así un pigmento rojo. El malonaldehído es un metabolito secundario de la oxidación de ácidos grasos, el cual se utiliza para cuantificar el estado de rancidez de la muestra (Rosmini et al., 1996). A 1 g de muestra se añadió 30 mL de una disolución de ácido tricloroacético-EDTA- galato de propilo. La mezcla se homogeneizó y se centrifugó 5 min a 4000 rpm. El sobrenadante obtenido se filtró, con este filtrado se prepararon diferentes tubos de ensayo con distintas concentraciones de muestra. A estos tubos se le añadió 5 mL de la disolución de TBA y 5 mL de la disolución de ácido tricloroacético, - EDTA y galato de propilo. Los tubos se taparon y fueron introducidos en un baño con ebullición suave durante 40 minutos. Finalizado este tiempo los tubos se enfriaron y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 530 nm (Espectrofotómetro Thermo Electron Corporation, USA). Los resultados se expresaron como mg malonaldehído /100 g materia seca.

Capacidad antioxidante

La actividad antioxidante viene determinada por interacciones antagonistas o sinergistas entre las diferentes sustancias que muestran esta actividad (Palomino G. et al., 2009), así como por el modo de acción concreto de cada una de ellas, por lo que no hay un acuerdo en el mejor método a utilizar para su análisis, aconsejándose combinar más de un método para evaluar de manera correcta la capacidad antioxidante de una muestra (Pérez-Jiménez et al., 2008). Los más comúnmente usados y los que se han empleado en este estudio, son la reducción de metales (FRAP) y la captación de radicales generados a partir de ciertas moléculas orgánicas (ABTS, DPPH) (Özgen et al., 2007). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Método DPPH

Se empleó la metodología descrita por Brand-Williams et al. (1995) y Sanchez-Moreno et al. (2003). Este método consiste en la captación de radicales libres por parte de las sustancias antioxidantes que contiene la muestra. Se midió la absorbancia a 517nm (Espectrofotómetro UV-visible Thermo Electron Corporation) a tiempo cero y a los 2,5 minutos, tiempo en el que la reacción se había estabilizado. Se calculó el % de DPPH, según la siguiente ecuación:

$$\%DPPH = \frac{(At_0 - At_{2,5})}{At_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde: At_0 = Absorbancia a tiempo 0 minutos; $At_{2,5}$ = Absorbancia a tiempo 2,5 minutos.

Por otro lado, se realizó una recta de calibrado con trolox que permitió expresar el porcentaje de inhibición del DPPH de forma cuantitativa (μ moles de trolox equivalente /100 g de materia seca).

Método FRAP

Se siguió la metodología descrita por Benzie y Strain (1996); Pulido et al. (2000) y Thaipong et al. (2006). El método consiste en la capacidad que tiene la muestra para reducir un complejo hierro (III) con la molécula tripiridil-s-triazina (TPTZ) a su forma de hierro (II). Este se puede cuantificar por colorimetría en base a un patrón de hierro (II). En una cubeta se coloca el reactivo FRAP (mantenida durante todo el análisis en baño a 37°C), H₂O bidestilada y el extracto o de disolvente de extracción en el caso del blanco. Se midió la absorbancia a 593 nm (Espectrofotómetro UV-visible Thermo Electron Corporation). Los resultados se expresaron como μ moles de trolox equivalente /100 g de materia seca.

Método ABTS

Se empleó la metodología descrita por Re et al. (1999); Arnao et al. (2001) y Thaipong et al. (2006). El método se basa en la captación del radical catión ABTS•+, por parte de los antioxidantes de la muestra. El ensayo básicamente consiste en añadir los antioxidantes una vez que el radical ABTS•+, se ha formado y así se determina la disminución de la absorbancia debido a la reducción del radical. Se preparó una disolución de ABTS 7mM y persulfato de potasio 2,45mM (1:0,5), que se mantiene a temperatura de refrigeración y al abrigo de la luz durante 12-16 horas, condiciones necesarias para la formación del radical catiónico ABTS•+. Antes de iniciar la lectura de la absorbancia se realiza una dilución de la solución de ABTS•+ en etanol hasta obtener un valor de absorbancia de 0,7nm. Se adicionan 10 µL de extracto y a continuación se lee la absorbancia a 734 nm a tiempo cero y a tiempo 1 minuto. Los resultados se expresarán como µmoles de trolox equivalente /100g de materia seca.

Propiedades mecánicas

Para la medición de las propiedades mecánicas se siguió la metodología descrita por Telis y Martínez-Navarrete (2010). Se realizó un ensayo de compresión mecánica utilizando un texturómetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Ltd., UK) con una sonda cilíndrica de 10 mm de diámetro. Las muestras fueron depositadas en cápsulas de aluminio, se comprimió una distancia fija de 1mm a una velocidad constante de 0,5 mm/s. Se registró la curva fuerza-distancia y a partir de ella se obtuvo la fuerza máxima.

Propiedades ópticas

Después de realizar las mediciones de las propiedades mecánicas se procedió a medir el color, en la superficie de las muestras depositadas en las cápsulas de aluminio utilizadas en el ensayo de compresión. Se utilizó un espectrocolorímetro Minolta CM-3600d (Japón). Utilizando como referencia el iluminante D65 y un ángulo de observación de 10° se obtuvieron las coordenadas CIE L*a*b*, a partir de las cuales se calcularon los atributos de color croma (C*_{ab}) (Ec. 2) y tono (h*_{ab}) (Ec. 3). También se determinó la diferencia de color (ΔE*) (Ec. 4) entre muestras para evaluar la influencia del tiempo de almacenamiento y la humedad relativa del ambiente.

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

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el programa Statgraphics, realizando un análisis de la varianza (ANOVA), utilizando el test de comparación simple con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$). Además se utilizó la correlación de Pearson para determinar la relación que existe entre los compuestos fitoquímicos y los métodos de evaluación de la capacidad antioxidante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de compuestos funcionales

La concentración de fenoles totales y carotenoides, cuantificada en las muestras de plátano popocho verde (PPV), chontaduro y pacó a las dos a_w 0,113 y 0,755, se encuentra en la tabla 1. En esta tabla se muestra también el valor inicial de estos compuestos antes del almacenamiento (Peña, 2015). Los resultados se expresaron por 100 g de materia seca con fines comparativos.

TABLA 1. Valores promedio y desviación estándar de fenoles totales (mg ácido gálico/100 g materia seca) y carotenoides (mg β -caroteno/100 g materia seca).

	Muestra	Inicial *	a_w 0,113	a_w 0,755
Fenoles	PPV	7,2 \pm 0,8 ^{c2}	3,18 \pm 0,16 ^{b3}	1,7 \pm 0,8 ^{a2}
	Chontaduro	7,63 \pm 0,15 ^{c2}	4,47 \pm 0,07 ^{b2}	2,2 \pm 0,8 ^{a2}
	Pacó	42 \pm 2 ^{c1}	26,56 \pm 0,08 ^{b1}	10,2 \pm 0,8 ^{a1}
Carotenoides	PPV	0,324 \pm 0,007 ^{c3}	0,14 \pm 0,02 ^{b3}	0,05 \pm 0,03 ^{a3}
	Chontaduro	17 \pm 4 ^{b2}	16,59 \pm 0,08 ^{b2}	8,3 \pm 0,2 ^{a2}
	Pacó	26 \pm 3 ^{c1}	18,33 \pm 0,03 ^{b1}	9,5 \pm 0,3 ^{a1}

^{a-c} Superíndice diferente dentro de la misma fila indica diferencias significativas entre la muestra inicial y las mismas muestras a distintas a_w , tras 9 meses de almacenamiento ($p < 0,05$).

¹⁻³ Para cada análisis, superíndices diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre las 3 frutas de estudio ($p < 0,05$).

* Valores iniciales tomados de la investigación de Peña (2015).

Como puede observarse en la tabla 1, la muestra que mayor ($p < 0,05$) contenido fenólico presentó fue el pacó. En general, los valores reportados de fenoles totales para PPV resultan concordantes con la bibliografía (Guiné et al., 2015). Al comparar los valores de fenoles totales obtenidos tras los 9 meses de almacenamiento con los valores iniciales reportados por Peña (2015), se apreció una disminución significativa ($p < 0,05$) de estos compuestos en todas las muestras, en mayor grado en las muestras con mayor a_w . Las pérdidas en compuestos fenólicos observadas fueron de 56% y 76% en PPV, 41% y 71% en chontaduro y 37%, 76% en pacó, para las a_w

0,113 y 0,755, respectivamente. Otros autores han observado también una mayor degradación de compuestos fenólicos al aumentar la humedad en muestras de pomelo liofilizado (Moraga et al., 2012, Aznar, 2014). La razón de esta disminución puede ser debido a que las muestras con mayor humedad tienen mayor disponibilidad de agua para las reacciones químicas, favoreciendo la producción de reacciones de oxidación. Dentro del grupo de los fenoles se encuentran moléculas de estructura simple, como los ácidos fenólicos (ácido hidroxibenzóico y ácido hidroxicinámico) y moléculas complejas como los taninos, ligninas y estilbeno, cuya degradación también puede verse afectada por la actividad enzimática (Aznar, 2014).

Comparando entre las distintas muestras de alimentos estudiadas, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido fenólico de PPV, chontaduro y pacó en la a_w 0,113, en cambio, a a_w 0,755 no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el plátano popocho verde y el chontaduro.

En cuanto a los carotenoides, éstos se caracterizan por su rápida degradación en sistemas deshidratados a través de procesos de oxidación autocatalíticos (Goldman et al., 1983). Como se aprecia en la tabla 1, en PPV y pacó se observó un descenso significativo ($p < 0,05$) de su contenido en carotenoides con el almacenamiento, en mayor grado para las muestras con mayor a_w . Sin embargo, en el chontaduro los compuestos carotenoides se mantuvieron estables con el almacenamiento en las muestras a_w 0,113. En general, su evolución fue similar al descrito en los fenoles totales, la mayor concentración de carotenoides se encontró en las muestras con a_w 0,113 y disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en las muestras con a_w 0,755 reflejándose una pérdida de 57% y 85% en PPV, 2% y 52% en chontaduro y 30%, 64% en pacó, para las a_w 0,113 y 0,755, respectivamente. La razón de la reducción de estos compuestos puede ser la producción de reacciones de oxidación lipídica (Labuza, 1973) formándose radicales libres que pueden acelerar la degradación de carotenoides. Además, en el caso de las muestras con a_w 0,755, las oxidaciones promovidas por la acción enzimática pueden verse favorecidas por el incremento de agua disponible, prestándose para reacciones de deterioro. Otros autores también experimentaron un descenso de carotenoides cuando aumentaba la a_w en muestras de pomelo liofilizado acondicionado a distintas humedades relativas (Aznar, 2014).

Si comparamos entre muestras de alimentos, los valores de carotenoides obtenidos en PPV, chontaduro y pacó para ambas a_w son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) entre sí. En general, la muestra con mayor cantidad de carotenoides fue el pacó, seguida del chontaduro. El pacó y el chontaduro tienen coloración rojo- anaranjada. Algunos estudios han demostrado que existe una estrecha relación entre el contenido de carotenoides y el color que presentan las frutas y verduras, es decir, mientras más se aproxime al color rojo más carotenoides contendrá (Rojas-Garbanzo et al., 2011).

Los valores iniciales de vitamina C reportados por Peña (2015) indicaron que el PPV, chontaduro y pacó tenían una concentración de $3,3 \pm 0,6$, $10,4 \pm 0,4$, $20,9 \pm 0,2$ mg ác. ascórbico / 100g materia seca, respectivamente. Tras ser acondicionados hasta conseguir una a_w en los mismos de 0,113 y 0,755 y almacenados a 20°C, en oscuridad, durante 9 meses, se observó

una merma significativa ($p < 0,05$) de este compuesto. Concretamente, solo se encontró vitamina C en el chontaduro, no detectándose en las otras muestras. Los valores de vitamina C fueron de $8,3 \pm 0,3$ mg ác. ascórbico / 100g materia seca para la muestra de chontaduro de $a_w 0,113$ y $3,3 \pm 0,3$ mg ác. ascórbico / 100g materia seca para la muestra con $a_w 0,755$ (pérdidas de 21% y 68%, respectivamente). El tiempo de almacenamiento y la humedad influyeron en la degradación de concentración de vitamina C, haciendo patente su ya conocida sensibilidad a factores como la temperatura, exposición a la luz, enzimas, oxígeno y pH, elementos claves para su estabilidad (Ceballos, 2008, Cortéz, 2011).

Análisis de la oxidación lipídica

La oxidación lipídica de las muestras se evaluó mediante el ensayo del ácido 2-tiobarbitúrico. En la siguiente tabla se señalan los valores obtenidos de TBA de las muestras de PPV, chontaduro y pacó a las dos a_w estudiadas. Los resultados se expresaron en mg malonaldehído/100 g de materia seca con fines comparativos.

TABLA 2. Valores promedio y desviación estándar de valores de TBA, expresados en mg malonaldehído /100 g de materia seca.

	Muestra	$a_w 0,113$	$a_w 0,755$
TBA	PPV	$0,0479 \pm 0,0009^{b3}$	$0,0809 \pm 0,0003^{a3}$
	Chontaduro	$0,2353 \pm 0,0006^{b2}$	$0,5368 \pm 0,0007^{a2}$
	Pacó	$0,2695 \pm 0,0003^{b1}$	$0,7063 \pm 0,0013^{a1}$

^{a-b} Superíndice diferente dentro de la misma fila indica diferencias significativas entre la misma muestra a las dos a_w : 0,113 y 0,755 ($p < 0,05$).

¹⁻² Superíndices diferentes dentro de la misma columna indica diferencias significativas entre las frutas para una misma a_w ($p < 0,05$).

Como se aprecia en la tabla 2, en general, las muestras con valores estadísticamente más altos ($p < 0,05$) de TBA fueron las de mayor a_w . Los valores iniciales de grasa en las muestras de PPV, chontaduro y pacó fueron: $0,349 \pm 0,002$, $12,6 \pm 0,3$ y $46,3 \pm 0,7$ g /100 g de materia seca, respectivamente (Peña, 2015). En los resultados obtenidos se observó que las muestras que contenían mayor contenido de grasa fueron las que mayor contenido de TBA reportaron, lo que indicó que, en estos casos, se produjo una mayor degradación de ácidos grasos polinsaturados y mayor producción de productos de descomposición secundaria, incluyendo carbonilos y compuestos hidrocarburos (Sun et al., 2001). Además, esta mayor degradación lipídica estuvo relacionada con la mayor a_w de las muestras.

Comparando entre los alimentos estudiados, el que mayor concentración de TBA reportó fue el pacó con $a_w 0,755$ y el menor el PPV con $a_w 0,113$. En ningún caso los cambios observados en el grado de rancidez fueron detectados organolépticamente, no percibiéndose aroma a rancio. No se han encontrado valores orientativos de este índice en frutas. Otros estudios en muestras de pescado han concluido que el límite de aceptación sensorial es

aproximadamente de 5-8 mg malonaldehído /kg, a partir del cual el estado de oxidación puede percibirse organolépticamente (Nunes et al., 1992).

En general, si relacionamos estos resultados con los obtenidos para los compuestos carotenoides, se puede deducir que puesto que los carotenoides se conocen como sustancias antioxidantes lipofílicas (Thaipong et al., 2006), se apreció una degradación de los mismos, al mismo tiempo que un aumento de los valores de TBA, indicando una oxidación lipídica de las grasas de las muestras, más acusada a mayor a_w .

Estudio de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante resulta un indicador primordial de la calidad en frutas, y parece depender del contenido en compuestos funcionales analizados en este estudio (Klopotek et al., 2005). En la tabla 3 se recogen los valores de la actividad antioxidante determinada por tres métodos, DPPH, FRAP y ABTS, de las muestras de PPV, chontaduro y pacó a las dos a_w 0,113 y 0,755, expresados en μ moles de trolox equivalente/ 100g de materia seca. También se muestra el valor inicial de la actividad antioxidante de las muestras antes del almacenamiento y del equilibrado a las humedades de estudio, medida con el método DPPH (Peña, 2015).

TABLA 3. Valores promedio y desviación estándar de valores de actividad antioxidante determinada por el método DPPH, FRAP y ABTS, expresados en μ moles de trolox equivalente/100 g de materia seca.

Método	Muestra	Inicial*	a_w 0,113	a_w 0,755
DPPH	PPV	0,9 ± 0,2 ^{b2}	0,7 ± 0,3 ^{a2}	0,37 ± 0,16 ^{a2}
	Chontaduro	1,312 ± 0,003 ^{b2}	0,9 ± 0,2 ^{a2}	0,58 ± 0,14 ^{a2}
	Pacó	20 ± 2 ^{c1}	7,4 ± 0,2 ^{b1}	3,3 ± 0,3 ^{a1}
FRAP	PPV	—	0,59 ± 0,06 ^{b3}	0,25 ± 0,02 ^{a2}
	Chontaduro	—	0,37 ± 0,03 ^{b2}	0,27 ± 0,02 ^{a2}
	Pacó	—	3,63 ± 0,05 ^{b1}	2,73 ± 0,15 ^{a1}
ABTS	PPV	—	0,74 ± 0,07 ^{b3}	0,30 ± 0,07 ^{a2}
	Chontaduro	—	0,90 ± 0,05 ^{b2}	0,41 ± 0,04 ^{a2}
	Pacó	—	6,85 ± 0,06 ^{b1}	2,72 ± 0,04 ^{a1}

^{a-c} Para cada fruta, superíndice diferente dentro de la misma fila indica diferencias significativas entre las distintas a_w ($p < 0,05$).

¹⁻³ Para cada análisis, superíndices diferentes dentro de la misma columna indica diferencias significativas entre frutas a la misma a_w ($p < 0,05$).

*Valores tomados de la investigación de Peña (2015).

El pacó fue el alimento que mayor ($p < 0,05$) actividad antioxidante presentó, tanto al inicio como a cada a_w . Esta fruta es la que a su vez presentó mayor contenido en fenoles y carotenoides totales. En general, se observó una pérdida ($p < 0,05$) de actividad antioxidante en todas las muestras con el almacenamiento, al comparar con los valores iniciales obtenidos por Peña (2015) medidos mediante el método DPPH. Estas

pérdidas están relacionadas con la disminución del contenido en compuestos fenólicos, carotenoides y vitamina C producidos (Sulaiman et al., 2011). Al igual que ocurría con los compuestos fitoquímicos analizados, estas pérdidas son mayores en las muestras con mayor a_w . Esta evolución observada parece estar relacionada con la disponibilidad de agua para participar en reacciones de degradación o para actuar como un vehículo que permite la movilidad de los diferentes sustratos implicados (Moraga et al., 2012). Así, para el método de análisis DPPH se observaron pérdidas del orden de: 59% para PPV, 56% para chontaduro y 84% para pacó. En cambio para las muestras con a_w 0,113 las pérdidas de capacidad antioxidante fueron menores (PPV 26%, chontaduro 25% y pacó 63%).

La muestra de pacó con menor a_w mostró mayor ($p < 0,05$) valor de actividad antioxidante. Sin embargo el contenido en agua no afectó a la actividad antioxidante del PPV y del chontaduro evaluada por DPPH. Tampoco se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras de PPV y chontaduro. En cualquier caso, el mecanismo con el que el agua controla la degradación de compuestos bioactivos es muy complejo y depende de factores intrínsecos, como la complejidad del tejido vegetal y extrínsecos, como el procesado llevado a cabo sobre las muestras, como afirman los autores (McMinn y Magee, 1997, Santos y Silva, 2008, Gamboa-Santos et al., 2013).

En general, la determinación de la actividad antioxidante por los métodos FRAP y ABTS reflejaron que las muestras con a_w 0,113, poseían mayor ($p < 0,05$) actividad antioxidante con respecto a las muestras con a_w 0,755, También el pacó fue el que reportó mayor ($p < 0,05$) actividad antioxidante. En ambos métodos de análisis, para la humedad más alta el PPV y chontaduro presentaron valores similares ($p > 0,05$) de actividad antioxidante.

Correlación de la actividad antioxidante y los compuestos bioactivos

Con la finalidad de explicar la influencia de los constituyentes fitoquímicos cuantificados en las muestras analizadas sobre su actividad antioxidante, se realizó un análisis estadístico de correlación. En la tabla 4 se reflejan los coeficientes de correlación de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. Como era de esperar, se observó que todos los coeficientes fueron positivos, es decir la relación entre cada pareja de variables fue positiva. Se mostró mayor correlación entre carotenoides y fenoles con el método ABTS en la muestra de pacó y chontaduro, para el PPV la mejor correlación entre los fitoquímicos y la actividad antioxidante fue con FRAP. Existen estudios que muestran a los fenoles como los fitoquímicos que presentan una mayor aportación a la actividad antioxidante en muestras de varios vegetales y frutas, como kiwi y pomelo (Baharun et al., 2004, Tavarini et al., 2008, Pascual et al., 2013). Otros autores encontraron correlación positiva de fenoles con el método ABTS y con DPPH en muestras de néctar, pulpa, piel y mermelada de membrillo (Yilmaz y Karadeniz, 2014, Silva et al., 2004). En otros estudios con zumo de tomate y

zanahoria, los carotenoides se correlacionaron mejor con el método FRAP (Müller et al., 2011).

TABLA 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre los fenoles totales y los carotenoides con los métodos utilizados para medir la actividad antioxidante.

Bioactivo	Muestra	Método		
		DPPH	FRAP	ABTS
Fenoles	PPV	0,6880	0,8838*	0,7608
	Chontaduro	0,8096	0,9166*	0,9374*
	Pacó	0,9888*	0,9673*	0,9979*
Carotenoides	PPV	0,5511	0,9573*	0,9209*
	Chontaduro	0,8221*	0,9522*	0,9883*
	Pacó	0,9939*	0,9757*	0,9992*

* Estadísticamente significativo (nivel de confianza del 95%)

Propiedades mecánicas y ópticas

También se estudiaron algunos parámetros físicos de calidad, como las propiedades mecánicas y ópticas de las muestras, tras 9 meses de almacenamiento.

Los valores de fuerza máxima (F_{max}) obtenidos a partir del ensayo de compresión se muestran en la tabla 5. Al comparar los valores obtenidos a las a_w 0,113 y 0,755 con los valores reportados por Ospina (2014) a los 3 meses de almacenamiento, se apreció un descenso significativo ($p < 0,05$) en todas las muestras analizadas en mayor medida en muestras con mayor a_w . El PPV es el alimento que presenta el valor más alto y se podría atribuir a su composición y a su estado de madurez (verde), ya que tiene mayor contenido de almidón, lo cual hace a la muestra más estable con respecto a estados de madurez avanzados.

TABLA 5. Valores promedio y desviación estándar de los valores de fuerza máxima (F_{max}) registrados en el ensayo de compresión.

Muestra	a_w 0,113* (3 meses)	a_w 0,113 (9 meses)	a_w 0,755* (3 meses)	a_w 0,755 (9 meses)
PPV	68 ± 4 ^a	29,30 ± 0,96 ^{b1}	64 ± 7 ^x	25,44 ± 1,06 ^{y2}
F_{max}(N) Chontaduro	96 ± 8 ^a	3,35 ± 0,04 ^{b1}	92,6 ± 1,8 ^x	1,21 ± 0,16 ^{y2}
Pacó	37,4 ± 1,8 ^a	3,902 ± 0,014 ^{b1}	27,9 ± 1,5 ^x	1,9 ± 0,3 ^{y2}

^{a-b} Superíndices diferentes dentro de la misma fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$) en muestras con a_w 0,113 por efecto del tiempo de almacenamiento.

^{x-y} Superíndices diferentes dentro de la misma fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$) en muestras con a_w 0,755 por efecto del tiempo de almacenamiento

¹⁻² Superíndices diferentes dentro de la misma fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$) entre muestras con $a_w=0,113$ y 0,755 después de nueve meses de almacenamiento.

* Valores tomados de la investigación de Ospina (2014).

Al comparar los valores obtenidos después de 9 meses de almacenamiento a las dos HR, se observó una diferencia significativa

($p < 0,05$), reportándose los valores más bajos en muestras con mayor a_w , tal y como ha sido descrito por otros autores (Mosquera et al., 2011). Sin embargo, a diferencia de lo que se ha observado en otros productos de fruta en polvo estudiados (Telis y Martínez-Navarrete, 2010, Mosquera et al., 2011), no se apreciaron problemas evidentes de colapso o apelmazamiento a ninguna de las HR de almacenamiento. Esto puede ser debido al alto contenido en almidón y/o grasa presente en su composición (Ospina, 2014)

Un parámetro importante de calidad es el color visual o superficial de los alimentos y una forma de caracterizar objetivamente este parámetro es mediante el empleo de coordenadas del espacio uniforme del color CIEL*a*b* junto a las coordenadas psicométricas como tono (h_{ab}^*) y croma (C_{ab}^*), las cuales se representan en la tabla 6.

Como se observa en la tabla 6, en todas las muestras se apreció un descenso significativo ($p < 0,05$) en la claridad o luminosidad (L^*) al prolongar el tiempo de almacenamiento, con mayor impacto en muestras con mayor a_w . Tras 9 meses de almacenamiento, las muestras con $a_w=0,755$ presentaron valores de L^* significativamente menores ($p < 0,05$) que aquellas con $a_w=0,113$, comportamiento similar al comparar con los valores reportados por Ospina (2014) tras 3 meses de almacenamiento. La razón de esta disminución puede ser debido a que las muestras con mayor humedad se prestan para la formación de los compuestos de pardeamiento no enzimático durante el almacenamiento, además de otras reacciones como la degradación oxidativa del ácido ascórbico y/o la conversión de polifenoles en policarbonilos que de igual manera pueden contribuir al oscurecimiento (Cortés et al., 2007).

TABLA 6. Valores promedio y desviación estándar de las coordenadas psicométricas luminosidad (L^*), tono (h_{ab}^*) y croma (C_{ab}^*).

	Muestra	$a_w 0,113^*$ (3 meses)	$a_w 0,113$ (9 meses)	$a_w 0,755^*$ (3 meses)	$a_w 0,755$ (9 meses)
L^*	PPV	$84,6 \pm 0,3^a$	$78,6 \pm 1,3^{b2}$	$83,7 \pm 0,9^x$	73 ± 2^{y1}
	Chontaduro	$74,0 \pm 0,7^a$	$69,2 \pm 0,8^{b2}$	66 ± 3^x	$57,59 \pm 1,06^{y1}$
	Pacó	$52,6 \pm 0,9^a$	$49,7 \pm 0,6^{b2}$	49 ± 3^x	$43,406 \pm 0,103^{y1}$
C_{ab}^*	PPV	$12,0 \pm 0,6^a$	$11,6 \pm 0,7^{a1}$	$12,1 \pm 0,7^x$	$11,4 \pm 0,4^{x1}$
	Chontaduro	$36,2 \pm 1,2^a$	$20,4 \pm 0,5^{b2}$	53 ± 4^x	$46,2 \pm 0,2^{y1}$
	Pacó	$39,5 \pm 1,5^a$	$38,6 \pm 0,7^{a2}$	$32,2 \pm 1,5^x$	$25,66 \pm 0,05^{y1}$
h_{ab}^*	PPV	$85,5 \pm 0,5^a$	$81,8 \pm 1,4^{b1}$	$82,2 \pm 1,5^x$	$78,3 \pm 1,9^{y1}$
	Chontaduro	$82,5 \pm 0,7^b$	$86,2 \pm 0,4^{a2}$	$71,0 \pm 0,9^y$	$76,14 \pm 1,02^{x1}$
	Pacó	$70,2 \pm 0,4^b$	$72,2 \pm 1,2^{a2}$	$68,5 \pm 0,4^x$	$62,9 \pm 0,2^{y1}$

^{a-b} Superíndices diferentes dentro de la misma fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$) en muestras con $a_w 0,113$ por efecto del tiempo de almacenamiento.

^{x-y} Superíndices diferentes dentro de la misma fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$) en muestras con $a_w 0,755$ por efecto del tiempo de almacenamiento

¹⁻² Superíndices diferentes dentro de la misma fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$) entre muestras con $a_w=0,113$ y $0,755$ después de nueve meses de almacenamiento.

* Valores tomados de la investigación de Ospina (2014).

El croma (C_{ab}^*) indica la intensidad, saturación o pureza del color. Comparando los valores obtenidos a los 9 meses con los datos reportados por Ospina (2014), no se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) en la pureza de color de las muestras PPV, permaneciendo estables tras 9 meses de almacenamiento a ambas HR. Sin embargo, el color de las muestras de chontaduro y pacó tras 9 meses de almacenamiento fue significativamente menos puro que el de las muestras almacenadas 3 meses (Ospina, 2014), a excepción de la muestra de pacó con $a_w=0,113$, la cual no presentó diferencias significativas ($p>0,05$).

Respecto al tono (h_{ab}^*), éste varía entre 0° y 360° donde 0° corresponde con el color rojo- púrpura, 90° para color amarillo, 180° azulado verde y 270° azul (Gilbert, 1992). Todas las muestras analizadas se encuentran en el primer cuadrante del diagrama cromático CIEL*a*b*, observándose cambios significativos ($p<0,05$) por efecto del tiempo de almacenamiento a ambas a_w . La muestra PPV viró hacia colores amarillos-rojizos, siendo este cambio mayor en las muestras con $a_w=0,755$. Sin embargo no se observó una tendencia clara en la evolución del tono de las muestras de chontaduro y pacó, presentando el pacó tonos más rojizos, especialmente a mayor a_w .

Con el fin de calcular los cambios globales de color se determinó la diferencia de color (ΔE^*) entre los valores de las coordenadas CIEL*a*b* obtenidos a los 9 meses y los reportados por Ospina (2014) a los 3 meses de almacenamiento. Éstas diferencias de color por efecto del tiempo de almacenamiento fueron menores en las muestras con $a_w=0,113$, a excepción de las muestras de chontaduro donde se alcanzó un valor máximo de $\Delta E^*=\pm 16,6$. El menor valor de ΔE^* fue registrado en la muestra de pacó con menor a_w , con un valor por debajo de ± 5 , límite a partir del cual se considera que el ojo humano es capaz de percibir diferencias de color (McDonald y Smith, 1995).

TABLA 7. Diferencia de color (ΔE^*) entre muestras por efecto del tiempo de almacenamiento y la a_w de las muestras.

Muestra	ΔE^*_1	ΔE^*_2	ΔE^*_3
PPV	6,1	10,9	5,9
Chontaduro	16,6	11,4	28,8
Pacó	2,8	9,3	15,3

ΔE^*_1 : Diferencia de color entre muestras con $a_w=0.113$ almacenadas 3 y 9 meses; ΔE^*_2 : Diferencia de color entre muestras con $a_w=0.775$ almacenadas 3 y 9 meses; ΔE^*_3 : Diferencia de color por efecto de la a_w (0.113 y 0.775) después de 9 meses de almacenamiento.

CONCLUSIONES

El tiempo de almacenamiento y la a_w de las muestras de PPV, chontaduro y pacó, influyó significativamente en el contenido en compuestos fitoquímicos (compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C) observándose una degradación de los mismos. Las muestras de PPV, chontaduro y pacó

con a_w más baja reflejaron los mejores resultados reportando mayor contenido de fenoles totales, carotenoides, vitamina C (solo en el caso del chontaduro), así como menor degradación por oxidación lipídica. En ningún caso se detectaron signos de oxidación a nivel organoléptico. En general todos los métodos de medición de la actividad antioxidante se correlacionaron de manera positiva con los compuestos fitoquímicos estudiados.

Con respecto a las propiedades mecánicas, el tiempo de almacenamiento y la a_w influyeron de manera significativa en la respuesta mecánica de todas las muestras, con mayor impacto en aquellas con mayor a_w , sin embargo no presentaron problemas evidentes de colapso o apelmazamiento. Se apreció un descenso significativo en la luminosidad de todas las muestras tras 9 meses de almacenamiento, quedando más oscuras las muestras con mayor a_w . Éstas presentaron a su vez cambios significativos en el tono y la pureza de color, siendo el chontaduro la muestra con mayores diferencias de color encontradas después de 9 meses de almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia especialmente a mis amados padres Mariana y Polivio por su amor infinito, confianza y sabiduría en cada consejo, a mis hermanos Patricio y Luis por su apoyo incondicional, a mis hermanas Sara y Aída por estar siempre a mi lado. Deseo recordarles que son parte esencial de mi vida. A Mayra, Carlota y Amanda por su amistad y por los momentos compartidos en esta nueva etapa. A mis tutoras por la calidad humana que les caracteriza y por los valiosos conocimientos brindados. Finalmente agradezco a la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología. SENESCYT por el financiamiento de mis estudios y estadía.

Los autores agradecen la ayuda concedida a través de la convocatoria ADSIDEO - COOPERACIÓN 2012 (UPV) al proyecto “Contribución a la mejora del estado nutricional en poblaciones infantiles rurales del departamento del Chocó a partir de materias primas de uso tradicional”.

REFERENCIAS

- AOAC 1996. Official Methods of Analysis of AOAC International (16th edition). Vol II. Arlington-USA. Association of Official Analytical Chemists.
- Arnao, M. B.; Cano, A.; Acosta, M. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, **73(2)**:239-244.
- Astiasarán, I.; Martínez, A. 2000. *Alimentos: Composición y Propiedades*. Madrid. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Aznar, L., M. 2014. Optimización de las condiciones de almacenamiento y rehidratación del pomelo liofilizado. Trabajo fin de carrera. Universidad Politecnica de Valencia.
- Bahorun, T.; Luximon-Ramma, A.; Crozier, A.; Aruoma, O. I. 2004. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritian vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **84(12)**:1553-1561.
- Benzie, I. F. F.; Strain, J. J. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”:The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, **239(1)**:70-76.

- Benzie, I. F. F.; Strain, J. J. 1999. [2] Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*. Academic Press.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E.; Berset, C. 1995. Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, **28(1)**:25-30.
- Cayón, D. G.; Salazar, F. 2001. Resúmenes Analíticos de la Investigación sobre el Plátano en Colombia. Cali, Colombia. Feriva S.A.
- Ceballos, P., A. M. 2008. Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta. *Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales*, **1**:111.
- Cortés, R. M.; García, S. A.; Suárez, M. H. 2007. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) con calcio, selenio y vitamina C. *Vitae. Universidad de Antioquia. Colombia*, **14(1)**:16-24.
- Cortéz, G., R.M. 2011. Efecto Del Tratamiento Térmico En Las Propiedades Nutraceuticas Del Chile Chilaca (*Capsicum Annuum L.*). *Instituto Politécnico Nacional*, **1**:57.
- De Vasconcelos-Facundo, H. V.; Gurak, P. D.; Mercadante, A. Z.; Lajolo, F. M.; Cordenunsi, B. R. 2015. Storage at low temperature differentially affects the colour and carotenoid composition of two cultivars of banana. *Food Chemistry*, **170**:102-109.
- Espinosa-Pardo, F. A.; Martínez, J.; Martínez-Correa, H. A. 2014. Extraction of bioactive compounds from peach palm pulp (*Bactris gasipaes*) using supercritical CO₂. *Journal of Supercritical Fluids*, **93**:2-6.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. *El estado de la Inseguridad Alimentaria* [En línea]. FAO. Dirección URL: <http://www.fao.org/publications/sofi/2014/es/> [Consulta: 04 de Mayo 2015].
- Gamboa-Santos, J.; Cristina Soria, A.; Pérez-Mateos, M.; Carrasco, J. A.; Montilla, A.; Villamiel, M. 2013. Vitamin C content and sensorial properties of dehydrated carrots blanched conventionally or by ultrasound. *Food Chemistry*, **136(2)**:782-788.
- Gilbert, E. J. 1992. Medida de color. Departamento de Ingeniería Textil y Papelería, Universidad Politécnica de Valencia:86.
- Gobernación del Chocó 2008. Informe de gestión del cumplimiento de la política pública de infancia, adolescencia y la juventud del departamento del Chocó. [En línea]. Chocó. Dirección URL: http://www.choco.gov.co/apc-aa-files/656234353865356637373039393-83165/INTRODUCCION_DEFINITIVA.pdf [Consulta: 15 de Marzo 2015]
- Goldman, M.; Horev, B.; Saguy, I. 1983. Decolorization of β -Carotene in Model Systems Simulating Dehydrated Foods. Mechanism and Kinetic Principles. *Journal of Food Science*, **48(3)**:751-754.
- Guiné, R. P. F.; Barroca, M. J.; Gonçalves, F. J.; Alves, M.; Oliveira, S.; Mendes, M. 2015. Artificial neural network modelling of the antioxidant activity and phenolic compounds of bananas submitted to different drying treatments. *Food Chemistry*, **168**:454-459.
- Guzmán-Chozas, M.; Vicario, I. M.; Guillén-Sans, R. 1997. Spectrophotometric Profiles of Off-Flavor Aldehydes by Using Their Reactions with 2-Thiobarbituric Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **45(7)**:2452-2457.
- ICBF, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar 2010. ENSIN 2010. Dirección URL: <http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/NormatividadC/ENSIN1/ENSIN2010/LibroENSIN2010.pdf>. [Consulta: 15 de Marzo 2015]
- Klopotek, Y.; Otto, K.; Böhm, V. 2005. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53(14)**:5640-5646.
- Labuza, T. P. 1973. Effect of processing, storage and handling on nutrient retention in foods. Effect of dehydration and storage. *Food Technology*, **27(1)**:20.
- Leterme, P.; Buldgen, A.; Estrada, F.; Londoño, A. M. 2006. Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry*, **95(4)**:644-652.
- McDonald, R.; Smith, K. J. 1995. CIE94 - a new colour-difference formula. *Journal of the Society of Dyers & Colourists*, **111(12)**:376-379.

- McMinn, W. A. M.; Magee, T. R. A. 1997. Kinetics of Ascorbic Acid Degradation and Non-Enzymic Browning in Potatoes. *Food and Bioproducts Processing*, **75(4)**:223-231.
- Medina, H. H.; Martínez, M.; Bonilla, J. A. 2007. Caracterización bromatológica de materias primas y subproductos en el municipio de Quibdó, Chocó. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*, **26(2)**: 9-12
- Moraga, G.; Igual, M.; García-Martínez, E.; Mosquera, L. H.; Martínez-Navarrete, N. 2012. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. *Journal of Food Engineering*, **112(3)**:191-199.
- Mosquera, D. E. P.; Martínez, M. G.; Medina, H. H.; Hinestroza, L. I. 2013a. Bromatological characterization plants species and by-products in the humid tropic of Colombia. *Acta Agronomica*, **62(4)**:326-332.
- Mosquera, L. H.; Moraga, G.; de Córdoba, P. F.; Martínez-Navarrete, N. 2011. Water Content-Water Activity-Glass Transition Temperature Relationships of Spray-Dried Borjón as Related to Changes in Color and Mechanical Properties. *Food Biophysics*, **6(3)**:397-406.
- Mosquera, L. H.; Moraga, G.; Martínez, J. J.; Martínez, N. 2013b. Protocolo de actuación para contribuir a la mejora del estado nutricional de poblaciones infantiles de países en vías de desarrollo, a partir de materias primas de uso tradicional. *VI Congreso Universidad y Cooperación al desarrollo*, 1-13.
- Müller, L.; Fröhlich, K.; Böhm, V. 2011. Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (α TEAC), DPPH assay and peroxy radical scavenging assay. *Food Chemistry*, **129(1)**:139-148.
- Nunes, M. L.; Cardinal, M.; Mendes, R.; Morao Campos, R.; Bandarra, N. M.; Lourenco, H. 1992. Effect of season and storage on proteins and lipids of sardine (*Sardine pilchardus*) minces and surimi. *Quality assurance in the fish industry*. Ed. H. H. Huss, M. Jakobsen, & J. Liston, Elsevier:73-81.
- Olives Barba, A. I.; Cámara Hurtado, M.; Sánchez Mata, M. C.; Fernández Ruiz, V.; López Sáenz De Tejada, M. 2006. Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β -carotene in vegetables. *Food Chemistry*, **95(2)**:328-336.
- Ordóñez-Santos, L. E.; Pinzón-Zarate, L. X.; González-Salcedo, L. O. 2015. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) by-products with sunflower oil using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*.
- Ospina, A. 2014. Caracterización proximal y estudio de la estabilidad de diferentes materias primas de interés en la preparación de un alimentos complementario destinado a la población infantil del departamento del Chocó (Colombia). Tesis de Master. Universidad Politécnica de Valencia.
- Özgen, M.; Serçe, S.; Gündüz, K.; Yen, F.; Kafkas, E.; Paydas, S. 2007. Determining total phenolics and antioxidant activity of selected *Fragaria* genotypes. *Asian Journal of Chemistry*, **19(7)**:5573-5581.
- Palomino G., L. R.; García P., C. M.; Gil G., J. H.; Rojano, B. A.; Durango R., D. L. 2009. Determination of phenolic content and evaluation of antioxidant activity of propolis from Antioquia (Colombia). *Vitae*, **16(3)**:388-395.
- Pascual, B. I.; García Martínez, E.; Martínez Navarrete, N.; Igual Ramo, M. 2013. Aplicación de métodos combinados para la obtención de porciones de pomelo deshidratado y estudio de su funcionalidad. Tesis de Master. Universidad Politécnica de Valencia.
- Peña, E. 2015. Desarrollo de un alimento complementario infantil a base de productos de uso tradicional en la zona del Chocó (Colombia). Trabajo fin de carrera. Universidad Politecnica de Valencia.
- Pérez-Jiménez, J.; Arranz, S.; Taberner, 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(3)**:274-285.
- PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Colombia. 2014. Objetivos de Desarrollo del Milenio Colombia 2014. [En línea]. PNUD. Dirección URL: <http://www.pnud.org.co/sitio.shtml?apc=a-b020101--&x=75016#.VWGOxUa-M5x>. [Consulta: 04 de Mayo 2015].

- Pulido, R.; Bravo, L.; Saura-Calixto, F. 2000. Antioxidant Activity of Dietary Polyphenols As Determined by a Modified Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **48(8)**:3396-3402.
- 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(9-10)**:1231-1237.
- Rojas-Garbanzo, C.; Pérez, A. M.; Bustos-Carmona, J.; 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(7)**:2377-2384.
- Rosmini, M. R.; Perlo, F.; Pérez-Alvarez, J. A.; Pagán-Moreno, M. J.; Gago-Gago, A.; López-Santoveña, F.; Aranda-Catalá, V. 1996. TBA test by an extractive method applied to 'paté'. *Meat Science*, **42(1)**:103-110.
- Sanchez-Mata, M. C.; Cámara-Hurtado, M.; C., D.-M.; Torija-Isaza, M. 2000. Comparison of high-performance liquid chromatography and spectrofluorimetry for vitamin C analysis of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Food Research and Technology*, **210**:220-225.
- Sánchez-Moreno, C.; Plaza, L.; De Ancos, B.; Cano, M. 2003. Quantitative bioactive compounds assessment and their relative contribution to the antioxidant capacity of commercial orange juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **83(5)**:430-439.
- Santos, P. H. S.; Silva, M. A. 2008. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables - A review. *Drying Technology*, **26(12)**:1421-1437.
- Selvendran, R. R.; Ryden, P. 1990. Methods in plant biochemistry. *Academic Press, London*, **2**:549.
- Silva, B. M.; Andrade, P. B.; Valentão, P.; Ferreres, F.; Seabra, R. M.; Ferreira, M. A. 2004. Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit (pulp, peel, and seed) and jam: Antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **52(15)**:4705-4712.
- Sulaiman, S. F.; Yusoff, N. A. M.; Eldeen, I. M.; Seow, E. M.; Sajak, A. A. B.; Supriatno; Ooi, K. L. 2011. Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa* sp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, **24(1)**:1-10.
- Sun, Q.; Faustman, C.; Senecal, A.; Wilkinson, A. L.; Furr, H. 2001. Aldehyde reactivity with 2-thiobarbituric acid and TBARS in freeze-dried beef during accelerated storage. *Meat Science*, **57(1)**:55-60.
- Tavarini, S.; Degl'Innocenti, E.; Remorini, D.; Massai, R.; Guidi, L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry*, **107(1)**:282-288.
- Telis, V. R. N.; Martínez-Navarrete, N. 2010. Application of compression test in analysis of mechanical and color changes in grapefruit juice powder as related to glass transition and water activity. *LWT - Food Science and Technology*, **43(5)**:744-751.
- Thaipong, K.; Boonprakob, U.; Crosby, K.; Cisneros-Zevallos, L.; Hawkins Byrne, D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, **19(6-7)**:669-675.
- Tomás-Barberán, F. A.; Gil, M. I.; Cremin, P.; Waterhouse, A. L.; Hess-Pierce, B.; Kader, A. A. 2001. HPLC-DAD-ESIMS Analysis of Phenolic Compounds in Nectarines, Peaches, and Plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **49(10)**:4748-4760.
- UNICEF, United Nations International Children's Emergency Fund. 2015. *Convención sobre los derechos del niño* [En línea]. Dirección URL: <http://www.unicef.es/infancia/derechos-del-nino/convencion-derechos-nino> [Consulta: 04 de Mayo 2015].
- Wenzel, E.; Tadini, C.; Tribess, T.; Zuleta, A.; Binaghi, J.; Pak, N.; Vera, G.; Tanasov, M.; Bertolini, A.; Cordenunsi, B.; Lajolo, F. 2011. Chemical Composition and nutritional value of unripe Banana Flour (*Musa acuminata*, var: Nanicao). *Springer Science* Business Media*, **1**:232.
- 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(2)**:545-551.
- Yilmaz, E.; Karadeniz, F. 2014. Effect of storage on the bioactive compounds and antioxidant activity of quince nectar. *International Journal of Food Science and Technology*, **49(3)**:718-725.