



**Caracterización proximal y estudio de la estabilidad de diferentes materias primas de interés en la preparación de un alimento complementario destinado a la población infantil del departamento del Chocó (Colombia).**

**Trabajo Fin de Máster en Ciencia e Ingeniería de Alimentos**

Presentado por:

**Adriana del Pilar Ospina Sánchez**

Dirigida por:

**Dra. Gemma Moraga Ballesteros**

**Dra. Eva García Martínez**

Universidad Politécnica de Valencia  
Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo  
Máster en Ciencia e Ingeniería de Alimentos  
Valencia, España  
2014

# CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS DE INTERÉS EN LA PREPARACIÓN DE UN ALIMENTO COMPLEMENTARIO DESTINADO A LA POBLACIÓN INFANTIL DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ (COLOMBIA).

A Ospina, E. García, G. Moraga<sup>1</sup>.

## RESUMEN

En este trabajo se estudiaron diferentes materias primas de interés para la preparación de un alimento complementario destinado a la población infantil del departamento del Chocó (Colombia), entre las que se encuentran dos variedades de plátano de cocción en tres estados de madurez (verde, pintón y maduro): popocho (*Musa exótica* L.) y primitivo (*Musa acuminata* AA), chontaduro (*Bactris gasipaes*), cacao (*Theobroma cacao* L.), pacó (*Gustavia superba* (Kunth.) O. Berg) y quinua (*Chenopodium quinua*). Se partió de las muestras secas y trituradas, analizándose el contenido en humedad, cenizas, proteínas, grasas y almidón. También se estudió la estabilidad de las muestras en función del nivel de humectación. Para ello, éstas fueron acondicionadas en cámaras con humedades relativas del 11% al 75% (20 °C). Una vez alcanzaron el equilibrio se obtuvieron las correspondientes isotermas de sorción, ajustándose a cuatro modelos descritos en bibliografía: BET, GAB, Henderson y Caurie. Se analizó la temperatura de transición vítrea (Tg) por calorimetría diferencial de barrido (DSC) y se analizaron los cambios en las propiedades mecánicas y ópticas de las muestras con diferente contenido en humedad. En general, el plátano de ambas especies en estado verde, posee un mayor contenido en macronutrientes y mayor valor energético. Para formular un alimento equilibrado, de acuerdo con las recomendaciones del aporte diario energético de la dieta, sería necesario completar el aporte de proteínas. Dadas las características de los complementos estudiados, se recomendaría el empleo del chontaduro, quinua y cacao por su composición equilibrada en macronutrientes. En cuanto al estudio de estabilidad, las isotermas de sorción se clasificaron de tipo II. El mejor ajuste de los datos de sorción se encontró con el modelo de Henderson, excepto para el pacó que obtuvo un mejor ajuste al modelo de Caurie. Ningún producto en polvo presentó problemas de apelmazamiento, únicamente en el plátano popocho pintón y maduro se observó un cierto carácter gomoso, con cambios significativos en las propiedades mecánicas por efecto de la humectación, por lo que se analizó su temperatura de transición vítrea, llegándose a la conclusión de que para asegurar el estado vítreo de las muestras éstas deberán ser almacenadas en refrigeración. En todas las muestras analizadas se observó un efecto de la humectación sobre las propiedades ópticas presentado cambios en la luminosidad, croma y tono importantes a partir de una humedad relativa del 68% y 75%.

**Palabras claves:** Plátano popocho, plátano primitivo, chontaduro, pacó, quinua, cacao, isotermas de sorción, transición vítrea, propiedades ópticas y mecánicas.

## RESUM

En este treball es van estudiar diferents matèries primeres d'interès per a la preparació d'un aliment complementari destinat a la població infantil del departament del Chocó (Colombia), entre les que es troben dues varietats de plàtan de cocció en tres estats de maduresa (verd, pintón i madur): popocho (*Musa exòtica* L.) i primitiu (*Musa acuminata* AA), chontaduro (*Bactris gasipaes*), cacao (*Theobroma cacao* L.), pacó (*Gustavia supersuperba* (Kunth.) O. Berg) i quinoa (*Chenopodium*

---

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

quinoa). Es va partir de les mostres seques i triturades, analitzant-se el contingut en humitat, cendres, proteïnes, greixos i midó. També es va estudiar l'estabilitat de les mostres en funció del nivell d'humectació. Per a això, estes van ser preparades en cambres amb humitats relatives del 11% al 75% (20°C). Una vegada van aconseguir l'equilibri es van obtenir les corresponents isoterms de sorció, ajustant-se a quatre models descrits en la bibliografia: BET, GAB, Henderson i Caurie. Es va analitzar la temperatura de transició vítria ( $T_g$ ) i es van analitzar els canvis en les propietats mecàniques i òptiques de les mostres amb diferent contingut en humitat. En general, el plàtan d'ambdues espècies en estat verd, posseïx un major contingut en macronutrients i major valor energètic. Per a formular un aliment equilibrat, d'acord amb les recomanacions de l'aportació diària energètica de la dieta, seria necessari completar l'aportació de proteïnes. Donades les característiques dels complements estudiats, es recomanaria l'us del chontaduro, quinoa i cacau per la seua composició equilibrada en macronutrients. Quant a l'estudi d'estabilitat, les isoterms de sorció es van classificar de tipus II. El millor ajust de les dades de sorció es va trobar amb el model de Henderson, excepte per al pacó que va obtenir un millor ajust al model de Caurie. Cap producte en pols va presentar problemes d'atapeïment, únicament en el plàtan popocho pintón i madur es va observar un cert caràcter gomós, amb canvis significatius en les propietats mecàniques per efecte de la humectació, per la qual cosa es va analitzar la seua temperatura de transició vítria, arribant-se a la conclusió que per a assegurar l'estat vítri de les mostres estes hauran de ser emmagatzemades en refrigeració. En totes les mostres analitzades es va observar un efecte de la humectació sobre les propietats òptiques presentant importants canvis en la lluminositat, cromà i a partir d'una humitat relativa del 68% i 75%.

**Paraules clau:** Plàtan popocho, plàtan primitiu, chontaduro, pacó, quinoa, cacau, isoterms de sorció, transició vítria, propietats òptiques i mecàniques.

## ABSTRACT

In this work different raw materials of interest for the preparation of a supplementary food for the child population of the department of Chocó (Colombia) were studied. Two varieties of cooking bananas in three maturity stages (green, ripe and mature): popocho (*Musa exótica* L.) and primitivo (*Musa acuminata* AA), chontaduro (*Bactris gasipaes*), cacao (*Theobroma cacao* L.), pacó (*Gustavia superba* (Kunth.) O. Berg) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) were used. The dried and powdered samples were analyzed in terms of the water content, ash, protein, fat and starch. Stability of the samples as a function of the moisture level was also studied. For this, they were put in chambers with relative humidities from 11% to 75% (20 °C). Once the equilibrium was reached, sorption isotherms were obtained, and data were adjusted to four models described in literature: BET, GAB, Henderson and Caurie. Glass transition temperature ( $T_g$ ) was measured by differential scanning calorimetry (DSC) and changes in the mechanical and optical properties of the samples with different water content were analyzed. In general, both species of bananas in the green state, had a higher content of macronutrients and higher energy value. To formulate a balanced food, according to the recommendations of daily energy intake from the diet, it would be necessary to supplement the protein content. As for the nutritional characteristics of the supplements studied, the use of chontaduro, cocoa and quinoa could be recommend for balanced macronutrient composition. As for the stability study, sorption isotherms were classified of type II. In general, sorption data were best fitted to Henderson's model, except for pacó which better fitted to Caurie's model. Powdered product did not show caking problems, only in ripe and mature popocho banana a rubbery nature was observed, with significant changes in the mechanical properties due to the moisture. So that its glass transition temperature was analyzed, concluding that to ensure the glassy state samples should be stored under refrigeration. In all samples analyzed, an effect of wetting effect on the optical properties was observed. Changes in brightness, chroma and tone from a relative humidity of 68% and 75% were observed.

**KEYWORDS:** Popocho banana, primitive banana, chontaduro, pacó, quinoa, cacao, sorption isotherms, glass transition temperature, optical and mechanical properties.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido a la situación socioeconómica de diferentes países en vía de desarrollo, la población infantil presenta una dieta inadecuada afectando a su normal crecimiento y desarrollo. En el caso específico de Colombia, en el año 2010, según la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ICBF, 2011) las regiones con mayor prevalencia de deficiencia alimentaria eran la región atlántica (58,7%) y la pacífica (47,3%). En esta última región se encuentra ubicado el departamento del Chocó, que reporta un riesgo de desnutrición infantil de 64,2%, uno de los más altos a nivel nacional, con importantes deficiencias sobre todo de proteínas y micronutrientes.

Entre los recursos de uso tradicional en la alimentación infantil del departamento del Chocó, se encuentran los pertenecientes a la familia de las Musaceae, destacándose el popocho (*Musa exótica* L.) y el primitivo (*Musa acuminata* AA), los cuales se emplean en la preparación de coladas y papillas (primera infancia). A través de un secado al sol, el campesino lo pulveriza y obtiene una harina que se utiliza para el alimento diario de los niños, conocido como “colada” (Gorosquera et al., 2004). Sin embargo, se ha identificado como posible fuente del problema el temprano y elevado consumo de estas coladas en sustitución de la leche materna. Por esta razón resulta importante formular alimentos complementarios que contribuyan al aporte diario de nutrientes, identificando materias primas propias de la región que tengan un alto consumo, aceptabilidad y características nutricionales adecuadas.

En el departamento del Chocó la producción agrícola se centra en cinco cultivos: plátano de cocción (48,67%), yuca (18,87%), palma de aceite (10,7%), arroz secano manual (9,58%) y maíz tradicional (5,22%) además de otros productos como ñame (0,94%), cacao (0,30%) y frijol (0,02%). Entre la producción de frutas destaca la piña (41,4%), el chontaduro (22,1%), el banano (15,5%) y el borojó (14,1%) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2011). Además de los productos mencionados en las estadísticas agrícolas de la región también se encuentran cultivos de frutas como el pacó y fruto de árbol de pan (Medina et al., 2007).

Por su interés para el presente estudio se seleccionaron dos variedades de plátano de cocción popocho (*Musa exótica* L.) y primitivo (*Musa acuminata* AA), chontaduro (*Bactris gasipaes*), cacao (*Theobroma cacao* L.), pacó (*Gustavia superba* (Kunth.) O. Berg) y quinua (*Chenopodium quinua*).

En general, en Colombia el cultivo de plátano representa uno de los sectores más tradicionales de la agroindustria, donde un 4% de la producción nacional de plátano se destina al mercado de exportación, el restante se destina para el consumo interno en fresco y una pequeña porción, menos del 1 %, se destina como materia prima para la industria nacional principalmente para elaboración de harinas, precocidos y snacks (Agro cadenas, 2004). En 2011 la producción de plátano en el Chocó fue de 83.358 Toneladas lo que supone aproximadamente el 3% de la producción nacional. La composición química del plátano, depende de la especie y del estado de madurez en el que se encuentre. En general es rico en hidratos de carbono, bajo en proteínas y grasas, fuente vitaminas (A, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y B<sub>6</sub>) y minerales (potasio, magnesio y fósforo), así como de fibra soluble e insoluble (Hofsommer, 2001). El polisacárido predominante en este fruto es el almidón, siendo éste reemplazado por azúcares simples cuando va madurando.

El cacao (*Theobroma cacao* L), es comúnmente conocido por ser materia prima para la producción de chocolate. Está compuesto principalmente por grasa, por lo cual es una fuente importante de energía, también se caracteriza por su contenido de polifenoles

(alrededor del 10%) (Rusconi y Conti., 2010). Algunos estudios han reportado que el grano cacao seco contiene más compuestos fenólicos y mayor capacidad antioxidante que el té o el vino tinto (Lee et al., 2003). También se conoce por sus efectos antisépticos, diuréticos, antidepresivos y antiparasitarios (Edward et al., 2005).

El chontaduro (*Bactris gasipaes*), fruto que proviene de la palma americana, se caracteriza por su contenido de fibra, grasa,  $\beta$ -caroteno, aminoácidos esenciales, y un bajo contenido de sodio y azúcar (Fernández et al., 1995; Yuyama et al., 2003). Debido a su alto contenido de almidón y grasa hacen de esta fruta una fuente importante de energía (Clement et al., 2004; Da Silva y Clement., 2005; Leterme et al., 2005). Además de su consumo en fresco, se puede obtener aceite de chontaduro, bebidas fermentadas y harinas. Pero a pesar de su alto potencial nutricional actualmente en el Chocó la palma de chontaduro se utiliza más para la extracción de aceite, subproducto que se obtiene antes de que la planta fructifique (Mora et al., 1997).

El pacó (*Gustavia superba* (Kunth.) O. Berg) es un fruto que solo se cultiva en el departamento del Chocó. La forma de consumo por población afro descendiente es como fruta en fresco o cocido en sopa (Rivas et al 2010). Destaca su contenido en grasa, proteína y minerales (Fosforo y Hierro) (Leterme et al., 2006).

La quinua (*Chenopodium quinua*), destaca por su calidad proteica, rica en aminoácidos como la lisina, histidina y aminoácidos azufrados, aproximándose al patrón proteico especificado por la FAO (Oshodi et al., 1999; Comai et al., 2007). Además contiene una amplia gama de vitaminas y microelementos (Konishi et al., 2004; Bhargava et al., 2006). La quinua se clasifica como un pseudocereal por su alto contenido de almidón (50-60%) que hace que utilice como un cereal, sin embargo su contenido de grasa y proteína suele ser mayor que el de los cereales. Según el Ministerio de Agricultura Colombiano en 2007 había 104 hectáreas cultivadas en todo el país, principalmente en los departamentos Cauca, Nariño, Boyacá y Cundinamarca. Actualmente en el mercado, se puede encontrar la quinua en diferentes presentaciones: granos para consumir en ensaladas, sopas y harinas crudas e instantáneas, que se utilizan en repostería, panadería, batidos, sopas; hojuelas para cereales, yogurts y frutas (FAO, 2014a).

Para la formulación del alimento complementario se partirá de las materias primas secas y en polvo, por lo es relevante estudiar su estabilidad, ya que cuando se mezclen habrá un flujo de agua debido a diferencias en actividad del agua ( $a_w$ ) (Martinez-Navarrete et al., 1998). La  $a_w$  es una propiedad termodinámica relacionada con la disponibilidad del agua para permitir el crecimiento de microorganismos y para que se puedan producir diversas reacciones químicas y bioquímicas que afectan a la estabilidad. Los alimentos con una  $a_w$  menor a 0,6 son estables al crecimiento microbiano y son clasificados como deshidratados (Medeiros et al., 2006). La actividad del agua y el contenido de agua, son parámetros que han sido utilizados para describir la estabilidad de los alimentos y están correlacionadas por las isoterms de sorción. Las isoterms de sorción proporcionan información importante de las condiciones óptimas de secado y almacenamiento que son necesarias para determinar la vida útil de un determinado alimento (Assunção y Pena, 2007). Durante los procesos de secado es común la aparición de una matriz amorfa (situación de no equilibrio termodinámico), que puede estar en estado vítreo (de gran estabilidad dada la baja movilidad molecular) o bien en un estado gomoso. El cambio de estado vítreo-gomoso tiene lugar a una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ). Al pasar de estado vítreo a gomoso, los productos en polvo pueden presentar problemas de apelmazamiento, que lleva a cambios en las propiedades mecánicas del producto que podrían relacionarse con la diferencia entre la temperatura de almacenamiento y la  $T_g$  del producto, además de aumentar la velocidad con la que ocurren diferentes reacciones de oxidación enzimática o no enzimática, pérdida de compuestos volátiles, degradación de

sustancias bioactivas y modificaciones en el sabor, por lo que pueden actuar como indicadores de la pérdida de calidad nutricional del producto.

El objetivo de este trabajo ha sido realizar el análisis químico proximal (contenido en humedad, cenizas, grasa, proteína y almidón) de las materias primas seleccionadas y, a su vez, estudiar su estabilidad en función del nivel de humectación de las muestras, como estudio previo para diseñar un alimento a base de plátano y otros alimentos complementarios, de alta calidad nutritiva y estable en el almacenamiento. Se obtuvieron las isotermas de sorción de agua (20°C), se analizó la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y la evolución de las propiedades mecánicas y ópticas de las muestras con el objetivo de identificar los contenidos de humedad y actividad del agua críticos (CWC y CWA) que definen la pérdida de calidad de las materias primas estudiadas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Materias primas**

Los plátanos de las especies popocho (*Musa exótica L.*) y el primitivo (*Musa acuminata AA*) en tres estados de madurez (verde, pintón y maduro), chontaduro (*Bactris gasipaes*) y pacó (*Gustavia superba (Kunth.) O. Berg*) fueron procesados en la Universidad Tecnológica del Chocó (Colombia). Las muestras fueron peladas y cortadas en rodajas de 0,5mm de espesor y se les sometió a tratamiento de secado a 60 °C durante 24 horas. Una vez llegaron a la Universidad Politécnica de Valencia se trituraron (Termomix-Vorwerk) y envasaron en bolsas de vacío para los posteriores análisis. El cacao (*Theobroma cacao L.*, suministrado por Mocada, Brasil) y la quinua (*Chenopodium quinua*, suministrada por Vitalin, Brasil) que se utilizaron en este estudio fueron productos comerciales envasados listos para su consumo y procedentes de producción orgánica.

### **Análisis químico proximal**

A todas las materias primas empleadas en este estudio se las caracterizó en sus principales características nutritivas, a excepción de la quinua y el cacao, tomándose en estos casos los valores reportados en las respectivas etiquetas. Todos los análisis se realizaron por triplicado. La metodología empleada para los análisis se describe a continuación.

#### **HUMEDAD**

Las medidas del contenido en agua fueron efectuadas mediante el método oficial 925.10, de la A.O.A.C. (1990). Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de la muestra mediante desecación de la misma en una estufa de vacío (Vaciotem, J.P. Selecta), a una temperatura no superior a 63 °C y presión 10 mm Hg, dejando secar hasta peso constante.

#### **CENIZAS**

Las cenizas son el residuo inorgánico que permanece en la muestra posterior a su ignición u oxidación completa de la materia orgánica. La determinación de cenizas se efectuó por calcinación a 550 °C siguiendo el protocolo A.O.A.C., 923.03 (1990).

## SÓLIDOS SOLUBLES

Para la determinación de los sólidos solubles (°Brix) se empleó un refractómetro digital portátil (Refracto 3PX, Mettler Toledo, Suiza) a una temperatura de 20°C.

## GRASA

La determinación del contenido de grasa se efectuó siguiendo el protocolo de la A.O.A.C., 960.39 (1990). Se realizó una extracción directa de la materia grasa con éter de petróleo en un extractor continuo tipo Soxhlet.

## PROTEÍNAS

El análisis del contenido de proteínas se realizó de manera indirecta cuantificando el nitrógeno total mediante el método de Kjeldahl (A.O.A.C. 928.08, 1990). El método consta de 3 etapas: digestión, destilación y valoración. Se calcularon los g de nitrógeno/100 g de muestra. El porcentaje de proteína se calculó multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor correspondiente, dependiendo del tipo de alimento.

## ALMIDÓN

Para la determinación del contenido de almidón se utilizó la técnica polarimétrica siguiendo el protocolo de Ewers modificado. El análisis consistió en diluir la muestra en ácido clorhídrico diluido caliente y posteriormente desproteinizar con los reactivos Carrez I y II. Finalmente se determinó el ángulo de rotación de la luz polarizada de las muestras.

## Isotermas de sorción y transición vítrea

Todas las muestras fueron introducidas, por triplicado, en cámaras herméticas, a 20°C, que contenían disoluciones sobresaturadas de diferentes sales (LiCl, CH<sub>3</sub>COOK, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Mg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, NaNO<sub>2</sub> y NaCl), generándose ambientes con humedades relativas en un rango del 11% al 75% (Greenspan, 1977). El peso de las muestras (inicialmente alrededor de 1 g) fue controlado periódicamente hasta alcanzar peso constante ( $\Delta m < \pm 0,001g$ ), donde se asumió que las muestras habían alcanzado el equilibrio termodinámico con el ambiente, siendo su  $a_w$  igual a la humedad relativa (HR)/100. Con los valores iniciales de humedad de las muestras y la variación de peso sufrida en cada una de ellas, se calcularon las humedades en el equilibrio ( $w_e$ : g agua/g sólidos secos), construyéndose las correspondientes isotermas de sorción. Los datos de sorción fueron ajustados al modelo de BET (Brunauer et al., 1938) (Ec. 1), GAB (Guggenheim, Anderson and de Boer) (Van den Berg and Bruin., 1981) (Ec. 2), Henderson (Henderson., 1952) (Ec. 3) y Caurie (Caurie, 1970) (Ec. 4)

$$w_e = \frac{w_0 C a_w}{(1-a_w)(1+(C-1)a_w)} \quad (1)$$

Donde  $w_0$ : humedad de la monocapa (g agua/g sólidos) y C: constante relacionada con el calor de sorción.

$$w_e = \frac{w_0 C K a_w}{(1 - K a_w)(1 + (C - 1) K a_w)} \quad (2)$$

Donde  $w_0$ : humedad de la monocapa (g agua/g sólidos), C: constante relacionada con el calor de sorción de la monocapa y K: constante relacionada con el calor de sorción de la multicapa.

$$w_e = 0.01 \left[ \frac{-\log(1 - a_w)}{10^f} \right]^{1/n} \quad (3)$$

Donde n y f: parámetros característicos del producto.

$$w_e = e^{\left( a_w \times \ln(r) - \frac{1}{4.5 w_s} \right)} \quad (4)$$

Donde r: constante característica del material y  $w_s$ : contenido de humedad de seguridad (g agua/g sólidos)

Adicionalmente, se analizó la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), en aquellas muestras donde se observaron cambios aparentes en sus propiedades mecánicas durante el proceso de humectación. Se empleó la calorimetría diferencial de barrido (DSC), pensándose aproximadamente 10 mg de muestra en crisoles para DCS (P/N SSC000C008, Seiko Instruments Inc., Tokyo, Japón) que fueron sellados y analizados en un DSC 220CU-SSC5200 (Seiko Instruments Inc., Tokyo, Japón). La velocidad de calentamiento fue de 5 °C/min y rango de temperatura de -100 a 100 °C, variando de acuerdo al contenido de humedad de la muestras. Para el ajuste de los datos de la temperatura de transición vítrea se utilizó modelo de Gordon y Taylor (Ec. 5) (Gordon y Taylor, 1952).

$$T_g = \frac{(1 - x_w) T_{g(s)} + k x_w T_{g(w)}}{(1 - x_w) + k x_w} \quad (5)$$

Donde  $x_w$ : fracción másica de agua (g agua/ g producto),  $T_g$ : temperatura de transición vítrea (°C),  $T_{g(w)}$ : temperatura de transición vítrea del agua en estado amorfo (-135 °C),  $T_{g(s)}$ : temperatura de transición vítrea de los sólidos anhídridos (°C) y k: constante del modelo.

## Propiedades mecánicas

Una vez las muestras alcanzaron el equilibrio se realizó un ensayo de compresión usando un analizador de textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Ltd. UK) con una sonda cilíndrica de 10 mm de diámetro. La muestra fue depositada en capsulas de aluminio, se realizó un ensayo de compresión con una distancia fija de 1 mm y con una velocidad de 0,5mm/s. Cada ensayo se realizó por triplicado. Se registró la curva fuerza-distancia y a partir de ella se registró la fuerza máxima obtenida en cada ensayo ( $F_{max}$ ) (Telis y Martínez-Navarrete., 2009).

## Propiedades ópticas

Posterior al ensayo de compresión se efectuaron las medidas de color en la superficie de las muestras depositadas en las capsulas de aluminio empleadas para el ensayo mecánico. Se utilizó un espectrocolorímetro Minolta CM-3600d (Japón). Se obtuvieron las coordenadas CIE  $L^*a^*b^*$  utilizando como referencia el iluminante D65 y observador 10°.



Para calcular la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) se tomó como referencia la muestra equilibrada en la cámara con la menor humedad relativa.

### **Análisis estadístico**

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95% ( $p < 0,05$ ), empleando el programa Statgraphics Centurion XV. Se realizaron comparaciones del cambio de color y fuerza máxima, de las muestras equilibradas a diferentes actividades de agua.

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **Análisis químico proximal**

En la tabla 1 se muestra la caracterización en macronutrientes principales de las harinas de plátano popocho y primitivo en sus tres estados de madurez (verde, pintón y maduro), así como del chontaduro, pacó, quinua y cacao. Los resultados se expresaron en g compuesto por 100 gramos de materia seca con fines comparativos. Los resultados obtenidos están en concordancia con los publicados por otros autores (Torrealba, 2007), así como los reportados en la base de composición de alimentos de la USDA. Además se calculó el valor energético de las muestras como la suma de las calorías aportadas por cada gramo de grasa (9 Kcal/g), carbohidratos (4 Kcal/g) y proteínas (4 Kcal/g). El plátano constituye una buena fuente de energía, vitaminas y minerales. Sus características nutricionales dependen de las condiciones agronómicas del cultivo, la variedad de plátano y su estado de madurez (Adão y Glória, 2005). El valor energético del popocho disminuyó cuando aumentó el grado de madurez, mientras para el primitivo en su estado verde y pinto aportan las mismas Kcal/100g de harina, disminuyendo su aporte calórico al madurar. Estas diferencias están relacionadas con la variación de los macronutrientes presentes en estas frutas durante su maduración. En las dos variedades se observaron valores muy similares en el aporte energético. Se observó un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de la humedad con el grado de madurez en las dos variedades de plátano. El contenido de cenizas del popocho resultó significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor en estado maduro, mientras que el plátano primitivo presentó mayor ( $p < 0,05$ ) contenido en materia inorgánica en el estado verde. En cuanto a las proteínas y grasas no se advirtieron diferencias significativas entre las especies de plátano, pero dentro de sus estados de madurez en ambas el menor contenido de proteínas y grasa fue en el estado maduro.

En las frutas, el contenido en sólidos solubles representa principalmente la cantidad de ácidos orgánicos y azúcares solubles. Para cada estado de madurez, el contenido en sólidos solubles fue significativamente distinto ( $p < 0,05$ ) entre especies, y además aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ) en todos los casos al avanzar la madurez. Esto puede atribuirse al aumento en la cantidad de azúcares solubles durante la maduración, procedentes de la degradación del almidón (Mota et al., 1997), cuyo contenido resultó en ambas especies de plátano significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en el estado verde. Además, aquellas muestras con un mayor contenido en sólidos solubles presentaron un mayor contenido en humedad, lo cual puede ser debido a quedar el agua más retenida en las células en estos casos, dificultando su eliminación durante el proceso de secado.

Respecto al contenido en hidratos de carbono, se trata del macronutriente mayoritario del plátano, se calculó por diferencia de la cantidad de agua, cenizas, proteínas y grasa.

**TABLA 1.** Valores medios de los principales macronutrientes (g/100 gramos de materia seca) y desviación estándar (entre paréntesis) de las harinas de plátano popocho y primitivo en los tres estados de madurez estudiados (verde, pintón y maduro), del pacó, chontaduro, quinua y cacao.

	Plátano			Complementos				
	Especies de Plátanos	Verde	Pintón	Maduro	Pacó	Chontaduro	Quinua**	Cacao**
<b>Valor energético Kcal/100 g</b>	Popocho	387	375	369	608	432	392	447
	Primitivo	383	383	377				
<b>Humedad</b>	Popocho	0,9 (0,14) <sup>1a</sup>	3,8 (0,4) <sup>2b</sup>	4,6 (0,2) <sup>1c</sup>	2,5 (0,2)	6,01 (0,03)	5,67	2,84
	Primitivo	1,6 (0,3) <sup>2a</sup>	2,18 (0,02) <sup>1b</sup>	3,7 (0,4) <sup>1c</sup>				
<b>Cenizas</b>	Popocho	2,75 (0,04) <sup>1a</sup>	2,75 (0,02) <sup>1a</sup>	3,55 (0,07) <sup>2b</sup>	3,39 (0,104)	1,62 (0,05)	-	-
	Primitivo	3,39 (0,02) <sup>2a</sup>	2,74 (0,03) <sup>1b</sup>	2,7 (0,4) <sup>1b</sup>				
<b>Proteínas</b>	Popocho	4,10 (0,18) <sup>1a</sup>	3,68 (0,19) <sup>1ab</sup>	3,39 (0,19) <sup>1b</sup>	10,5 (0,4)	7,68 (0,99)	12,72	29,85
	Primitivo	4 (0) <sup>1ab</sup>	4,15 (0,19) <sup>1a</sup>	3,2 (0,3) <sup>1b</sup>				
<b>Hidratos de carbono *</b>	Popocho	91,8	89,5	88,3	37,31	72,09	74,21	58,67
	Primitivo	90,4	90,3	90,5				
<b>Grasas</b>	Popocho	0,3495 (0,002) <sup>1a</sup>	0,31 (0,08) <sup>1ab</sup>	0,17 (0,03) <sup>1b</sup>	46,3 (0,7)	12,6 (0,3)	4,88	10,29
	Primitivo	0,56 (0,12) <sup>1a</sup>	0,56 (0,19) <sup>1a</sup>	0,4 (0,2) <sup>1a</sup>				
<b>Almidón</b>	Popocho	54 (0) <sup>2a</sup>	20,7 (1,2) <sup>1b</sup>	14,5 (0,6) <sup>1b</sup>	5,79 (0)	42,6 (0,8)	-	-
	Primitivo	46 (4) <sup>1a</sup>	27,1 (0,8) <sup>2b</sup>	22 (0) <sup>2b</sup>				
<b>Sólidos solubles</b>	Popocho	6,13 (0,012) <sup>1a</sup>	51,92 (0,16) <sup>2b</sup>	60 (2) <sup>2c</sup>	24,3 (0,9)	21 (3)	17 (3)	12,5 (0,2)
	Primitivo	19 (2) <sup>2a</sup>	36 (5) <sup>1b</sup>	52,8 (0,8) <sup>1c</sup>				

<sup>1-2</sup> superíndices diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre los plátanos primitivo y popocho para cada análisis (p < 0,05).

<sup>a-c</sup> superíndices diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre los estados de madurez (p < 0,05).

\* calculado como diferencia. \*\* Los valores reportados en la tabla corresponden en los declarados en la etiqueta de producto comercial.

El almidón es el hidrato de carbono mayoritario en el plátano. Así, para el popocho corresponde aproximadamente al 60% del total de hidratos de carbono en el estado verde, 23% en el pintón y 16 % en el maduro; para el primitivo el almidón corresponde al 51%, 30 % y 24% de los carbohidratos en los estados verde, pintón y maduro, respectivamente.

Para las muestras seleccionadas como materias primas para adicionar al plátano para la obtención de complementos alimenticios, se observó que el pacó es la muestra que posee mayor valor energético y mayor contenido en proteínas y grasas. Los valores analizados en este estudio son similares a los reportados por otros autores (Gómez, 1997 y Medina et al., 2007). El chontaduro fue la muestra que presentó mayor valor de carbohidratos y almidón, destacando también su aportación proteica y de grasa. Giraldo et al., (2009) y Leterme et al. (2005) describieron valores similares en el contenido de macronutrientes para otras variedades de chontaduro cultivadas en Colombia. Por otro lado, tal y como se mencionó en el apartado de materiales y métodos, la harina de quinua y el cacao fueron muestras de productos comerciales, no se les realizó análisis proximal, sino que se tomó como referencia lo reportado por los productores en la etiqueta. El contenido de macronutrientes mencionado por los fabricantes de ambos productos fue similar al descrito por la FAO y Corredor (2003). Así, la quinua y el cacao destacan por su contenido en proteínas e hidratos de carbono.

### **Isotermas de sorción**

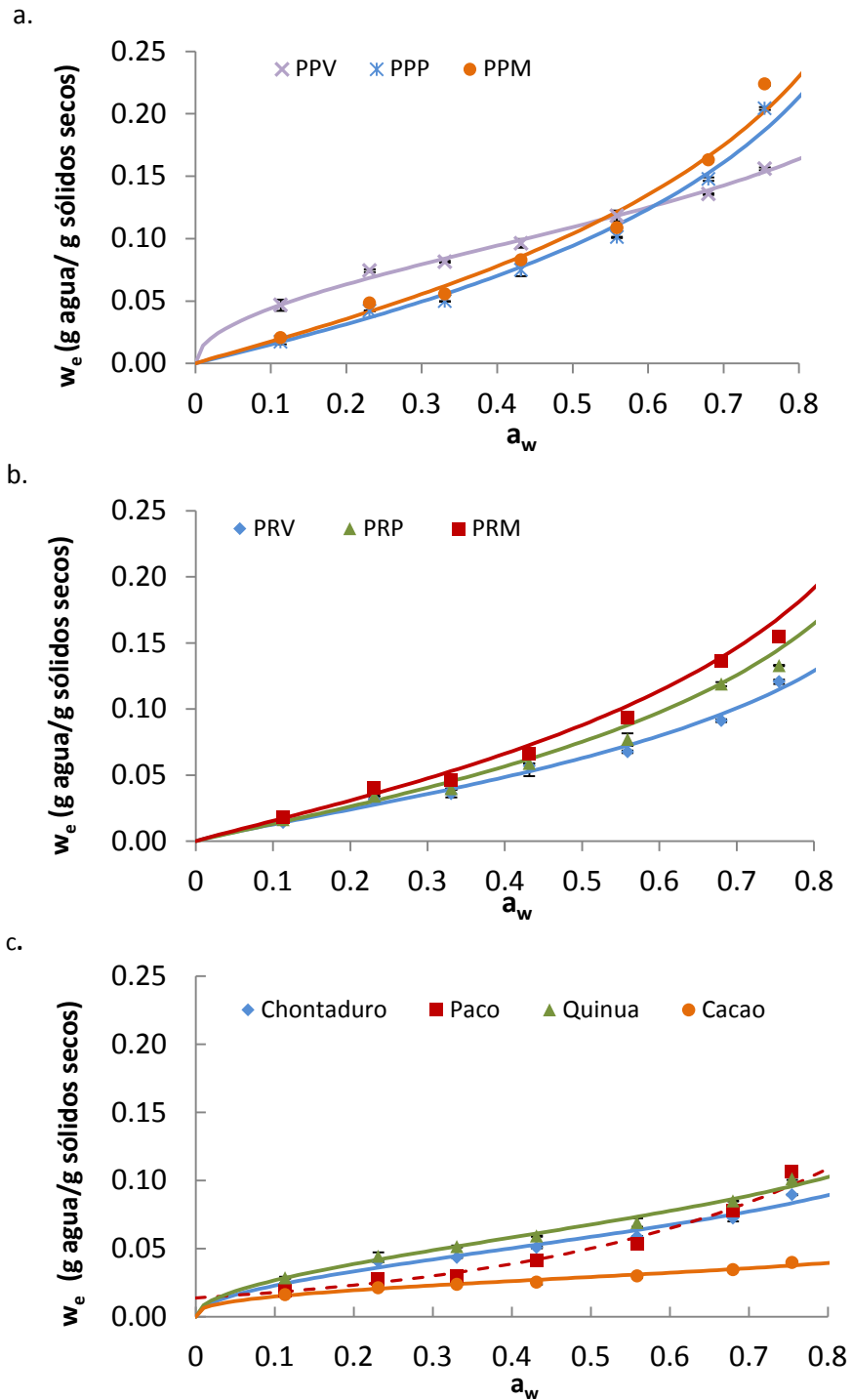
Las isotermas de sorción de agua de las muestras estudiadas se muestran en la figura 1, donde se representa la cantidad el agua adsorbida ( $w_e$ ) en función de la actividad del agua ( $a_w$ ) a una temperatura constante de 20°C.

En la figura 1a se observa la isoterma de sorción del plátano popocho en sus tres estados de madurez: verde (PPV), pintón (PPP) y maduro (PPM). En estado verde, la isoterma de sorción presentó una forma sigmoideal con un punto de inflexión marcado, típico de productos amiláceos. La muestra PPV, con mayor contenido en almidón, presentó mayor capacidad de retención de agua en la región de bajas humedades relativas, con  $a_w$  menor a 0,68, comparado con su estado pintón y maduro. La disminución en el contenido de almidón y el aumento en el contenido de azúcares de las muestras PPP y PPM provocó un cambio en sus características de sorción, presentando curvas similares a frutas con azúcares de bajo peso molecular, con un punto de inflexión menos marcado y mayor capacidad de retención de agua en la región de altas humedades relativas.

Las harinas obtenidas a partir de plátano primitivo resultaron ligeramente menos higroscópicas que las obtenidas a partir de plátano popocho. En las isotermas del primitivo verde (PRV), pintón (PRP) y maduro (PRM) (Figura 1b), se observó el mismo comportamiento que en el popocho, adsorbiendo menos agua en estado verde. Sin embargo, en el primitivo, las diferencias en los tres estados de madurez resultaron más evidentes, a partir de  $a_w$  mayores al 0,559. La muestra PRV no presentó un punto de inflexión tan marcado como el que se presenta en la muestra PPV, lo que podría estar relacionado con el menor contenido en almidón y diferente proporción amilosa/amilopectina.

Los complementos (Figura 1c), presentaron menor capacidad de ligar agua siendo este efecto más acusado al aumentar la HR del ambiente, con mayores valores de  $w_e$  para la quinua, seguido del chontaduro, pacó y cacao. Estas diferencias pueden estar asociadas con las diferencias en la composición de macronutrientes (Tabla 1), especialmente la grasa, que provoca una disminución en la  $w_e$ . Pollio, Chirife y Resnik (1984 y 1987), en un estudio realizado con soja y girasol, observaron un descenso en la humedad en equilibrio al

aumentar el contenido de grasa. Bianco et al., (2001), estudió la adsorción de cuatro variedades de maní (cacahuete) con diferentes contenidos en grasa, encontrando que la variedad más grasa (50,9%) tenía una menor humedad en equilibrio. En nuestro caso, el cacao y el pacó, con mayor contenido en grasa presentaron, como era de esperar, menor carácter higroscópico.



**FIGURA 1.** Isothermas de sorción a 20 °C de (a) Plátano popocho verde (PPV), pintón (PPP) y verde (PPV) (b) Plátano primitivo verde (PRV), pintón (PRP) y verde (PRV). (c) Complementos (chontaduro, pacó, quinua y cacao). Puntos experimentales y predicción del modelo Henderson (línea continua) y modelo de Caurie (línea discontinua).

Los datos experimentales de sorción fueron ajustados a cuatro modelos descritos en bibliografía: BET (Brunauer et al., 1938), GAB (Guggenheim, Anderson and de Boer) (Van den Berg y Bruin, 1981), Henderson (Henderson., 1952) y Caurie (Caurie, 1970), para ver cuál de ellos permitía caracterizar mejor el comportamiento de cada materia prima. En la tabla 2 se observa el valor de los parámetros de cada modelo incluyendo el coeficiente de correlación ( $R^2$ ).

**TABLA 2.** Valores de los parámetros de los modelos de BET, GAB, Henderson y Caurie y coeficiente de correlación ( $R^2$ )

MODELO	Parámetros	PLÁTANOS						COMPLEMENTOS			
		PPV	PPP	PPM	PRV	PRP	PRM	CHO	PACO	QUINUA	CACAO
BET	$w_o^*$	0,058	0,057	0,058	0,037	0,040	0,049	0,031	0,025	0,036	0,013
	C	27,064	3,302	4,281	4,454	4,974	4,269	27,943	14,567	24,098	-25,861
	$R^2$	0,977	0,872	0,915	0,861	0,940	0,956	0,975	0,977	0,984	0,975
GAB	$w_o^*$	0,080	0,070	0,064	0,042	0,041	0,050	0,037	0,023	0,045	0,019
	C	14,913	2,622	3,619	4,015	4,549	4,122	19,278	19,004	17,077	66,420
	K	0,681	0,915	0,968	0,898	1,009	0,999	0,771	1,042	0,748	0,638
	$R^2$	0,971	0,781	0,804	0,687	0,869	0,874	0,952	0,931	0,971	0,813
HENDERSON	n	2,078	1,033	1,061	1,173	1,075	1,080	2,001	1,369	2,026	2,772
	f	-2,680	-1,528	-1,600	-1,457	-1,463	-1,541	-2,057	-1,522	-2,203	-1,809
	$R^2$	0,983	0,987	0,982	0,986	0,980	0,983	0,974	0,937	0,985	0,964
CAURIE	$w_s^*$	0,071	0,053	0,056	0,051	0,052	0,053	0,059	0,052	0,061	0,053
	r	5,516	32,747	26,615	21,293	25,721	28,497	5,831	13,161	5,842	3,608
	$R^2$	0,950	0,966	0,969	0,958	0,979	0,978	0,947	0,983	0,961	0,963

\* $w_o$  y  $w_s$  (g agua/g sólidos). Plátanos plátano popocho verde (PPV), pintón (PPP) y verde (PPV); plátano primitivo verde (PRV), pintón (PRP) y verde (PRV) y complementos (chontaduro (CHO), pacó, quinua y cacao)

El modelo de BET (Ec. 1) es uno de los más ampliamente utilizados en la caracterización de la sorción de agua en los alimentos, es el modelo básico de la fisisorción y el valor de sus parámetros, con sentido físico, se pueden relacionar con la forma de la isoterma. Éste fue ajustado hasta un valor de  $a_w$  de 0,43 ya que para valores superiores las hipótesis de partida en las que se basa el modelo no se cumplen y el modelo se desvía de la realidad. A partir del ajuste del modelo se obtuvo el valor de  $w_o$ , que es la humedad del producto correspondiente a la situación en la que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua, y el parámetro C, que es la constante de Guggenheim y se relaciona con el calor desprendido en el proceso de adsorción. Cuanto mayor es el valor de C más acusado es el primer punto de inflexión de la isoterma, pudiéndose leer en la ordenada correspondiente al punto de inflexión el valor de  $w_o$ . Éste valor es de especial interés ya que muchos autores la consideran como la humedad que proporciona la máxima estabilidad al producto deshidratado.

Para el plátano popocho, en sus tres estado de madurez, se obtuvieron valores muy similares en el contenido de humedad de la monocapa, del rango 0,057 al 0,058 g agua/g sólidos secos. En el plátano primitivo también se observaron valores muy similares en los tres estados de madurez reportando el mayor valor de  $w_o$  el PRM (0,049 g agua/g solido seco). Los valores se encuentran en el rango de los obtenidos por otros autores en otras

variedades de plátano. Torrealba (2007) obtuvo, en harina precocidad de plátano verde, un valor de  $w_0 = 0,0243$  g/g sólidos secos ( $T=20^\circ\text{C}$ ), Johnson y Breman (2000) reportaron para la variedad de plátano Musa, AAB (estado maduro) valores de  $w_0$  de 0,028 g/g sólidos secos ( $T=40^\circ\text{C}$ ), mientras que Moraga et al. (2011) obtuvieron, en rodajas liofilizadas de plátano de la variedad Cavendish un valor de  $w_0$  de 0,08 g/g sólidos secos ( $T=20^\circ\text{C}$ ).

En cuanto a los complementos se observaron valores de  $w_0$  entre el 0,013 a 0,36 g agua/g sólidos secos, siendo el valor más bajo para el cacao y el más alto para la quinua. Para cacao en polvo se han reportado valores de  $w_0$  de 0,011 g agua/g solido seco ( $T = 15^\circ\text{C}$ ) y 0,0113 g agua/g solido seco ( $T= 25^\circ\text{C}$ ) (Medeiros et al., 2006), similares a los obtenidos en este estudio. El chontaduro y la quinua mostraron valores similares de  $w_0$ , lo cual puede estar asociado al mayor contenido de carbohidratos respecto al pacó y cacao (Tabla 1).

El parámetro C del modelo de BET, a su vez permite la clasificación de las isotermas (Brunauer et al, 1940). En todas las muestras estudiadas C fue mayor de 2, por lo que se pueden clasificar de tipo II. Ésta clasificación tipo II ha sido reportada en harina de plátano en tres estados de madurez (Monterio y Da Silva., 2014), harina de plátano verde (pelado y sin pelar) (Bezerra et al., 2013), harina de plátano (*Musa paradisiaca*), modificada y sin modificar con tratamiento con ácido (Aguirre-cruz et al., 2010), plátano de la variedad Cavendish (Moraga et al., 2011), harina de yuca (Santos et al., 2004) y otros productos de almidón (Abdullah et al., 2000; Mishra y Rai, 2006; Perdomo et al., 2009). Para el caso del cacao, aunque se obtuvo un alto coeficiente de correlación, el valor de C resultó negativo lo cual no tiene sentido físico y debe ser descartado. Salvo ésta excepción, el modelo de BET permitió ajustar los datos de sorción de las muestras hasta una  $a_w$  de 0,43, aunque en el caso del plátano primitivo verde y el popocho pintón, el coeficiente de fue inferior a 0,9.

Con el objetivo de caracterizar el comportamiento de las muestras en todo el intervalo de  $a_w$  estudiado se ajustaron el resto de modelos considerados. El modelo de GAB (Ec. 2), al igual que el de BET, reporta valores de la humedad de la monocapa ( $w_0$ ), C, relacionado con el calor de adsorción de la monocapa y K, que es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa o capas de moléculas de agua adsorbidas sobre la monocapa. Los valores de  $w_0$  obtenidos con GAB fueron, por lo general, ligeramente más altos que los obtenidos con el ajuste de BET. En el caso del popocho esta diferencia resultó más evidente y su valor disminuyó al aumentar el grado de madurez (Tabla 2). El parámetro C de GAB resultó inferior al obtenido por BET en todas las muestras salvo en el caso del pacó. Los coeficientes de correlación ( $R^2$ ) obtenidos fueron inferiores a 0,9 en las muestras PPP, PPM, PRV, PRP y PRM, por lo que el modelo de GAB no resulta conveniente para dichas materias primas. En el caso de la quinua el ajuste del modelo de GAB fue bueno, obteniéndose valores de los parámetros similares a los encontrados por otros autores (Tolaba et al., 2004).

El modelo de Henderson (Ec. 3) permitió realizar un buen ajuste de todos los datos experimentales, obteniéndose valores de  $R^2$  entre 0,937 y 0,987. Al ser un modelo empírico sus parámetros carecen de sentido físico, y el parámetro f dio valores negativos en las muestras analizadas, como los encontrados en sorgo (Aviara et al., 2006), rodajas en patata y manzana secada a vacío (Kaymak-Ertekin y Gedik., 2004).

Para harina de plátano (Musa AA), se han reportaron valores de f de 0,04, 0,03 y 0,02, tendiendo a disminuir a medida que va madurando, aunque sin diferencias significativas entre los tres estados de madurez (Monterio y Da Silva., 2014). Respecto a los valores de la constante n, tanto en el popocho y como en el primitivo, el valor más alto se encontró en su estado verde, con valores similares en el estado pintón y maduro.

Este modelo también ha mostrado un buen ajuste en productos ricos en proteína e hidratos de carbono como la sémola de trigo (Erbas et al., 2005) y productos amiláceos (Andrieu et al., 1985), siendo propuesto por Sopade y Ajisejeri (1994) como el más

adecuado para describir la comportamiento de adsorción de agua en alimentos con almidón.

El modelo de Caurie (Ec. 4) es un modelo semiempírico que suele dar buenos resultados para muchos alimentos en el intervalo de  $a_w$  0 – 0,85. Éste mostró un buen ajuste para todas las muestras estudiadas, con coeficientes de  $R^2$  entre 0,947 y 0,983. El parámetro  $w_s$ , que se define como el contenido de humedad de seguridad que proporciona la máxima estabilidad alimento deshidratado durante el almacenamiento, resultó mayor en el plátano popocho en estado verde (0,071 g agua/g sólido seco), disminuyendo al pasar a pintón o maduro, entre ellos con valores muy similares. Para el plátano primitivo los valores de  $w_s$  no parecen verse afectados por la maduración de las muestras, presentando valores similares a los del popocho pintón o maduro. El resto de muestras presentaron valores de  $w_s$  del mismo orden, siendo ligeramente mayor el obtenido en la quinua (0,061 g agua/ g sólidos secos). Comparado este parámetro con la humedad de la monocapa de BET, con un sentido físico similar,  $w_s$  fue mayor que  $w_0$  en todos los casos, a excepción de las muestras PPP y PPM.

Al comparar los cuatro modelos ajustados se seleccionó el modelo de Henderson como el más apropiado para predecir el comportamiento de las muestras estudiadas frente a la sorción de agua a 20 °C, en el intervalo de  $a_w$  estudiado. Únicamente en el caso del pacó el modelo de Caurie mejoró el  $R^2$  obtenido (Tabla 2). En la figura 1 (a-c) se representa la isoterma de sorción de agua predicha por los modelos seleccionados.

## Propiedades mecánicas

A diferencia de lo que se ha observado en otros productos de fruta en polvo estudiados (Telis et al., 2010; Mosquera et al., 2011), no se apreciaron grandes cambios en el comportamiento mecánico de las muestras. Incluso aquellas muestras almacenadas en ambientes con mayor humedad relativa permanecieron sin problemas evidentes de colapso o apelmazamiento. Los resultados obtenidos a partir del ensayo de compresión se muestran en la figura 2, donde se representan los valores de  $F_{max}$  (N) obtenidos en las diferentes muestras equilibradas en función de su actividad del agua. Los resultados obtenidos confirman dicho comportamiento, sin observarse grandes cambios en los valores de  $F_{max}$ .

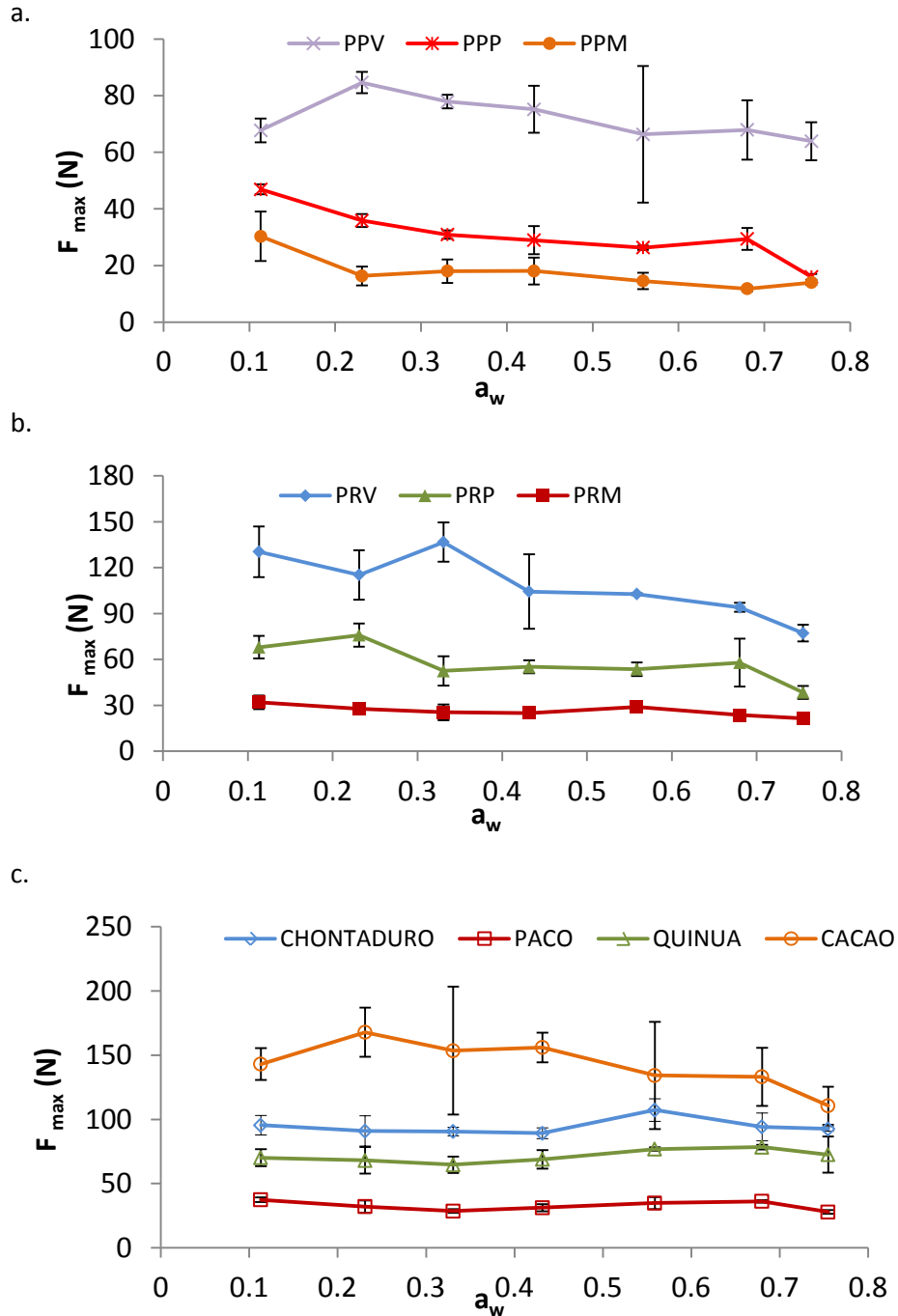
Sin embargo, la harina de plátano popocho, en el estado pintón y maduro, presentó un descenso significativo ( $p < 0,05$ ) de  $F_{max}$  entre  $a_w = 0,113$  y  $0,231$ , sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el intervalo de  $0,331$  a  $0,680$ . En el popocho verde no se observaron cambios significativos ( $p > 0,05$ ) en las propiedades mecánicas del producto en polvo en función de la HR de la cámara de almacenamiento.

En las muestras de plátano primitivo no se observó una disminución rápida en la fuerza máxima de compresión al aumentar la  $a_w$  (figura 2b ), aunque se aprecia una tendencia hacia valores ligeramente menores como consecuencia de la humectación de las muestras, encontrándose diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las muestras PRV, en el rango de  $a_w$  de  $0,559$  a  $0,755$  y en las muestras PRP entre  $a_w = 0,231$  y  $0,331$ .

Para las dos variedades de plátano se observaron diferencias significativas asociadas al diferente estado de madurez ( $p < 0,05$ ), obteniéndose valores de  $F_{max}$  mayores en estado verde, seguidos del estado pintón y por último menores en estado maduro. Esto se puede relacionar con la composición del plátano, que como se mencionó anteriormente en su estado verde tiene una mayor cantidad de almidón (Tabla 1), lo cual hace a la matriz más estable que en estado pintón y maduro.

Al realizar el análisis ANOVA simple para los complementos chontaduro, quinua y cacao se encontró un valor  $p > 0,05$ , sin diferencias significativas en los valores de  $F_{max}$  con la  $a_w$ , lo que coincide con la apreciación sensorial de dichas materias primas, las cuales permanecieron como polvos sueltos, sin problemas de colapso o apelmazamiento.

El pacó presentó los valores más bajos de  $F_{max}$ , lo que puede estar asociado a la gran cantidad de grasa presente en dicha materia prima.



**FIGURA 2.** Valores promedio de fuerza máxima ( $F_{max}$ ) en función de la actividad del agua ( $a_w$ ). (a) Plátano Popocho verde (PPV), pintón (PPP) y maduro (PPM); (b) Plátano Primitivo verde (PRV), pintón (PRP) y maduro (PRM); (c) Complementos (chontaduro, pacó, quinua y cacao). Cada barra de error representa promedio  $\pm$  desviación estándar de los datos de  $F_{max}$ .



## Transición vítrea

Únicamente las muestras de plátano popocho en estado pintón y maduro presentaron durante su manipulación cierto carácter gomoso, por lo que estas muestras fueron las únicas analizadas por calorimetría diferencia de barrido con el fin de conocer su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ).

Los valores de  $T_g$  encontrados para PPP y PPM, como era de esperar, disminuyeron al aumentar el contenido de agua de las muestras, lo que refleja el efecto plastificante del agua.

La relación entre los valores de  $T_g$ , considerando en el punto inicial, medio y final de la transición, respecto a la fracción másica de agua ( $x_w$ ) de las muestras equilibradas fueron ajustados al modelo de Gordon y Taylor (Ec. 5), a excepción de las muestras más húmedas ( $a_w = 0,755$ ) por presentar agua congelable, obteniéndose los parámetros que se muestran en la tabla 3. Los puntos experimentales y la curvas predicha por el modelo de Gordon y Taylor en cada muestra analizada se representan en las figuras 3 y 4.

**TABLA 3.** Parámetros del modelo de Gordon y Taylor ajustado a los datos experimentales  $T_g$ - $x_w$  de popocho pintón (PPP) y popocho maduro (PPM)

Parámetros	PPP			PPM		
	$T_{g \text{ inicio}}$	$T_{g \text{ medio}}$	$T_{g \text{ final}}$	$T_{g \text{ inicio}}$	$T_{g \text{ medio}}$	$T_{g \text{ final}}$
$T_{gs}$ (°C)	2,606	8,612	18,186	9,643	13,350	17,832
k	3,805	3,509	3,770	3,873	3,496	3,228
$R^2$	0,945	0,945	0,946	0,951	0,951	0,912
CWA (5°C)		0,050	0,164	0,048	0,097	0,161
CWC (5°C)		0,007	0,024	0,008	0,017	0,028

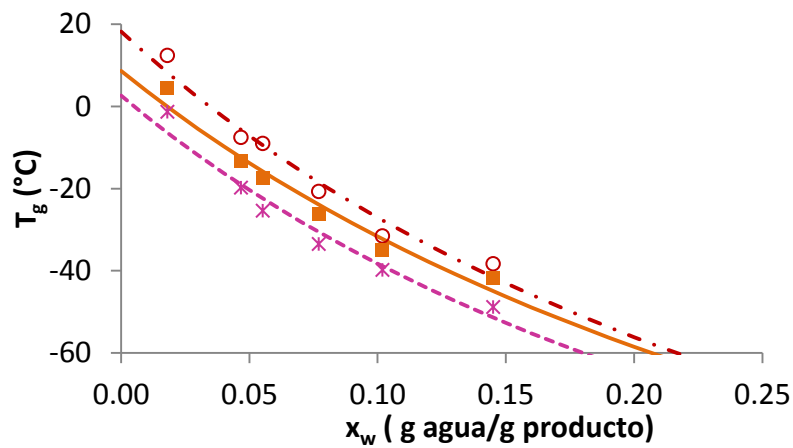
$T_{gs}$ : temperatura de transición vítrea de los sólidos anhidridos (°C), k: constante del modelo de Gordon y Taylor. CWA: actividad del agua crítica y CWC: contenido en humedad crítico que provoca el paso de vítreo a gomoso a 5°C.

Al comparar los valores  $T_{gs}$  de PPP y PPM con otras frutas se observó que son menores con respecto a los reportados para manzana liofilizada 25,39 °C y plátano liofilizado 61,29 °C (Moraga et al., 2011), manzana osmodeshidratada 44,39 °C y pera osmodeshidratada 38 °C (Djendoubi Mrad et al., 2013).

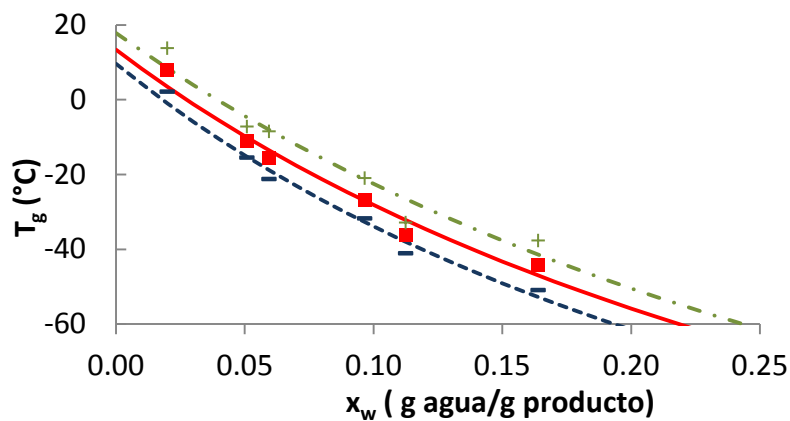
Todas las muestras analizadas presentaron valores de  $T_g$  inferiores a 20 °C, lo que indica que las harinas de plátano popocho, tanto en estado pintón como en estado maduro, se encontraban gomosas incluso a la  $a_w$  más baja. Sin embargo, a diferencia de lo que ha sido descrito en otros productos en polvo a base de frutas, éstas no presentaron problemas de colapso o apelmazamiento, lo que podría estar relacionado con la diferencia composicional de las muestras. El descenso significativo ( $p < 0,05$ ) de la  $F_{max}$  registrada al pasar de una  $a_w$  de 0,113 a 0,231 podría ser consecuencia del flujo viscoso ocasionado en el producto por encima de la  $T_g$ , es decir al pasar de vítreo a gomoso (Levine y Slade, 1988).

La mayor viscosidad del producto por debajo de la  $T_g$  es clave para evitar problemas de estabilidad y calidad, por lo que sería conveniente almacenar las muestras en refrigeración, empleando un envase impermeable al agua, para asegurar el estado vítreo de la matriz amorfa. Considerando una temperatura de almacenamiento de 5 °C, la actividad del agua crítica y el contenido en humedad crítico que provoca el paso de vítreo a gomoso de las muestras aparece en la tabla 3. El contenido en humedad crítico resulto inferior al valor de

la humedad de la monocapa obtenido en ambas muestras, por lo que como parámetro relacionado con la estabilidad del producto resulta más estricto.



**FIGURA 3.** Temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) inicial (línea punteada rosada), medio (línea sólida naranja) y final (línea punteada roja) en función del contenido de agua ( $x_w$ ), ajustadas al modelo de Gordon y Taylor. Datos experimentales  $T_g$  inicial (\*), medio (■), final (○) de la muestra de popocho pintón.



**FIGURA 4.** Datos de temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) inicial (línea punteada azul), medio (línea sólida naranja) y final (línea punteada verde) en función del contenido de agua ( $x_w$ ) ajustadas al modelo de Gordon y Taylor. Datos experimentales  $T_g$  inicial (■), medio (■), final (+) de la muestra de popocho maduro.

### Cambios de color

En la figura 5 se representan los valores promedio de luminosidad ( $L^*$ ), croma ( $C_{ab}^*$ ) y tono ( $h_{ab}^*$ ) de las muestras de plátano en función de la actividad del agua. A su vez se representan la diferencia de color de las muestras equilibradas respecto a la muestra con menor actividad del agua.

Tanto el popocho como el primitivo sufrieron un descenso significativo ( $p < 0,05$ ) de  $L^*$  y  $h_{ab}^*$  al avanzar el grado de madurez. En estado verde, el plátano popocho presentó mayores valores de luminosidad, disminuyendo de manera más acusada que en el plátano

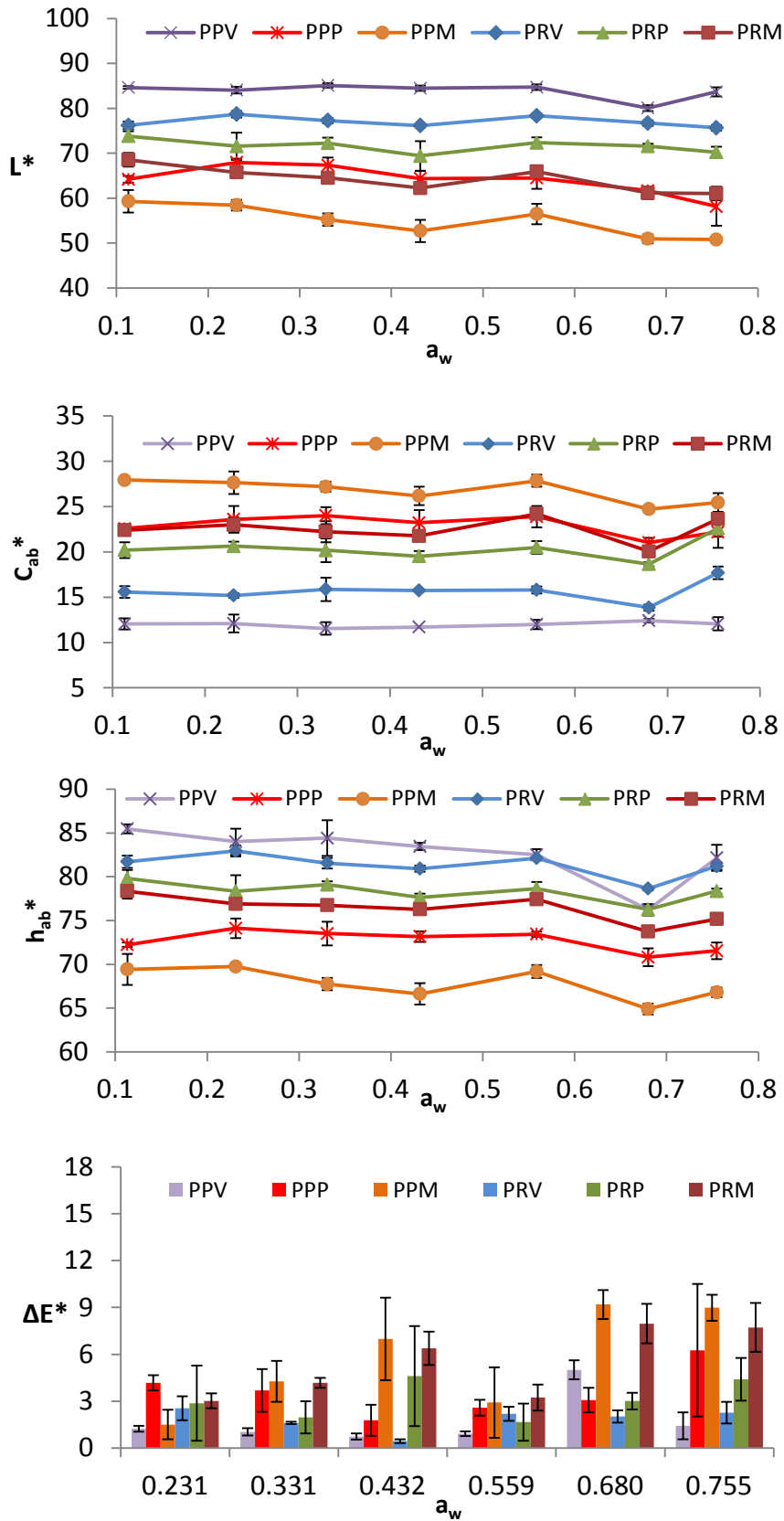
primitivo al madurar. El tono de las muestras, todas ellas situadas en el primer cuadrante del diagrama cromático CIE  $L^*a^*b^*$ , pasó de amarillo a más anaranjado/pardo. La pureza de color o croma, evolucionó en sentido opuesto, virando hacia colores más puros a medida que avanza el estado de madurez de las muestras. Este efecto fue más acusado en el plátano popocho.

El nivel de humectación no afectó en gran medida al color de las muestras, presentando diferencias de color por debajo de 10 unidades respecto a la muestra más seca. Las diferencias de color encontradas fueron mayores en las muestras más maduras, apareciendo antes en el proceso de humectación.

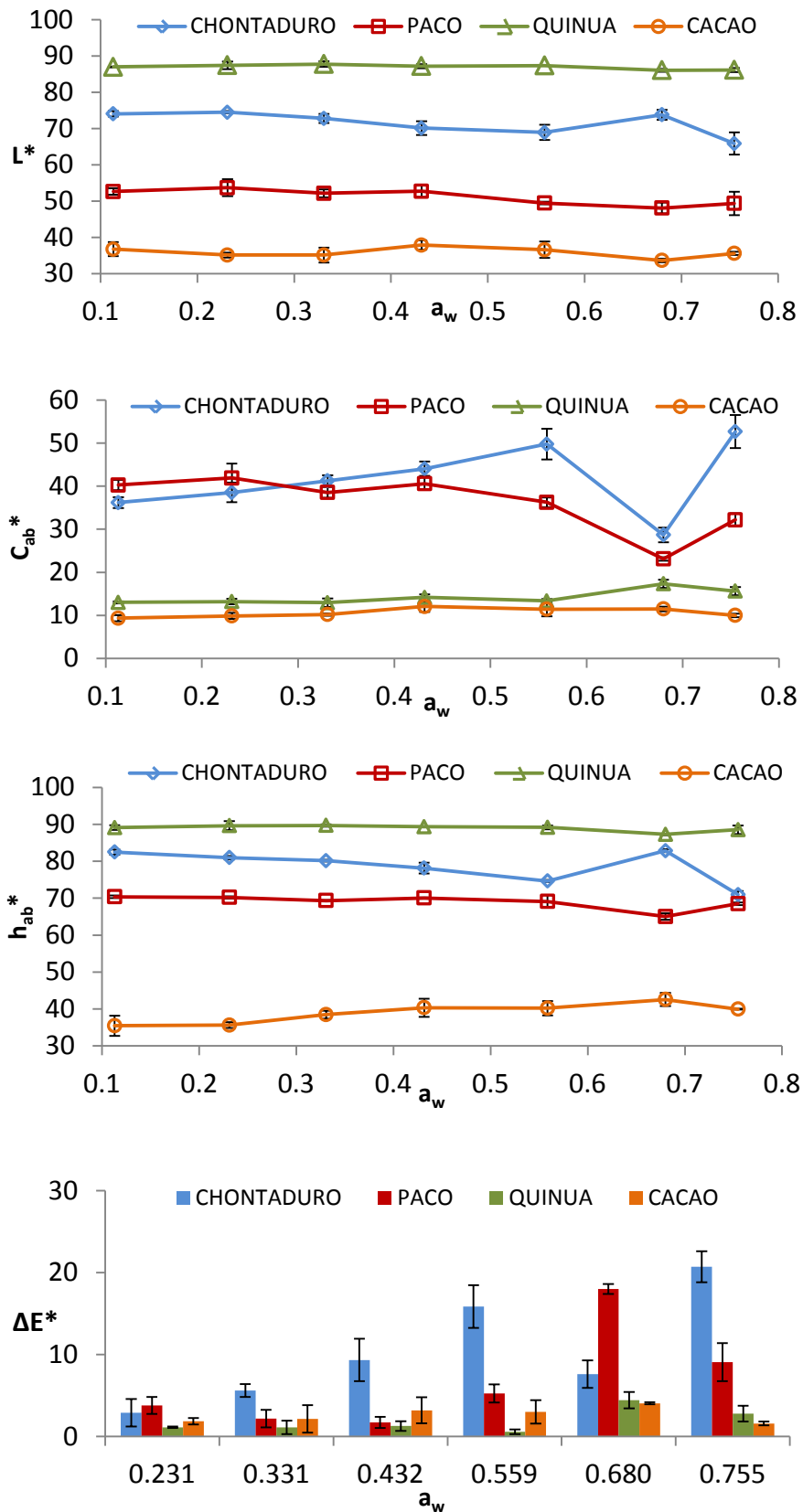
La figura 6 muestra los resultados obtenidos para la quinua, el chontaduro, el pacó y el cacao. El color de quinua apenas se vio afectado por el nivel de humectación de las muestras, presentando un tono amarillo poco saturado pero muy luminoso. Los mayores cambios de color se registraron para una  $a_w$  de 0,680 con un valor de 4,4 unidades respecto a la muestra más seca.

El chontaduro y el pacó presentan un tono más anaranjado, tendiendo este último hacia tonos más rojizos. Ambas muestras presentaron un croma similar, siendo el pacó menos luminoso. El chontaduro fue la muestra que mayores diferencias de color registró a lo largo del proceso de humectación, siendo apreciables desde bajos valores de  $a_w$  y llegando a estar por encima de 20 unidades para una  $a_w=0,755$ . Estas diferencias también resultaron apreciables en las muestras de pacó a partir de una  $a_w=0,559$ . Por último, el cacao, de color marrón oscuro, poco puro y poco luminoso, presentó pequeñas diferencias de color como consecuencia del nivel de humectación, siendo el mayor valor registrado próximo a 4 unidades para una  $a_w$  de 0,680.

Según Acevedo et al., (2006), los cambios en el color de las muestras se pueden presentar por reacciones de pardeamiento no enzimático que se dan en un rango de humedad relativa del 60% al 80%, dependiendo del tipo de alimento. Este autor reportó para rodajas de patata liofilizada almacenada a 70°C, el máximo deterioro por pardeamiento no enzimático a una humedad relativa del 75%. Telis et al. (2010) reportó para pomelo en polvo un cambio en el croma después de  $a_w=0,43$ , a mayores valores de  $a_w$  se observó una mayor diferencia de color respecto a la referencia. Resultados similares se encontraron en rodajas de plátano liofilizado, con mayores cambios en tono y croma para una  $a_w > 0,43$  (Moraga et al., 2011).



**FIGURA 5.** Evolución de la coordenada  $L^*$ , cromía ( $C_{ab}^*$ ) y tono ( $h_{ab}^*$ ) en función de la actividad del agua de las muestras de plátano popocho verde (PPV), pintón (PPP) y maduro (PPM); plátano primitivo verde (PRV), pintón (PRP) y maduro (PRM). Diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) calculada a las diferentes actividades del agua respecto a la muestra con menor actividad del agua.



**FIGURA 6.** Evolución de la coordenada L\*, croma (C<sub>ab</sub>\*) y tono (h<sub>ab</sub>\*) en función de la actividad del agua de las muestras de chontaduro, pacó, quinua y cacao. Diferencia de color (ΔE\*) calculada a las diferentes actividades del agua respecto a la muestra con menor actividad del agua.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos del análisis químico proximal de las harinas de plátano analizadas, ambas especies, popocho y primitivo, serían recomendables dentro de una dieta equilibrada para su utilización en alimentación infantil. Ambas muestras destacan por su aporte proteico, alto contenido en almidón y bajo en grasa. En general, el plátano de ambas especies en estado verde, posee un mayor contenido en macronutrientes y mayor valor energético. Para formular un alimento equilibrado, de acuerdo con las recomendaciones del aporte diario energético de la dieta, sería necesario completar el aporte de proteínas. Dadas las características de los complementos estudiados, se recomendaría el empleo del chontaduro, quinua y cacao por su composición equilibrada en macronutrientes. Además habría que tener en cuenta que en el caso del cacao, la FAO recomienda su consumo a partir de los 9 meses de edad y en una concentración del 5%. El pacó, por su elevado contenido graso e insuficiente aporte de hidratos de carbono sería el complemento menos recomendable.

Desde el punto de vista de la estabilidad, las materias primas analizadas permanecieron sin problemas de apelmazamiento a pesar de que, los estudios calorimétricos realizados en el plátano popocho en su estado pintón y maduro, revelaron el estado gomoso de las muestras, incluso las almacenadas en ambientes más secos. Destaca la estabilidad del plátano popocho y primitivo en estado verde, así como la estabilidad de la quinua y el cacao, sin cambios físicos relevantes por aumento de la humedad relativa del entorno. Las harinas obtenidas a partir de plátano pintón y maduro sufrieron mayores cambios de color durante el proceso de humectación, sin llegar a superar las 10 unidades. El chontaduro fue la muestra que mayor diferencias de color registró a lo largo del proceso de humectación, siendo perceptibles por el ojo humano desde bajos valores de  $a_w$  (0,230) y llegando a estar por encima de 20 unidades en la muestra almacenada a una humedad relativa del 75,5%. Estas diferencias también resultaron apreciables en las muestras de pacó a partir de una  $a_w$  de 0,559.

A pesar de que las materias primas estudiadas no presentaron grandes pérdidas de calidad, sería recomendable analizar el efecto de la humedad sobre algunos de sus compuestos bioactivos, actividad antioxidante, enranciamiento de grasas, etc. A su vez, también sería importante continuar con el estudio analizando por un lado, el valor biológico de las proteínas de las muestras, es decir su capacidad para suministrar aminoácidos esenciales; por otro lado, caracterizar la calidad de las grasas (aporte de ácidos grasos esenciales), así como cuantificar la cantidad de ácidos grasos saturados e insaturados y su aporte de vitaminas y minerales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda concedida a través de la convocatoria ADSIDEO - COOPERACIÓN 2012 (UPV).

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABDULLAH, N., NAWAWI, A., & OTHMAN, I., 2000. Fungal spoilage of starch-based foods in relation to its water activity (*aw*). *Journal of Stored Products Research*, 36(1): 47–54.
2. ACEVEDO, N., SCHEBOR, C., & BUERA., M. P., 2006. Water–solids interactions, matrix structural properties and the rate of non-enzymatic browning. *Journal of Food Engineering*, 77(4): 1108–1115.
3. ADÃO, R. C., & GLÓRIA, M. B. A., 2005. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of Prata banana (*Musa acuminata* M. balbisiana). *Food Chemistry*, 90: 705–711.
4. AGUIRRE-CRUZ, A., ALVAREZ-CASTILLO, A., CASTREJON-ROSALES, T., CAROMNA-GARCÍA, R., & BELLO-PÉREZ, L.A., 2010. Moisture adsorption behavior of banana flours (*Musa paradisiaca*) unmodified and modified by acid-treatment. *Starch Stärke*. 62:658–666.
5. AGROCADENAS, 2004. Caracterización de la cadena de plátano en Colombia .Documento de trabajo N°10. Visto el 3 de Marzo de 2014. [www.agrocadenas.gov.co](http://www.agrocadenas.gov.co)
6. ANDRIEU, J., STAMATOPOULOS, A., & ZAFIROPOULOS, M. 1985. Equation for fitting desorption isotherms of durum wheat pasta. *Journal of Food Technology*, 20: 651–657.
7. AOAC .1990. Official methods of analysis. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.
8. ASSUNÇÃO, A.B., & PENA, R.S., 2007. Hygroscopic behavior of the dry residue of pink shrimp. *Food Science and Technology*, 27(4):786–793.
9. AVIARA, N. A., AJIBOLA, O. O., AREGBESOLA, O. A., & ADEDEJI, M. A., 2006. Moisture sorption isotherms of sorghum malt at 40 and 50 °C. *Journal of Stored Products Research*, 42(3): 290–301.
10. BEZERRA, C.V., AMANTE, E.R., OLIVEIRA, D.C., RODRIGUES, A.M.C., & SILVA, L.H.M., 2013. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained inspouted bed – effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. *Industrial Crops and Products*, 41: 241–249.
11. BHARGAVA, A., SHUKLA, S., & OHRI, D., 2006. Chenopodium quinoa—an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23: 73–87.
12. BIANCO, A. M., BOENTE, G., POLLIO, M. L., & RESNIK, S. L., 2001. Influence of oil content on sorption isotherms of four varieties of peanut at 25°C. *Journal of Food Engineering*, 47: 327–331.
13. BRUNAUER, S., DEMING, L. S., DEMING, W. E., & TROLLER, E., 1940. On the theory of Van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*, 62: 1723–1732.
14. BRUNAUER, S., EMMETT, P.H., & TELLER, E., 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemistry Society*, 60:309–320.
15. CAURIE, M., 1970.A practical approach to water sorption isotherms and the basis for the determination of optimum moisture levels of dehydrated foods, *Journal of Food Technology*, 6: 85–93.
16. CLEMENT, C.R., WEBER, J.C., VAN LEEUWEN J, ASTORGA DOMIAN C, COLE, D.M, AREVALO, L.A., & ARGÜELLO, H ., 2004. Why extensive research and development did not promote use of peach palm fruit in Latin America. *Agroforestry Systems* 61(1-3), 195–206.
17. COMAI, S., BERTAZZO, A., BAILONI, L., ZANCATO, M., COATA, C.V.L., & ALLEGRI, G., 2007. The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chemistry*, 100 (4): 1350–1355.
18. CORREDOR, GUILLERMO., 2003. Proyecto quinua: memorias del curso producción de Quinoa cultivo multipropósito. Universidad Nacional de Colombia Bogotá.
19. DA SILVA, J.B.F., & CLEMENT, C.R., 2005. Wild peibaye (*Bactris gasipaes* Kunth var. chichagui) in Southeastern Amazonia. *Acta Botanica Brasílica*, 19(2):281–284.
20. DJENDOUBI MRAD, N., BONAZZI, C., COURTOIS, F., KECHAOU, N., & BOUDHRIOUA MIHOUBI, N. 2013. Moisture desorption isotherms and glass transition temperatures of osmo-dehydrated apple and pear. *Food and Bioproducts Processing*, 91:121-128.

21. EDWARDS, H. G.M., VILLAR, S. E. J., OLIVEIRA, L. F. C., & HYARIC, M. L., 2005. Analytical Raman spectroscopic study of cacao seeds and their chemical extracts. *Analytica chemical acta*, 538: 175-180.
22. ERBAŞ, M., ERTUGAY, M. F., & CERTEL, M., 2005. Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. *Journal of Food Engineering*, 69(2): 191-198.
23. FAO, 2014a. Colombia celebra el año internacional de la quinua. Visto el 31 de Mayo de 2014 en <http://www.rlc.fao.org/es/paises/colombia/noticias/colombia-celebra-el-ano-internacional-de-la-quinua/>
24. FAO, 2014b. Tabla de composición de alimentos. Visto el 3 de marzo de 2014 <http://www.rlc.fao.org/es/conozca-fao/que-hace-fao/estadisticas/composicion-alimentos/>
25. FERNÁNDEZ, P.M., BLANCO, M. A., & MORA, U. J., 1995. Contenido de ácidos grasos en cuatro poblaciones de pejibaye (*Bactris gasipaes*, Palmae). *Revista de Biología Tropical*. 43: 61-66.
26. GIRALDO, A., DUFOUR, D., RIVERA, A.F., SÁNCHEZ, T., SCHELDAMAN, X., & GONZÁLEZ, A., 2009. Diversidad del chontaduro (*Bactris gasipaes*) consumido en Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18 :2027–2030
27. GÓMEZ, J., 1997. Plantas utilizadas en la alimentación del cerdo en el pacifico colombiano, comunidad afrocolombiana de Coqui y Genando Partado. Quibdo: *Programa Bosques húmedos*. Fundacion Espave. 50pp.
28. GORDON, M., & TAYLOR, J.S., 1952. Ideal copolymers and the 2nd-order transitions of synthetic rubbers .1. Non-crystalline copolymers. *Journal of Applied Chemistry*. 2(9):493-500.
29. GOROSQUERA, F.E.; GARCÍA, S.F.; HUICOCHEA, F.E.; NÚÑEZ S.M.; GONZÁLEZ S.R.; & BELLO, P.L., 2004. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*): estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55(1): 86-90.
30. GREENSPAN, L., 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 81–89.
31. HENDERSON, S. M., 1952. A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering*, 33: 29–32.
32. HOF SOMMER, H.J., 2001. The composition of banana puree. *Fruit Processing*, 11(1): 6-11.
33. ICBF. 2010. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2010 (ENSIN). Visto el 3 de marzo de 2014 <http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/NormatividadC/ENSIN1>.
34. JOHNSON, P. N. T., & BRENNAN, J. G. 2000. Moisture isotherm characteristics of plantain (*Musa, AAB*). *Journal of Food Engineering*, 44:79–84.
35. KAYMAK-ERTEKIN, F., & GEDIK, A., 2004. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4):429-438.
36. KONISHI, Y., HIRANO, S., TSUBOI, H., & WADA, M., 2004. Distribution of minerals in Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) seeds. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*. 68: 231–234.
37. LEE, K.W., KIM, Y.J., LEE, H.J., & LEE, C.Y., 2003. Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 7292–7295.
38. LETERME, P., GARCIA, M.F., LONDOÑO, A.M., ROJAS, M.G., BULDGEN, A., & SOUFFRANT, W.B. 2005 Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9): 1505–1512
39. 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.
40. LEVINE, H. & SLADE, L., 1988. Principles of cryostabilization technology from structure/property relationships of carbohydrate/water systems: a review. *Cryo-Letters*, 9: 21-63.
41. MARTINEZ- NAVARRETE., N; ANDRÉS, A., CHIRALT, A., Y FITO, P., 1998. Termodinámica y cinética de sistema alimento- entorno. Universidad politecnica de valencia: 100.
42. MEDEIROS, M. L., BARTOLOMEU AYROSA, A. M. I., DE MORAES PITOMBO, R. N., & DA SILVA LANNES, S. C., 2006. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *Journal of Food Engineering*, 73(4):402-406.



43. MEDINA, A.H.H., MARTINEZ, M.G., & FLÓREZ, J. A. B., 2007. Caracterización bromatológica de materias primas y subproductos en el municipio de Quibdó, Chocó. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*, 26(2): 9-12.
44. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2011, Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero 2010. Edición Dirección de Política sectorial. ISBN 978-958-97128-8-7. Visto el 5 de marzo de 2014 <http://www.agronet.gov.co>
45. MISHRA, S., & RAI, T., 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20(5): 557–566
46. MONTEIRO C.J & DA SILVA P.R., 2014. Hygroscopic behavior of banana (*Musa ssp. AAA*) flour indifferent ripening stages. *Food and bioproducts processing*, 9: 73–79
47. MORAGA, G., TALENS, P., MORAGA, M. J., & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., 2011. Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*, 106 (3): 212-219.
48. MORA-URPI, J., WEBER, J.C., & CLEMENT, C.R., 1997. Peach palm. *Bactris gasipa* Kunth. *Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops*, 20, p. 83. Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research/Rome: International Plant Genetic Resources Institute-IPGRI.
49. MOSQUERA, L.H., MORAGA, G., FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, P., & 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: 397-406.
50. MOTA, R. V., LAJOLO, F. M., CORDENUNSI, B.R., 1997. Composição em carboidratos de alguns cultivares de banana (*Musa spp.*) durante o amadurecimento. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, 17(2): 94-97.
51. OSHODI, A.A., OGUNGBENLE, H.N., & OLADIMEJI, M.O., 1999. Chemical composition, nutritionally valuable minerals and functional properties of benniseed (*Sesamun radiatum*), pearl millet (*Pennisetum typhoides*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours. *International journal of food sciences and nutrition*, 50(5): 325–331.
52. PERDOMO, J., COVA, A., SANDOVAL, A. J., GARCÍA, L., LAREDO, E. & MÜLLER, A. J., 2009. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 76: 305–313.
53. POLLIO, M. L., CHIRIFE, J., & RESNIK, S. L., 1984. Adsorption isotherms of Argentine varieties of sunflower seeds. *Internationale Zeitschrift für Lebensmittel-Technologie und Verfahrenstechnik*, 6: 480-483.
54. POLLIO, M. L., RESNIK, S. L., & CHIRIFE, J., 1987. Water sorption isotherms of soy bean varieties grown in Argentina. *International Journal of Food Science and Technology*, 22: 335-338.
55. RIVAS, X. A., PAZOS, S.C, CASTILLO, K.C, & PACHON, H., 2010. Alimentos autóctonos de las comunidades indígenas y afrodescendientes de Colombia. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. Organo Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 60 (3): 211-219.
56. RUSCONI, M., & CONTI, A., 2010. Theobroma cacao L., the Food of the Gods: A scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological Research*, 61(1): 5-13.
57. SANTOS, F.S.A., FIGUEIRÊDO, R.M.F., & QUEIROZ, A.J.M., 2004. Moisture adsorption isotherms of spiced cassava flour. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 6(2):149–155
58. SOPADE, P. A., & AJISEGERI, E. S., 1994. Moisture sorption study on Nigerian foods maize and sorghum. *Journal of Food Process Engineering*, 17: 33–56
59. TELIS, V.R.N & MARTINEZ-NAVARRETE, N., 2009. Collapse and color changes in grapefruit juice powder as affected by water activity, glass transition and addition of carbohydrate polymers. *Food Biophysics*, 43: 44–751
60. TELIS, V.R.N., & MARTINEZ-NAVARRETE, N., 2010. Application of compression test in analysis of mechanical and color changes in grape fruit juice powder as related to glass transition and water activity. *LWT – Food Science and Technology*, 43(5), 744–751.
61. TOLABA, M. P., PELTZER, M., ENRIQUEZ, N., & POLLIO, M., 2004. Grain sorption equilibria of quinoa grains. *Journal of Food Engineering*, 61(3):365-371.
62. TORREALBA P. M.A., 2007. Determinación de isoterma de sorción de humedad en harina precocidad de plátano verde. *Agrollanía Revista de Ciencia y Tecnología*, 4:9 22

63. VAN DEN BERG, C., & BRUIN, S., 1981. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In: Rockland, L.B., Stewart, G.F. (Eds.), *Water Activity: Influences on Food Quality*. Academic Press, London/New York, pp. 1–43.
64. YUYAMA, O.K.L., AGUIAR, J.P.L., & CLEMENT, C.R., 2003. Chemical composition of the ruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54:49-56.