

# CARACTERIZACIÓN DE HARINAS ALTERNATIVAS DE ORIGEN VEGETAL CON POTENCIAL APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE ALIMENTOS LIBRES DE GLUTEN

Jairo Umaña<sup>1</sup>, Carolina Álvarez<sup>1</sup>, Seneida M. Lopera<sup>1</sup> y Cecilia Gallardo<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Estudios de Estabilidad de Medicamentos, cosméticos y alimentos  
Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

\* [gallardoqf@gmail.com](mailto:gallardoqf@gmail.com)

## RESUMEN

Las harinas alternativas constituyen una fuente innovadora para formular alimentos. El objetivo del estudio fue caracterizar harinas alternativas vegetales libres de gluten como; Lenteja (*Lens culinaris*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Garbanzo (*Cicer arietinum*), Chachafruto (*Erythrina edulis*), Plátano (*Musa paradisiaca*), Corteza de piña (*Ananas comosus*), Pimentón (*Capsicum annuum*), Ahuyama (*Cucurbita maxima*), Brócoli (*Brassica olerasia*) y Champiñon (*Agaricus bisposius*). Los métodos aplicados fueron: análisis bromatológicos según protocolos oficiales (AOAC, 1997), evaluación morfológica de gránulos de almidón por microscopía óptica de contraste, análisis térmico con barrido diferencial calorimétrico (DSC), pruebas funcionales: índice de solubilidad y absorción, capacidad de retención e hinchamiento, prueba de extensibilidad con método Plataforma Kieffer-Texturómetro AXT2. Los datos por triplicado, fueron tratados con análisis varianza ANOVA y test de rango múltiple con paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.

**Palabras claves:** Harinas alternativas vegetales, Caracterización, Alimentos libres de gluten.

## ABSTRACT

The alternative flours are an innovative source to develop new foods. The aim of this study was to characterize alternative flours and gluten-free vegetables, lentil (*Lens culinaris*), bean (*Phaseolus vulgaris*), Chickpeas (*Cicer arietinum*), Chachafruto (*Erythrina edulis*), banana (*Musa paradisiaca*), Bark Pineapple (*Ananas comosus*), Paprika (*Capsicum annuum*), Ahuyama (*Cucurbita maxima*), broccoli (*Brassica olerasia*) and Mushroom (*Agaricus bisposius*). The methods applied were: Chemical analysis according to official protocols (AOAC, 1997), morphological evaluation of starch granules by optical contrast microscopy, thermal analysis with differential scanning calorimetry (DSC), functional tests: solubility and absorption rate, retention capacity and swelling, extensibility test with Kieffer-Texturómetro AXT2 Platform. Data by triplicate were treated with ANOVA analysis and multiple range test with statistical package Statgraphics Centurion XVI.

**Keywords:** Alternative vegetable flours, characterisation, gluten free foods.

## I. INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria y nutricional es una temática global alimentaria que requiere el aporte de la investigación y la innovación. En consecuencia con lo anterior, la formulación de productos alimentarios saludables y el estudio de nuevas materias primas, se presentan como una tarea prioritaria para los profesionales del sector alimentario, siendo de gran interés el grupo de los cereales, granos y semillas, como fuente alimentaria definitiva en el crecimiento y el desarrollo de la humanidad.

El pan es un claro componente de la dieta, que ha sido utilizado como sustrato de diversos ingredientes funcionales como la fibra o algunos micronutrientes añadidos a las harinas. Sin embargo, las posibilidades del pan como alimento funcional son inmensas y han sido muy poco explotadas hasta el momento comparativamente con otros sectores de la alimentación (Hernández y Majem 2010).

En el grupo de alimentos de consumo masivo el pan es uno de los alimentos básicos de los grandes conglomerados humanos en muchos países del mundo. Su ingrediente fundamental, es la harina de trigo que contiene proteínas de reserva conocidas como prolaminas y gluteninas, con funcionalidad tecnológica principal y cuya composición de aminoácidos es deficiente en lisina y otros aminoácidos esenciales (González *et al.*, 2004).

Desde el año 1950, se ha identificado que las prolaminas de los cereales trigo, cebada, centeno, triticale y avena, están

relacionados con la enfermedad celíaca, afectando a las personas que los consumen en productos que hacen parte de la dieta diaria. En algunos estudios, se ha identificado que alrededor de un 3% de la población mundial sufren de celíaca, esta patología ha sido descrita como una enteropatía autoinmune que afecta el intestino delgado, atrofiando las vellosidades de la mucosa y generando mala absorción de los nutrientes, siendo este uno de los principales motivos para impulsar el desarrollo de productos libres de gluten-PFG, que respondan a las necesidades de consumidores con regímenes especiales alimentarios (Gallagher, 2009).

La enfermedad celíaca responde bien a la exclusión del gluten de la dieta, haciéndose imprescindible el estudio de materiales alternativos, con valor nutricional (Ponce, 2010). Otro de los mayores desafíos para la industria panificadora es el desarrollo de productos libres de gluten que tengan aceptabilidad sensorial por parte del consumidor, por ello la necesidad de buscar harinas de elementos alternativos vegetales que puedan complementar no solo en la calidad nutricional sino también en el aspecto tecnológico y desarrollo de nuevos productos. La utilización de granos enteros y en harina, de leguminosas y otros vegetales, está siendo tema de estudio en el desarrollo de nuevos productos (Utrilla *et al.*, 2007).

Las harinas compuestas y alternativas constituyen una opción para la formulación de alimentos para regímenes especiales, alimentos con valor agregado nutricional y la aplicación de materia primas innovadoras.

Las harinas de cereales, entre ellas el arroz y otros granos no convencionales tales como las leguminosas, musáceas, raíces y tubérculos, se perciben como potenciales ingredientes en el desarrollo de productos a nivel mundial (León y Rosell, 2007).

El término “Harinas compuestas” se usa para indicar todo tipo de producto obtenido por mezcla de distintas harinas con o sin trigo y estas a su vez se pueden mezclar con otras materias primas de alto valor biológico, con la posibilidad de incluir la adición de proteína suplementaria de diversas fuentes que pueden estar asociados a la cultura alimentaria de un grupo (Apro *et al.*, 2004). El término “harinas compuestas” fue creado en 1964 por la FAO (BVSSAN, 2009) y se define como: “Mezclas elaboradas para producir alimentos a base de trigo, como pan, pastas y galletas”.

Para la obtención de las harinas compuesta se cuenta con materiales vegetales cereales como arroz, cebada, avena, maíz, con pseudocereales como amaranto y quinua, leguminosas como chachafruto, garbanzo, lenteja y frijol, hortalizas como zanahoria, plátano y ahuyama, tubérculos como ñame y yuca, fibra alimentaria de corteza de piña, de brócoli y de champiñón. Los vegetales más consumidos son los cereales, las leguminosas y los tubérculos, que constituyen la base de la dieta. El contenido nutritivo de todas las diferentes vegetales pone en manifiesto que los productos individuales no son capaces de aportar todos los nutrientes precisos, aunque por medio de distintas combinaciones, es decir, consumiendo diferentes hortalizas, puede recibirse el

aporte nutritivo completo (Arthey y Dennis, 1991), (Fernández *et al.*, 2009).

El conocimiento de la composición de los alimentos y sus materias primas, es fundamental para diversas aplicaciones, entre ellas, cabe destacar, la intervención dietética de personas con limitaciones en su dieta, la promoción de la salud, la regulación de la calidad y el etiquetado de los mismos (Machado, 1997), (Gimeno *et al.*, 2010).

Otro concepto importante, para ser incorporado en un futuro en este trabajo es la biofortificación, que se define como “El desarrollo de cultivos ricos en nutrientes, utilizando las mejores técnicas del fitomejoramiento convencional y la biotecnología moderna.”, siendo el arroz, el maíz, el frijol enriquecidos desde el cultivo con nutrientes como hierro, zinc y algunos aminoácidos esenciales, materiales que pueden también ser utilizados como harinas alternativas, para ser incorporados en los procesos de panificación (CIAT, 2009).

La caracterización de harinas alternativas comprende un acercamiento bromatológico, morfológico y fisicoquímico, que permite una correlación entre la macroestructura, microestructura y propiedades funcionales. El uso de la microscopía se utiliza cada vez más para estudiar la influencia de los ingredientes y las condiciones de procesado en la estructura de los alimentos. Al mostrar la distribución y el estado físico de los constituyentes, particularmente de los almidones y de la grasa, el microscopio óptico suministra una explicación visual de por qué alimentos con composición química similar, poseen texturas muy

diferentes. (Pherson y Gaonkar, 2006), (Flint, 1996).

Los métodos calorimétricos se han aplicado extensivamente en el estudio de la estructura y las transiciones de fase del almidón puro, y en sistemas alimenticios complejos. La observación de estos procesos por DSC depende de los parámetros que gobiernan la transición de fase de las regiones metaestables, característicos de las regiones amorfas que son: el tipo de estructura molecular, el contenido de humedad y la velocidad de calentamiento. (Lörinczy, 2004). En DSC, la evidencia directa de la transición vítrea se caracteriza por un incremento en la capacidad calorífica de la muestra, la cual al ser reversible puede ser medida durante el calentamiento o enfriamiento (Sandoval *et al.*, 2005). Las transiciones térmicas se pueden relacionar con el proceso de horneado usando métodos térmicos en condiciones lo más cerca posibles a una situación de horneado real (Kaletunç y Breslauer, 2003).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar harinas alternativas para su futura utilización en procesos y productos del área de la panificación nutritivos, saludables y sostenibles, así como en el desarrollo de metodologías para la caracterización fisicoquímica y funcional.

## II. MATERIALES Y METODOS

**Obtención de harinas.** Las harinas se realizaron obteniendo la materia prima de diferentes centros de mercados agropecuarios de la ciudad de Medellín, Colombia. Las harinas de los materiales caracterizados fueron: Lenteja (*Lens culinaris*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*),

Garbanzo (*Cicer arietinum*), Chachafruto (*Erythrina edulis*), Plátano (*Musa paradisiaca*), Corteza de piña (*Ananas comosus*), Pimentón (*Capsicum annum*), Ahuyama (*Cucurbita maxima*), Brócoli (*Brassica olerasia*), Champiñón (*Agaricus bisposius*). Los vegetales se secaron en horno con un sistema convectivo, discontinuo y estático, con fuente de calor eléctrica y posterior molienda, con sistema de martillos. Todas las harinas se tamizaron por malla 60 (250  $\mu$ m) para la homogenización de tamaño de partícula. Las harinas de champiñón, banano y pimentón, solo fueron tenidas en cuenta para algunas pruebas, ya que presentaron problemas de compactación y no eran representativas del material original.

Las harinas de arroz y banano, fueron suministradas por la empresa Pronalce S.A y el grupo de Investigación Nutrición y Tecnología de alimentos de la Facultad de Química farmacéutica, respectivamente, igualmente los datos bromatológicos fueron obtenidos de las respectivas fichas técnicas.

**Caracterización bromatológica.** La proporción de proteína se obtuvo de la determinación del porcentaje de nitrógeno por el método de Kjeldahl, y aplicando posteriormente un factor de 6.25 para su transformación en porcentaje de proteína. El extracto etéreo se obtuvo por medio de extracción con solvente orgánico (éter de petróleo). La humedad se determinó por gravimetría secando la muestra por convección y el porcentaje de cenizas se midió por medio de la calcinación de la muestra en mufla. Los métodos oficiales de análisis de la AOAC utilizados fueron: 984.13; 920.39; 925.10; 923.03 respectivamente. El porcentaje de carbohidratos se determinó por diferencia. Todos los análisis de

caracterización química se realizaron por triplicado (AOAC, 1997).

Los análisis bromatológicos fueron realizados en el laboratorio de análisis fisicoquímico de Alimentos de la facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia.

**Caracterización térmica.** La caracterización térmica se realizó con un DSC NETZSCH 200 PC siguiendo como parámetro la Norma ASTM E794 adaptada. Se pesaron 5 mg  $\pm$  0.5 de muestra de harina sin ningún tratamiento previo. La velocidad de calentamiento se realizó a 5 °C/min desde 30 °C hasta 140 °C bajo una atmósfera de nitrógeno, programado con sistema de control de interno del equipo (ASTM, E794).

**Caracterización morfológica del almidón.** Las muestras fueron preparadas dispersando 0.1 g  $\pm$  0.01 de muestra de harina en 2 ml de clara de huevo, medidas con pipeta graduada, posteriormente las dispersiones fueron sometidas a ultrasonido durante 3 minutos, luego se realizaron extendidos en portaobjetos y con posterior secado a temperatura ambiente de 20 °C  $\pm$  2. Luego se agregó azul de toluidina como colorante de contraste y se dejó en reposo durante 3 minutos para mejor fijación. Las muestras fueron observadas con microscopio óptico Nikon Eclipse 80i, con objetivo de 40x y la cámara para captar las imágenes fue marca Nikon DS-2Mv. La microscopía óptica fue realizada en la unidad de microscopía electrónica de la Universidad del Cauca, Popayán.

**Determinación de tamaño de los gránulos de almidón.** Se partió de las imágenes obtenidas por microscopía óptica, determinando el diámetro

promedio, utilizando el programa Image J 1.40.

**Caracterización funcional,**  
**Capacidad de hinchamiento (CH):**

Es la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua. Se pesaron 2.5 gramos de muestra en una probeta graduada y se adicionó un exceso de agua (30 mL) y se agitó manualmente. Se dejó en reposo durante 24 horas, a temperatura ambiente de 27 °C  $\pm$  0.5 y luego se midió el volumen final (Vf) de la muestra en mL. El resultado de CH, se obtuvo aplicando la ecuación (1)

$$CH = \frac{Vf(ml)}{Peso\ de\ muestra\ (g)} \quad (Ec. 1)$$

**Capacidad de retención de agua (CRA):**

Se pesó 1 g de muestra en un tubo de ensayo, se adicionó 30 mL de agua, se agitó y se dejó hidratar durante 18 horas. Luego se centrifugó a 2000 rpm por 30 minutos, se separó el sobrenadante y se transfirió el residuo en un crisol y se pesó, obtenido el valor de residuo húmedo (RH). Luego se secó el residuo a 105 °C  $\pm$  1 por 24 horas y se pesó, obteniendo el valor del residuo seco (RS). Se aplicó la ecuación (2)

$$CRA = \frac{RH(g) - RS(g)}{RS(g)} \quad (EC.2)$$

El porcentaje de material soluble se calculo indirectamente de la CRA con la siguiente expresión matemática.

$$\%Solubilidad = \frac{pesomuestra(g) - RS(g)}{Peso\ de\ muestra\ (g)} \quad (Ec.3)$$

**Capacidad de absorción de agua (CAA):** Expresa la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por gramo

de material seco en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza patrón. Se pesaron 0,5 gramos de muestra en un tubo de ensayo, se adicionó un exceso de agua (10ml) y se agitó durante 30 minutos. Luego se centrifugó durante 10 minutos a 3000 rpm; se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento. Los resultados se expresaron en gramos de agua por gramos de muestra (Lajolo y Wenzel, 1998).

$$CAA = \frac{\text{Peso sedimento (g)} - \text{Peso muestra (g)}}{\text{Peso muestra (g)}}$$

(Ec.4)

Todos los análisis de caracterización funcional se realizaron por triplicado y fueron realizados en el laboratorio del Grupo de Estabilidad de medicamentos, alimentos y cosméticos de la Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica.

**Extensibilidad.** Según método referencia REF: DOU1/KIE; TA-XT2. Consiste en someter la masa a la fuerza de estiramiento hasta su ruptura, registrando resistencia y extensibilidad. Proporciona información de la posible utilización y carácter reológico funcional de la harina. Se utilizó un Texturómetro TA-XT2 con accesorios: Plataforma de perforación Kieffer (A/KIE).

Los análisis de extensibilidad se realizaron en el laboratorio de Investigación Nutrición y Tecnología de alimentos de la Facultad de Química farmacéutica, Universidad de Antioquia.

**Análisis de datos.** Los datos resultantes de la caracterización bromatológica y funcional fueron analizados mediante una comparación ANOVA y test de rango múltiple para demostrar las diferencias utilizando el

paquete estadístico, Statgraphics Centurion XVI.

### III. RESULTADOS

#### **Obtención de harinas**

Las harinas obtenidas mostraron características típicas de cada material, manteniendo su color y olor característicos, al tacto se perciben como un sólido suave fluido, sin aglomerados, propiedades tales que mantienen relación con tamaño de partícula, porcentaje de humedad y forma de conservación. Estas características son importantes al ser incorporados en una matriz alimentaria ya que influyen en los aspectos tecnológicos y sensoriales.

**Composición bromatológica:** Los resultados de análisis proximal, (tabla 1) muestran relevancia del champiñón, brócoli y leguminosas en contenido proteico, las propiedades funcionales de interacciones con el agua, (gráfica 1) muestran relevancia en materiales ricos en fibras y almidones. Los resultados mostrados concuerdan con estudios realizados por otros autores (González et al., 2004), (Lajolo y Wenzel, 1998), (Tabla de la FAO), (Guerra y Bressani, 2008), (Campas *et al.*, 2008). La harina de garbanzo contiene el mayor porcentaje de extracto etéreo de todos los elementos analizados con un 5.77% seguido del pimentón 2.64% y brócoli 1.83% respectivamente. El garbanzo en especial presenta un alto contenido de compuestos lipídicos por su composición natural, en el brócoli y el pimentón se pueden atribuir estos porcentajes a compuestos lipídicos además de colorantes liposolubles, lo que aumenta estos valores. Para la proteína, el

champiñón registra una cantidad importante de 37.16%. También las leguminosas mostraron cantidades apreciables alrededor del 20%.

En general el porcentaje de cenizas de estos elementos fueron altas a excepción del plátano (menor al 1%), esto significa un alto contenido de minerales que pueden ser importantes en la nutrición humana. Los

carbohidratos fueron el mayor compuesto de estas harinas, como era de esperarse, pues estas hortalizas se caracterizan por ser altas fuentes de energía en azúcares, almidón y fibras. Todos los tratamientos entre grupos, las muestras mostraron diferencia estadísticamente significativa entre las medias con un valor P menor de 0.05 con un nivel de confianza del 95%.

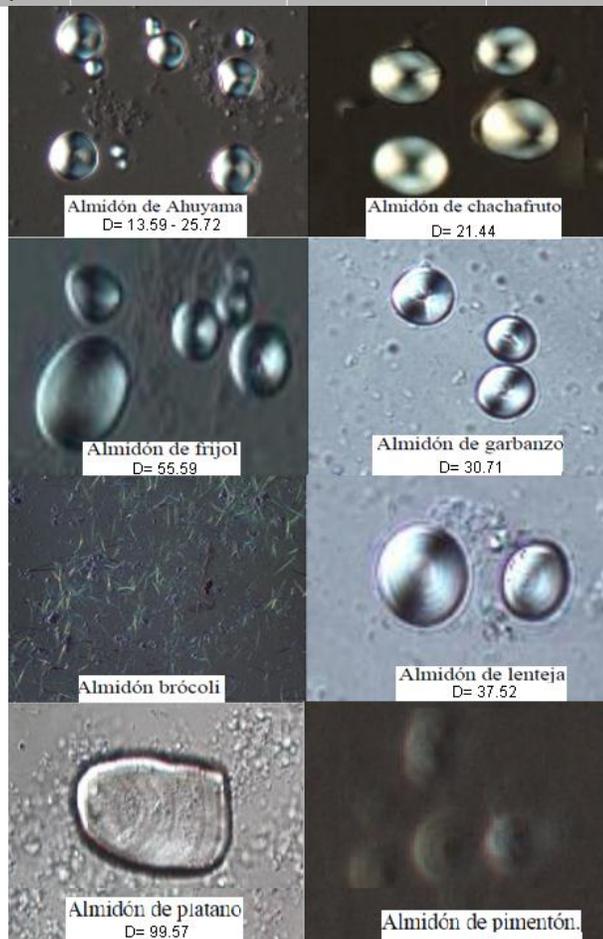
**Tabla 1. Composición bromatológica de harinas alternativas**

Harina	Extracto etéreo <sup>(1)</sup>	Proteína <sup>(2)</sup>	Humedad	Cenizas	Carbohidratos <sup>(3)</sup>
Plátano	0,39 +/- 0,01	3,04 +/- 0,1	8,28 +/- 0,12	1,06 +/- 0,01	87,23 +/- 0,06
Ahuyama	1,15 +/- 0,02	8,53 +/- 0,15	9,59 +/- 0,13	3,67 +/- 0,03	77,05 +/- 0,08
Garbanzo	5,77 +/- 0,05	21,62 +/- 0,45	7,48 +/- 0,24	2,64 +/- 0,01	62,49 +/- 0,19
Champiñón	1,16 +/- 0,03	37,16 +/- 0,93	9,26 +/- 0,15	7,23 +/- 0,15	45,18 +/- 0,31
Lenteja	0,95 +/- 0,04	23,99 +/- 0,41	8,05 +/- 0,09	2,88 +/- 0,03	64,13 +/- 0,14
Frijol	0,39 +/- 0,01	22,56 +/- 0,54	10,41 +/- 0,40	4,35 +/- 0,08	62,29 +/- 0,26
Chachafruto	0,34 +/- 0,01	19,25 +/- 0,37	3,30 +/- 0,27	3,71 +/- 0,03	73,40 +/- 0,17
Cascara de piña	0,29 +/- 0,01	6,19 +/- 0,21	5,85 +/- 0,31	3,90 +/- 0,04	83,77 +/- 0,14
Pimentón	2,64 +/- 0,07	11,14 +/- 0,23	6,52 +/- 0,16	3,56 +/- 0,12	76,14 +/- 0,14
Brócoli	1,83 +/- 0,08	27,05 +/- 0,54	7,58 +/- 0,74	8,27 +/- 0,12	55,28 +/- 0,37

Diferencia estadísticamente significativa entre las medias con valor P < de 0.05 con un nivel de confianza del 95%, entre las muestras.

En la comparación de rango múltiple (1) extracto etéreo con similitud estadísticamente significativa para tres grupos, corteza de piña y chachafruto; chachafruto, frijol y plátano; y ahuyama, garbanzo. (2) proteína todas las muestras manifestaron diferencia estadísticamente significativa. (3) carbohidratos similitud estadísticamente entre frijol y el champiñón, como entre ahuyama y el pimentón.

Gránulos de almidón	Tamaño Promedio (um)	Forma	Hilum	Superficie
Ahuyama	13,59 - 25,72	Circular	Centrico	Estriada
Garbanzo	21,44	Circular/Eliptica	Centrico	Estriada
Chachafruto	55,59	Circular	Centrico	Estriada
Lenteja	30,71	Circular/Ovalado	Centrico	Estriada
Frijol	37,52	Circular	Centrico	Estriada
Plátano	99,57	Eliptica	Excentrico	Estriada
Pimentón	nd	Circular	Centrico	Estriada
Brócoli	nd	nd	nd	nd
Corteza de piña	nd	nd	nd	nd



**Figura 1:** Caracterización morfológica de gránulos del almidón en harinas alternativas

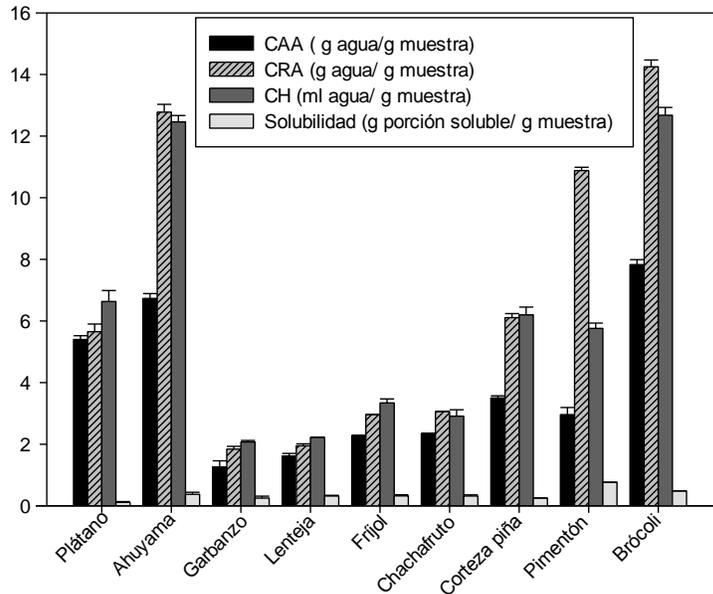
**Caracterización térmica:** Las temperaturas de transición de fase (tabla 2) son características de gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas. La prueba de extensibilidad (gráfica 2), respecto al trigo, muestra que los materiales aportan fuerza y poca extensibilidad. La caracterización morfológica de los gránulos de almidón, es propia de cada material, (Figura 1). En conclusión, la caracterización de las harinas permite proyectar aplicaciones en la formulación de alimentos, entre ellos panificados libres de gluten.

En muchos alimentos los efectos fisicoquímicos pueden ser observados en el rango de temperatura de -50 °C y 300 °C, estos fenómenos pueden ser endotérmicos como fusión, gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas (Lörinczy, (2004). Los termogramas de cada material muestran una transición endotérmica representada por una temperatura de pico. Para efectos de esta investigación en la

búsqueda de materias primas potenciales en procesos para la panificación; este pico representa el cambio del material vegetal a esa temperatura, significando un cambio funcional de cada uno de los componentes de las harinas que puede ser fusión de lípidos, cuando se presenta a temperaturas entre 40 y 50 °C, la desnaturalización de proteínas puede presentarse entre 60 y 80 °C y gelatinización parcial o total del almidón, se presenta entre 50 y 70 °C, igualmente la presencia de proteínas asociadas a grasa, puede hacer que se aumente esta temperatura, como fue observado en la soya en estudios similares (Sciarini, *et al.*, 2008), y que se observa en el frijol y en la lenteja. A temperaturas mayores a las estudiadas, cercanas a 150 °C es posible observar transiciones que están gobernadas por la presencia de minerales asociados a los contenidos de cenizas, muy característicos en las harinas en estudio (Lörinczy, 2004).

**Tabla 2. Caracterización térmica por DSC de temperaturas de transición de fase en harinas alternativas**

Harina	% Humedad	T° pico (°C)
<b>Garbanzo</b>	7,48	49,30
<b>Chachafruto</b>	3,30	51,30
<b>Frijol</b>	10,41	70,30
<b>Lenteja</b>	8,05	66,00
<b>Pimentón</b>	6,52	56,00
<b>Brócoli</b>	7,58	54,70
<b>Plátano</b>	8,28	55,80
<b>Ahuyama</b>	9,59	49,30
<b>Cascara de piña</b>	5,85	51,70



**Figura 2.** Propiedades funcionales de harinas alternativas

Para futuras investigaciones sería de gran interés realizar otros métodos que permitan mayor precisión en los resultados como difracción de rayos X, métodos ópticos, reológicos y químicos. Igualmente es necesario realizar barrido a muestras control como producto en fresco, en suspensión y al producto final, para observar los cambios en las transiciones bajo diferentes condiciones. En materiales que presentaron alto porcentaje de lípidos, se podrían efectuar barridos a temperaturas menores a 40°C, para registrar posibles polimorfismos de lípidos en las harinas. En cuanto a la gelatinización de almidones es un fenómeno endotérmico fácilmente observable por DSC y que depende del contenido de agua, igualmente es importante determinar las entalpías correspondientes (Lőrinczy, 2004).

**Caracterización morfológica del almidón:** La caracterización morfológica

de los gránulos de almidón de las harinas, se muestra en la figura 1, incluidas las microfotografías de cada material. Donde sus tamaños promedio son 13.59 - 25.72; 21.44; 55.59; 30.71; 37.52; 99.57, para la ahuyama, garbanzo, chachafruto, lenteja, frijol, plátano respectivamente. Para el pimentón, brócoli y corteza de piña no se detectó definitivamente el almidón, por lo tanto no se especificó las propiedades. La forma geométrica del almidón de garbanzo y lenteja mostraron características circulares/elípticas. Mientras que para ahuyama, chachafruto, frijol y pimentón fueron solamente circulares y para el plátano elíptico. Para la mayoría de almidones la posición del hilum se encontró en la parte central del gránulo, solamente el plátano fue el único que presentó hilum excéntrico. Para todos los almidones su superficie se caracterizó por ser estriada. Los almidones se encuentran como

gránulos insolubles en muchos tejidos vegetales, y se hallan ampliamente distribuidos en la naturaleza: granos de cereales, guisantes y judías y, como fuentes particularmente ricas, las raíces y tubérculos. El tamaño y forma del gránulo de todos los almidones, incluidos los comerciales es característico de cada fuente vegetal, lo que permite identificarlos microscópicamente. Otros detalles físicos que ayudan a la identificación del almidón son la apariencia del almidón cuando se observa entre polarizadores cruzados, la posición del hilo y la presencia de estrías en los gránulos. Las estrías se deben a las capas que van configurando el gránulo de almidón y que van depositándose alrededor de un punto interno llamado hilo. El hilo puede ser central o excéntrico. Las estrías no son tan evidentes en todos los almidones pero la posición del hilo normalmente se puede ver en medio de montajes no acuosos, presentándose como un punto o, a veces como una rotura en forma de estrella (Flint, 1996). La mayoría de los gránulos de almidón de los materiales vegetales analizados son grandes (mayores a 25  $\mu\text{m}$ ) según la clasificación citada en referencias existentes (Sciarini, 2008). El gránulo de almidón de la ahuyama mostró un comportamiento bimodal marcado, con dos tamaños promedios de granulo, los demás mostraron un promedio constante. El almidón de plátano fue el único en presentar hilum excéntrico y una forma elíptica alargada, las demás fueron circulares ovaladas y de hilum céntrico y estrías radiales.

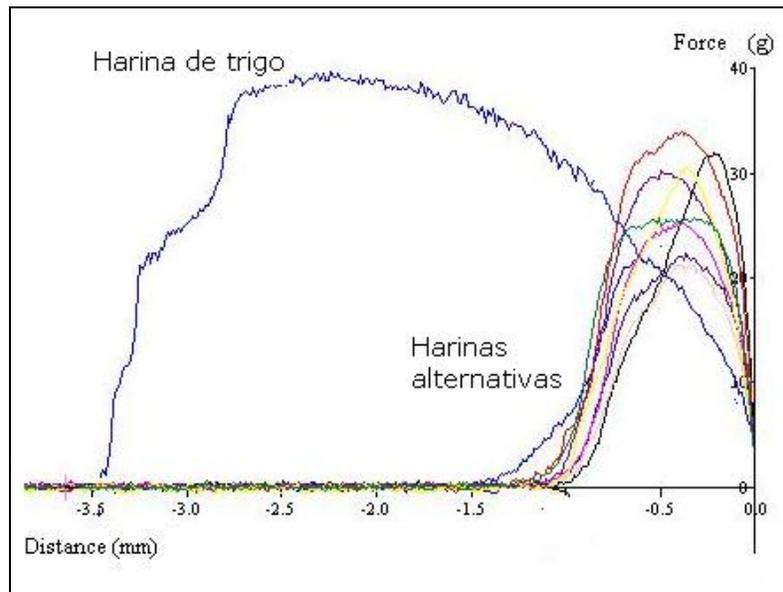
**Caracterización funcional:** En la figura 2, se muestran los resultados de funcionalidad tecnológica nos proporcionan información sobre la interacción con el agua, dándonos

predicciones de procesamiento, como formación de masa y también su comportamiento en otras matrices alimentarias como productos cárnicos. En la capacidad de hinchamiento y absorción de agua las harinas que presentaron mayores valores fueron el brócoli y la ahuyama, esto se puede explicar por el contenido de fibra importante en la ganancia de volumen por medio de la alta absorción de agua. Se puede observar que los valores mas bajos en estos dos parámetros lo representaron el grupo de las leguminosas. En cuanto a la retención el comportamiento es similar, aunque se evidencia un crecimiento para el pimentón y el plátano con respecto a su absorción. Para la solubilidad el pimentón, la corteza de piña y el brócoli poseen los valores más altos, esto se puede explicar por la presencia de azúcares simples y algunos pigmentos hidrosolubles presentes. Las leguminosas mostraron un comportamiento muy similar cerca al 30%. En la comparación de rango múltiple para las características funcionales se observa que en la capacidad de absorción de agua y la capacidad de retención de agua, frijol y chachafruto, existe similitud estadísticamente significativa y una diferencia estadísticamente significativa en las otras harinas y características.

**Extensibilidad:** Los resultados de esta prueba se muestran en la figura 3. Donde se aprecia la fuerza necesaria para la extensión y la distancia recorrida. Se puede ver la superioridad del trigo en cuanto a los valores de extensibilidad justificada en la distancia recorrida. En el factor fuerza algunas harinas desempeñaron un valor cercano al mostrado por la harina de trigo pero esto no es suficiente pues la extensibilidad

representada por la distancia, como la capacidad de la masa de retener gases

expandiéndose sin romperse.



**Figura 3.** Extensibilidad de masa de harinas alternativas evaluada con texturómetro Plataforma de perforación Kieffer (A/KIE).

#### IV. CONCLUSIONES

Las harinas alternativas analizadas poseen potencial en procesos de panificación en el marco de factores nutricionales bajo los parámetros de contenido de proteína y fuente de energía con altas cantidades de carbohidratos.

Las harinas evaluadas presentaron un comportamiento tecnológico promisorio reflejado en la fermentación sin ayuda de sustrato, formación de masa y aptitudes panaderas preliminares en el proceso, con esto se desarrolla una idea de que no solo el trigo u otros cereales pueden ser utilizados en la panificación, sino también aprovechar la variedad de materiales vegetales existentes en el mundo y mucho más en

regiones ricas de vegetación como lo es Colombia.

Los resultados preliminares obtenidos en este estudio, constituyen una base para direccional proyectos en la búsqueda de nuevas materias primas y de nuevos productos en la industria de los cereales y la panificación, dando a conocer características de materiales poco utilizados en esta área en el sector panadero colombiano y así motivar al empresario a innovar en el diseño, formulación de productos y procesos, para ofrecer al consumidor productos saludables, funcionales y sobre todo sostenibles.

Todas las harinas estudiadas presentan transiciones térmicas en el rango de temperatura entre 49 y 70 °C,

siendo estas temperaturas típicas en procesos alimentarios, por lo tanto es necesario determinar qué tipo de componentes y sus interacciones están asociados a estos cambios, para estimar el comportamiento y al estabilidad de las harinas y su aplicación.

## V. BIBLIOGRAFIA

Apro, N.J., Rodríguez J., Orbea M.M., Puntieri, M.V. (2004) Desarrollo de harinas compuestas precocidas por extrusión y su aplicación en planes alimentarios. INTI-Cereales y Oleaginosas – Sede 9 de Julio. 5° Jornadas de Desarrollo e Innovación, Noviembre.

Arthey, D., Dennis, C. (1991) Procesado de hortalizas. España. Editorial Acribia S.A.

Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). Official Methods. Washington: AOAC, 1997.

ASTM (American Society for Testing and Materials). Standard test method for melting and crystallization Temperatures by thermal analysis. E794. Thermal analysis standards.

[BVSSAN] Disponible en: [http://bvssan.incap.org.gt/local/file/PPNT\\_006.pdf](http://bvssan.incap.org.gt/local/file/PPNT_006.pdf). Fecha de consulta: 5 de diciembre de 2009.

Campas, O., López, J., Gutiérrez, M., Estrada, M., Sánchez, D. (2008). Caracterización bioquímica y cuantificación de sulforafano en residuos del brócoli: Investigación C:A. En: La academia y el desarrollo social Instituto Tecnológico de Sonora. México. P 111-125

Fernández, E., Fernández, C., Calvo O. (2009). Desarrollo de nuevos productos harineros. Alimentación, equipos y tecnología. **240**: 46-50.

Flint, O. (1996). Microscopia de los alimentos: manual de métodos prácticos utilizando la microscopia óptica. España. Editorial Acribia.

Gallagher, E. (2009). Gluten-Free Food Science and Technology. United Kingdom. Blackwell Publishing Ltd: 42-43.

Gimeno, M.T., Elía M., Motilva, M. (2010). Interés de la caracterización nutricional en productos de panadería. Alimentaria. **413**: 55-58.

González, J.F., Mosquera, F., Vanegas, P., Barrera, P. (2004). Influencia de las mezclas de harina de trigo (*triticum vulgare*) y chachafruto (*erythrina edulis triana*), en la composición y las características organolépticas del pan.

Guerra, C., Bressani R. (2008). Uso de cowpea (*Vigna Unguiculata*) en mezclas con frijol común (*Phaseolus Vulgaris*) en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. Arch Latinoam Nutr. Vol 58 **1**: 71-80.

Hernández, G., Majem, S. (2010). Libro blanco del pan. España. Editorial Médica Panamericana S.A.

Kaletunç, G., Breslauer, K. (2003) Characterization of cereal and flours. Estados Unidos. Marcel Dekker Inc. pag. 65-105.

Lajolo F.M., Wenzel de M. (1998). Temas en tecnología de alimentos. Volumen 2. Fibra Dietética. CYTED, pag. 207-214.

León, A., Rosell, C. (2007) De tales harinas, tales panes. Argentina. Baéz Impresiones. Pag: 145.

Lindeboom, N., Chang, P., Tyler, R. Analytical, Biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. Starch/Stärke journal. Vol 56. 2004. 89-99.

Lörinczy, D.(2004). The Nature of Biological Systems as Revealed by Thermal Methods. Netherlands. Nestec Kluwer Academic Publishers. pages 69–98.

Machado, O. (1997). Valor nutricional de los alimentos. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.

Memorias del Curso Internacional de Tecnologías para la elaboración de Productos Alimenticios a partir de Cultivos con alto Contenido Nutricional. Octubre 13-15 de 2009. CIAT- Palmira, Colombia.

Pherson. A., Gaonkar, A. (2006) Ingredients interactions: effects on food quality. 2 ed. Estados Unidos. CRC. pag. 21-35.

Ponce, C. (2010). La seguridad y la confianza, claves en los alimentos para celíacos. Alimentaria, pag: 413. 133.

Sandoval. A., Rodríguez, E., Fernández, A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. DYNA. Vol 72.146: 45-53.

Sciarini L., D-Ribota, P., León, A., Pèrez, G. (2008). Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties

and bread quality. Food Bioprocess Technol.Vol 3 (4), 577-585.

Tabla de composición de alimentos para América Latina FAO. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/bases/alimento/default.htm>

Utrilla, R.G., Osorio, P., Bello, L.A. (2007). Alternative Use of Chickpea Flour in Breadmaking: Chemical Composition and Starch Digestibility of Bread. Food Sci Technol Int. 323.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Grupo de investigación de Estabilidad de Medicamentos, Alimentos y Cosméticos, a todos sus miembros especialmente a su apreciada y amiga directora Cecilia Gallardo Cabrera. A la Universidad de Antioquia