

Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación

Influence of cassava genotype and composite flours' substitution level on rheological behaviour during bread-making

Sergio Henao Osorio¹ y Johanna Aristizábal Galvis²

RESUMEN

Dada la creciente dependencia de trigo importado Colombia ha realizado estudios para el uso de harina compuesta trigo-yuca en panificación. En el periodo entre 1986-1991 se llevó a cabo un proyecto en el cual se evaluaron variedades de yuca, edades de cosecha, porcentajes de sustitución y aceptabilidad del pan. Sin embargo, estos estudios no tuvieron repercusión en el sector panadero dada la falta de abastecimiento constante en calidad, volumen y precio de la harina de yuca. Con base en los estudios efectuados, el propósito de este trabajo fue el de determinar la influencia de tres variedades comerciales de yuca industrial (CMC-40, HMC-1, MCOL-1505) utilizando cuatro niveles de sustitución de harina compuesta trigo-yuca (0, 5, 10, 15%) sobre las propiedades reológicas y fermentativas de las masas en panificación. Se hicieron análisis de farinograma, alveograma, amilograma e índice de *falling number*. Se evaluó el volumen específico y aceptabilidad de tres tipos de pan (común, molde y hamburguesa). Se determinó que las harinas compuestas tienen un mayor contenido de fibra y azúcares reductores que el patrón de harina de trigo, lo cual aumenta la absorción de agua y el contenido de azúcares disponibles en la fermentación. El tiempo de desarrollo de las masas con harina compuesta fue, en promedio, la mitad del requerido para la harina de trigo, y el índice de tolerancia fue mayor; su estabilidad disminuyó al aumentar el nivel de sustitución y su tenacidad aumentó como consecuencia de la mayor absorción de agua. Los valores de *falling number* estuvieron dentro del rango aceptable (250-400 s). El volumen específico de todos los panes con sustitución de 5 y 10% fue mayor que el patrón. La mejor aceptabilidad general fue asignada a los panes tipo común y molde de todas las variedades y niveles de sustitución.

Palabras clave: yuca, panificación, harina compuesta, reología, fermentación, aceptabilidad.

ABSTRACT

Given increasing dependence on imported wheat, studies have been carried out in Colombia regarding the use of composite wheat-cassava flour in bread-making. A project was carried out from 1986-1991 in which different cassava genotypes, harvest ages, substitution levels and bread acceptability were evaluated. However, these studies did not have any effect on the baking sector because a constant supply of high quality, high volume and reasonably-priced cassava flour was lacking. Based on these studies, this work was aimed at determining the influence of three industrial cassava market genotypes (CMC-40, HMC-1, MCOL-1505), using four wheat-cassava flour composite substitution levels (0%, 5%, 10%, 15%) regarding the rheological and fermentative characteristics of dough in bread-making. Farinogram, alveogram, amylogram and falling number index analysis were analysed. Specific volume and acceptability of three types of bread (common, mold and hamburger) were evaluated. It was determined that composite flours had higher fiber and reduced sugar content than the wheat flour pattern, thereby increasing water absorption and available sugar content during fermentation. Dough development time for the composite flours was half the average required for wheat flour and the tolerance index was higher; its stability became reduced due to increased substitution levels and its firmness increased due to a rise in water absorption. Falling number values came within an acceptable range (250-400 s). The specific volume of all bread having 5% and 10% substitution was higher than that for the pattern. The best general acceptability was assigned to common and mold type bread from all varieties and substitution levels.

Keywords: cassava, bread-making, composite flour, rheology, fermentation, acceptability.

Recibido: enero 31 de 2008

Aceptado: marzo 2 de 2009

Introducción

En Colombia, como en muchos países de Suramérica, existe un agudo y creciente desbalance entre la producción de trigo y la demanda del grano para abastecer las necesidades internas de pro-

ducción de harina de trigo para uso en panificación. Las principales causas son la falta de tierras adecuadas para el cultivo del cereal, los rendimientos relativamente bajos comparados con otros que ofrecen mayor rentabilidad, lo cual sólo se ha podido compensar mediante la importación del cereal en grandes cantidades y

¹ Ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira., Estudiante Maestría, Salud Ocupacional, Universidad del Valle, Colombia. Profesional externo, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), seccional Valle, Cali, Colombia. sergiohenaoosorio@yahoo.com

² Ingeniera química, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Investigadora, grupo de Investigación en Prospectiva Tecnológica Agroindustrial, AGROSPECTIVA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. jaristizabal@mailworks.org

a precios que van en aumento, lo que ha generado costosas salidas de divisas del país.

Para ayudar a resolver esta situación se han llevado a cabo investigaciones para la sustitución parcial de la harina de trigo por harinas de otros cultivos como yuca, arroz, maíz, sorgo, mijo, etc. Desde el punto de vista técnico, se ha demostrado que se puede producir pan con características comparables a las del pan de trigo, utilizando formulaciones en las que la harina de trigo se ha sustituido entre 5-15% con harinas de yuca (Defloor, 1995).

En Brasil se puso en marcha un proyecto de panificación con harina de yuca, el cual fue presentado ante el Gobierno brasileño en 2001, para obligar la adición de harina de yuca a la harina de trigo en panificación. La investigación demostró que la tecnología necesaria para la producción de panes con 20% de harina de yuca está disponible y que es posible producir un pan con idénticas cualidades al elaborado con trigo, lo cual demanda cambios en la tecnología de elaboración del pan, tales como el uso de proporciones diferentes de agua y grasas o la modificación del tiempo de amasado (Rebello, 2002).

Durante el período 1986-1991, en el marco del convenio suscrito entre el CIAT, Univalle, y DRI, se desarrolló un proyecto denominado "Producción y comercialización de harina de yuca para consumo humano", en el cual se comprobó que es viable técnicamente obtener pan a partir de harina de yuca. Utilizando un sistema de secado de capa fija se instaló una planta piloto en el departamento de Córdoba y después de dos años de operaciones se concluyó que la harina de yuca podría ser utilizada en muchos productos industriales, entre ellos el pan, a precios competitivos, pero con el requisito fundamental de una calidad óptima especialmente en relación con aspectos microbiológicos. Posteriormente, con la apertura económica el trigo se consiguió a precios más bajos y el proyecto nunca pasó la fase piloto. Según este estudio, con un margen bruto del 35% para productores, el costo de producción de la harina de yuca fue 20% menor que para la harina de trigo (CIAT, 1992).

Varias investigaciones fueron realizadas por el IIT para evaluar el uso de harina de yuca en panificación. Se estudió la influencia de las variedades de yuca CM976-15, MCOL-22, MVEN-25 y MCOL-1684, su edad de recolección (8, 10, 12 y 14 meses) y el nivel de sustitución (12, 15 y 18%) sobre las propiedades físicas y organolépticas del pan. Los resultados permitieron establecer que el mejor porcentaje de sustitución fue del 15%, la edad de recolección de 12 meses permitió obtener panes con mejores características externas e internas y de volumen específico, particularmente para las variedades MCOL-22 y MVEN-25. Sin embargo, la variedad MVEN-25 no gustó al consumidor por su sabor amargo, a consecuencia del alto contenido de ácido cianhídrico (32 ppm) en el producto final (IIT, 1986a). Otro estudio adelantado en cinco panaderías comerciales evaluó la influencia de la variedad MCOL 22-15 procesada con cáscara, con 5, 10, 12,5, 15 y 17,5% de sustitución, sobre las características del pan en los tipos blando y francés. Se concluyó que el máximo nivel de sustitución permitido fue del 15%, pudiéndose utilizar porcentajes menores. Los panes tuvieron características físicas y organolépticas no diferenciales de las de los panes elaborados con sólo harina de trigo. Sin embargo, los panaderos presentaron un marcado rechazo al uso de la harina compuesta ya que consideraban que los panes obtenidos eran defectuosos y diferentes a los que ellos producían (IIT, 1986b).

Finalmente, se realizó un estudio para determinar la influencia de la edad de recolección (7, 8, 9, y 10 meses) de la variedad MCOL 22-15, utilizando yuca pelada y sin pelar sobre las características

del pan. Los resultados indicaron que utilizando yuca de 10 meses de recolección de esta variedad se obtienen panes con las mejores características físicas y organolépticas similares al patrón, independiente a si la harina es procesada con yuca pelada o sin pelar (IIT, 1986c).

Con base en los estudios indicados el objetivo de este trabajo fue el de evaluar la influencia de tres variedades de yuca utilizadas en la obtención de harinas compuestas con cuatro niveles de sustitución, sobre el comportamiento reológico en panificación. Se evaluó el volumen específico y la aceptabilidad de tres tipos de pan. Se demostró que la inclusión de harina de yuca en la masa produce un aumento de su volumen y con ello un mayor rendimiento en la elaboración de pan. Aunque los niveles de sustitución de 5% y 10% permitieron obtener mayor volumen específico en todos los tipos de pan, es posible usar hasta 15%, particularmente en panes tipo común y molde de todas las variedades y niveles de sustitución, los cuales tuvieron la mejor aceptabilidad. De acuerdo a los resultados obtenidos, se espera que los esfuerzos en investigación para el desarrollo de nuevos mercados para la yuca, complementada con la estrategia de promoción del cultivo por parte del Gobierno, contribuyan a promover el crecimiento sostenible del cultivo y su oferta para nuevas industrias de procesamiento tales como la harina de yuca para uso en panificación.

Marco teórico

El pan es un producto de gran técnica en su elaboración y puede incorporar una amplia variedad de componentes tales como harina, agua, levadura, sal, azúcar, grasa, emulsificantes, leche, mejorantes, entre otros. Un buen pan debe tener una corteza crujiente, de miga de color blanca cremosa, de olor apetitoso, sabroso y con buena conservación. Las materias primas que se utilizan tienen una gran influencia en las variaciones de estas características (Clavel, 2001). Durante el proceso de panificación el pan se ve sometido a transformaciones de tipo físico, químico y biológico, que lo dotan finalmente de cualidades nutritivas y organolépticas.

Las etapas para la fabricación del pan son: pesado, mezclado, amasado, reposo, boleado, corte, formado, fermentación y horneado.

Pesado. El pesaje de las materias primas proporciona el conocimiento de las cantidades exactas de los componentes del pan según la formulación a elaborar.

Mezclado. Los componentes del pan deben ser mezclados de manera homogénea para lograr una completa incorporación y garantizar la ausencia de grumos. Los ingredientes sólidos son mezclados, y una vez obtenida una mezcla homogénea se adiciona paulatinamente el agua, que proporciona a la masa sus características de elasticidad y extensibilidad conferidas por el gluten en formación.

Amasado. El amasado es la operación donde se desarrolla el gluten formado por la adición del agua durante el mezclado. El buen desarrollo del gluten es de vital importancia para propiciar una mayor retención del gas producido durante la fermentación. El proceso se divide en varias fases: rotura y estirado, donde los brazos amasadores estiran la masa, rompiéndola, y los fragmentos son lanzados contra las paredes, lo que desarrolla progresivamente el gluten. Soplado y oxigenado, donde la masa se estira al máximo y atrapa el aire con facilidad, quedando disuelto en la masa y formándose burbujas minúsculas de aire, esenciales para el posterior desarrollo de la estructura esponjosa del pan (De Souza, 1989).

Reposo. Se realiza con el fin de que la masa se vuelva más maleable debido a la producción de gas, ya que este es de gran importancia para el buen desempeño de la masa al momento del formado.

Boleado. Mediante el paso de la masa a través de rodillos se acaba de desarrollar la elasticidad y extensibilidad del gluten para obtener una masa plástica, suave y elástica que permita elaborar panes lisos y de buena presentación y textura final.

Corte. Se realiza con el fin de homogeneizar el tamaño de los panes. Este procedimiento se hace sólo para algunos panes como el tipo común y el tipo hamburguesa.

Formado. Consiste en dar forma simétrica a los trozos de masa. Se debe tener cuidado de no desgarrar la masa en el formado ya que eso reduce el volumen del pan. Esta operación está condicionada por la fuerza y la tenacidad de la masa.

Fermentación. La fermentación más importante que ocurre en este proceso es la fermentación alcohólica, en la cual la levadura actúa sobre los azúcares presentes en la masa para producir anhídrido carbónico (CO₂), alcohol, vapor de agua, además de productos aromáticos, como aldehídos y cetonas, que son responsables del sabor del pan, los cuales son encapsulados por la película de gluten desarrollado durante el amasado. La masa se fermenta a una temperatura entre 28-32 °C.

Horneado. Una vez el pan ha alcanzado su punto correcto de fermentación, este es horneado a una temperatura que varía según el tamaño de los panes y el tipo de horno, la cual oscila entre 190-260 °C. En esta operación suceden tres fases: la primera, cuando las piezas de pan entran al horno la masa no deja de fermentar hasta que alcanza los 45 °C y por consiguiente sigue produciendo gas carbónico y estas burbujas comienzan a dilatarse por efecto del calor. En la segunda fase, se forman los alvéolos de la miga y las enzimas amilásicas degradan el almidón en dextrinas y maltosa, responsables de la caramelización de la corteza. Superados los 70 °C, el gluten se coagula y el almidón se gelatiniza, perdiendo así la plasticidad de la masa. Al mismo tiempo, comienza la evaporación de alcohol, la cual causa que la masa se levante un poco más por efecto de los vapores producidos y ocurre una refrigeración natural en el interior de la pieza que le impide hervir. En la tercera fase, la corteza se colorea por el efecto de las dextrinas que se localizan en la superficie del producto. La temperatura al interior de la miga nunca supera los 90-100 °C debido a las reacciones de evaporación de agua y alcohol (De Souza, 1989).

Desarrollo experimental

La fase experimental se llevó a cabo en la panadería La Estrella (Palmira), los análisis físico-químicos se realizaron en los laboratorios de Calidad de Yuca y Servicios Analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT (Cali). Los análisis reológicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de la Industria Harinera del Valle (Palmira).

Definición de variables y niveles. Se definieron tres variables de proceso: *variedad de yuca*, *porcentaje de sustitución* y *tipo de pan*. Las variedades de yuca seleccionadas fueron CMC-40, MCOL-1505 y HMC-1, las cuales se escogieron teniendo en cuenta su disponibilidad (variedades comerciales), rendimiento promedio de raíces en base seca (>6 t/ha), edad de cosecha (12 meses), contenido de materia seca (>30%) y contenido de HCN en base seca (<180 ppm). Los porcentajes de sustitución de harina de yuca fueron 0, 5, 10 y 15% (relación peso/peso en base a la cantidad de

harina de trigo), ya que valores superiores al 15% afectan la calidad final de pan. Los tipos de pan seleccionados fueron *común*, *molde* y *hamburguesa*, que son los más utilizados en la evaluación paramétrica del pan (IIT, 1986b).

El diseño experimental siguió un modelo factorial 3x4x3 con tres repeticiones, realizando un número de 36 ensayos por cada repetición y elaborando 50 panes en cada ensayo.

Obtención de harina de yuca. Las raíces fueron pesadas en una báscula y lavadas en una lavadora cilíndrica con agua potable a presión, donde la fricción entre raíces y paredes del tambor removió las impurezas y la mayoría de la cascarilla. Luego fueron sumergidas en un recipiente con una solución de hipoclorito de sodio a 20 ppm durante 20 min para reducir la carga microbiológica. Posteriormente, las raíces fueron picadas en una trozadora de disco vertical hasta un tamaño aproximado de 0,5 cm² de área y 3 cm de largo. Los trozos fueron secados al sol hasta una humedad de 13%, sobre bandejas de madera cubiertas con malla para proteger el material de contaminación. Para la reducción de tamaño se utilizó un molino-tamiz en el cual se practicó una molienda de los trozos con malla de 3 mm y un tamizado con malla de 177 micras. La granulometría de la harina fue 70-75% partículas < 50 micras y 20 - 25% partículas < 177 micras, la cual cumple con la granulometría exigida por la Norma Técnica Colombiana NTC 267 para la harina de trigo (Icontec, 1998), que pide que más del 98% de las partículas pasen la malla de 212 micras. El rendimiento del proceso fue 3,6 kg de yuca fresca por 1 kg de harina de yuca. La Tabla 1 muestra el análisis microbiológico de las harinas de yuca procesadas.

Tabla 1. Análisis microbiológico de las harinas de yuca

Análisis	Parámetro según NTC 267	Harina de yuca		
		CMC-40	MCOL_1505	HMC-1
Recuento total de aerobios mesófilos/g	200.000 - 300.000 UFC/g	56.000 UFC /g	98.000 UFC /g	14.000 UFC /g
Detección de Escherichia Coli /g	< 3 UFC/g	Ausente	Ausente	Ausente
Recuento de Levaduras /g	1.000 – 5.000 UFC /g	< 10 UFC /g	< 10 UFC /g	< 10 UFC/g
Recuento de Hongos /g	1.000 – 5.000 UFC /g	< 10 UFC /g	< 10 UFC /g	100 UFC /g
Detección de Salmonella /25 g	0	Ausente en 25 g	Ausente en 25 g	Ausente en 25 g
Recuento de esporas de bacteria /25 g	100 – 1.000 UFC /g	< 100 UFC /g	< 100 UFC /g	< 100 UFC /g

Ensayos de panificación. En cada ensayo de panificación se utilizó un lote de 2 kg de harina compuesta. Las formulaciones utilizadas para la elaboración de los panes registradas en la Tabla 2 fueron las usadas diariamente en la panadería La Estrella, con el propósito de no modificar los protocolos de elaboración de los operarios.

Para la elaboración de los panes se siguieron las etapas de pesado, mezclado, amasado, reposo, boleado, corte, formado, fermentación y horneado. El mezclado se hizo en una mezcladora NOVA durante un tiempo de 2-3 min, y el amasado, en el mismo equipo, duró 10 min. El reposo se realizó a temperatura ambiente durante 25-30 min. Para el boleado se utilizó una máquina de Rodillos Maquipan, plegando la masa cada vez que pasaba por los rodillos y teniendo en cuenta el número de pases; en promedio, para la

harina de trigo se requirieron 20 pases, y para las harinas compuestas, 30; esta es una etapa en donde los panaderos por apreciación visual y tacto pueden determinar el momento en el cual el gluten está desarrollado. El corte se efectuó manualmente para el pan molde y se introdujo la masa en moldes rectangulares para su formado. Para los panes tipo común y hamburguesa se utilizó una divisora Duches y luego se realizó el formado manual. Las condiciones de fermentación dependieron del tipo de pan, teniendo control sobre la temperatura, humedad y tiempo para un desarrollo óptimo de la levadura en la masa. El pan molde se dejó fermentar a temperatura ambiente en moldes de acero inoxidable con tapa durante 1,5 h. Los panes tipo común y hamburguesa se introdujeron en una cámara de fermentación con alimentación constante de vapor a una humedad promedio de 80%, temperatura entre 26 y 31 °C durante 1,5 h. El horneado se llevó a cabo en un horno marca Dorado; los panes tipo común y hamburguesa fueron horneados a 200 °C por 25 min y el pan molde a 190 °C por 45 min.

Tabla 2. Formulaciones de pan común, molde y hamburguesa

Componente	Porcentaje % *		
	Pan Común	Pan Molde	Pan Hamburguesa
Harina de trigo	85-100	85-100	85-100
Harina de yuca	5-15	5-15	5-15
Levadura	4	4	6
Azúcar	12	8	12
Sal	2	2,5	2
Margarina	12	6	6
Agua	50-60	50-60	50-60

*Porcentajes dados con base en el 100% como harina

Pruebas de aceptación. Las características organolépticas evaluadas en el pan fueron: aroma, textura de la miga, sabor y aceptabilidad general. Se hicieron 50 encuestas por cada ensayo, en las que se evaluaron cuatro muestras (sustituciones 0, 5, 10, 15%), las cuales se aplicaron tanto para las tres variedades como para los tres tipos de pan. Fueron dirigidas a personas que consumen pan habitualmente, en un rango de edades entre 14 a 70 años, en los estratos sociales 2, 3, 4, 5 y 6, siendo una *prueba de satisfacción* relativa a consumidores. La escala de medición seleccionada fue de tipo *nominal*, usando la escala hedónica, la que permite determinar la aceptabilidad de un producto aplicando escalas categorizadas que reflejan el grado en que un producto agrada o desagradó al consumidor (Watts et al., 1992).

A cada característica organoléptica se le asignó una calificación de 5 puntos: “me gusta mucho” (5), “me gusta” (4), “ni me gusta ni me disgusta” (3), “me disgusta” (2) y “me disgusta mucho” (1). En el cuestionario de evaluación el consumidor marcaba en la escala asignada la calificación de su preferencia. Las encuestas se presentaron en 10 órdenes, así, los panes tuvieron la oportunidad de ocupar diversas posiciones en la encuesta. Para el análisis de los datos cualitativos se utilizó el resumen gráfico llamado “diagrama de cajas y alambres”, el cual describe las características más destacadas de un conjunto de datos incluyendo mediana dispersión (rango intercuantil), identificación de puntos inusuales, naturaleza y magnitud de cualquier desviación de la simetría (Devore, 1998). En el análisis de resultados fue empleado el programa estadístico S-PLUS Professional versión 6.1 para Windows, por medio del cual se construyeron los gráficos.

Métodos analíticos. Los análisis físico-químicos fueron realizados con métodos estandarizados (Aristizábal y Sánchez, 2007). Para determinar la calidad reológica y fermentativa de las masas se e-

valuó su comportamiento por medio de farinograma, alveograma e índice de *falling number* según métodos estandarizados por el Laboratorio de Calidad de la Industria Harinera del Valle. Los perfiles de gelatinización y viscosidad de las harinas se evaluó por medio de amilograma adelantado en un visco-analizador Brabender del Laboratorio de Calidad de Yuca del CIAT.

El *farinograma* mide la resistencia de una masa de harina y agua con una consistencia determinada al someterla al amasado; permite determinar el tiempo de desarrollo (indicativo de la calidad proteica de las harinas), la estabilidad y índice de tolerancia (que señalan la tolerancia de la harina al amasado). Además determina la absorción de agua, valor de gran importancia en panificación, cuyos valores típicos se encuentran entre 59 y 62% (Benedito, 1994).

El *alveograma* permite medir la plasticidad de la masa, basada en tres aspectos: extensibilidad (L) o capacidad que tienen las fibras proteicas de ser estiradas y la aptitud de la malla de gluten para retener el gas, fuerza (W) o energía que se necesita para deformar la masa hasta que se rompe, y tenacidad (P) o fuerza indispensable para hinchar la masa, la cual está ligada a la absorción de agua de la harina (Cortés, 2004).

El *índice de falling number* es una medida indirecta de la actividad enzimática (contenido de alfa-amilasa) de la harina. El método sigue el principio de la gelatinización rápida de una suspensión de harina y la medición subsiguiente de la licuefacción del almidón por acción de la alfa-amilasa. El valor óptimo en harinas de panadería varía entre 250-400 s, prefiriendo los valores intermedios. Un valor bajo refleja mayor presencia de la enzima, y uno alto, menor presencia de esta. Si está por encima de 400 s, las harinas darán productos de baja calidad con migas muy pegajosas, poco volumen y mucho color; si el valor es muy bajo las fermentaciones serán demasiado lentas y el desarrollo del pan escaso (Cortés, 2004).

El *amilograma* mide la resistencia a la agitación de una suspensión de harina-agua durante el calentamiento y enfriamiento bajo una velocidad constante de cizallamiento, determina los perfiles de gelatinización y de empastamiento de la harina por medio de parámetros como viscosidad máxima, facilidad de cocción e inestabilidad del gel. Harinas con una alta actividad diastásica darán viscosidades bajas.

Para evaluar el producto final, se determinó el *volumen específico* de cinco panes tipo común de cada ensayo hecho utilizando un medidor de volumen específico del Laboratorio de Calidad de Yuca del CIAT. Este valor es una medida indirecta de la capacidad de la masa para retener gas.

Luego de cada ensayo de panificación, se seleccionaron cinco panes al azar para determinar el *contenido de ácido cianhídrico (HCN)* luego del horneado, empleando una técnica estandarizada en el Laboratorio de Calidad de Yuca del CIAT (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Resultados y discusión

Análisis físico-químico. La Tabla 3 muestra que la harina de trigo tuvo un contenido de proteína de 14% y las harinas de yuca tuvieron un valor promedio de 2%; esto es una desventaja nutricional en la elaboración de pan con harinas compuestas y por ello no sería conveniente utilizar muy altos niveles de sustitución, adicional a que ello reduciría la calidad del gluten. El contenido de fibra cruda en las harinas de yuca fue en promedio 30% mayor que las de trigo, lo cual, por una parte, es favorable porque la fibra aumenta

la absorción de agua, el tiempo de desarrollo de la masa y la resistencia al amasado; pero por otra, disminuye la capacidad de re-tención del gas y el volumen del pan. El contenido de ácido cian-hídrico total para las tres harinas de yuca estuvo dentro del límite permitido, 10 ppm, para harina de yuca comestible (FAO y OMS, 1989). El contenido de azúcares reductores en las harinas de yuca fue mayor que para la harina de trigo, hecho que favorece la producción de pan usando harinas compuestas trigo-yuca ya que habrá una mayor cantidad de azúcares disponibles al inicio de la fermentación. Los azúcares ayudan a una rápida formación de la corteza del pan debido a su caramelización, reduciendo así la pérdida de agua dentro del pan. Los contenidos de amilopectina de las harinas de trigo y yuca no tuvieron diferencia significativa. Un contenido bajo de amilopectina sería favorable en la elaboración de pan con harinas compuestas trigo-yuca, en relación a su vida útil, ya que se ha demostrado que el endurecimiento del pan se atribuye a la formación de asociaciones entre las moléculas ramificadas de la amilopectina en el gránulo de almidón (Benedito, 1994). Las harinas de yuca tuvieron mayores valores de índice de absorción de agua (IAA), como era de esperarse, por su mayor contenido de fibra. Por el contrario, el índice de solubilidad en agua (ISA) fue mayor para la harina de trigo, ya que esta presenta un mayor valor en el contenido de proteínas solubles en agua y una mayor fracción de amilosa.

Tabla 3. Características físico-químicas de las harinas de trigo y yuca

Análisis*	CMC 40	MCOL 1505	HMC-1	Trigo
Materia seca (%bh)	89,20	92,03	91,61	89,02
Humedad (% bh)	10,80	7,97	8,39	10,98
Proteína (% bs)	1,78	2,32	1,34	14,01
Fibra cruda (% bs)	3,45	3,14	2,96	0,86
Extracto etéreo (% bs)	1,26	1,31	0,60	2,36
Contenido de almidón (% bs)	86,00	87,00	88,25	69,00
Cenizas (% bs)	2,06	1,26	2,25	0,72
CN-Total (ppm)	6,58	9,30	9,89	--
CN-Libre (ppm)	0,58	1,15	0,58	--
Azúcares reductores (% bs)	1,73	2,30	1,37	0,94
Amilosa (% bs)	12,02	12,15	12,31	13,87
Amilopectina (% bs)	87,98	87,85	87,69	86,13
IAA (g de gel/ g de harina)	4,35	4,73	4,15	3,11
ISA (%)	7,01	7,43	8,79	13,26

Análisis reológico. La absorción de agua determinada por el farinograma para las harinas compuestas trigo-yuca fue mayor a la requerida para la harina de trigo, exceptuando las harinas compuestas de la variedad HMC-1, como se registra en la Tabla 4. Sin embargo, en las pruebas de panificación el aumento promedio de agua para todas las harinas compuestas con una sustitución del 10% fue de 4,5%, obteniéndose una masa de 3.700 g, con la cual se elaboraron 65 panes, es decir, un pan adicional, dado que la masa obtenida usando sólo harina de trigo fue de 3.650 g. El peso de los panes común y hamburguesa fue en promedio 57 g, en el horneado perdieron 10% de su peso, por lo que al final del proceso su peso fue de 51 g. Con lo anterior se demostró que cuanto más agua absorba una harina, más cantidad de pan se podrá elaborar con el mismo peso de ella.

El tiempo de desarrollo de la harina de trigo, como se aprecia en la Figura 1, fue en promedio el doble respecto de las harinas compuestas trigo-yuca, valor que confirma la calidad proteica de la harina de trigo, ya que las harinas fuertes requieren tiempos de desarrollo más largos que las harinas flojas (Benedito, 1994). La estabilidad de las harinas compuestas trigo-yuca mostró una relación in-

versamente proporcional al porcentaje de sustitución; al aumentar la sustitución la estabilidad disminuyó. El índice de tolerancia de las harinas compuestas fue superior al de la harina de trigo, teniendo la harina de trigo mejor tolerancia al amasado. Los índices de *falling number* registrados en la Tabla 4 estuvieron dentro del rango aceptable para harinas de panadería.

Tabla 4. Absorción de agua e índice de *falling number* de la harina de trigo y harinas compuestas trigo-yuca

Harinas Compuestas Trigo-Yuca	Absorción de agua (ml / 100g de harina)	Índice de Falling Number (s)
TRIGO (control)	63,8	353
Trigo-CMC-40 (5%)	64,4	360
Trigo-CMC-40 (10%)	64,5	354
Trigo-CMC-40 (15%)	64,5	354
Trigo-MCOL-1505 (5%)	64,3	343
Trigo-MCOL-1505 (10%)	64,7	349
Trigo-MCOL-1505 (15%)	64,6	329
Trigo-HMC-1 (5%)	63,1	349
Trigo-HMC-1 (10%)	63,4	324
Trigo-HMC-1 (15%)	62,9	325

Las curvas obtenidas en el alveograma de la Figura 2 muestran que la harina de trigo tuvo mayor extensibilidad (68 mm) que las harinas compuestas. Se observa que en este parámetro hay una tendencia inversamente proporcional al nivel de sustitución. Los valores de tenacidad de las harinas compuestas fueron mayores que para la harina de trigo dada su mayor absorción de agua, a excepción de la harina compuesta HMC-1 (15%), la cual presentó un valor inferior. Esto indica que las harinas compuestas son resistentes a la deformación y tienen mayor fuerza al trabajo mecánico, hecho que fue comprobado en proceso en las pruebas de panificación, donde en la etapa de boleado las harinas compuestas requirieron y soportaron mayor número de pases en la máquina de rodillos requiriendo 30 pases, comparado con 20 pases para la harina de trigo. Sin embargo, dado que las harinas tenaces oponen mayor resistencia a inflarse, en el caso de las harinas compuestas este factor puede ser remediado por el mayor contenido de azúcares reductores al inicio de la fermentación. Sin embargo, estas harinas son muy susceptibles, ya que al menor sobreamasado la masa se desgarrará.

Tal como lo muestra la Figura 3, la harina de trigo presentó la más baja viscosidad máxima, 66 cP, comparada con la viscosidad de las harinas compuestas, la cual fue en promedio 80 cP, a excepción de las harinas de la variedad CMC-40 para los niveles de sustitución de 10 y 15%. Este hecho determina que la presencia de harina de yuca aumenta la viscosidad máxima de la suspensión harina-agua. La facilidad de cocción y la estabilidad del gel no tuvieron diferencia significativa en las harinas. Estas gastaron similar tiempo desde que los gránulos se hinchan (alcanzando la temperatura de gelatinización) hasta que estos alcanzan la viscosidad máxima, y durante el tiempo en que se mantuvo el calentamiento constante a 90 °C las suspensiones fueron estables. Sin embargo, se observa que durante el enfriamiento hasta una temperatura de 50 °C la retrogradación fue mayor para la harina de trigo, alcanzando un valor de 36 cP, comparado con un promedio de 50 cP para las harinas compuestas. Entre menor es este valor mayor es la retrogradación, lo cual puede ser justificado por el mayor contenido de amilosa que tiene la harina de trigo; la estructura de amilosa permite la formación de muchos sitios de enlace entre moléculas adjuntas que promueven la retrogradación, implicando la formación de geles fuertes, opacos, y que sufren sinéresis.

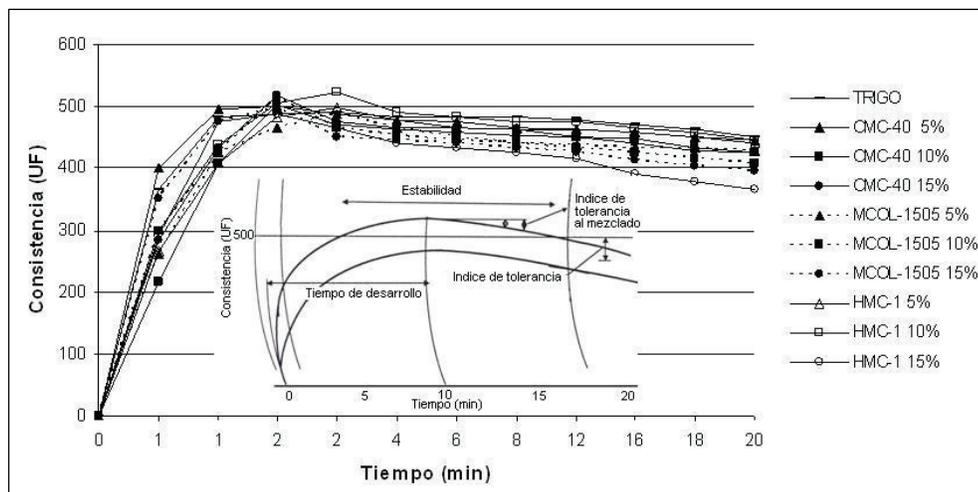


Figura 1. Farinograma de la harina de trigo y harinas compuestas trigo-yuca

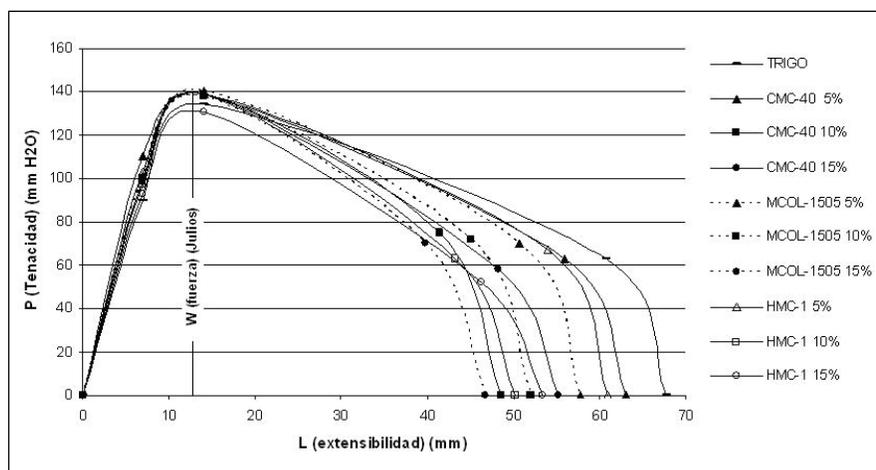


Figura 2. Alveograma de la harina de trigo y harinas compuestas trigo-yuca

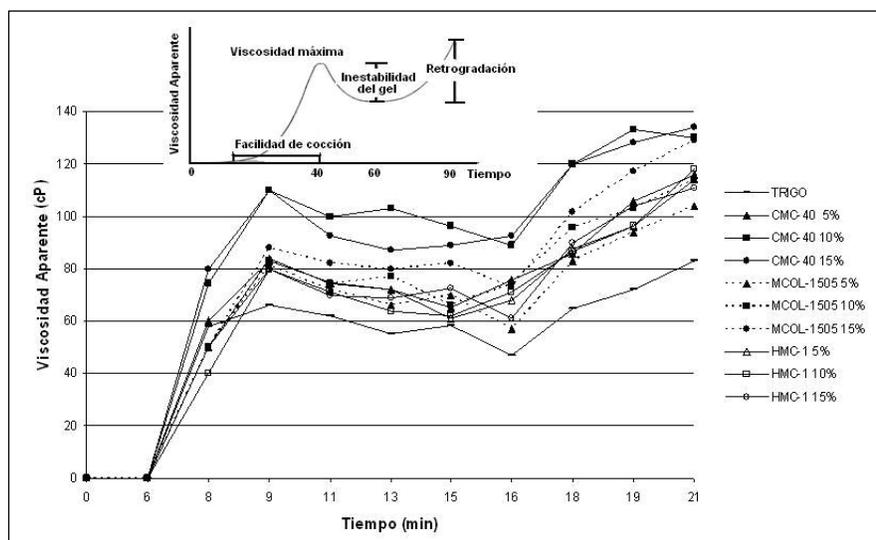


Figura 3. Amilograma de la harina de trigo y harinas compuestas trigo-yuca

Volumen específico y contenido de ácido cianhídrico. Según la Figura 4, existe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de sustitución y el volumen específico. Se observa que

el volumen específico promedio de los panes tipo común elaborados con harina de trigo fue menor que los elaborados con harinas compuestas con sustituciones de 5 y 10%. Todos los panes tipo común elaborados con 15% de sustitución presentaron menor volumen específico que el pan de trigo, aunque su reducción sólo fue en promedio 9%. Esto demuestra que la sustitución al 15% disminuye la cantidad de gluten presente en la masa, reduciendo la fortaleza de su estructura dentro de la hogaza. Así, ante cambios súbitos de presiones internas la estructura cede, dejando escapar los gases y por lo tanto disminuyendo el volumen específico del pan final.

Los panes evaluados no presentaron contenido de ácido cianhídrico, lo cual comprueba que el tratamiento térmico en el horneado elimina totalmente el HCN presente en las harinas de yuca al inicio del proceso.

Análisis sensorial. El aroma del pan gustó en la mayoría de los ensayos, como está representado con la mediana de 4 en la Figura 5. Al 50% de la población le gustó el aroma del pan y el 25% le asignó una calificación entre 4 y 5, a excepción del pan hamburguesa de las variedades HMC-1 (15%) y MCOL-1505 (10 y 15%), donde para 50% de la población el aroma fue indiferente. Para el 99% de la población el pan hamburguesa de la variedad CMC-40 (5 y 10%), el pan molde de HMC-1 (15%) y el pan común MCOL-1505 (10%) gustó.

La textura de la miga, como se observa en la Figura 6, tuvo la mejor calificación para los panes tipo común y molde de todas las sustituciones, donde al 50% de la población le gustó la textura y al 25% le gustó mucho. El pan hamburguesa de la variedad HMC-1 (15%) tuvo la peor calificación; al 25% le disgustó la textura de la miga, al 50% le fue indiferente y el resto de la población la calificó entre 3 y 4. Adicionalmente, este mismo pan elaborado con harina de trigo y con la variedad MCOL 1505 (15%) fue calificado por el 25% de la población entre 2 y 3, para el 50% la textura fue indiferente y el resto de la población lo calificó entre 4 y 5. Al 99% de la población les gustó la textura del pan molde de las variedades CMC-40 y MCOL-1505 usando 5% de sustitución.

El sabor de todos los panes elaborados gustó al 50% de la población y el 25% lo calificó entre 4 y 5, como se observa en la Figura 7. Sin embargo, el 25% calificó el sabor del pan hamburguesa en todas las sustituciones, incluyendo el patrón de trigo,

entre 2 y 3. Se destaca que al 99% de la población le gustó el pan molde de la variedad CMC-40 (5%).

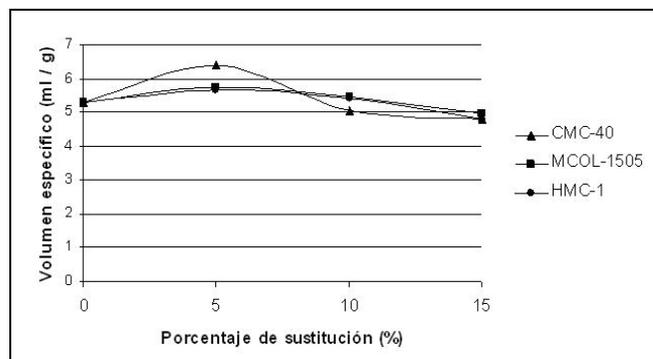


Figura 4. Volumen específico del pan común en función del porcentaje de sustitución

La mejor aceptabilidad general fue asignada a los panes tipo común y molde de todas las variedades y sustituciones, como lo muestra la Figura 8. La aceptabilidad del pan hamburguesa en todos los ensayos tuvo las calificaciones más bajas: el 25% de la población la calificó entre 2 y 3 y el 50% entre 3 y 4. Al 99% de la población le gustó el pan molde de las variedades CMC-40 y MCOL-1505 con 5% de sustitución.

Conclusiones

Se demostró que hay una influencia del nivel de sustitución en harinas compuestas trigo-yuca sobre las propiedades reológicas y fermentativas de las masas. A mayor nivel de sustitución disminuye el tiempo de desarrollo, y el índice de tolerancia, la estabilidad y la tenacidad aumentan, haciendo las masas más resistentes a la expansión y debilitando la estructura del gluten. Sin la adición de mejoradores de masa, la inclusión de niveles mayores de 15% reduciría el contenido de proteína, generando panes de miga gruesa y de menor volumen específico.

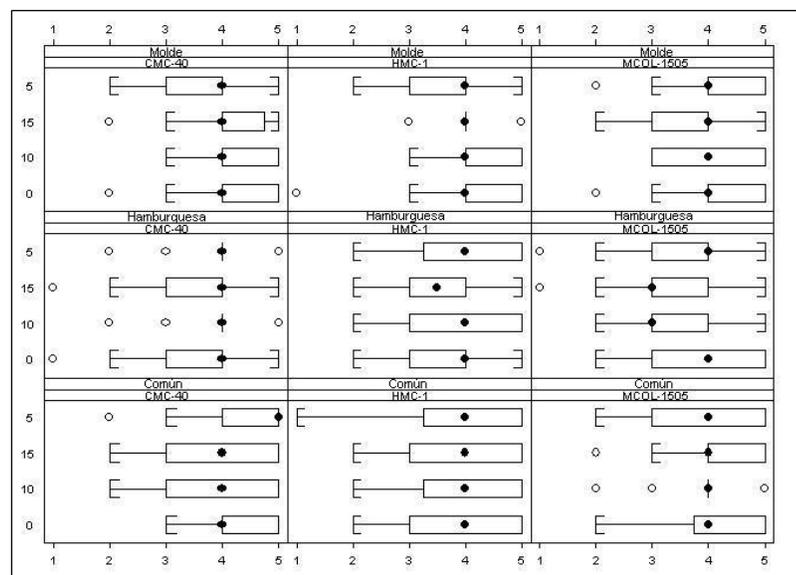


Figura 5. Diagrama de cajas y alambres para el aroma de los panes

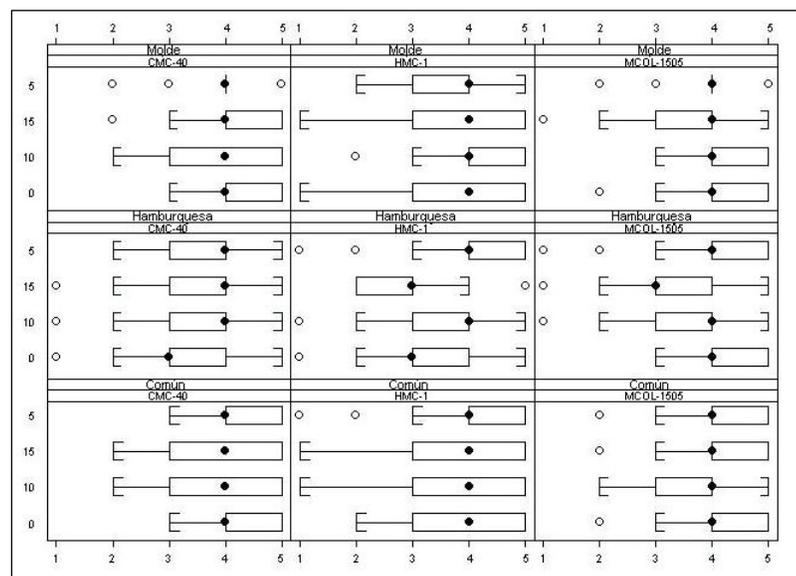


Figura 6. Diagrama de cajas y alambres para la textura de los panes

Los panes tipo común y molde tuvieron la mejor aceptabilidad en el análisis sensorial. El pan hamburguesa elaborado con harina de trigo y harinas compuestas tuvo las más bajas calificaciones, por lo que se asume que la formulación del pan afectó su aceptación. Sin embargo, este tipo de pan no debe ser excluido para ser elaborado usando harinas compuestas en futuros estudios.

No se observó un marcado efecto de la influencia de la variedad de yuca sobre las propiedades reológicas de la masa dado que las propiedades físico-químicas de las harinas de yuca que afectan el comportamiento reológico, tales como los contenidos de almidón, amilosa, azúcares reductores y fibra, no tuvieron diferencia significativa para las tres variedades evaluadas. En relación al contenido de HCN, todas las variedades de yuca tuvieron contenidos bajos (<180 ppm), lo que garantizó que en la producción de harina su contenido se redujera a un contenido inferior a 10 ppm y en los panes luego del horneado no hubo presencia de este.

La harina de yuca utilizada en el proceso presentó mayor proporción de partículas finas, lo cual aumentó su tendencia a ser higroscópica y absorber más agua, adicional a que su mayor contenido de fibra favoreció la absorción de agua en el proceso de panificación.

En general se evidencia que existe una ventaja económica en la producción de pan utilizando harinas compuestas trigo-yuca para el sector panadero, ya que la harina de yuca podría tener un costo promedio 20% más bajo que la harina de trigo y porque se obtiene un rendimiento 1,4% mayor en la masa final dada la mayor absorción de agua. Para el sector agrícola, porque si existieran unidades industriales en la producción de harina de yuca para consumo humano y estimando una sustitución entre 10-15% de la harina de trigo destinada a panificación, se podría reducir la cantidad de trigo importado y asegurar parte de la producción de yuca para la obtención de un producto de mayor valor agregado en el mercado.

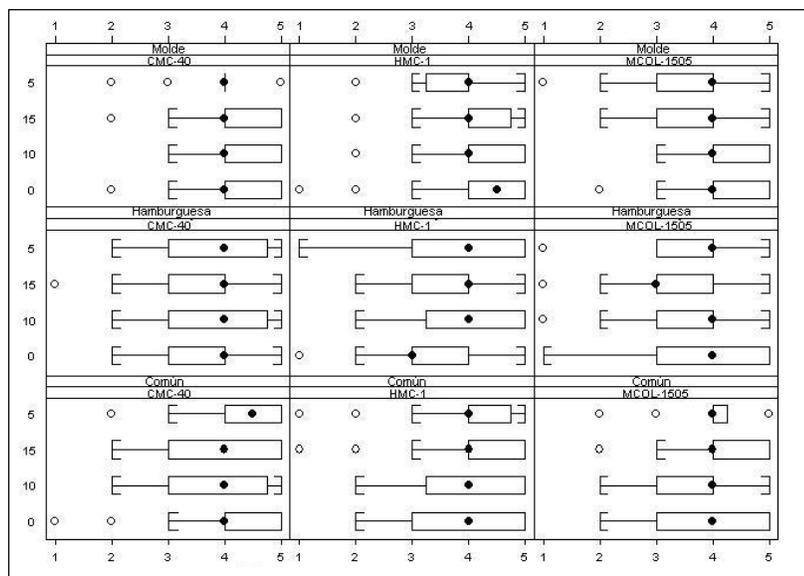


Figura 7. Diagrama de cajas y alambres para el sabor de los panes

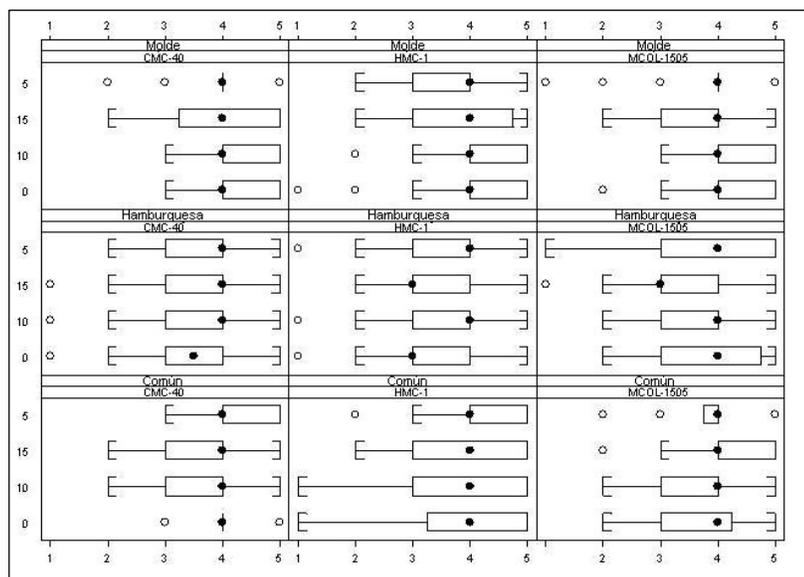


Figura 8. Diagrama de cajas y alambres para la aceptabilidad de los panes

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y al Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Clayuca) por la financiación de este proyecto. Adicionalmente, a la panadería La Estrella donde se llevó a cabo la fase experimental, y a los Laboratorios de Calidad del Centro Internacional de Agricultura Tropical y de la Industria Harinera del Valle, donde se realizaron los análisis físico-químicos y reológicos.

Bibliografía

Aristizábal, J., Sánchez, T., Guía técnica para la producción y

análisis de almidón de yuca., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, 2007, pp. 61-108, Disponible en internet, <http://www.fao.org/docrep/010/a1028s/a1028s00.htm>

Benedito, C., Curso de tecnología de la panificación y productos de panadería., Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 1994.

Calvel, R., El sabor del pan., Molinería y Panadería, España, 2001. Disponible en <http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica>.

Centro Internacional de Agricultura Tropical., Universidad del Valle y Fondo de Desarrollo Rural Integrado., Producción y comercialización de harina de yuca para consumo humano., CIAT-UNIVALLE-DRI, Cali, 1992.

Cortés, M., La harina de trigo., Molinería y Panadería, España, 2000, Disponible en internet, <http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica/2000>.

De souza, E., Técnicas de la panificación., Thomas de Quincey editores Ltda, Bogotá, 1989.

Defloor, I., Factors governing the breadmaking potential of cassava (Manihot Esculenta Crantz) flour., Bélgica, K.U. Leuven, 1995.

Devore, J., Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias., 4a ed., México, Internacional Thomson Editores, 1998.

FAO y OMS., Norma del Codex para la harina de yuca comestible., Codex Alimentarius, Codex Stan 176. Rev. 1-1995), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)-Organización Mundial de la Salud (OMS), Roma, 1989.

ICONTEC., Harina de trigo. NTC 267., 4a actualización, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá, 1998.

IIT., Evaluación paramétrica del pan elaborado con harina de yuca en panaderías comerciales de Bogotá (estudios para el auditaje a panaderías y aceptabilidad del pan)., Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá, 1986b.

IIT., Evaluación técnico-funcional de harinas de yuca en panificación., Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá, 1986a.

IIT., Evaluación técnico-funcional de la harina de yuca, variedad MCOL 22-15., Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá, 1986c.

Rebello, A., Mandioca a salvação da lavoura., São Paulo, Anita Garibaldi, 2002.

Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., Elias, L. G., Basic methods for food evaluation., Ottawa, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, 1992.