

Artículo original

Efecto del procesamiento de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre sus propiedades funcionales y microestructura: potenciales usos en productos horneados.

Effect of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) processing on its functional properties and microstructure: potential use in baked goods.

Silva-Iturriza Adriana^{1,2}, Pérez Suhey^{3*}.

¹Laboratorio de Ecología Transdisciplinaria para el Bienestar Humano. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Carretera Panamericana Km 11, Caracas 1020A, Venezuela. ²Laboratorio de Análisis de Alimentos. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Caracas 89000, Venezuela. ³Departamento de Química. Universidad Metropolitana, Petare, Caracas 1073, Venezuela.

Recibido: febrero de 2024–Aceptado: mayo de 2024

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es el tubérculo de mayor producción en Venezuela. En este trabajo se obtuvieron harinas a partir del tubérculo sometido a cuatro tipos de procesamientos (H1: deshidratación directa, H2: fermentación, H3: fermentación-cocción, H4: cocción), posteriormente se evaluaron sus propiedades funcionales y microestructura. Finalmente, se formularon panes y evaluaron los prototipos instrumentalmente por análisis de perfil de textura (APT) y sensorialmente por perfil rápido (“Flash Profile”). Los gránulos de almidón de las harinas libres de tratamiento térmico (H1 y H2) mantuvieron la forma esférica, estas harinas presentaron capacidad de formación de espuma y actividad de emulsión (por debajo del 5%). H1 y H2 presentaron la mayor concentración mínima de gelificación (30%), seguidas por H4 y H3 (16% y 10% respectivamente). La evaluación sensorial mostró una mayor cantidad de atributos sensoriales deseados en el pan formulado con H1, por lo que se seleccionó esta harina para mejorar el pan, modificando la cantidad de emulsificante en la

receta. El APT coincidió con lo obtenido sensorialmente. Sin embargo, al variar la cantidad de emulsificante, el APT no logró discriminar entre los panes formulados con 3,3% y 6,5% de emulsificante, mientras que la metodología sensorial de perfil rápido sí. En conclusión, la harina H1 mostró gran potencial para la formulación de panes libres de gluten.

PALABRAS CLAVES

Manihot esculenta, harina, propiedades funcionales, microestructura, pan, perfil rápido.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is the tuber with the highest production in Venezuela. In this work, flours were obtained from the tuber subjected to four types of processing (H1: direct dehydration, H2: fermentation, H3: fermentation-cooking, H4: cooking), subsequently their functional and microstructure properties were evaluated. Finally, breads were formulated and the prototypes were evaluated instrumentally by texture profile analysis (TPA) and sensorially by

Flash Profile. The starch granules of flours without heat treatment (H1 and H2) maintained their spherical shape. These flours had foaming and emulsifying capacity below 5%. H1 and H2 presented the highest minimum gelation concentration (30%), followed by H4 and H3 (16% and 10% respectively). The sensory evaluation showed a greater amount of desired sensory attributes in the bread formulated with H1, so this flour was selected to improve the bread, modifying the amount of emulsifier in the recipe. The APT coincided with what was obtained sensorially. However, by varying the amount of emulsifier, the APT was unable to discriminate between breads formulated with 3.3% and 6.5% emulsifier, while the flash profile methodology was. In conclusion, H1 flour showed great potential for the formulation of gluten-free breads.

KEY WORDS

Manihot esculenta, flour, functional properties, microstructure, bread, Flash Profile.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es un tubérculo originario de Suramérica, cuyo cultivo se ha expandido a nivel mundial. A nivel nutricional, la raíz de la yuca se compone en un 61% de agua, 35% almidones, de 1 a 2% proteínas, 0,3% grasa, de 1 a 2% fibra y 1% minerales [1]. Este rubro es apreciado por los agricultores por su tolerancia a la sequía y a suelos infértiles, siendo el tubérculo de mayor producción en Venezuela y el tercero más importante en países tropicales [2]. En varios países productores de yuca se ha planteado la producción de harina de yuca y su posterior uso en la panificación como alternativa para fomentar y diversificar el uso de productos locales, ofreciendo a la vez un producto libre de gluten que además reduciría el gasto de divisas en la importación de trigo [3].

Diferentes estudios han desarrollado y evaluado varios tipos de harinas de yuca. El proceso más sencillo y tradicional consiste en pelar y trocear la yuca, deshidratarla y luego molerla [4]. El uso de este tipo de harina ha sido evaluado en panes

compuestos por harina de trigo y de yuca en diferentes proporciones, obteniendo resultados positivos hasta un máximo de 30% de harina de yuca en la formulación [5]. Otra manera tradicional de producir harina de yuca, es agregando un proceso fermentativo espontáneo antes de la molienda, encontrándose variaciones en el proceso de producción entre las localidades [6]. En aras de estandarizar este proceso de una manera controlada y reproducible, Padonou et al. [7] evaluaron 22 cepas de microorganismos como inóculos fermentativos, encontrando que el mejor fue *Saccharomyces cerevisiae*. Otro tipo de harina con potencial uso en la panificación, es la harina de yuca pre-cocida en agua y posteriormente deshidratada y molida [8]. A pesar de todos los esfuerzos realizados en el uso de harina de yuca como sustituto de la harina de trigo en la panificación, especialmente en países productores de yuca, aún no se ha logrado que este producto escale de forma masiva [9].

En este estudio se planteó como objetivo explorar la utilidad de la yuca como materia prima para hacer panes similares a los panes de trigo, transformando el tubérculo en cuatro tipos de harina obtenidas a través de diferentes procesamientos, se evaluaron las propiedades funcionales y de microestructura. Se formularon panes que fueron caracterizados instrumental y sensorialmente, identificando de esta manera cuál de los procesamientos aplicados sobre el tubérculo, genera la harina con mayor potencial para la formulación de panes libres de gluten y en base a rubros de producción nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima y producción de las harinas: Se obtuvieron cuatro lotes de yuca provenientes del estado Trujillo en un mercado popular de la ciudad de Caracas, los cuales fueron utilizados en la preparación de cuatro harinas. El procesamiento utilizado para obtener la harina 1 (H1), consistió en lavar, pelar y rallar la yuca, posteriormente esta fue deshidratada en un deshidratador de bandejas y por último pulverizada en una licuadora casera, mientras que las harinas 2, 3 y 4 (H2, H3, H4) tienen uno o dos tratamientos adicionales luego del

rallado de la yuca y previo a la deshidratación y pulverización. La H2 incluye un tratamiento fermentativo en una solución acuosa con levadura (2% de levadura de pan agregada a una dispersión 2:1 agua: yuca rallada), la H3 incluyó el tratamiento fermentativo y un tratamiento adicional de cocción (cocción a 100 °C por 30 min), y la H4 incluyó solo un tratamiento de cocción (en agua en ebullición por 30 min, aplicado a una dispersión 2:1 de agua: yuca rallada). Todas las harinas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C hasta el momento de su uso.

Propiedades funcionales de las harinas: Se determinó la capacidad de absorción de agua y de aceite, la actividad de emulsión, la capacidad de formación de espuma y la mínima concentración de gelificación. La capacidad de absorción de agua y de aceite se estimó aplicando el método de Sosulski et al. [10], se mezcló 1 g de muestra con 10 mL de agua destilada o de aceite (aceite de soya comercial marca: Corcovado®) según el caso, se mantuvo la mezcla a temperatura ambiente por 30 min, finalmente se centrifugó a 2000 x g por 30 min.

La capacidad de absorción de agua y de aceite se expresa como el porcentaje de agua o de aceite unido por gramo de muestra, medidas estimadas por diferencias de peso antes y después del procedimiento descrito.

La actividad de emulsión aceite se estimó mezclando 1 g de muestra con 10 mL de agua destilada, agregando paulatinamente y sin dejar de mezclar 10 mL de aceite, centrifugando luego la emulsión por 5 min a 2000 x g. La relación entre la altura de la capa de emulsión y la altura total de la mezcla representa el porcentaje de la actividad de emulsión [11].

La capacidad de formación de espuma se estimó aplicando el método descrito por Chandra et al. [12], se dispersó 1 g de muestra en 50 mL de agua destilada, se mantuvo en agitación por 1 min. Los resultados se expresan en porcentaje por diferencia de volúmenes antes y luego de la agitación.

Por último, para la estimación de la mínima concentración de gelificación se aplicó el método descrito por Chandra et al. [12], se prepararon dispersiones de harina en agua destilada al 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 y 30% (p/v), se calentaron dichas soluciones a 90°C por 1 hora, se

enfriaron en un baño de agua y se mantuvieron a 4°C durante 2 horas. Transcurrido este tiempo, se invirtieron los tubos y la menor concentración a la cual la muestra no se deslizaba, representó la mínima concentración de gelificación.

Micrografías de las harinas: Cada tipo de harina se colocó en un portamuestra con cinta adhesiva de carbono y se realizó un recubrimiento con oro. Se observaron y fotografiaron las muestras en un Microscopio Electrónico de Barrido Jeol JSM-6390 a un voltaje de aceleración de 20 kV.

Formulación de productos horneados: Se utilizó una formulación base ensayada previamente con la harina H1, cuyos ingredientes fueron: 65,6% m/m de harina; 19,8% m/m de agua destilada; 13,1% m/m de huevo; 0,5% m/m de levadura; 0,5% m/m de azúcar, 0,5% m/m de sal. La preparación consistió en batir el huevo con sal, paralelamente se disolvió el azúcar en el agua, añadiendo luego la levadura instantánea (marca: Lallemand®), el huevo batido y la harina. Se dejó reposar la masa durante 30 minutos y se horneó a 180°C por 30 min. Los panes con las otras harinas se formularon variando la cantidad de agua (desde 10,8% hasta 37,6%) según la capacidad de absorción de agua que se obtuvo en las mediciones de las propiedades funcionales. Una vez evaluados estos panes sensorial e instrumentalmente, se eligió la harina con la que se obtuvo el pan con los mejores atributos y se mejoró variando un solo ingrediente a la vez.

Análisis de Perfil de Textura (APT): Se empleó un texturómetro TA.XT plus de Stable Micro System, utilizando una sonda con geometría cilíndrica de 75 mm de diámetro (sonda P/75), a una velocidad de ensayo de 1,5 mm/s y con un grado de compresión de 40% para los panes elaborados con todas la harinas y del 20 % para los panes mejorados. El equipo registró los datos de la curva fuerza-tiempo y los parámetros que se obtienen de esta curva, como dureza, masticabilidad, gomosidad y elasticidad.

Caracterización sensorial de los productos formulados: perfil rápido: Se empleó el método de perfil rápido ("Flash Profile") para obtener atributos de las muestras para cada panelista individualmente, un total de 20 panelistas no entrenados participaron en el experimento, con edades comprendidas entre los 18 y 60 años. El

método consistió en presentar las muestras codificadas junto con una planilla de evaluación y se le explicó al panelista que debía observar, oler, tocar y probar las muestras, generando atributos sensoriales de diferencia, luego se ordenaron el conjunto de muestras de menor a mayor intensidad para cada atributo, se permitió empates entre muestras [13].

Análisis estadístico: Se aplicó un análisis de varianza unifactorial (ANOVA) con la prueba Tukey HSD para evaluar posibles diferencias significativas entre las harinas con respecto a la capacidad de absorción de agua y de aceite, la actividad de emulsión y la capacidad de formación de espuma. Para la generación del mapa sensorial

de los productos evaluados por el método de perfil rápido se realizó un análisis procrustes generalizado [13]. Para todos los análisis se utilizó el software XLSTAT Versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades funcionales de las harinas: Se midieron por triplicado cuatro propiedades funcionales en las harinas producidas y en harinas comerciales de yuca (harina de tapioca marca: La Finestra sul Cielo®) y de trigo (Harina de trigo todo uso marca: Robin Hood®), como puntos de referencia las dos últimas (Tabla 1).

TABLA 1

Propiedades funcionales de las harinas producidas: deshidratación directa (H₁), fermentada (H₂), fermentada-cocida (H₃), cocida (H₄); y de las harinas comerciales de yuca (H₅) y de trigo (H₆).

Tratamiento	Capacidad de absorción de agua (mL)	Capacidad de absorción de aceite (mL)	Capacidad de formación de espuma (%)	Actividad de formación de emulsión (%)
(H ₁)	467 ± 17 ^a	150,0 ± 0,1 ^a	4,6 ± 0,4 ^a	2,23 ± 0,03 ^a
(H ₂)	233 ± 17 ^b	167 ± 17 ^a	2,0 ± 0,1 ^b	1,10 ± 0,00 ^b
(H ₃)	683 ± 17 ^c	117 ± 17 ^a	0	0
(H ₄)	583 ± 17 ^d	150,1 ± 0,1 ^a	0	0
(H ₅)	250,0 ± 0,1 ^b	67 ± 17 ^b	0	0
(H ₆)	100,0 ± 0,1 ^c	100,1 ± 0,1 ^{ac}	2,6 ± 0,6 ^b	22,5 ± 0,1 ^c

Los resultados representan la media de tres mediciones ± DE. Valores de la misma columna que no comparten letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

El análisis de varianza unifactorial (ANOVA), arrojó un p-valor correspondiente al estadístico F menor a 0,05 para las propiedades funcionales de capacidad de absorción de agua, de aceite, de formación de espuma y actividad de emulsión; lo que indicó diferencias significativas en las muestras para cada una de estas propiedades funcionales. Para determinar entre cuáles tratamientos hubo diferencias significativas, se procedió a realizar la prueba de Tukey HSD, obteniéndose para el caso de la capacidad de absorción de agua, diferencias significativas entre todos los tratamientos, a excepción de, entre la harina fermentada y la harina comercial de yuca.

Para el caso de la capacidad de absorción de aceite, los tratamientos resultaron ser más homogéneos, encontrándose que no hay diferencias significativas entre cuatro tipos de harinas: i) la harina procesada por deshidratación directa y la harina comercial de yuca, ii) la harina fermentada

y la harina comercial de yuca, iii) la harina fermentada y la harina comercial de trigo, iv) la harina cocida y la harina comercial de yuca.

Con respecto a la capacidad de formación de espuma y actividad de emulsión, solo las harinas sin tratamiento térmico (H₁ y H₂) presentaron estas características, con valores por debajo del 5% y significativamente distintos entre ellas. Adicionalmente, se midió la menor concentración de gelificación, obteniéndose que la harina fermentada-cocida gelificó a la concentración 10%, seguida por la harina cocida y la harina comercial de yuca las cuales gelificaron a 16%, mientras que la harina procesada por deshidratación directa, la fermentada y la comercial de trigo gelificaron a una concentración de 30%.

Micrografías de las harinas: Por la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido se observaron cambios microestructurales evidentes entre las harinas que no recibieron tratamiento térmico (H₁

y H2) y las que si recibieron tratamiento térmico (H3 y H4), pero entre H1 y H2, y entre H3 y H4 no se observaron cambios microestructurales evidentes (Fig. 1). Tanto en la harina H1 como en la H2 se observaron gránulos de almidón de diferentes tamaños, algunos enteros, otros fraccionados, unos completamente esféricos y otros con una forma esférica-aplanada. Mientras que en el caso de las harinas fermentada- cocida y solo cocida (H3 y H4 respectivamente) se observaron en su mayoría estructuras amorfas.

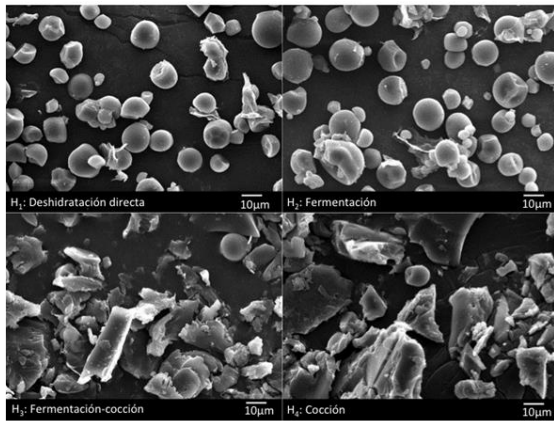


Fig. 1. Micrografías de las harinas producidas. Todas las fotografías fueron tomadas con un aumento de 1000X. H1: Harina obtenida por deshidratación directa, H2: fermentada, H3, fermentada-cocida, H4: cocida (Fuente: Elaboración propia)

Elaboración de productos horneados: Etapa 1, todas las harinas: Tomando en cuenta los porcentajes de absorción de agua obtenidos para cada tipo de harina, se formularon panes modificando por proporcionalidad la cantidad de agua en la receta base (Tabla 2). Para el caso de la harina de yuca comercial (H5), se obtuvo por proporcionalidad que era necesario agregar 24% m/m de agua destilada, sin embargo, fue necesario agregar 9% más de agua destilada para obtener una masa manejable. Cabe destacar, que la harina de yuca comercial utilizada (harina de tapioca marca: La Finestra sul Cielo®, H5), presentaba color marrón claro, lo cual pudiera indicar que en este producto se conserva parte de la cascara de la yuca durante el procedimiento de elaboración de la harina, por lo que probablemente el contenido de fibra de esta harina fuese mayor que el de las harinas elaboradas en este trabajo, modificando de esta manera su comportamiento con respecto a las otras harinas. Visualmente, los panes obtenidos presentaron características que los diferencian

como color, textura, y tamaño de la miga. En la Fig. 2, se muestran fotografías de los panes producidos con todas las harinas elaboradas (H1, H2, H3, H4) más el pan producido con la harina comercial de yuca (H5).

TABLA 2

Cantidad requerida de ingredientes en formulación de panes en base a las 4 harinas de yuca elaboradas (H1, H2, H3, H4) y la harina de yuca comercial (H5).

Ingredientes\ Harinas	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅
Harina (% m/m)	65,6 %	72,8 %	50,9 %	52,6%	54.8 %
Huevo (% m/m)	13,1 %	14,6 %	10,3 %	10,5 %	11 %
Levadura (% m/m)	0.5 %	0,6 %	0,4 %	0,4 %	0,4 %
Azúcar (% m/m)	0.5 %	0,6 %	0,4 %	0,4 %	0,4 %
Sal (% m/m)	0.5 %	0,6 %	0,4 %	0,4 %	0,4 %
Agua (% m/m)	19,8 %	10,8 %	37,6 %	35,7 %	33 %
Masa total (g)	381 g	343,5 g	491 g	475 g	456 g

Los valores se presentan en porcentaje de masa del ingrediente (g) con relación a la masa total (g).

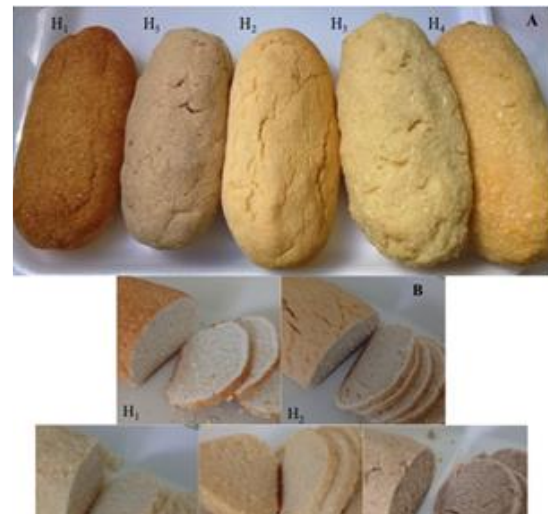


Fig. 2. Panes elaborados con las diferentes harinas procesadas por deshidratación directa (H1), fermentación (H2), fermentación-cocción (H3), cocción (H4) y con la harina comercial de yuca (H5). A: panes enteros; B: detalle de los panes rebanados

Perfil rápido de productos horneados: Etapa 1, todas las harinas: De la aplicación de la metodología sensorial de perfil rápido se generaron 34 atributos relativos a características de apariencia, textura, miga, olor y sabor de los panes formulados en esta primera etapa (Tabla 3, Fig. 3). El análisis procrustes generalizado, generó un

mapa sensorial de los panes (Fig. 3) explicando el 79,41% de la varianza experimental, correspondiendo el 49,18% al primer componente (F1) y el 30,23% al segundo componente (F2), lo

cual muestra que los panelistas fueron capaces de percibir las diferencias y similitudes entre las muestras.

TABLA 3

Atributos que describen los dos primeros componentes (F1 y F2) obtenidos por el análisis procrustes generalizado aplicado en la evaluación sensorial de perfil rápido de los panes elaborados con todas las harinas de yuca.

Componente	Atributos
F1 +	Color blanco, arenoso, friable, formación de miga, dureza, seco, apariencia similar al pan de trigo, corteza dorada, sensación a almidón, dulzor, heterogéneo, esponjosidad, porosidad, sabor a pan.
F1 -	Color oscuro, zonas gelatinosas, gomoso, suavidad, húmedo, sabor crudo, tamaño de miga.
F2 +	Consistencia, masticabilidad, grueso, tostado, olor ahumado-tocino.
F2 -	Apelmazado, partículas de yuca visibles, sabor extraño, olor extraño, olor a yuca, amargo, acidez.

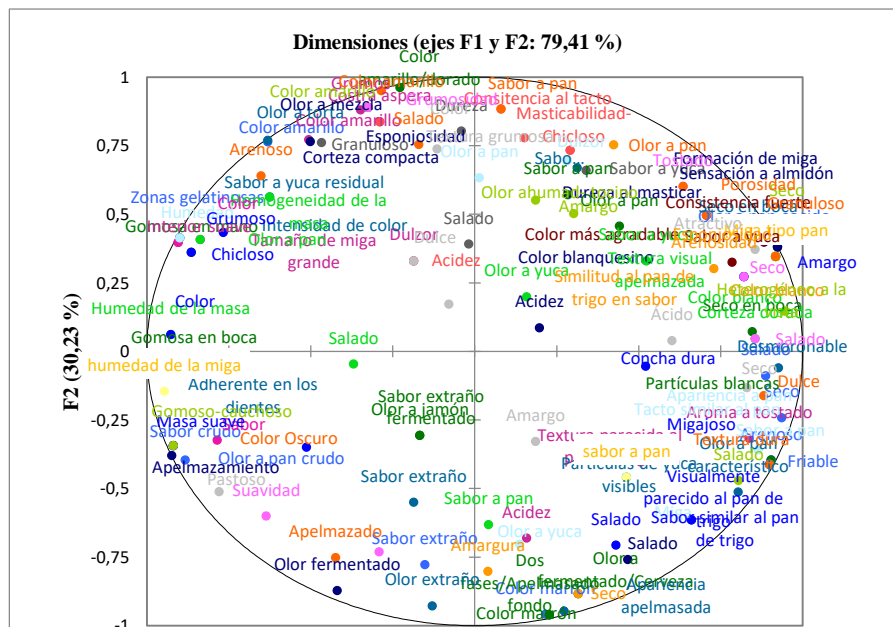
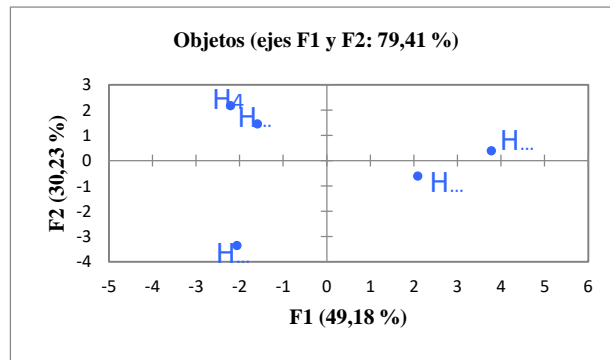


Fig. 3. Mapa sensorial de los panes elaborados con las harinas H1 (deshidratación directa), H2 (fermentada), H3 (fermentada-cocida), H4 (cocida) y H5 (comercial de yuca) según los atributos correspondientes a los dos primeros componentes (F1 y F2) obtenidos por el análisis procrustes generalizado aplicado en la evaluación sensorial de perfil rápido. Los diferentes colores en los atributos representan los diferentes panelistas que participaron en la evaluación sensorial.

Los panes formulados con la harina H1 y la H2 correlacionaron de forma positiva con F1, diferenciándose entre ellos por su correlación con componente F2. Mientras que los panes obtenidos con la harina H3 y la H4 presentaron comportamientos similares y se correlacionaron de forma negativa con F1 y positiva de F2. Por último, el pan preparado con la harina comercial de yuca (H5), presentó un comportamiento particular y se diferenció del resto, al correlacionar de forma negativa con ambos componentes.

Al analizar la correlación de los atributos con los componentes F1 y F2 (Tabla 3), se encontró que las características de: sabor a pan, apariencia similar al pan de trigo, corteza dorada, porosidad, esponjosidad; seco, duro y arenoso, correlacionaron de forma positiva con el componente F1. A pesar de que algunas de estas características pudieran ser negativas o poco deseadas, los atributos que se ubicaron en la región positiva de F1 fueron los más cercanos a los atributos del pan de trigo. Los panes con correlación positiva con F1, fueron los formulados con la harina obtenida por deshidratación directa (H1) y con la harina comercial de yuca. Sin embargo, el pan formulado con la harina comercial de yuca se ubicó en la región negativa de F2, en donde se correlacionaron atributos notoriamente negativos, como sabor y olor extraño, amargo, apelmazado, entre otras. Por lo que se eligió el pan elaborado con la harina H1 como el mejor candidato a ser mejorado.

Elaboración de productos horneados: Etapa 2, solo H1 variando % de emulsificante: En aras de tratar de disminuir la sequedad y dureza percibida por el panel en el pan que resultó presentar las mejores características, es decir, el realizado con la harina H1, se modificó la cantidad de huevo usado como emulsificante, variando el mismo desde 0% (sin huevo, se añadió el equivalente en agua) hasta 13,1% emulsificante, en total se obtuvieron 4 tipos de panes, 0%, 3,3%, 6,5% y 13,1% emulsificante.

Perfil rápido de productos horneados: Etapa 2, solo H1 variando % de emulsificante: En esta segunda etapa, se obtuvo que los componentes F1 y F2 explican un 93,62% de la varianza, correspondiendo el 75,09% al primer componente (F1) y el 18,53% al segundo componente (F2) (Fig. 4); encontrando que los panes formulados con un 6,5% de huevo se correlacionan de forma positiva con F1 y F2, mientras que los panes formulados con 0 y 3,3% de huevo correlacionan de forma negativa con F1 y positiva con F2, y por último, el pan formulado con 13,1% de huevo se ubica en la región negativa de ambos componentes. Al analizar los atributos correspondientes a cada uno de estos componentes en su región positiva y negativa (Tabla 4, Fig. 4), se encuentra que la mejor descripción del pan se correlaciona de forma positiva con los componentes F1 y F2, lo cual corresponde a la ubicación del pan obtenido agregando 6,5% huevo en la receta original.

TABLA 4

Atributos que describen los dos primeros componentes (F1 y F2) obtenidos por el análisis procrustes generalizado aplicado en la evaluación sensorial de perfil rápido de los panes elaborados la harina H₁ variando la cantidad de emulsificante.

Componente	Atributos
F1 +	Uniforme, cohesivo, dorado, color marrón, corteza crocante, dulce, parecido a masa de torta, elástico en mano, sabor a pan/campesino/integral, sabor ácido, húmedo, olor ácido/fermentado, olor tostado, olor a pan recién horneado
F1 -	Heterogéneo, friable, color blanco, apelmazamiento, crudo, seco, olor a masa de yuca, sabor a yuca
F2 +	Suave
F2 -	Amargo, duro, olor ahumado

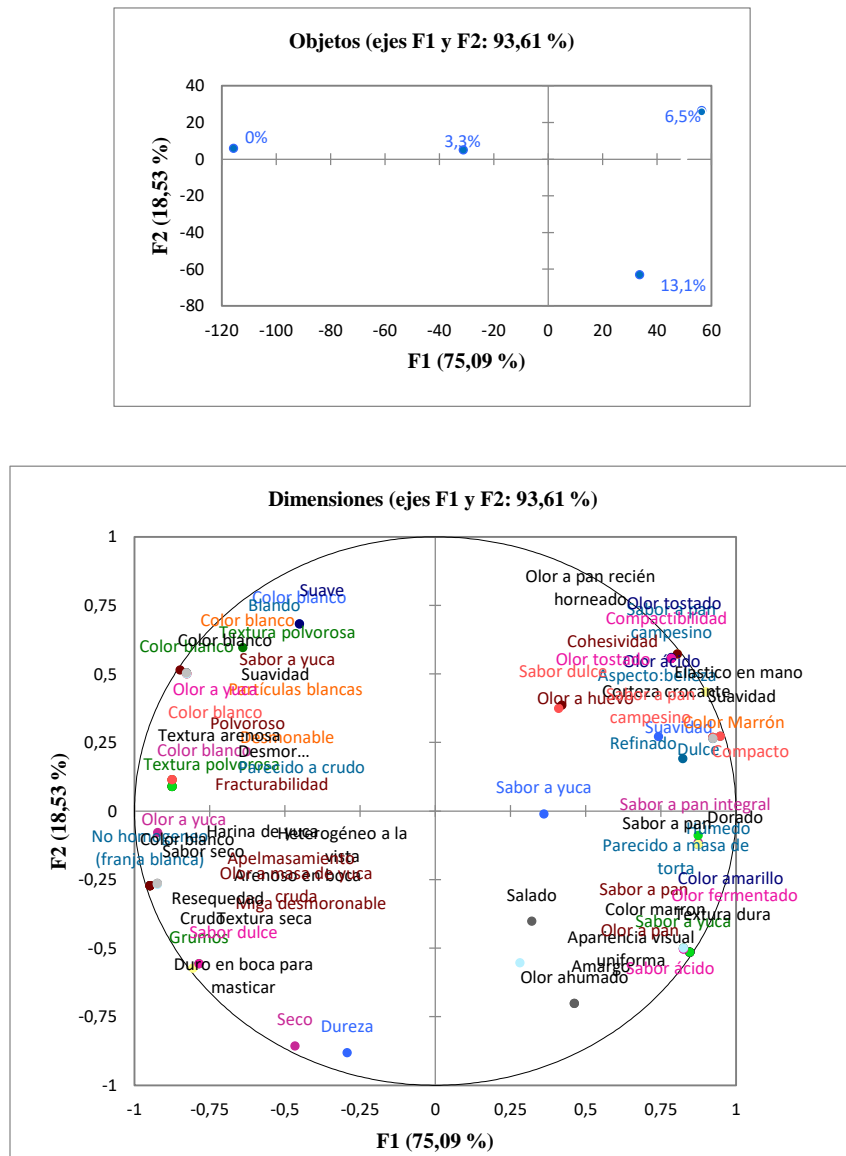


Fig. 4. Mapa sensorial según los atributos correspondientes a los dos primeros componentes (F1 y F2) obtenidos por el análisis procrustes generalizado aplicado en la evaluación sensorial de perfil rápido de los panes elaborados con las harinas H₁ variando la cantidad de emulsificante. Los diferentes colores en los atributos representan los diferentes panelistas que participaron en la evaluación sensorial.

APT: Con el fin de explorar la posibilidad de relacionar los resultados obtenidos por la evaluación sensorial con mediciones instrumentales de los panes, se realizó un APT a los panes formulados en base a las 4 harinas de yuca elaboradas (Fig. 5A) y a los panes formulados solo con la harina H1 variando la cantidad de emulsificante (Fig. 5B). Observándose que los panes formulados con las harinas H2 (fermentada) y H3 (fermentada-cocida) presentan una curva

fuerza-tiempo muy similar, mientras que los panes formulados con las harinas H1 (deshidratación directa) y H2 (fermentada) presentan cada uno una curva particular y diferente del resto, agrupación similar a lo encontrado sensorialmente por la metodología de perfil rápido. En el caso de los panes formulados en la segunda etapa (Fig. 5B) se obtuvo que el pan con 13,1% del emulsificante resultó ser el más duro, y que a medida que se disminuye el porcentaje del emulsificante, se logró

obtener un pan más suave, sin embargo, instrumentalmente no se diferenciaron los panes de 3,3 y 6,5% del emulsificante, mientras que sensorialmente si se diferenciaron en su ubicación en el eje del componente F2.

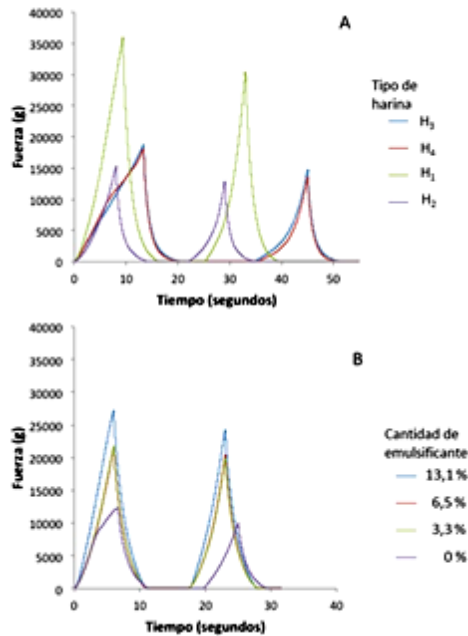


Fig. 5. Análisis de perfil de textura de los panes elaborados. A: todas las harinas, B: harina H1 variando la cantidad de emulsificante.

DISCUSIÓN

La microestructura y propiedades funcionales de las harinas se determinaron con el objetivo de identificar características y/o propiedades discriminativas entre las harinas que podrían ser claves en los atributos de los panes obtenidos a partir de estas harinas. La harina con la que se obtuvo el pan con las mejores características sensoriales fue la H1, la cual no posee tratamiento térmico ni fermentativo. Considerando la harina comercial de trigo (H6) como referencia de las propiedades que debe poseer una harina para obtener panes con atributos positivos, observamos que a mayor actividad de emulsión y a mayor concentración mínima para la gelatinización se obtienen panes con atributos similares al pan de trigo. Este es un hallazgo importante en el desarrollo de harinas en base a fuentes vegetales distintas al trigo. Hasmadi et al. [14], reportaron

una capacidad de formación de emulsión de 10% en harinas de yuca producidas con variedades provenientes de Malasia. Otros autores han encontrado que las propiedades funcionales de las harinas de yuca se ven altamente influenciadas según la variedad de yuca utilizada y las condiciones ambientales en las que crece este tubérculo [15-17]; por lo tanto, es difícil comparar los valores obtenidos en este estudio con los de otros autores. Sin embargo, es importante resaltar la importancia que tiene el evaluar la actividad y capacidad de formación de emulsión y la concentración mínima de gelificación el desarrollo de harinas que sirvan como sustituto de la harina de trigo en la panificación. Con respecto a la microestructura, la conservación de la estructura esférica de los gránulos de almidón mostró ser crucial en la obtención de panes con atributos positivos, ya que en el caso de las harinas en donde se perdió esta forma esférica debido al tratamiento térmico (harinas H3 y H4) se obtuvieron panes con atributos negativos. Este fenómeno de deformación granular observado en las harinas que recibieron tratamiento térmico en presencia de agua se conoce como gelatinización [18] el cual posiblemente generó el aumento de capacidad de absorción de agua observado en las harinas H3 y H4, fenómeno que ya ha sido relacionado con la obtención de panes de baja calidad [19].

A nivel de los panes, se obtuvo que el APT diferenció las muestras de panes de igual manera que lo obtenido sensorialmente cuando los panes eran notoriamente distintos entre ellos, es decir cuando los panes fueron elaborados con las cuatro harinas de yuca (Etapa 1), mientras que cuando los panes se elaboraron solo con la harina H1 (Etapa 2) variando la cantidad de emulsificante, el APT no logró discriminar entre los panes con 3,3 y 6,5 % de emulsificante, mientras que la metodología sensorial de perfil rápido si discriminó entre estos dos panes. Este resultado demuestra la capacidad discriminativa que tiene esta metodología sensorial, en la cual cada evaluador actúa como instrumento de medida que genera todas características o atributos que considere apropiados para discriminar entre muestras [20]. El reconocer y promover que evaluadores no entrenados, como en el caso empleado en este trabajo, pueden perfectamente actuar como instrumentos de medida

ha sido un tema de discusión desde hace más de 30 años [21], por lo que estos resultados son un aporte a esta discusión que continúa siendo actual.

La utilidad de la yuca como materia prima para hacer panes similares al pan de trigo ha sido ensayada y demostrada en este trabajo, tema en el que diversos autores han trabajado a lo largo de varios años, encontrando siempre la necesidad de añadir otras harinas ricas en proteínas y/o aditivos comerciales costosos para lograr un pan esponjoso similar al pan de trigo [22-24]. La ventaja del pan obtenido en este trabajo proviene de la sencillez y bajo costo de la receta, mientras que como desventaja se puede mencionar el uso del huevo como emulsificante, el cual disminuye el tiempo de vida del pan dificultando así su comercialización. Como alternativa para superar esta desventaja, se propone la comercialización de la harina H1 más que la comercialización del pan que se obtiene a partir de la misma; y dado la sencillez de la receta, esta harina podría ser usada en los hogares para obtener panes frescos libres de gluten y en base a rubros locales.

CONCLUSIONES

Las características sensoriales de los panes en base a harinas de yuca mejoraron al usar la harina sin tratamiento térmico ni fermentativo (H1) y al disminuir a la mitad la cantidad de huevo usado en la fórmula. El uso del huevo como emulsificante tiene la ventaja de ser un insumo de fácil acceso para el consumidor, característica que, en conjunto con la sencillez de la receta, soportan la idea de sustituir la harina de trigo por harinas de yuca tipo H1 en la panificación, obteniendo de esta manera panes nutritivos libres de gluten. La producción y comercialización de harinas de yuca es una alternativa que proponemos que se tome en cuenta en la búsqueda del uso de recursos locales para la diversificación de la dieta, lo cual se traduce en un mejor estado de salud y en un uso eficiente y sustentable de los recursos locales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue generado a partir del proyecto 1398 del Instituto Venezolano de Investigaciones

Científicas y financiado parcialmente por la Coordinación de Ciencias de los Alimentos y Nutrición de la Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Adicionalmente, agradecemos la cautelosa revisión del manuscrito por el Dr. José Bubis, la Lic. Thailyn Villas y la Lic. María Rosa Álvarez

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aviara N, Ajibola O. Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. *J. Food. Eng.* 2002, 55(2): 107-113. doi:10.1016/S0260-8774(02)00023-7
- [2] Gutiérrez M, Pérez D, Romero A, Rivas D. El estado de los recursos fitogenéticos: segundo informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas -INIA. El Limón (Venezuela): FAO-INIA Publishers; 2008. 17-31.
- [3] Aristizábal J, García J, Ospina B. Refined cassava flour in bread making: a review. *Ing. Investig.* 2017, 37(1): 25-33. doi:10.15446/ing.investig.v37n1.57306
- [4] Ospina PB, Ceballos H, Álvarez E, Bellotti AC, Calvert LA, Arias VB, Cadavid LLF, Pineda LB, Llano R, Germán A, Cuervo IM. La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali (Colombia): CIAT Publishers; 2002. 409-453.
- [5] Jensen S, Skibsted LH, Kidmose U, Thybo AK. Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural evaluation. *LWT - Food Sci. Technol.* 2015, 60(1): 292-299. doi: 10.1016/j.lwt.2014.08.037
- [6] Crispim SM, Nascimento AMA, Costa PS, Moreira JLS, Nunes AC, Nicoli JR, Lima FL, Mota VT, Nardi RMD. Molecular identification of *Lactobacillus* spp. associated with puba, a Brazilian fermented cassava food. *Braz. J. Microbiol.* 2013, 44(1): 15-21. doi: 10.1590/S1517-83822013005000007
- [7] Padonou SW, Nielsen DS, Akissoe NH, Hounhouigan JD, Nago MC, Jakobsen M. Development of starter culture for improved processing of Lafun, an African fermented cassava food product. *J. Appl. Microbiol.* 2010,

- 109(4): 1402–1410. doi: 10.1111/j.1365-2672.2010.04769.x
- [8] Pérez EE, Lares M, González Z, Tovar J. Production and characterization of cassava (*Manihot esculenta* crantz) flours using different thermal treatments. *Interciencia*. 2007, 32(9): 615–619.
- [9] Ohimain EI. Recent advances in the production of partially substituted wheat and wheatless bread. *Eur. Food Res. Technol.* 2014, 240: 257-271. doi: 10.1007/s00217-014-2362-1
- [10] Sosulski F, Garratt M y Slimkard A. Functional Properties of Ten Legume Flours. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 1976, 9:66–69.
- [11] Yasumatsu K, Sawada K, Moritaka S, Misaki M, Toda J, Wada T, Ishii K. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. *Agric. Biol. Chem.* 1972, 36(5): 719–727.
- [12] Chandra S, Singh S, Kumari D. Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *J. Food Sci. and Technol.* 2015, 52(6): 3681-3688. doi: 10.1007/s13197-014-1427-2
- [13] Varela P, Ares G. *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling*. Florida (USA): CRC Press; 2014. 175-206.
- [14] Hasmadi M, Harlina L, Jau-Shya L, Mansoor AH, Jahurul MHA, Zainol MK. Physicochemical and functional properties of cassava flour grown in different locations in Sabah, Malaysia. *Food Res.* 2020, 4(4): 991-999. doi: 10.26656/fr.2017.4(4).405
- [15] Sandoval A, Fernández A. Physicochemical characterization of two cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starches and flours. *Sci. Agroalimentaria*. 2013, 1: 19-25.
- [16] Aryee FNA, Oduro I, Ellis WO, Afuakwa JJ. The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. *Food Control.* 2006 17(11): 916-922. doi: 10.1016/j.foodcont.2005.06.013
- [17] Niba LL, Bokanga MM, Jackson FL, Schlimme DS, Li BW. Physicochemical properties and starch granular characteristics of flour from various *Manihot esculenta* (Cassava) genotypes. *J. Food Sci.* 2001, 67(5): 1701-1705. doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08709.x
- [18] Paes SS, Yakimets I, Mitchell JR. Influence of gelatinization process on functional properties of cassava starch films. *Food Hydrocoll.* 2008, 22(5): 788-797. doi: 10.1016/j.foodhyd.2007.03.008
- [19] Ngemakwe PN, Le Roes-Hill M, Jideani V. Advances in gluten-free bread technology. *Food Sci. Technol. Int.* 2015, 21(4): 256–276. doi: 10.1177/1082013214531425
- [20] Varela P, Ares G. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Res. Int.* 2012, 48(2): 893–908. doi: 10.1016/j.foodres.2012.06.037
- [21] Moskowitz HR. The intertwining of psychophysics and sensory analysis: historical perspectives and future opportunities—a personal view. *Food Qual. Pref.* 2003, 14(2): 87-98. doi:10.1016/S0950-3293(02)00072-1
- [22] Pasqualone A, Caponio F, Summo C, Paradiso VM, Bottega G, Pagani MA. Gluten-Free Bread Making Trials from Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Flour and Sensory Evaluation of the Final Product. *Int. J. Food Prop.* 2010, 13: 562–573. doi: 10.1080/10942910802713172
- [23] Khalil AH, Mansour EH, Dawoud FM. Influence of Malt on Rheological and Baking Properties of Wheat–cassava Composite Flours. *LWT - Food Sci. Technol.* 2000, 33(3): 159-164. doi:10.1006/food.1999.0629
- [24] Udofia P, Udoudo P, Eyen N. Sensory evaluation of wheat-cassava-soybean composite flour (WCS) bread by the mixture experiment design. *Afr. J. Food Sci.* 2013, 7(10): 368-374. doi: 10.5897/AJFS09.108
- Pérez, Suhey:** Licenciada en Química. Maestría en Ciencia de los Alimentos. Profesor categoría Asociado del Departamento de Química de la Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela. sperez@unimet.edu.ve. **Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0001-6199-9805>
- Silva-Iturriza, Adriana:** Licenciada en Biología. Doctorado en Biología Evolutiva. Estudiante de Maestría en Ciencia de los Alimentos. Investigadora categoría Asociado III del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. silvaiturriza@gmail.com. **Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0003-3706-0341>