

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA BIOMASA RESIDUAL DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE TAMARINDO CHINO (*Averrhoa carambola* L.)

Douglas R. Belén-Camacho, Carmen Cedeño, Isaac López, Mario José Moreno Álvarez,
David García y Carlos Medina

RESUMEN

Se evaluaron algunas características fisicoquímicas y propiedades funcionales de los residuos de la fermentación alcohólica del tamarindo chino (*Averrhoa carambola* L.), como posible fuente bioproteica de utilidad alimentaria. La pulpa de frutos maduros de tamarindo chino fue mezclada con agua (1 parte de pulpa y 4 partes de agua), adicionada de azúcar comercial hasta un contenido de sólidos solubles de 24°Brix y fermentada con *Saccharomyces cerevisiae* hasta un contenido final de sólidos solubles de 13°Brix. Luego se aplicó tratamiento térmico (60°C durante 20min) y se almacenó a 10°C durante 48h. El residuo fue separado mediante filtración, prensado y secado (60°C durante 24h). El rendimiento promedio en residuos fue de 8,28kg de residuos secos/100kg de fruta fresca. El subproducto obteni-

do presentó un contenido proteico de 68,35% y mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a la caseína utilizada como proteína de referencia en los valores de las propiedades funcionales determinadas, presentando niveles más altos en la capacidad de absorción de agua (5,81g de agua/g de producto) y la capacidad de absorción de grasa (1,53g de aceite/g de muestra), así como también una mejor propiedad espumante y una solubilidad proteica similar ($p > 0,05$) a la de la caseína en el intervalo de pH de 6,00 a 10,00. Se concluye que el subproducto residual de la fermentación alcohólica de tamarindo chino, es una fuente proteica cuyas propiedades funcionales permiten sugerir su uso en productos de panificación, productos cárnicos y en bebidas alimenticias especiales.

Introducción

El tamarindo chino (*Averrhoa carambola* L.), también denominado fruto estrella, carambola y grosella china, es un fruto de gran demanda en algunos países por su sabor y apariencia (Castillo y Cornejo, 2007). Pertenece a la familia Oxalidaceae, género *Averrhoa*, del cual la especie *A. carambola* es considerada la más importante desde el punto de vista comercial (Narain *et al.*, 2001). Se le consume principalmente como fruta fresca, en ensaladas, y procesada en forma de mermelada, jalea, jugos, encurtidos y fruta glaseada con azúcar o jara-

be glucosado, entre otros (Boynnton *et al.*, 2002). En Venezuela, el cultivo de este frutal ha despertado interés en años recientes debido a su fácil manejo agronómico y a la diversidad de usos potenciales, que lo hacen atractivo para la comercialización. Ello ha motivado la realización de estudios orientados a un mejor aprovechamiento con fines económicos. García y Moreno (2003) evaluaron al tamarindo chino como materia prima para la producción de una bebida alcohólica tipo vino, mostrando excelente disponibilidad para la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* y generando un producto de

buena aceptación por sus cualidades sensoriales.

La fermentación alcohólica es un proceso metabólico anaeróbico mediante el cual algunos microorganismos, principalmente levaduras, adquieren energía a partir de azúcares, los cuales se transforman en etanol (C_2H_5OH) y CO_2 como principales productos, siendo *S. cerevisiae*, un hongo unicelular, la especie más utilizada en la industria productora de bebidas alcohólicas (Mesas y Alegre, 1999). Simultáneamente a la degradación de los azúcares ocurre un aumento en la población de los microorganismos participantes, la cual es separada

como subproducto una vez finalizada la fermentación y constituye una fuente proteica no convencional que se ha empleado como una alternativa alimentaria (Lee, 2000). La biomasa microbiana de levaduras ha resultado útil en la elaboración de panes, así como también en la producción de extractos saborizantes, polisacáridos y proteínas, aplicados como ingredientes en la formulación de alimentos (Otero *et al.*, 2000; Comabella *et al.*, 2004). Por otra parte, se ha mostrado que la ingesta de dietas que contienen levadura como fuente proteica hasta proporciones de 30% no produce efectos tóxicos en el

PALABRAS CLAVE / *Averrhoa carambola* / Bioproteína / Fermentación Alcohólica / *Saccharomyces cerevisiae* / Tamarindo Chino /

Recibido: 21/09/2010. Modificado: 03/08/2011. Aceptado: 04/08/2011.

Douglas Rafael Belén-Camacho. Ingeniero de Alimentos y M. Sc. en Biotecnología Alimentaria, Universidad Nacional Experimental "Simón Rodríguez" (UNESR), Venezuela. Estudiante de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela (UCV). Profesor, UNESR. Dirección: Laboratorio de Biomolé-

culas, UNESR. Canoabo, estado Carabobo, Venezuela. e-mail: biomoleculasdrbc@hotmail.com.

Carmen Cedeño. Ingeniera de Alimentos, UNESR, Venezuela.

Isaac López. Técnico Agropecuario. Personal Administrativo, UNESR, Venezuela.

Mario José Moreno Álvarez. Licenciado en Biología, Universidad de Los Andes, Venezuela. M.Sc. en Enseñanza de la Biología, Universidad Pedagógica Libertador, Venezuela. Profesor, UNESR, Venezuela. e-mail: morenoalvarez@cantv.net.

David García. Ingeniero de Alimentos, UNESR, Venezuela. Profesor, UNESR, Venezuela. e-mail: davidemp2005@hotmail.com.

Carlos Medina. Ingeniero de Alimentos, UNESR, Venezuela. Profesor, UNESR, Venezuela.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF RESIDUAL BIOMASS FROM CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.) ALCOHOLIC FERMENTATION

Douglas R. Belén-Camacho, Carmen Cedeño, Isaac López, Mario José Moreno Álvarez, David García and Carlos Medina

SUMMARY

Some physicochemical characteristics and functional properties of by-products from carambola (*Averrhoa carambola* L.) alcoholic fermentation were evaluated as a possible food bioprotein source. The carambola mature fruits pulp was mixed with water (1 part of pulp and 4 parts of water), plus commercial sugar up to 24°Brix of soluble solids, and fermented by *Saccharomyces cerevisiae* until 13°Brix of final soluble solids content. Afterwards, thermal treatment (60°C for 20min) was applied and stored at 10°C for 48h. Suspended residues were separated by filtration, pressed and dried (60°C for 24h). Residue average yield was 8.28kg of dried residue/100kg of fresh fruits. Protein

content in the obtained product was 68.35% and significant differences ($p < 0.05$) were determined in functional properties values in comparison with casein as reference protein. The residue protein showed a larger water absorption capacity (5.81g of water/g of sample) and fat absorption capacity (1.53g of oil/g of sample), and better foaming capacity than casein. The protein solubility profile of protein residue was similar ($p > 0.05$) to that of casein at pH range 6.00-10.00. It is concluded that the by-products of chinese tamarind alcoholic fermentation are a potential source of food protein that can be used in bakery and meat products, and in special food beverages.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA BIOMASSA RESIDUAL DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.)

Douglas R. Belén-Camacho, Carmen Cedeño, Isaac López, Mario José Moreno Álvarez, David García e Carlos Medina

RESUMO

Avaliaram-se algumas características físico-químicas e propriedades funcionais dos resíduos da fermentação alcoólica da carambola (*Averrhoa carambola* L.), como possível fonte bio-protéica de utilidade alimentária. A polpa de frutas maduras de carambola foi misturada com água (1 parte de polpa e 4 partes de água), adicionada de açúcar comercial até um conteúdo de sólidos solúveis de 24°Brix e fermentada com *Saccharomyces cerevisiae* até um conteúdo final de sólidos solúveis de 13°Brix. Em seguida se aplicou tratamento térmico (60°C durante 20min) e se armazenou a 10°C durante 48h. O resíduo foi separado mediante filtração, prensado e secado (60°C durante 24h). O rendimento médio em resíduos foi de 8,28kg de resíduos secos/100kg de fruta fresca. O subproduto obtido

apresentou um conteúdo protéico de 68,35% e mostrou diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação à caseína utilizada como proteína de referência nos valores das propriedades funcionais determinadas, apresentando níveis mais altos na capacidade de absorção de água (5,81g de água/g de produto) e a capacidade de absorção de gordura (1,53g de aceite/g de amostra), assim como também uma melhor propriedade espumante e uma solubilidade protéica similar ($p > 0,05$) à da caseína no intervalo de pH de 6,00 a 10,00. Conclui-se que o subproduto residual da fermentação alcoólica de carambola, é uma fonte protéica cujas propriedades funcionais permitem sugerir seu uso em produtos de panificação, produtos cárnicos e em bebidas alimentícias especiais.

organismo (Passos de Oliveira *et al.*, 2001). La utilidad de una fuente proteica es establecida en base a sus propiedades funcionales, las cuales son definidas como el conjunto de propiedades fisicoquímicas que rigen el comportamiento durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos y son determinadas por las proteínas existentes en los sistemas alimentarios, revistiendo importancia las capacidades de absorción de agua y de aceite, la capacidad emulsificante, las propiedades espumantes y la solubilidad proteica, entre otras (Jayasena *et al.*, 2010; Morales-De León *et al.*, 2007).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar algunas características fisicoquímicas, específicamente propiedades funcionales, de los residuos de la fermentación alcohólica del tamarindo chino con *S. cerevisiae*, de tal manera de definir su potencial utilidad como fuente bioproteica alimentaria.

Materiales y Métodos

Materiales

Se emplearon frutos de tamarindo chino (*Averrhoa carambola* L.), cosechados en la población de Aguirre, municipio Montalbán, estado

Carabobo, Venezuela, en estado de madurez de consumo, coloración externa amarilla uniforme, tamaño homogéneo y ausencia de daños físicos aparentes. La masa total de frutos seleccionados fue de 12,3kg. A una muestra de 50 frutos les fue determinada la masa en una balanza analítica, y las dimensiones (longitud y diámetro) con un vernier según las indicaciones de Narain *et al.* (2001).

La levadura utilizada para la fermentación fue un producto comercial liofilizado marca Fleishman. En la preparación del mosto se utilizó azúcar comercial refinada.

Obtención y caracterización fisicoquímica de la pulpa de tamarindo chino

Los frutos fueron lavados con agua potable, escaldados a 80°C durante 5min en un equipo por carga marca Groen modelo TBD-17.20, despulpados en un equipo marca Dixie Canner modelo 17 provisto de malla de acero inoxidable con apertura de 0,90mm, el cual permitió la obtención de la pulpa y la separación simultánea de pericarpio y semillas. Se determinó el rendimiento referido a masa (kg) de pulpa obtenida por masa de frutos (kg) utili-

zados, realizando para ello tres corridas con 4,0kg de frutos en cada una. A una muestra de pulpa le fue analizado, mediante métodos descritos en AOAC (1990), los siguientes parámetros: pH (potenciómetro marca Hanna Instruments modelo pH1), sólidos solubles (por refractometría, referidos a °Brix), acidez titulable (expresada como g de ácido cítrico/100g de pulpa), azúcares totales y azúcares reductores.

Preparación del mosto

Se siguió el método descrito por García y Moreno (2003) de la siguiente manera: la pulpa fue mezclada con agua potable en proporción 1:4 (pulpa:agua) para volúmenes totales de mosto de 15 litros. Se adicionó azúcar comercial para incrementar el contenido de sólidos solubles a 24°Brix. A continuación se aplicó tratamiento térmico a 70°C durante 20min y se procedió a enfriar hasta una temperatura de 30°C. Al mosto preparado se le determinó, con base en métodos de la AOAC (1990): pH, acidez titulable, sólidos solubles y azúcares totales. El mosto fue preparado por triplicado, utilizándose en cada ocasión 3kg de pulpa.

Fermentación del mosto

Cada una de las réplicas del mosto preparado (15 litros) fue colocada en envases de vidrio de 18 litros, previamente esterilizados y acondicionados para tal fin (descarga de CO₂ hacia un recipiente con solución acuosa de NaOH 2N, un punto para toma de muestra de fermento y recirculación de agua externa para mantenimiento de temperatura). Luego, se inoculó con *S. cerevisiae* previamente preparada con base en el procedimiento descrito por Bellosio *et al.* (2007): se disolvieron 2g de la levadura liofilizada en 50ml de agua destilada y se adicionaron a una mezcla constituida por 60g de pulpa refinada, 20ml de agua desti-

lada, 20g de azúcar comercial y 1g de ácido cítrico, llevándose el volumen final de la preparación a 250ml con agua destilada y agitada durante 1h a 30°C. La cantidad de la preparación de levadura incorporada al mosto fue equivalente al 0,5% del total a fermentar.

El proceso se mantuvo a 30 ±1°C, siguiéndose su progreso por medición del contenido de sólidos solubles (°Brix) diariamente, estableciéndose como final de la fermentación aquel momento en que dicho parámetro se mantuvo constante. A continuación se elevó la temperatura a 60°C por 20min y luego se mantuvo a 10°C durante 48h.

Separación de los residuos de fermentación

Después de reposar durante 48h, el fermento fue filtrado a través de un lienzo fino. Los sólidos retenidos fueron prensados en un equipo hidráulico a presión constante (25psi), manteniéndose su aplicación hasta que no drenó más líquido. Los sólidos prensados fueron esparcidos en bandejas de acero inoxidable en capas de espesor de ~2mm, secados en una estufa de aire forzado a 60°C durante 24h, molidos en un procesador de alimentos doméstico marca Oster, pasados por un tamiz de 600µm y envasados en bolsas plásticas provistas de cierre hermético.

Composición química proximal del producto

Con base en procedimientos de la AOAC (1990) se le de-

terminó a los residuos secos molidos: contenido de humedad, grasa cruda, proteína cruda y ceniza total. El contenido total de carbohidratos fue establecido por diferencia.

Propiedades funcionales del producto

A los residuos secos molidos les fueron determinadas las siguientes propiedades: capacidad de absorción de agua y capacidad de absorción de grasa según procedimientos descritos por Granito *et al.* (2004); perfil de solubilidad proteica con base en el método empleada por Calderón de la Barca *et al.* (2000); capacidad emulsificante y capacidad espumante de acuerdo al procedimiento indicado por Wang y Johnson (2001). Como referencia de comparación de los valores obtenidos, también se determinaron estas características a una muestra de caseína (Sigma).

Análisis estadístico

Los resultados fueron representados por valores promedios de tres repeticiones con sus respectivas desviaciones estándares. Los valores de las propiedades funcionales fueron comparados con aquellos determinados a la caseína mediante prueba t de Student ($p < 0,05$).

Resultados y Discusión

Características físicas del fruto de tamarindo chino

Los frutos enteros utilizados presentaron un peso promedio de 59,85 ±1,37g y sus dimensiones promedios fueron 7,35 ±0,55cm y 3,92 ±0,25cm de longitud y diámetro, respectivamente. Estos valores son próximos a los obtenidos

señalado frutos de *A. carambola* con valores más altos en estos parámetros; Grajales-Agudelo *et al.* (2005), por ejemplo, estudiaron frutos con masa total de 110g con una longitud de 12cm. Las variaciones existentes en las características del tamarindo chino en diferentes trabajos pueden estar relacionadas con factores tales como variedad, condiciones de cultivo y clima, que ejercen influencia en las frutas y han sido abordados en la bibliografía (Arthey y Ashurst, 1997; Thompson, 1998).

Rendimiento en pulpa

El procedimiento aplicado para la obtención de la pulpa de tamarindo chino mostró un rendimiento promedio de 91,9 ±2,9%, lo que equivale a 0,919kg de pulpa por cada 1,0kg de fruta fresca. Narain *et al.* (2001), han señalado valores de la fracción comestible del fruto maduro de 98,80%, considerando como tal a la porción del fruto constituida por pericarpio y pulpa; en este sentido, el desulpado aplicado al tamarindo chino se considera excelente ya que al separar el pericarpio adicional a la semilla, representa el 90,79% de la composición indicada en la bibliografía citada.

Características químicas de la pulpa

En la Tabla I se presentan los valores de las características analizadas a la pulpa de tamarindo chino. El pH obtenido (3,45), clasifica al tama-

TABLA I
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PULPA DE TAMARINDO CHINO (*A. carambola*)

pH	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable (% m/m, ácido cítrico)	Azúcares totales (% m/m)	Azúcares reductores (% m/m)
3,45 ±0,02	9,2 ±0,3	0,415 ±0,012	8,16 ±0,38	7,86 ±0,27

-Valores promedios (n = 3) ± desviación estándar.

por Narain *et al.* (2001) en frutos maduros de esta especie, quienes reportan un peso total promedio de 60,38g, con longitud y diámetro de 7,92 y 5,24cm. Sin embargo, se han

rindo chino como una fruta muy ácida, ya que dicho valor se ubica en el nivel indicado por Dos Santos *et al.* (2008) para este tipo de alimentos (pH < 4,0). Se han señalado

valores de pH para el tamarindo chino desde 2,16 (Tello *et al.*, 2002) hasta 3,44 (Narain *et al.*, 2001), este último similar al determinado en el presente estudio, mientras que en los sólidos solubles se han indicado valores desde 6,9°Brix (Salazar y Guevara, 2002) hasta 10,83°Brix (Narain *et al.*, 2001). El pH es uno de los factores que influyen en el crecimiento y actividad de las levaduras en la fermentación. En el caso del género *Saccharomyces*, Malherbe *et al.* (2007) afirman que es tolerante a bajo pH, desarrollándose el proceso fermentativo en un intervalo de pH desde 2,8 hasta 4,2; en este sentido, el tamarindo chino presenta una acidez iónica adecuada.

Por otra parte, el nivel de azúcares (total: 8,16% y azúcares reductores 7,86%) le imparte al tamarindo chino cualidades como materia fermentable, aspecto importante en la producción de bebidas alcohólicas, debido a que la transformación de los azúcares en etanol y CO₂ es el cambio deseado durante la fermentación alcohólica, donde la glucosa y la fructosa son los principales sustratos requeridos por las levaduras (Moreno-Arribas y Polo, 2005). En el tamarindo chino o carambola se ha identificado a la fructosa, glucosa y sacarosa como los principales azúcares (Pérez-Tello *et al.*, 2001). El contenido de azúcares reductores encontrado (7,86%) es ligeramente superior que al reportado por Tello *et al.*, (2002) de 7,22%, mientras que Narain *et al.* (2001) hallaron una concentración de 5,60% en frutos en estado de madurez de consumo; estos mismos autores han evidenciado variaciones en los parámetros antes mencionados relacionadas con el grado de madurez de los frutos.

Fermentación alcohólica del tamarindo chino

El desarrollo de la conversión de los azúcares presentes en el mosto de tamarindo chino por acción de *S. cere-*

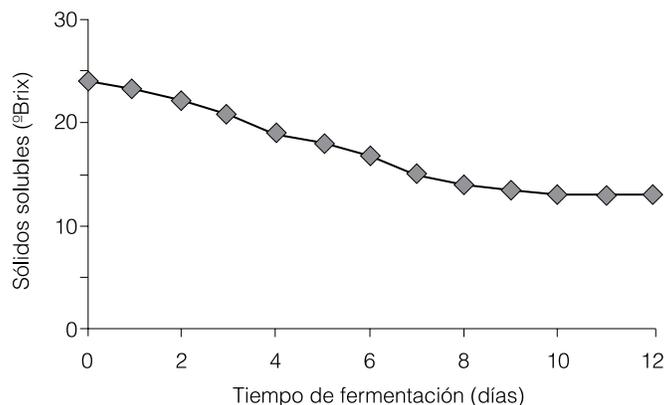


Figura 1. Variación de los sólidos solubles durante la fermentación de tamarindo chino.

visiae fue monitoreado midiendo la variación en el contenido de sólidos solubles (°Brix) cada día. Los cambios observados se presentan en la Figura 1, donde se observa un descenso desde una concentración inicial de 24°Brix hasta 13°Brix, el cual se alcanzó en el día 10 luego de comenzada la fermentación y que se consideró como el contenido final del proceso porque se mantuvo sin variación hasta el día 12. Los sólidos solubles (°Brix) son una medida de la concentración de azúcar en el medio (Alvarado y Aguilera, 2001) y su disminución durante la fermentación evidencia la acción de la levadura en la transformación de los carbohidratos fermentables en etanol. En la fermentación del tamarindo chino, puede afirmarse que la levadura utilizada presentó mayor actividad fermentativa durante los primeros ocho días, ya que en ese período el descenso en los °Brix fue más rápido que en días posteriores. La intensidad de la conversión está relacionada con el crecimiento poblacional de la levadura en el medio; en efecto, Jamal *et al.* (2007) mostraron que, en fermentaciones alcohólicas con cepas *S. cerevisiae*, en los primeros dos días se produce un incremento de la concentración de biomasa y luego desciende gradualmente a partir del cuarto día de fermentación. Relacionando esta experiencia con lo ob-

servado durante la fermentación de *A. carambola*, el descenso rápido en los °Brix del mosto en los primeros tres días puede ser consecuencia del aumento en la población de la levadura utilizada.

En general, los resultados encontrados se corresponden o podrían relacionarse con la fermentación alcohólica de otras frutas, aunque existen diferencias en la velocidad y,

bientales como pH y temperatura, así como la presencia de nutrientes necesarios para el crecimiento microbiano (Khongsay *et al.*, 2010). Con base en las variaciones de los sólidos solubles en procesos fermentativos alcohólicos señaladas por Malherbe *et al.* (2007), el comportamiento exhibido por el mosto de tamarindo chino se considera normal y, por lo tanto, la pulpa de esta fruta presenta buena aptitud para la fermentación alcohólica en las condiciones en que se aplicó el ensayo y constituye una alternativa para la generación de bebidas alcohólicas.

Rendimiento en residuos de fermentación

En cada etapa del proceso aplicado se midió la masa de cada salida referida a residuos, que son el objeto de estudio en este trabajo. Los resultados se presentan en la Tabla II, donde en la co-

TABLA II
BALANCE DE MASA PARA LA OBTENCIÓN DEL PRODUCTO PROTEICO

Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento (%)
Fermentación	3,00 ±0,01	1,00 ±0,03	33,33 ±0,032
Prensado	1,00 ±0,03	0,42 ±0,02	42,00 ±0,036
Secado	0,42 ±0,02	0,27 ±0,01	64,29 ±0,022

-Valores promedios (n= 3) ±desviación estándar.

por lo tanto, el tiempo necesario para alcanzar los valores finales deseados. Frazier y Westhoff (2003) han señalado lapsos globales para fermentación de uvas hasta de 16 días, mientras que en otras materias primas, como pulpa de café (Belloso *et al.*, 2007), se ha logrado en 37 días o más, y en mosto de pulpa de cacao (Ribeiro *et al.*, 2007) con un contenido inicial de 22°Brix y pH 3,8 la fermentación tardó 50 días. Los factores más influyentes en la velocidad de conversión de azúcares por levaduras son: características de la cepa utilizada, concentración inicial de azúcar en el medio, condiciones am-

riente de entrada a la fermentación (mosto) se ha considerado, para fines de cálculo, solamente la proporción de pulpa de tamarindo chino presente en ella; en este caso 3,00kg de pulpa en cada corrida de ensayo, lo que equivale a una masa promedio de frutos enteros de 3,26kg (con base en el rendimiento en pulpa previamente calculado en 0,919kg de pulpa/kg de fruta fresca). En esta condición, el producto final dado por los residuos de fermentación secos pulverizados fue de 0,27kg (promedio de tres corridas fermentativas), que referido a la cantidad de fruta fresca usada equivale a un rendi-

miento promedio de 8,28kg de residuos secos/100kg de fruta fresca (8,28%).

Composición química proximal del residuo de fermentación

TABLA III
COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL PRODUCTO RECUPERADO DE LA FERMENTACIÓN DE TAMARINDO CHINO*

Humedad (%)	Proteína cruda (% (Nx6,25))	Grasa cruda (%)	Ceniza total (%)	Carbohidratos totales** (%)
4,20 ±0,26	68,35 ±1,83	1,20 ±0,06	1,15 ±0,03	25,10 ±1,85

*Valores promedios (n= 3) ±ds. **Obtenidos por diferencia.

El residuo de la fermentación alcohólica de tamarindo chino presentó en su composición (Tabla III) un importante nivel proteico (68,35%), característica que le imparte potencialidad como posible fuente de proteínas en la formulación de alimentos. El segundo componente, en proporción, fue la fracción considerada como carbohidratos totales (25,10%), mientras que en proporciones mínimas se encontraron grasa cruda y ceniza. En extracto y concentrado proteico de levadura subproducto de la elaboración de cerveza, se han encontrado concentraciones de proteína de 36,04 y 71,40%, respectivamente, con aportes en carbohidratos de 8,81 y 15,31% (Otero *et al.*, 2000), mientras que Yamada *et al.* (2003) han determinado contenidos proteicos de 39,6% en base seca para levadura integral (usando el factor 5,8 en la conversión del N₂ total a proteína, lo que equivale a 42,71% empleando el factor 6,25 aplicado en el presente estudio). Por otro lado, en biomasa deshidratada (humedad 5,77%) de la levadura *Kluyveromyces marxianus* producida en lactosuero, se ha reportado un contenido de proteína cruda de 53,71% (Cori de Mendoza *et al.*, 2006). En tal sentido, se puede considerar a los residuos del proceso aplicado como un producto bioproteico, porque la fracción de proteína contenida en ellos proviene de la actividad celular de la levadura utilizada y en cantidad acorde con proteína unicelular de levaduras subproducto de procesos industriales. Por lo tanto, en la producción de bebidas alcohólicas tales como el vino de tamarindo chino, el

producto de interés es la bebida, es decir, la producción de etanol en la mayor cantidad posible, pero siempre se origina una masa residual que puede tener utilidad según sean su composición y propiedades funcionales, y cuyo aprovechamiento aportaría valor adicional al proceso fermentativo.

Propiedades funcionales del producto proteico

Capacidad de absorción de agua. La capacidad de absorción de agua de la bioproteína de *S. cerevisiae* obtenida de la fermentación alcohólica del tamarindo chino fue comparada con la capacidad de la caseína, determinadas en igualdad de condiciones. Los resultados se muestran en la Figura 2a. Los valores determinados fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$), superando el producto proteico (5,81g de agua/g de producto) ampliamente a la proteína de referencia (3,90g de agua/g de caseína). Igualmente, la capacidad de absorción de agua de la bioproteína de la fermentación de tamarindo chino está por encima de los valores en productos de fuentes convencionales tales como aislado de soya (2,73ml·g⁻¹ de muestra) y derivados proteicos de cañotea (*Phaseolus vulgaris* L.) con valores de 2,63-2,86ml·g⁻¹ de muestra (Morales-De León *et al.*, 2007). La capacidad de absorber agua determinada en la biomasa de *S. cerevisiae* también se ubica por encima de los niveles evaluados en concentrados proteicos de *K. marxianus* (Cori de Mendoza *et al.*, 2006).

La capacidad de absorción de agua de un sistema alimentario es consecuencia de las características hidrofílicas de las proteínas presentes y es una propiedad que debe tenerse en cuenta para la definición potencial del producto, fundamentalmente si va a utilizarse en formulaciones que requieran una buena interacción con el agua, tales como alimentos a base de masas, sopas, salsas y productos cárnicos, entre otros (Belén Camacho *et al.*, 2007; Granito *et al.*, 2004). La elevada capacidad de absorber agua en el producto proteico de *S. cerevisiae* generado por la fermentación de tamarindo chino permite inferir su utilidad en productos de panificación que ameritan la incorporación de levaduras en su procesamiento.

Capacidad de absorción de grasa. El resultado de la capacidad de absorber grasa (aceite) del producto proteico analizado y su comparación con la capacidad de la caseína, se presenta en la Figura 2b. La muestra bioproteica mostró el mayor valor ($p < 0,05$) de esta propiedad, el cual fue de 1,53g de aceite/g de muestra mientras que la caseína tuvo una capacidad de absorber 0,90g de aceite/g de muestra. El nivel determinado se encuentra por encima de los indicados en la literatura para fuentes proteicas microbianas como concentrado proteico y proteína de pared celular de *S. cerevisiae*, cuyos niveles

de absorción de grasa fueron equivalentes a 0,92 y 1,03 g de aceite/g de muestra, respectivamente, mientras que la proteína de *C. utilis* mostró una capacidad de 0,90g de aceite/g de muestra (Otero *et al.*, 2000).

Inclusive, la capacidad de absorción de grasa del producto obtenido de tamarindo chino resultó mayor que el exhibido por una muestra de aislado proteico de soya (Morales-De León *et al.*, 2007), aspecto resaltante dado que los productos de soya son de gran aplicación en la industria alimentaria. En comparación con productos proteicos derivados de otras levaduras, la capacidad de absorción de aceite es menor a la indicada por Cori de Mendoza *et al.* (2006) en concentrados de *K. marxianus* (1,65-1,79g grasa/g de proteína). Esta propiedad está influenciada por las partes hidrofóbicas de la estructura polipeptídica de las proteínas y reviste importancia en alimentos que requieren ser fritos, tales como productos cárnicos y salsas (Belén Camacho *et al.*, 2007;

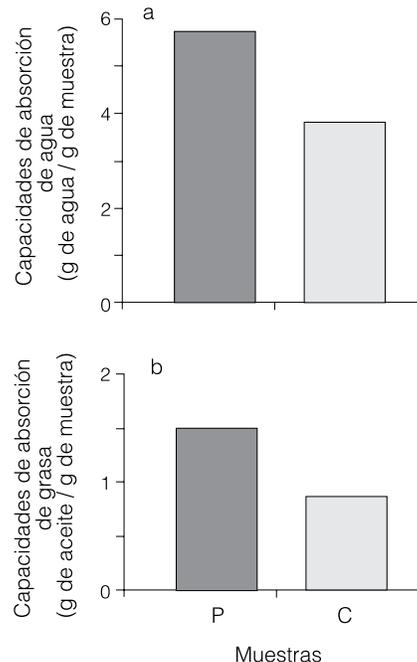


Figura 2. Capacidad de absorción de agua (a) y de grasa (b) del producto de fermentación (P) y de la caseína (C).

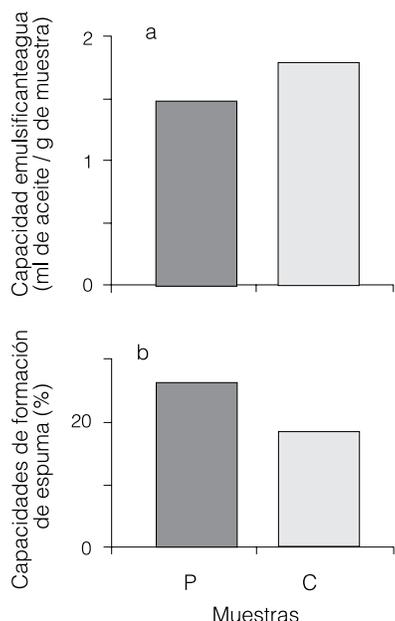


Figura 3. Capacidad emulsificante (a) y de formación de espuma (b) del producto de fermentación (P) y de la caseína (C).

Morales-De León *et al.*, 2007).

Capacidad emulsificante. La capacidad emulsificante (Figura 3a) determinada al producto proteico y a la caseína empleada como referencia, presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), resultando la caseína con el valor más alto (1,80ml de aceite/g de muestra), mientras que la bioproteína presentó un valor de 1,48ml de aceite/g de muestra. La acción de un agente emulsificador evita la ruptura de las emulsiones aceite-agua, de gran utilidad en alimentos, actividad debida a la naturaleza hidrofílica-hidrofóbica de estas biomoléculas, donde los componentes estructurales hidrofílicos interactúan con la fase acuosa mientras que las fracciones hidrofóbicas lo hacen con la fase lipolítica del sistema, originando así la tensión superficial en la interfase aceite-agua y favoreciendo la estabilidad de la emulsión (Belén Camacho *et al.*, 2007; Jayasena *et al.*, 2010). Aunque la capacidad emulsificante del producto proteico obtenido es inferior a la de la caseína, resulta de interés ya que supera ampliamente a otras fuentes

proteicas empleadas convencionalmente en alimentos; por ejemplo, Morales-De León *et al.* (2007) han determinado capacidad emulsificante de aislado proteico de soya, cuyo valor fue 57,84ml de aceite/100g de muestra, y en productos proteicos de caraota (*Phaseolus vulgaris*) que mostraron valores equivalentes a 0,4227 y 0,5512ml·g⁻¹ de muestra. Un poder emulsificante como el exhibido por la bioproteína residual de la fermentación de tamarindo chino la hace recomendable para ser usada en formulaciones cárnicas y productos tipo salsas.

Capacidad espumante. Los resultados obtenidos de la determinación de

la capacidad de formar espuma (Figura 3b) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), presentando el producto bioproteico el mayor valor de esta propiedad (26,00%), mientras que la proteína de referencia experimentó el menor incremento en el volumen (18,38%). La espuma es un sistema coloidal integrado por burbujas de aire dispersas en una fase líquida, cuya forma y estabilidad está influenciada por la presencia de un agente tensoactivo; las proteínas han demostrado tener buena habilidad para favorecer la formación y estabilización de espuma, para lo cual actúan de manera similar a como lo hacen en la interfase aceite-agua de las emulsiones (Belén Camacho *et al.*, 2007; Jayasena *et al.*, 2010). Por otra parte, el producto obtenido presentó una buena estabilidad de la espuma (Figura 4) en comparación con la caseína, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$). En dicha gráfica se aprecia

que la espuma del sistema contentivo de caseína disminuyó su valor en 50% en 10min, mientras que en ese mismo lapso el sistema espumante originado por la bioproteína separada de la fermentación alcohólica disminuyó 26,0 a 20,2%, lo que representa un descenso de 22,3% del valor inicial. La espuma de este sistema disminuyó al 50% de su proporción inicial a los 25min. Sin embargo, los comportamientos de la estabilidad de la espuma formada en cada sistema fue diferente; la espuma de caseína descendió rápidamente de forma lineal en los primeros 10min y luego el descenso fue menos marcado, con mínima variación, adaptándose a un modelo cuadrático ($Y = 0,019X^2 - 0,979X + 18,06$; $R^2 = 0,985$) y, en cambio, la espuma del sistema de bioproteína presentó un descenso lineal ($Y = -0,632X + 26,13$; $R^2 = 0,996$). La capacidad de formar y

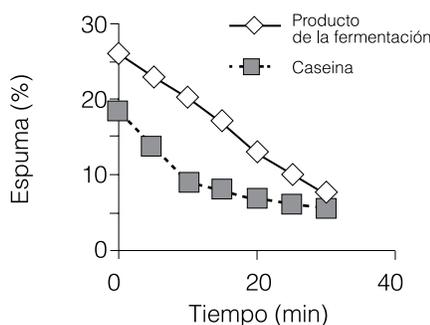


Figura 4. Estabilidad de espuma del producto de fermentación y de la caseína.

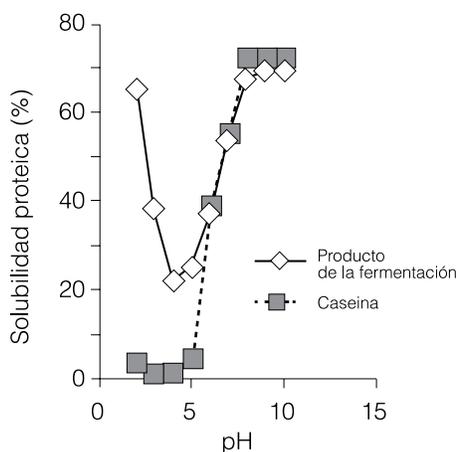


Figura 5. Perfil de solubilidad proteica del producto de fermentación y de la caseína.

estabilizar espuma es influenciada principalmente por el tipo de proteína y su grado de desnaturalización, pH del medio y temperatura (Lqari *et al.*, 2005). En el caso de estudio se infiere que las diferencias observadas son debidas a características intrínsecas de la bioproteína y la caseína, relacionadas con la estructura química en cada caso. La formación de espuma es una característica fundamental en alimentos tales como crema batida, helados cremosos y merengues, entre otros (Belén Camacho *et al.*, 2007).

Solubilidad proteica. El perfil de solubilidad proteica del producto de residuos de la fermentación del tamarindo chino se presenta en la Figura 5; donde también se muestra la solubilidad proteica de la caseína a diferentes niveles de acidez del medio. En ambos comportamientos se determinaron diferencias significativas ($p < 0,05$) a $pH < 6,00$, mientras que a pH de 6,00-10,00, intervalo en el que se efectuó la evaluación, la variación en esta propiedad funcional no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$). La fracción proteica del producto obtenido presentó una mayor solubilidad a pH entre 2,00 y 6,00, exhibiendo un mínimo de solubilidad a pH 4,00. Por ello se considera que su punto isoeléctrico se ubica alrededor de este valor de acidez iónica. A $pH > 6,00$ la solubilidad de la fracción proteica se incrementa en mayor proporción que en el medio más ácido. En cambio, la solubilidad de la caseína utilizada en este estudio como referencia, fue muy baja a $pH < 6,00$, alcanzando un nivel mínimo a pH 3,00-4,00, experimentando un leve aumento a pH 5,00 para luego incrementarse significativamente a pH 6,00, en proporciones similares a la del producto proteico de

interés. Comportamientos similares al de la bioproteína de *S. cerevisiae* proveniente de la fermentación de tamarindo chino han sido señalados para productos proteicos de diferentes fuentes, aunque las proporciones de solubilidad difieren de un producto a otro y con variantes en el pH de mínima solubilidad (Chiang *et al.*, 1995; Calderón de la Barca *et al.*, 2000; Lqari *et al.*, 2005; Belén Camacho *et al.*, 2007; Balaswamy *et al.*, 2009). Por otra parte, la biomasa de *S. cerevisiae* ha mostrado un mayor nivel de solubilidad en comparación con los resultados de Cori de Mendoza *et al.* (2006) en biomasa de *K. marxianus*, lo cual puede estar influenciado por diferencias en la estructura química de las proteínas de cada microorganismo. El comportamiento exhibido permite inferir que el producto proteico obtenido puede utilizarse en alimentos y bebidas ácidas.

Conclusión

El fruto del tamarindo chino (*Averrhoa carambola* L.), es una materia prima fácilmente fermentable por *Saccharomyces cerevisiae*, proceso que genera un subproducto residual que, de acuerdo a su composición química y propiedades funcionales, podría ser una fuente proteica de utilidad en la formulación de alimentos tales como productos de panificación y cárnicos, así como también en bebidas alimenticias ácidas especiales.

REFERENCIAS

- Alvarado J, Aguilera JM (2001) *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos*. Acribia. Zaragoza, España. 410 pp.
- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. 15ª ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, EEUU. 1298 pp.
- Arthey D, Ashurst PR (1997) *Procesado de Frutas*. Acribia. Zaragoza, España. 273 pp.
- Balaswamy K, Prabhakara Rao PG, Narsing Rao G, Rao DG, Jyothirmayi T (2009) Physico-chemical composition and functional properties of roes from some fresh water fish species and their application in some foods. *J. Env. Agric. Food Chem.* 8: 704-710.
- Belén Camacho DR, Moreno Álvarez MJ, García D, Medina C, Sidorovas A (2007) Caracterización de un hidrolizado proteico enzimático obtenido del pez caribe colorado (*Pygocentrus cariba* Humboldt, 1821). *Interciencia* 32: 188-194.
- Belloso G, Borthomiert D, Urbaneja E, Colivet J, Noriega A (2007) Utilización de la pulpa de café (*Coffea arabica*) para elaborar una bebida alcohólica fermentada. *Alim. Cienc. Ing.* 16: 342-343.
- Boynton BB, Sims CA, Sargent S, Balaban MO, Marshall M (2002) Quality and stability of precut mangos and carambolas subjected to high pressure processing. *J. Food Sci.* 67: 409-415.
- Calderón de la Barca AM, Ruiz-Salazar RA, Jara-Marini ME (2000) Enzymatic hydrolysis and synthesis of soy protein to improve its amino acid composition and functional properties. *J. Food Sci.* 65: 246-253.
- Castillo ME, Cornejo F (2007) Estudio del efecto del proceso de deshidratación osmótica en la obtención de trozos secos de carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Alim. Cienc. Ing.* 16: 190-193.
- Chiang W, Cordle CT, Thomas RL (1995) Casein hydrolysates produced using a formed-in-place membrane reactor. *J. Food Sci.* 60: 1349-1352.
- Comabella Y, García-Galano T, Carrillo O, Mauri Y (2004) Empleo de fracciones celulares de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como aditivo alimentario para *Artemia franciscana*. *Rev. Inv. Mar.* 25: 65-72.
- Cori de Mendoza ME, Rivas N, Dorta B, Pacheco de Delahaye E, Bertsch A (2006) Obtención y caracterización de dos concentrados proteicos a partir de biomasa de *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* cultivada en suero lácteo desproteinizado. *Rev. Cient. FCV-LUZ* 16: 315-324.
- Dos Santos GM, Arrães G, Machado de Sousa P, Correia da Costa J, Wilane R, Matias do Prado G (2008) Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de acaí (*Euterpe oleracea* Mart). *Arch. Latinoam. Nutr.* 58: 187-192.
- Frazier WC, Westhoff DC (2003) *Microbiología de los Alimentos*. 4ª ed. Acribia. Zaragoza, España. 681 pp.
- García M, Moreno W (2003) *Obtención de una Bebida Fermentada Tipo Vino a Partir de la Pulpa De Tamarindo Chino (Averrhoa carambola L.)*. Tesis. Universidad Nacional Experimental "Simón Rodríguez". Canoabo, Venezuela. 92 pp.
- Grajales-Agudelo LM, Cardona-Perdomo WA, Orrego-Alzate CE (2005) Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola* L.) osmodeshidratada. *Ing. Compet.* 7: 19-26.
- Granito M, Guerra M, Torres A, Guinand J (2004) Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de Vigna Sinensis. *Interciencia* 29: 521-526.
- Jamal P, Alam Z, Umi N (2007) Potential strain to produce bioprotein from cheaper carbon source: hope for millions. *Am. J. Biotechnol. Biochem.* 3: 42-46.
- Jayasena V, Chih HJ, Nasar-Abbas SM (2010) Functional properties of sweet lupin protein isolated and tested at various pH levels. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 6: 130-137.
- Khongsay N, Laopaiboon L, Laopaiboon P (2010) Growth and bath ethanol fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on sweet sorghum stem juice under normal and very high gravity conditions. *Biotechnology* 9: 9-16.
- Lee BH (2000) *Fundamentos de Biotecnología de los Alimentos*. Acribia. Zaragoza, España. 475 pp.
- Lqari H, Pedroche J, Girón-Calle J, Vioque, Millán F (2005) Production of lupinus angustifolius protein hydrolysates with improved functional properties. *Grasas Aceites* 56: 135-140.
- Malherbe S, Bauer FF, Toit MD (2007) Understanding problem fermentations-A review. *S. Afr. J. Enol. Viticult.* 28: 169-186.
- Mesas JM, Alegre MT (1999) El papel de los microorganismos en la elaboración del vino. *Cienc. Tecnol. Alim.* 2: 174-183.
- Morales-De León JC, Vázquez-Mata N, Torres N, Gil-Zenteno L, Bressani R (2007) Preparation and characterization of protein isolate from fresh and hardened beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Sci.* 72: C96-C102.
- Moreno-Arribas MV, Polo C (2005) Winemaking biochemistry and microbiology: current knowledge and future trends. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 45: 265-286.
- Narain N, Bora PS, Holschuh HJ, Vasconcelos MA (2001) Physical and chemical composition of carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.) at three stages of maturity. *Cienc. Tecnol. Alim.* 3: 144-148.
- Otero MA, Cabello A, Vassallo MC, García L, López J (2000) Tecnología para la utilización integral de la levadura de cerveza en la industria alimentaria. *Arch. Latinoam. Nutr.* 50: 361-365.
- Passos de Oliveira SR, Martins Bión F, Limongi SM, Cavalcanti A (2001) Uso de uma mistura alimentar contendo bioproteínas (*Saccharomyces cerevisiae*): efeitos sobre a gestação, a lactação e o crescimento de ratos. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51: 72-80.
- Pérez-Tello GO, Briceno TB, Vargas I, Martínez-Téllez MA (2001) Carbohydrates and chilling injury in carambola (*Averrhoa carambola* L.) and mamey (*Pouteria sapota*) fruit stored under refrigeration. *Proc. Interam. Soc. Trop. Hort.* 44: 60-63.
- Ribeiro D, Freitas R, Sena E, dos Santos R (2007) Elaboration of a fruit wine from cocoa (*Theobroma cacao* L.) pulp. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42: 319-329.
- Salazar LM, Guevara A (2002) Obtención de carambola (*Averrhoa carambola* L.) deshidratada por ósmosis. *Ingeniería UC.* 9(001). <http://redalyc.uaemex.mx>. Cons. 14/08/2010.
- Tello O, García R, Vásquez O (2002) Conservación de *Averrhoa carambola* "Carambola" por azúcar y calor. *Rev. Amaz. Inv. Alim.* 2: 49-58.
- Thompson AK (1998) *Tecnología Post-cosecha de Frutas y Hortalizas*. Kinesis. Armenia, Colombia. 282 pp.
- Wang C, Johnson LA (2001) Functional properties of hydrothermally cooked soy protein products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78: 189-195.
- Yamada EA, Alvim ID, Santucci M, Sgarbieri VC (2003) Centesimal composition and protein nutritive value of yeast from ethanol fermentation and of yeast derivatives. *Rev. Nutr.* 16: 423-432.