

Artículo original

Extracción y caracterización de grasa y almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (*Mangifera indica* L).

Extraction and characterization of fat and starch kernel mango variety Alphonso (*Mangifera indica* L).

Gutiérrez Carlos*, Rivera Yezabel, Gómez Rubén, Bastidas Vanessa, Izaguirre César.

Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de Alimentos. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida C.P. 5101. República Bolivariana de Venezuela.

Recibido agosto 2015 - Aceptado diciembre 2015

RESUMEN

El mango es una de las frutas de mayor abundancia en Venezuela y es producida durante un periodo estacional del año. La mayor parte de la producción se comercializa como fruta fresca y una pequeña parte es procesada en la obtención de alimentos industrializados. Entre un 40 a 60 % de la fruta es descartada como desecho. El objetivo del presente trabajo fue la utilización y el aprovechamiento de los desechos orgánicos proveniente del mango variedad Alphonso, mediante la extracción y caracterización de la grasa y el almidón de la almendra. Normas Covenin y métodos de análisis AOAC inherentes a la identidad y calidad de aceites y grasas fueron aplicadas para la caracterización de la grasa, mientras que al almidón extraído se le determinaron propiedades tales como: solubilidad, poder de hinchamiento, contenido de amilosa, morfología del almidón y propiedades reológicas, mediante procedimientos expuestos en trabajos de investigación previos. Los resultados obtenidos mostraron un rendimiento de extracción de grasa de 7,57 %, con un valor de índice de saponificación de 209,1 g KOH/kg, un índice de yodo de 40,6 %, una temperatura de fusión de 38,3 °C y de solidificación de 20,6 °C. El rendimiento de extracción del almidón fue de 14,6 % y mostró un contenido significativo de amilosa (32 %) con una temperatura de gelatinización de 65 °C. La grasa obtenida cumplió con características adecuadas para aplicaciones de consumo alimenticio. La temperatura

de gelatinización favorece la formación de geles con bajos requerimientos energéticos y con múltiples usos en la industria de los alimentos.

PALABRAS CLAVE

Mango, extracción, grasa, almidón.

ABSTRACT

Mango is one of the most abundant fruits in Venezuela and is produced for a seasonal period of the year. Most of the production is marketed as fresh fruit and a small part processed in obtaining industrial foods. Between 40 to 60 % of fruit is discarded as waste. The aim of this work was the use of organic waste from Alphonso mango variety by extraction and characterization of fat and starch seed kernel. Covenin and AOAC inherent identity and quality of oils and fats were applied to the characterization of the fat while the extracted starch was determined properties such as solubility, swelling power, amylose, morphology of the starch and properties rheological, by procedures described in previous research works. The results showed a fat extraction yield of 7.57 %, with a high saponification value (209.1 g KOH / kg), a melting temperature of 38.3 °C and solidification of 20.6 °C. The starch extraction yield was 14.6 % and showed a significant amylose

*Correspondencia al autor: gutierrezc@ula.ve

(32 %) with a temperature of 65 °C gelatinization. The fat obtained meet suitable characteristics for applications of food consumption. The gelatinization temperature favors the formation of gels with low energy requirements and multiple uses in the food industry.

KEY WORDS

Mango, extraction, fats, starch.

INTRODUCCIÓN

El mango es una fruta tropical, originaria de la India y fue introducido por los españoles y portugueses en América a finales del siglo XVIII. En Venezuela especialmente en la región de los Llanos y en la Costa Oriental se desarrolló el cultivo de esta fruta dadas las excelentes condiciones climáticas, siendo las variedades más comunes hilacha, bocado, Alphonso y las mangas. La variedad Alphonso se caracteriza por su dulzura, sabor y es considerada como una de las variedades más abundantes, cada fruto pesa entre 150 y 300 g y presenta una piel amarilla brillante. La cosecha de mango presenta alternancia de un periodo lluvioso al otro seco [1], en Venezuela durante un periodo importante del año se cuenta con una producción abundante del mango, señalándose para el año 2009 un área plantada con mango de 5.000 Ha con una producción de 65.000 TM, siendo una pequeña parte de ésta destinada a exportación [2].

La comercialización del mango va dirigida principalmente al consumo de ésta como fruta fresca y en menor proporción para su procesamiento [3], perdiéndose como desecho de un 40 y 60 % del peso total del mango. Entre el 12 - 15 % y el 15 - 20 % pertenecen a la piel y la almendra respectivamente [4]. La generación de residuos de carácter orgánico a pesar de ser biodegradables representa un inconveniente desde el punto de vista de manejo, acondicionamiento y disposición; el aprovechamiento de estos residuos como materia prima para la generación de nuevos productos con enfoques al campo de la industria alimentaria constituye una alternativa de reutilización [5].

La grasa y el almidón son unos de los componentes de mayor importancia en la almendra del mango, su extracción y caracterización ha sido

objeto de estudio para diferentes variedades de mango en el mundo. El contenido de grasa obtenida de la almendra de mango cambia según la variedad estudiada, se han reportado valores que van desde el 8,5 % al 10,4 % [6,7]. Nuevas fuentes de aceites y grasas son importantes para aplicaciones alimenticias, su caracterización es relevante debido a que las propiedades de la grasa obtenida determinan su uso en algunos sectores industriales [8]. Sandhu & Lim, (2008) [9] así como Bustamante y col., (2008) [10] señalan a la grasa de la almendra de mango como un sustituto de manteca de cacao debido a su gran similitud, aplicándola en productos de confitería.

En la almendra del mango se han reportado valores significativos de carbohidratos, alrededor del 77 % para mangos de las variedades Chausa y Kuppi [9]. Las fuentes de almidón alternas o no convencionales son necesarias debido a las elevadas demandas de almidones comerciales (maíz, papa, trigo, arroz) para diferentes aplicaciones alimenticias y no alimenticias. El entendimiento de este tipo de almidón en cuanto a sus características bioquímicas y funcionales es de gran importancia ya que cada fuente nativa de almidón posee propiedades funcionales únicas [11]. Diversas investigaciones realizadas sobre las semillas de algunas variedades de mango, han evaluado características físicoquímicas, reológicas, térmicas, morfológicas, digestibilidad, índice glicémico, hidrólisis enzimática y propiedades bactericidas del almidón [4,11-14].

El presente estudio tiene por finalidad extraer y caracterizar la grasa y el almidón obtenido a partir de la almendra del mango de la variedad Alphonso producida en Venezuela.

MATERIAL Y MÉTODOS

Acondicionamiento de la almendra de mango. Los mangos de la variedad Alphonso procedentes del estado Barinas - Venezuela, fueron despulpados. La semilla fue separada y posteriormente se procedió a la extracción de las almendras eliminando el endocarpio duro y fibroso [10]. Las almendras fueron colocadas en una solución de ácido cítrico al 0,05 % en volumen para evitar su oxidación, luego a las almendras húmedas se les redujo el tamaño

usando un molino IKA- Universalmühle modelo M20. Estas muestras molidas se llevaron a una estufa marca CENCO a 58 °C hasta alcanzar peso constante para determinar la humedad. Una vez secas fueron almacenadas en un desecador.

Análisis proximal de la almendra: En la Fig.1. se muestra el diagrama de flujo indicando cada uno de los análisis aplicados a la almendra

de mango. Los análisis de humedad, proteínas, grasa, cenizas y carbohidratos expresados en porcentajes en peso se realizaron por triplicado siguiendo los métodos establecidos por la AOAC.

Humedad. Se realizó por el método N° 934.06 de desecación en estufa a presión atmosférica propuesto por la AOAC (1990) [15].

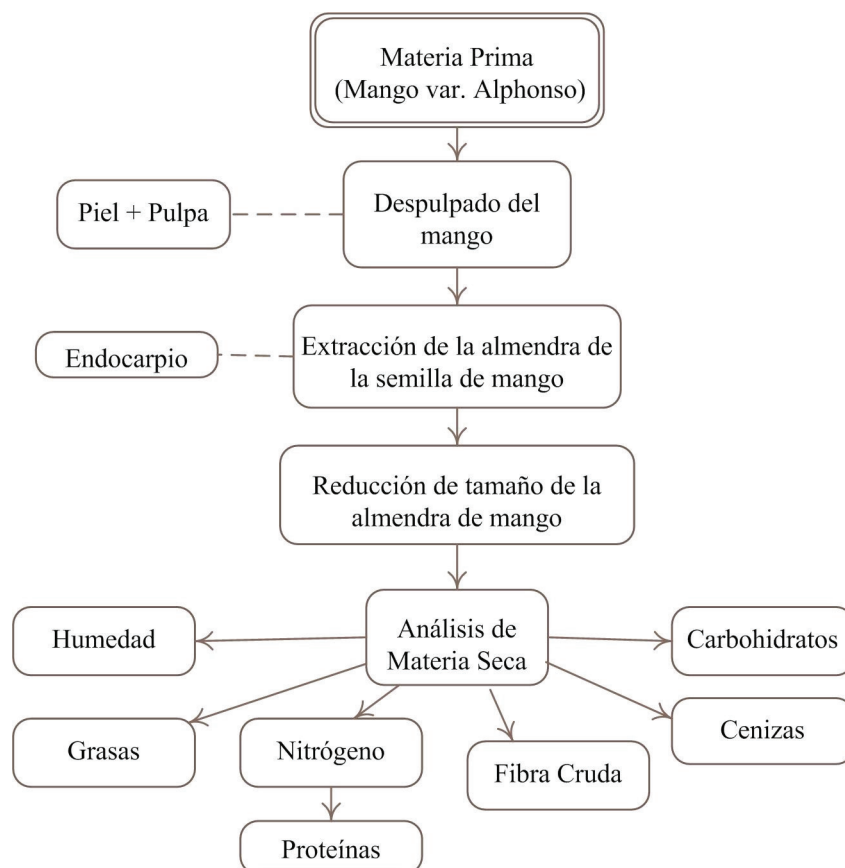


Fig. 1. Análisis proximal aplicado a la almendra del mango de la variedad Alphonso (*Mangifera indica* L).

Cenizas. Se realizó según el método N° 930.05 de cenizas totales indicado por la AOAC (1990) [15].

Proteínas. El porcentaje de nitrógeno se estimó mediante el método N° 978.04 descrito por la AOAC (1990) [15].

Grasas. La determinación del contenido de grasa se realizó usando el método de extracción Soxhlet [15], en un extractor Rafatec II modelo 1050; el cual es conocido también como sistema automatizado Soxtec.

Fibra Cruda. Se realizó según el método N°

930.10 referido por la AOAC (1990) [15].

Carbohidratos. Obtenido por diferencia entre análisis anteriores. Carbohidratos = 100 - % Humedad - % Cenizas - % Proteínas - % Grasa - % Fibra Cruda.

Caracterización de la grasa de la almendra de mango. La grasa extraída de la almendra del mango se caracterizó midiendo los índices de acidez, saponificación, yodo y Hehner, así como los puntos de fusión y solidificación, siguiendo las metodologías: 965.32, 920.160, 993.162, 920.162, 920.156 respectivamente, propuestas

por la AOAC (1990) [15].

La determinación del índice de peróxidos se ejecutó siguiendo la metodología propuesta por las normas Covenin 508:2001. [16].

Extracción y caracterización del almidón de la almendra de mango.

Extracción del almidón: se realizó por vía húmeda según el método propuesto por Kaur y col., (2004) [11]. Se molió la muestra con el uso de un molinillo IKA- Universalmühle modelo M20 hasta harina, se pesaron 70 g de la harina tamizada (16 mesh) y se sumergió en una solución de metabisulfito de sodio al 0,16 % en peso, calentando a 50 °C con agitación constante en una plancha de calentamiento Corning Stirrer Hot Plate por 9 horas. La muestra se filtró por gravedad para retirar la almendra molida sin almidón. Luego, el filtrado se centrifugó en el equipo Damen/IEC modelo HN-SII, por 15 minutos a 2000 rpm. Se desechó el líquido sobrenadante y se resuspendió el almidón en agua destilada para llevarlo nuevamente a centrifugación bajo las mismas condiciones. Los lavados con agua fría se realizaron tres veces para eliminar las impurezas presentes. Por último, se secó el almidón extraído hasta peso constante a 60 °C en estufa al vacío Thelco modelo 19.

El almidón fue caracterizado a partir de los siguientes análisis:

Índice de solubilidad y Poder de Hinchamiento. Ambos parámetros fueron medidos por triplicado aplicando la metodología establecida por Anderson y col., (1969) [17].

Contenido de Amilosa. Fue determinado mediante método potenciométrico de acuerdo a la metodología descrita por Jane y col., (1999) [18].

Morfología de los gránulos de almidón de la almendra de mango. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido HITACHI modelo S-2500. La muestra libre de agua fue sometida durante 100 segundos en un recubridor iónico de oro SPI modelo Spister Coater para colocarle un baño de oro de 300 Å de espesor. Las imágenes fueron captadas con magnificaciones de 1500X, 5000X y 20000X.

Propiedades Reológicas. Las mediciones reológicas se llevaron a cabo en un Reómetro dinámico modelo ARG2 de TA Instruments Ltd., Surrey, England, se empleó la geometría cono-

plato con rango de temperatura de 45 a 90 °C con 1 Hz de frecuencia y 0,5 % de deformación. El procedimiento experimental está descrito por Kaur y col., (2004). [11]. La concentración de la suspensión de almidón analizada fue de 5 % (p/p). Las mediciones se realizaron por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se reflejan las composiciones promedios obtenidas en la caracterización de la almendra de mango, se observó que la grasa y los carbohidratos son, después del contenido de humedad, los de mayor composición, por ello se considera que la almendra es una fuente importante de estos dos componentes. La fracción restante de la almendra corresponde básicamente a materia orgánica, dado el bajo porcentaje de cenizas.

Elegbede y col., (1995) [19], señalan porcentajes de humedad en un rango entre 41 y 47 % para almendra de mango en Nigeria, similares al obtenido para la variedad Alphonso. Onimawo y col., (2003) [20], reportan valores de humedad muy bajos en almendra de mango de la variedad Irvinigia gabonensis, siendo los factores que afectan este parámetro la variedad de fruto, el clima, suelo, entre otros. El promedio del porcentaje de cenizas en la variedad Alphonso fue de 2,48 %, Dhingra & Kapoor, 1985 [21] presentan valores porcentuales de cenizas similares en variedades de mango Chausa y Dusheri.

TABLA 1

Caracterización de la almendra de mango variedad Alphonso.

Parámetro	Porcentaje (%)
Humedad ^a	45,43 ± 2,07
Cenizas ^a	2,48 ± 0,30
Proteínas ^a	6,17 ± 0,02
Grasa ^a	7,57 ± 0,12
Fibra cruda ^a	6,42 ± 0,11
Carbohidratos [*]	31,93

^a Todos los valores fueron medidos por triplicado ± desviación estándar. * Se determinó por diferencia.

La cantidad de proteína presente en la almendra de mango corresponde a un 6,17 %. Dhingra & Kapoor, (1985) [21] refieren valores

del orden del 5 % en dos variedades de mango de la India. Sin embargo, el valor obtenido se aproxima a la mitad de las cantidades de proteínas presentes en cereales tales como arroz, trigo y sorgo. Diversas investigaciones señalan la harina de la almendra de mango como una alternativa en la alimentación animal [22].

El porcentaje de grasa en los análisis realizados para la variedad Alphonso fue de 7,57 % siendo similar al reportado por Nzikou y col., (2010) [23] para mango de variedad Chausa.

El porcentaje de carbohidratos en la almendra de mango es relativo a la variedad, Muchiri y col., (2012) [6] refieren contenidos que van desde 13 % hasta 40 % en variedades de mango Keniata. En la Tabla 1 el porcentaje de carbohidratos ha sido calculado por diferencia con los demás parámetros determinados, su valor es similar al reportado por Elegbede y col., (1995) [19] para las variedades de mango Idah, Kaduna, Zaria y Macurdi de origen nigeriano.

Caracterización de la grasa extraída de la almendra del mango. El rendimiento en la extracción de grasa contenida en la almendra alcanza un 7,57 % en peso, esta cantidad es muy atractiva desde el punto de vista industrial al compararla con el porcentaje de grasa que se obtiene en cereales, por ejemplo en el caso del maíz se alcanza en promedio el 3,8 % y del arroz el 2,4 % [24]. Nzikou y col., (2010) [23] refieren que el contenido de grasa presente en la almendra del mango depende de muchos factores, tales como: variedad de la planta, el clima de la zona de cultivo, fase de maduración, tiempo de recolección de los granos de las semillas y el método de extracción del aceite.

Una de las principales aplicaciones de la grasa de mango es su uso como complemento de la grasa de cacao o como materia prima en la producción de confituras de chocolate. Bustamante y col., (2008) [10] menciona que en el año 2000, la Comunidad Europea promulgó la Ley de pureza de chocolate que permite a la Industria Chocolatera la adición a sus productos de hasta un 5 % de otro tipo de grasa, esto da una posible alternativa de uso para grasas extraídas de la almendra de mango.

La coloración de la grasa extraída de la



Fig. 2. Grasa de almendra de mango de la variedad Alphonso (*Mangifera indica* L.).

almendra del mango es ligeramente amarilla, como se observa en la Fig. 2.

En la Tabla 2 se muestran los valores de los índices de acidez, de saponificación, de peróxidos y de yodo, que son considerados como parámetros que determinan la calidad de la grasa [25]; así como otras medidas de relevancia para la evaluación de la materia grasa garantizando la calidad de la grasa para consumo humano, tales como: índice de Hehner, residuo saponificable, puntos de fusión y de solidificación.

En la determinación del índice de acidez se presentó un valor promedio de 2,1 % (Tabla 2), este valor duplica al correspondiente a la grasa de cacao, los altos valores de acidez registrados indican la posible hidrólisis sufrida como resultado de la descomposición lipolítica de triglicéridos. Para las variedades: zebda, balady y succary, Abdalla y col., (2007) [4] consiguieron un valor de 1,22 % como promedio del índice de acidez; mientras que Nzikou y col., 2010 [23] reportaron un valor de 3,93 % en la variedad Kibangou empleando el método Soxhlet Álvarez, (2004) [26] muestra para las variedades Manila, Keitt y Kent, valores de 3,11 %, 2,17 %, 2,5 % respectivamente. La diferencia entre todos estos valores puede ser debido a que las muestras hayan estado más o menos expuestas a una rancidez hidrolítica.

Para la grasa extraída del mango variedad Alphonso se obtuvo un índice de saponificación (209,1 g KOH/Kg) asociado a la longitud de los ácidos grasos o triacilglicéridos contenidos y sus pesos moleculares, infiriéndose que la grasa posee un alto contenido de triacilglicéridos de bajo peso molecular, como lo refiere Kittiphoom & Sutasinee, (2013) [25] para otras variedades. También Nzikou y col., (2010) [23] reporta valores de 207,5 g KOH/Kg para la variedad Kibangou, valor que se encuentra en el mismo orden de la

especie analizada en el presente trabajo. En la Tabla 2 se observa que el índice de saponificación

para la manteca de cacao es ligeramente inferior al obtenido para la grasa de la almendra de mango.

TABLA 2

Caracterización de la grasa de almendra de mango de la variedad Alphonso (*Mangifera indica* L.) y parámetros de referencia de la grasa de cacao y grasa vegetales comestibles Covenin.

Análisis	Valor	Contenido Grasa de Cacao	Covenin [27]
Acidez (%)	2,1 ± 0,2	0,80 – 1,00 [25]	0,1
Índice de saponificación (g KOH/Kg)	209,1 ± 0,9	188 - 200 [25]	185
Índice de peróxidos (meq O ₂ /Kg)	7,5 ± 0,1	-	2 (en planta) 5 (en mercado)
Índice de yodo	40,6 ± 0,1	32 – 41 [25]	
Residuo insaponificable (%)	1,02 ± 0,20	0,80 [1]	1,5
Índice de Hehner (%)	82,9 ± 3,5	59 – 94 [1]	
Punto de fusión (°C)	38,3 ± 0,6	28 – 35 [25]	46
Punto de solidificación (°C)	20,6 ± 0,6	29 - 33 [1]	

El índice de peróxidos es una medida del contenido de peróxidos e hidroperóxidos formados en las etapas iniciales de la oxidación de los lípidos, para la grasa de almendra de mango de la variedad Alphonso (*M. indica* L.) se obtuvo un valor promedio de 7,5 meqO₂/Kg, este índice que refleja el grado de autooxidación de los compuestos no saturados debe ubicarse para los aceites frescos por debajo de 10 meqO₂/Kg de aceite, tal como lo reporta Kittiphoom & Sutasinee, (2013) [25]. Según Álvarez, (2004) [26] para la variedad Manila el índice de peróxido es de 7,23 meqO₂/Kg; el cual resulta ser un valor aproximado al obtenido para la variedad Alphonso, igualmente señala valores despreciables de índice de peróxidos para la grasa de cacao. Las normas Covenin 69:2000 [27] sobre índice de peróxidos para grasas vegetales comestibles, establecen un valor de 2 meqO₂/Kg en planta y de 5 meqO₂/Kg en el mercado.

El valor observado en el presente estudio para el índice de yodo fue de 40,6 % que está dentro de los límites para la grasa de cacao referidos en la Tabla 2, la grasa de mango es un producto estable lo que permite su uso como sustituto de la grasa de cacao. Los valores altos de índice de yodo revelan una menor resistencia a la oxidación conduciendo a menor vida útil y baja estabilidad del producto, según lo indica Kittiphoom, & Sutasinee, (2013). [25]

Los valores significativos del índice de saponificación de la grasa de la almendra de mango sugieren su uso en la fabricación de champú, jabones

y cremas cosméticas [28].

Según las normas Covenin 69:2000 [27] el valor máximo de residuo insaponificable es de 1,5 % para las grasas, en los análisis realizados sobre la grasa de almendra de mango se obtuvo un valor de 1,02 % (Tabla 2), el cual está por debajo del límite establecido, lo que lo califica a la grasa de almendra de mango de la variedad Alphonso (*M. indica* L.) como apta para el consumo humano. Nzikou y col., (2010) [23] muestra un residuo insaponificable de 4,35 % para variedades del Congo. Por su parte, Abdalla y col., (2007) [4] reportó un valor de 2,78 % para las variedades Zebda, Succary y Balady; el valor obtenido para la variedad Alphonso resulta ser menor a los reportados para otras variedades de mango, lo que implica que esta variedad posee menor cantidad de residuo insaponificable o compuestos que no reaccionan con los hidróxidos.

El índice de Hehner expresa el porcentaje de ácidos grasos insolubles en agua más el residuo insaponificable en una grasa, a partir de los análisis realizados a la almendra de mango de la variedad Alphonso el promedio obtenido en las muestras para este índice fue de 82,9 % (Tabla 2) estando en el rango de los valores de la grasa de cacao.

La temperatura de fusión para la grasa de almendra de mango de la variedad Alphonso (*M. indica* L.) fue de 38,3 °C (Tabla 2) ligeramente superior a la temperatura corporal cuyo valor es de 37,5 °C lo que facilita la fusión de esta grasa en la boca. Este valor es semejante a los puntos de fusión

de grasa de la almendra de mango encontrados para las variedades Manila, Ataulfo y Haden, de 37,5 °C; 38,4 °C y 36,4 °C respectivamente, tal y como reporta Bustamante y col., (2008) [10]. Estos valores podrían asociarse a las estearinas, como lo demuestran algunos autores a partir del perfil de ácidos grasos, estableciendo que la grasa del mango coincide con las propiedades de la manteca de cacao y puede emplearse como sustituto de ésta. En la fabricación de los chocolates es muy importante el punto de fusión de la grasa que se utiliza debido a que deben fundirse a una temperatura menor a la temperatura corporal, razón por la cual al comer un chocolate este se derrite en la boca.

En la Tabla 2, el valor obtenido del punto de solidificación refleja un promedio de 20,6 °C mucho menor al correspondiente a la manteca de cacao cuyo valor oscila entre 29–33 °C, esta diferencia se debe a la mezcla y composición de ácidos grasos presentes en cada tipo de grasa, ya que, los puntos de solidificación de cada ácido graso junto con la cantidad de cada uno de ellos presentes en la grasa contribuyen al punto de solidificación final característico.

Caracterización del almidón obtenido de la almendra de mango. En la Tabla 3 se resumen una serie de parámetros característicos del almidón extraído de la almendra de mango de la variedad Alphonso. El rendimiento de extracción fue bajo (14,6 %) si se compara con el 72,5 % obtenido por Cavalcanti y col., (2012) [29] para la variedad Espada y con el rendimiento de extracción alcanzado por Silva y col., (2013) [30] de 59,82 % en mango de la variedad Tommy Atkins. El Saadany y col., (1980) [31] señalan un rendimiento de obtención del almidón más cercano al obtenido en el presente estudio. El método de extracción y la variedad del mango pueden ser determinantes en los valores de rendimiento de extracción, la pureza y el color del almidón obtenido.

TABLA 3

Parámetros característicos del almidón proveniente de la almendra de mango, variedad Alphonso.

Parámetro evaluado	Valor promedio ^(b)
Rendimiento de extracción (%)	14,6 ± 3,0
Capacidad de retención de agua (%)	94,5 ± 2,1
Índice de solubilidad (g/g)	0,47 ± 0,15
Poder de hinchamiento (g/g)	19,53 ± 0,02
pH	5,3 ± 0,2
Contenido de Amilosa (%)	32,0 ± 0,4

^(b) Todos los valores fueron medidos por triplicado mostrando el valor promedio ± desviación estándar.

La capacidad de retención de agua se muestra en la Tabla 3. Este parámetro está relacionado con propiedades inherentes al almidón tales como tamaño, forma, características conformacionales, factor estérico, balance hidrofílico e hidrofóbico de la molécula de almidón, así como compuestos asociados a éste como lípidos y proteínas, otros factores no menos importantes se relacionan con las propiedades del sistema y el ambiente fisicoquímico [32]. Valores porcentuales de capacidad de retención de agua similares han sido reportados para las variedades Kuppi y Totapurri y en menor magnitud a los obtenidos en las variedades Langra y Dashehari (Kaur y col., 2004) [11].

El índice de solubilidad (Tabla 3) resultó muy elevado (0,47 g/g), el cual podría atribuirse a los fuertes enlaces que se establecen entre el almidón y el agua permitiendo alcanzar valores significativos. El valor reportado en el presente trabajo es tres veces superior al señalado para las cuatro variedades estudiadas por Kaur y col., (2004) [11]. En cuanto al poder de hinchamiento (Tabla 3), el valor obtenido puede ser catalogado como moderado si se establece la clasificación sugerida por Schoch & Maywald, (1968) [33], esto significa que tiene una fragilidad intermedia al ser sometido a cizallamiento.

El poder de hinchamiento y el índice de solubilidad comúnmente están ligados entre sí debido a los enlaces que se establecen entre el almidón y el agua durante los procesos de hinchamiento del gránulo. Algunos autores señalan que las proteínas y lípidos aún presentes en el almidón extraído pueden interactuar con la amilosa y tener influencia directa sobre los valores de solubilidad y poder de hinchamiento.

El contenido de amilosa reportado en la Tabla 3 fue de 32 %. Este valor es similar al reportado por Abd-Allah y col., (1974) [34]. Los altos valores de amilosa se relacionan con los procesos de retrogradación.

La formación de una red tridimensional del polímero de amilosa da rigidez al gel formado después de haber sido alcanzada la temperatura de gelatinización y posteriormente llevarse a cabo el enfriamiento, esto es de suma importancia para aplicaciones alimenticias.

Morfología de los Gránulos de almidón obtenidos de la almendra de mango variedad Alphonso. En la Fig. 3. se muestran cuatro micrografías con magnificaciones de 1500X, 5000X y 20000X. Para las micrografías de magnificación 1500X y 5000X se observan claramente dos formas

básicas presentes en los gránulos de almidón, unas con formas ovoideas y otras elipsoides. Se evidencian tamaños heterogéneos con valores promedios de 18,84 μm de ancho y 11,84 μm de largo. Los tamaños de gránulo son similares a los obtenidos para el almidón de maíz de 5 a 25 μm y los de yuca 5 a 35 μm [35]. Similitudes en cuanto a forma y tamaño han sido reportadas por Kaur y col., (2004)

[11], en variedades de mango de la India. En las dos micrografías de magnificación 20000X se pueden distinguir superficies principalmente irregulares o rugosas. Fannon y col., (1992) [36] señalan que estas rugosidades pudieran aumentar la reactividad de los gránulos de almidón al ser sometidos a tratamientos químicos, en este caso una fracción del almidón es más propensa a procesos de hidrólisis.

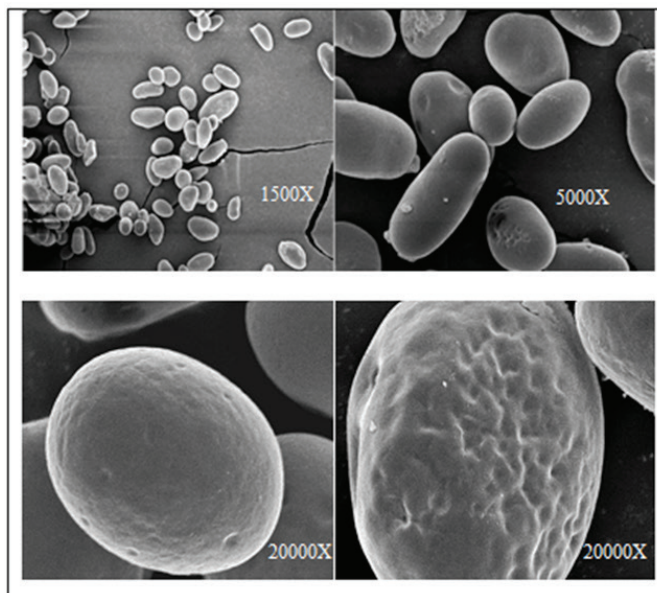


Fig. 3. Micrografía electrónica de gránulos de almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (*Mangifera indica* L).

Reología del almidón extraído de la almendra de Mango. En la Fig. 4 se muestran los módulos de almacenamiento (G') y pérdidas (G'') en función de la temperatura a una tasa de calentamiento de 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

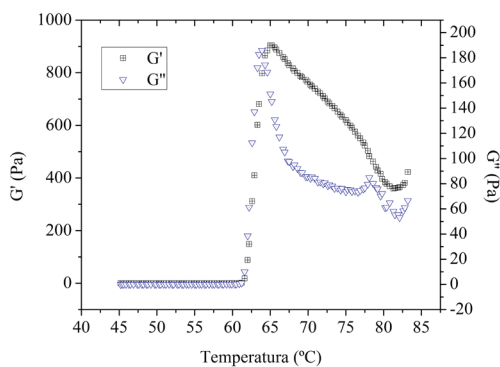


Fig. 4. Módulo de almacenamiento (G') y de pérdidas (G'') para el análisis reológico del almidón de mango Variedad Alphonso. Tasa de calentamiento 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$

Se observa claramente un incremento súbito de los valores de los módulos G' y G'' con la temperatura a partir de los 62,5 $^{\circ}\text{C}$, hasta alcanzar un valor de $G'_{\text{max}}=900$ Pa a una temperatura de 65 $^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, este valor representa la temperatura de gelatinización (T_g). Comportamientos similares han sido obtenidos para el almidón de arroz por Ahmed y col., (2008) [37], en el que el módulo G' se incrementa abruptamente producto de la formación de una red tridimensional causada por la lixiviación de la amilosa y la fuerte interacción de los gránulos de almidón hinchados [38].

La T_g del almidón de mango de la variedad Alphonso es menor a la reportada para el almidón de arroz y de algunos cereales, su comportamiento pudiera relacionarse con el contenido de amilosa presente en el almidón de mango variedad Alphonso. Las bajas temperaturas de formación de geles son favorables desde el punto de vista de consumo energético, representando una ventaja industrial para la formación de geles viscosos y texturas

menos granuladas, esto último, muy adecuado en la elaboración de sopas, salsas y aderezos [39]. El descenso de los valores de G' y G'' después de la T_g indica el rompimiento o desintegración de los gránulos de almidón y la formación de una matriz dispersa en el medio acuoso una vez que ha colapsado el gel.

Kaur y col., (2004) [11] realizaron análisis reológicos para cinco variedades de mango proveniente de la India mostrando valores de módulos G' y G'' muy superiores a los obtenidos en el presente estudio, la discrepancia depende de múltiples factores entre los que pueden mencionarse: contenido de amilosa, tasa de calentamiento, concentración de la suspensión, entre otros.

CONCLUSIONES

El rendimiento en la grasa de la almendra del mango obtenido es atractivo al compararlo con el de los cereales, además de provenir de una fuente de desecho. En la caracterización de la grasa de la almendra de mango, los parámetros más resaltantes analizados fueron: el índice de saponificación, el índice de yodo y la temperatura de fusión cuyos valores indican la posibilidad del uso de esta grasa en la industria alimenticia. El porcentaje de extracción del almidón de la almendra de mango variedad Alphonso es bajo respecto a otras variedades. Los gránulos de almidón obtenidos presentan superficies irregulares, así como heterogeneidad respecto a su tamaño siendo similares al almidón de maíz y yuca. El bajo valor de T_g (evaluado por la reología del almidón) favorece la formación de geles con bajo requerimientos energéticos y con posibles aplicaciones en la industria de alimentos.

AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros Ronald Mercado y Leidy Rico por la colaboración prestada en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Aular J, Casares M. (2011). Venezuela fruit production. Rev Bras Frutic. 2011; 33(SPE1): 187-198.
 [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Production. [Página Web] 2011 [acceso: 27 de abril de 2011]. Disponible en: <http://FAO.fao.org/site/339/default.aspx>

[3] Cañizares Ch AE, Bonafine O, Laverde D. Manejo postcosecha del cultivo de mango en el oriente de Venezuela. INIA Divulga (Venezuela). 2006; 9: 43-46.

[4] Abdalla AE, Darwish SM, Ayad EH, El-Hamahmy, RM. Egyptian mango by-product 1. Compositional quality of mango seed kernel. Food Chem. 2007; 103(4): 1134-1140.

[5] Santana-Méridas O, González-Coloma A, & Sánchez-Vioque R. Agricultural residues as a source of bioactive natural products. Phytochem Rev. 2012; 11(4): 447-466.

[6] Muchiri DR, Mahungu SM, Gituanja SN. Studies on mango (*Mangifera indica*, L.) kernel fat of some Kenyan varieties in Meru. J Am Oil Chem Soc. 2012; 89(9): 1567-1575.

[7] Zein RE, El-Bagoury AA, Kassab HE. Chemical and nutritional studies on mango seed kernels. J Agr Sci. 2005; 30: 3285-3299.

[8] Solís-Fuentes JA, Durán-de-Bazúa MC. Mango seed uses: thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. Bioresour Technol. 2004; 92(1): 71-78.

[9] Sandhu KS, Lim ST. Structural characteristics and *in vitro* digestibility of mango kernel starches (*Mangifera indica* L.). Food Chem. 2008; 107(1): 92-97.

[10] Bustamante S, Vilchis-Martínez G, Alvarez-Toledano C, Trejo-Márquez MA. Caracterización del aceite obtenido de almendras de diferentes variedades de mango y su aplicación como sustituto de manteca de cacao en rellenos y coberturas de chocolate. [revista en internet] 2008 [acceso: 12 de diciembre de 2014]. Disponible en: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/>

[11] Kaur M, Singh N, Sandhu KS, Guraya HS. Physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.). Food Chem. 2004, 85(1): 131-140.

[12] García-Magaña ML, García HS, Bello-Pérez LA, Sáyago-Ayerdi SG, de Oca MM. Functional properties and dietary fiber characterization of mango processing by-products (*Mangifera indica* L., cv Ataulfo and Tommy Atkins). Plant Foods Hum Nutr. 2013; 68(3): 254-258.

[13] Velan M., Krishnan MRV, Lakshmanan CM. Conversion of mango kernel starch to glucose syrups by enzymatic hydrolysis. Bioprocess Eng. 1995; 12(6): 323-326.

[14] Kabuki T, Nakajima H, Arai M, Ueda S,

Kuwabara Y, Dosako SI. Characterization of novel antimicrobial compounds from mango (*Mangifera indica* L.) kernel seeds. *Food Chem.* 2000; 71(1): 61-66.

[15] AOAC (1990). Official methods of analysis (15th ed.). Washington, DC: Association of official Agriculture Chemists.

[16] Comisión venezolana de normas industriales (Covenin). Aceites y grasas vegetales. Determinación del índice de peróxidos. *Fondonorma.* 2001; Norma N° 508: 1-5.

[17] Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VH, Griffin, EL. Roll and extrusion – cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today.* 1969; 14(11): 372-376.

[18] Jane J, Chen, YY, Lee LF, McPherson AE, Wong KS, Radosavljevic M, Kasemsuwan T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch I. *Cereal Chem.* 1999; 76(5): 629-637.

[19] Elegbede JA, Achoba II, Richard H. Nutrient composition of mango (*Mangifera indica*) seed kernel from Nigeria. *J Food Biochem.* 1995; 19(5): 391-398.

[20] Onimawo IA, Oteno F, Orokpo G, Akubor PI. Physicochemical and nutrient evaluation of African bush mango (*Irvingia gabonensis*) seeds and pulp. *Plant Foods Hum Nutr.* 2003; 58(3): 1-6.

[21] Dhingra S, Kapoor AC. Nutritive value of mango seed kernel. *J Sci Food Agric.* 1985; 36(8): 752-756.

[22] Kumar D, Singh PK. Effects of feeding mango seed kernel on performance, carcass characteristics and cost of feeding in broiler starter. *Indian J Poultry Sci.* 2010; 45(1): 46-49.

[23] Nzikou JM, Kimbonguila A, Matos L, Loumouamou B, Pambou-Tobi NPG, Ndangui CB, et al. Extraction and characteristics of seed kernel oil from mango (*Mangifera indica*). *Res J Environ Earth Sci.* 2010; 2(1): 31-35.

[24] Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. *Food Chemistry.* 4ta ed. Berlín: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2009. p. 675.

[25] Kittiphoom S, Sutasinee S. Mango seed kernel oil and its physicochemical properties. *IFRJ.* 2013; 20(3): 1145-1149.

[26] Álvarez F. Obtención, caracterización y optimización del proceso de extracción del aceite de la semilla de mango. [Tesis Licenciatura]. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.: Dirección General de Bibliotecas UNAM; 2004.

[27] Comisión venezolana de normas industriales (Covenin) Grasas vegetales comestibles o mantecas vegetales comestibles. *Fondonorma.* 2000; Norma N° 69: 1-9.

[28] Fahimdanesh M, Bahrami ME. Evaluation of Physicochemical Properties of Iranian Mango Seed Kernel Oil (Resumen). 2nd International Conference on Nutrition and Food Sciences IPCBEE. 2013. Vol. 53. Singapore. p. 44-49.

[29] Cavalcanti, MT, Silva VC, da Costa TS, Florêncio IM, Florentino ER. Obtenção do amido do endocarpo da manga para diversificação produtiva na indústria de alimentos. *Rev Verde.* 2012; 6(5): 80-83.

[30] Silva GA, Cavalcanti MT, Almeida MC, Araújo ADS, Chinelate GCB, Florentino ER. Utilização do amido da amêndoa da manga Tommy Atkins como espessante em bebida láctea. *RBEAA.* 2013; 17(12): 1326-1332.

[31] El Saadany R. MA, Foda YH, El Saadany FM. Studies on Starch Extracted from Mango Seeds (*Mangifera indica*) as a New Source of Starch. *Starch-Stärke.* 1980; 32(4): 113-116.

[32] Shimelis EA, Meaza M, Rakshit S. Physico-chemical properties, pasting behavior and functional characteristics of flours and starches from improved bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Agric Eng Int.* 2006; 8: 1-19.

[33] Schoch TJ, Maywald EC. Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chem.* 1968; 45(6): 564-573.

[34] Abd-Allah MA, Foda YH, Hamed MGE. Characteristics and “Fodal” - Factor of Mango Seed Kernel Starch. *Starch-Stärke.* 1974; 26(12): 426-433.

[35] Badui Dergal S. *Química de los alimentos.* 4ta ed. México: Editorial Pearson Educación; 2006. pp. 84-88.

[36] Fannon JE, Hauber RJ, BeMiller JN. Surface pores of starch granules. *Cereal Chem.* 1992; 69(3): 284-288.

[37] Ahmed J, Ramaswamy HS, Ayad A, Alli I. Thermal and dynamic rheology of insoluble starch from basmati rice. *Food Hydrocoll.* 2008; 22(2): 278-287.

[38] Hsu S, Lu S, Huang C. Viscoelastic changes of rice starch suspensions during gelatinization. *J Food Sci.* 2000; 65(2): 215-220.

[39] Espinosa V. Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) [Tesis Maestría]. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Bióticos. México, Morelos; 2008.