

Physiochemical characterization and technofunctional of starches of yam (*Dioscorea spp*)

Pérez Mario, M.Sc. Ingeniería industrial¹, Paternina Ana, M.Sc. Ciencias Agroalimentarias², Romero Yaneth, M.sc, Finanzas³, Salgado Rodrigo, Phd Química⁴.

¹Corporación universitaria del Caribe CECAR, Sincelejo-Colombia, mario.perez@cecar.edu.co, marfraperez@gmail.com

² Universidad de Sucre, Sincelejo-Colombia, anapaterninac@gmail.com; ³ Universidad de Sucre, Sincelejo-Colombia, yaneth.romero@unisucre.edu.co; ⁴Corporación universitaria del Caribe CECAR, Sincelejo-Colombia, rodrigo.salgadocecar.edu.co

Abstract– *The tubers of yam, are the raw materials of starch which is characterized by its high starch content, with great potential in the food industry. In this work were characterized physico-chemical and technofunctional starches made of yam (Dioscorea spp.) to evaluate their potential use in the food industry. The starches yams are characterized by their low-fat content and high amylose content in relation to other tubers.*
Keywords-Amylose, Structure, Tuber, Variety, Viscosity

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.164>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

Caracterización Físicoquímica y Tecno-funcional de Almidones de Ñame (*Dioscòrea* spp)

Pérez Mario, M.Sc. Ingeniería industrial¹, Paternina Ana, M.Sc. Ciencias Agroalimentarias², Romero Yaneth, M.sc, Finanzas³, Salgado Rodrigo, Phd Química⁴.

¹Corporación universitaria del Caribe CECAR, Sincelejo-Colombia, mario.perez@cecar.edu.co, marfraperez@gmail.com

²Universidad de Sucre, Sincelejo-Colombia, anapaternina@gmail.com; ³ Universidad de Sucre, Sincelejo-Colombia, yaneth.romero@unisucra.edu.co; ⁴Corporación universitaria del Caribe CECAR, Sincelejo-Colombia, rodrigo.salgadocecar.edu.co

Resumen— *Los tubérculos de ñame, son materias primas amiláceas caracterizadas por su alto contenido de almidón, con gran potencial en la industria alimentaria. En este trabajo se caracterizaron físicoquímica y tecno-funcionalmente almidones nativos de ñame (Dioscòrea spp.) para valorar su potencial uso en la industria alimentaria. Los almidones de ñame se caracterizaron por su bajo contenido de grasa y alto contenido de amilosa en relación a otros tubérculos. Los almidones extraídos de la variedad Dioscòrea alata presentaron mayor tendencia a absorber agua, solubilizarse, mayor temperatura de pasta y estabilidad y menor tendencia a la retrogradación, mientras que el rotundata generó una menor sinéresis y mayor viscosidad. Evidenciando sus propiedades para los almidones de ñame criollo y diamante 22, estos pueden ser utilizados como aditivos en alimentos que requieran mantener la viscosidad estable durante períodos de calentamiento prolongado y el de espino podría ser empleado como espesante producto del desarrollo de una mayor viscosidad durante el calentamiento y posterior enfriamiento.*

Palabras Claves— *Amilosa, estructura, tubérculo, variedad, viscosidad.*

I. INTRODUCCIÓN

El ñame (*Dioscòrea* spp.) es un cultivo característico de las regiones tropicales y países en vías de desarrollo, presenta mayores producciones en África, Caribe, Asia y Oceanía, donde se establece como un cultivo de gran importancia socioeconómica al ser la principal fuente de empleo e ingresos en muchas zonas rurales; además de ser una excelente fuente alimentaria por su alto aporte energético y proteico. De los países de América Latina y el Caribe que contribuyen a la producción de ñame, Colombia se destaca como el principal productor con 363.036 t. [1], centrándose la mayor producción en la costa Atlántica, especialmente en los departamentos de Sucre, Córdoba y Bolívar aportando más del 90% de la producción nacional, pero no se evidencia un aprovechamiento agroindustrial de este tubérculo [2].

El tubérculo es cultivado por pequeños y medianos productores en las áreas rurales con una mayor inclinación hacia la siembra de la variedad espino (*Dioscòrea rotundata*), ya que su pulpa es firme y de color blanco, además se cultiva en pequeñas cantidades las variedades diamante 22 y criollo (*Dioscòrea alata*), las cuales son vendidas en fresco a acopiadores locales quienes lo distribuyen a los exportadores y comercializadores de la zona que finalmente lo transportan

hacia los puntos de venta donde el producto es adquirido por el consumidor final, lo que revela su nulo aprovechamiento y valor agregado industrial a esta materia prima [2].

El ñame se caracteriza por su alto contenido de almidón, este componente difiere entre especies vegetales y se compone de amilosa y amilopectina, la proporción de estos dos polímeros y su organización física dentro de la estructura granular del almidón confieren propiedades físicoquímicas y tecno-funcionales diferenciales al resto de almidones [3]. Además, el almidón de ñame ha sido reportado como fuente alternativa a los almidones comerciales, debido a que presenta ciertas propiedades tecno-funcionales deseables, entre las cuales se encuentra su gran capacidad para mantener su viscosidad estable a altas temperaturas y a bajos valores de pH [4]. También, se ha informado que posee un bajo contenido de lípidos (menores del 0,5%), lo cual resulta beneficioso, ya que la presencia de estos forman un complejo con la amilosa, la cual tiende a reprimir ciertas propiedades como el hinchamiento y la solubilización de los gránulos necesitando temperaturas altas (>125 °C) para romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa [5].

Teniendo en cuenta las bondades que ofrece el almidón de ñame, una alternativa de aprovechamiento del tubérculo sería la extracción de almidón, el cual se ha convertido en uno de los aditivos alimentarios de mayor demanda y uso a nivel mundial, por su bajo costo y diversidad de aplicaciones como constituyente macro en muchos productos, tales como salsas [6], yogures agitados [7] y geles de surimi [8].

Por otro lado, el almidón de ñame podría constituirse en una alternativa a la actual demanda, dado que la mayor producción se genera a partir del maíz y la papa, materias primas de gran uso a nivel industrial. En ese sentido, la extracción de almidón a partir de tubérculos de ñame, podría ser una manera de generar valor agregado a dicho cultivo jalonado el desarrollo del sector agrícola en los departamentos de Sucre, Córdoba y Bolívar. Así, el objetivo principal de esta investigación fue caracterizar físicoquímica y tecno-funcionalmente almidones extraídos a partir de tubérculos de ñame.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materia Prima

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.164>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”, 19-21 July 2018, Lima, Peru.

Los tubérculos de ñame de las de las variedades espino (*Dioscorea rotundata*), criollo y diamante 22 (*Dioscorea alata*), fueron suministradas por agricultores del departamento de Sucre de la región Sabanas y Montes de María. La extracción de los almidones nativos de ñame se realizó a partir de los tubérculos crudos, utilizando el procedimiento modificado por Ref. [9].

B. Caracterización Fisicoquímica de Tubérculos y Almidones de Ñame

Composición proximal y pH: el análisis de los tubérculos y los almidones de ñame se realizó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la Ref. [10], para determinar humedad (método 925.10), proteína bruta (método 920.87), grasa bruta (método 920.85), ceniza (método 923.03), fibra bruta (método 920.86) y pH (método 943.02). El porcentaje de carbohidratos totales (CHOS) fue calculado sumando los análisis anteriores por la diferencia de 100, según la “ecuación (1)”.

$$\%CHOS = 100 - \%(\text{Humedad} + \text{Grasa} + \text{proteína} + \text{Ceniza} + \text{Fibra}) \quad (1)$$

Contenido de almidón: se determinó a los almidones extraídos por hidrólisis enzimática siguiendo el procedimiento de Ref. [11]. El porcentaje de almidón se calculó de acuerdo a las siguientes “ecuaciones (2), (3) y (4)”:

$$\%DNS = \text{Concentracion AR} * 0,125 \quad (2)$$

$$\% \text{ Almidon en base humeda} = \frac{\%DNS * 0,9 * 100}{\text{Peso de la muestra}} \quad (3)$$

$$\% \text{ Almidon en base seca} = \frac{\% \text{ almidon base humeda} * 100}{100 - \% \text{ humedad almidon}} \quad (4)$$

Amilosa: El contenido de amilosa de las muestras de almidón (100 mg) fue analizado aplicando el método colorimétrico de yodo estandarizado, siguiendo la Ref. [12]. La absorbancia de las muestras se midió a 620 nm empleando un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Evolution 60S, USA).

Amilopeptina: El contenido de amilopeptina de los almidones se calculó por diferencia de 100% del contenido de amilosa mediante colorimetría [13].

C. Caracterización Tecno-funcional de Almidones de Ñame

Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH): Se siguió la metodología Ref. [14] con algunas modificaciones. Se depositó 1 g de almidón en base seca en un tubo de centrifuga previamente tarado. A este tubo se le adicionaron 25 mL de agua destilada, precalentada a 60 °C. La suspensión fue colocada en un baño María de acuerdo a la temperatura en evaluación durante 30 min, y se agitó manualmente a los 10 min de iniciado el calentamiento. Seguidamente fue llevada a

centrifugación a 2500 rpm durante 15 min. Luego, se extrajo el sobrenadante (almidón soluble) y se determinó el volumen total (V). Posteriormente, una muestra de 10 mL del sobrenadante fue depositada en una caja de Petri previamente pesada y sometida a secado en un horno a 70 °C durante 16 h. Se registró el peso de la caja de Petri con el material soluble y del tubo de centrifuga que contenía el gel (almidón insoluble). Los valores de IAA, ISA y PH se estimaron a partir de las siguientes “ecuaciones (5), (6) y (7)”:

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (5)$$

$$ISA = \frac{\text{Peso soluble (g)} \times \frac{V}{10}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (6)$$

$$pH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)} - \text{Peso soluble (g)}} \quad (7)$$

Capacidad de retención de agua (CRA): Se siguió el método 88.04 de la Ref. [15]. En una probeta de 10 mL previamente pesada se depositó 1 g de muestra y se le adicionaron 10 mL de agua destilada, agitándola con suavidad para homogenizar. Luego se mantuvo en reposo a temperatura ambiente por 24 h. Posteriormente, el sobrenadante fue retirado con una pipeta de 5 mL, el agua remanente se drenó con papel absorbente. Finalmente, se pesó la probeta con el precipitado. La CRA se expresó como los gramos de agua retenida por gramo de sólido de acuerdo a la “ecuación (8)”:

$$\%CRA = \frac{\text{Masa de agua retenida}}{\text{Masa de la muestra}} \times 100 \quad (8)$$

Capacidad de absorción de agua (CAA): En un tubo de centrifuga graduado previamente pesado se depositó 1 g de muestra y se le adicionaron 10 mL de agua destilada, se agitó con suavidad para homogenizar, se dejó reposar y luego se centrifugó a 3500 rpm durante 15 min. El líquido sobrenadante se decantó y el tubo con el precipitado se drenó invirtiéndolo en ángulo de 45° durante 10 minutos para luego ser pesado [16]. La ganancia en masa es la CAA de la muestra y se calculó de acuerdo a la “ecuación (9)”:

$$CAA = \frac{\text{Masa de agua retenida (g)}}{\text{Masa de la muestra (g)}} \times 100 \quad (9)$$

Solubilidad: Se determinó la solubilidad de acuerdo a la metodología propuesta por Ref. [17]. Se pesó 1 g de muestra y se le adicionaron 100 mL de agua destilada, luego se homogenizó a 5000 rpm por 1 minuto y después a 10000 rpm durante 2 minutos hasta que se solubilizó toda la muestra. Seguidamente se transfirieron 25 mL de la suspensión a tubos de centrifuga y se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 minutos. Se retiró el sobrenadante y se tomó una alícuota de 10 mL de este transfiriéndolos a una caja de Petri previamente

pesada. Finalmente se secó en una estufa a 110 °C por 4 horas y se colocaron en un desecador. Por diferencia de peso se calculó el % de solubilidad de acuerdo a la “ecuación (10)”:

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Gramos de solidos en el sobrenadante} \times 10}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100 \quad (10)$$

Capacidad de absorción de aceite (CAAc): A 1 g de muestra se le añadieron 10 mL de aceite comestible y se agitó en vortex a 2200 rpm durante 30 s para homogenizar las muestras. Luego se centrifugaron a 3500 rpm x por 15 min. Posteriormente se retiró el aceite sobrenadante y se drenó el precipitado invirtiendo los tubos en ángulo de 45° durante 10 min y finalmente se pesaron [18]. Los resultados se expresaron como gramos de aceite retenido por gramo de muestra de acuerdo a la “ecuación (11)”:

$$\text{CAAc} = \frac{\text{Gramos aceite retenido(g)}}{\text{Gramos de la muestra(g)}} \quad (11)$$

Capacidad emulsionante: A 1 g de muestra se le añadieron 25 mL de agua destilada, se agitó y luego se mezcló la suspensión con 25 mL de aceite vegetal en un homogeneizador durante 1 min a 10000 rpm. La emulsión se expresó en términos de porcentaje, como la altura de la capa emulsificada con respecto al total del líquido según “ecuación (12)” [19].

$$\text{Capacidad emulsionante} = \frac{\text{Longitud de la capa emulsificada(cm)}}{\text{Longitud del contenido total del tubo (cm)}} \times 100 \quad (12)$$

Determinación de la resistencia al ciclo congelamiento-deshielo: Se sometieron suspensiones de almidón y harina (al 2% p/v) a calentamiento a una temperatura de 90 °C con agitación constante durante 15 minutos. Una muestra de 10 g de gel, depositada en tubos de centrifuga de polipropileno se almacenó a -5 °C durante 22 horas. Posteriormente, las muestras congeladas fueron colocadas en un baño de agua a 30 °C durante 90 minutos y centrifugadas a 4000 rpm durante 15 minutos. Se determinó la cantidad de agua liberada (líquido sobrenadante) [20]. La sinéresis, se calculó como la cantidad de líquido que se separa del gel, debido a la centrifugación con relación a la masa total del gel que fue centrifugada según “ecuación (13)”.

$$\% \text{Sinéresis} = \frac{\text{Masa de líquido liberado}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (13)$$

Comportamiento de la pasta de almidón en frío y caliente (Viscoamilograma): Para determinar el perfil de viscosidad de las dispersiones de los almidones y la harina, se empleó la técnica propuesta por la Ref. [21]; utilizando un reómetro (Anton Paar, MCR 302, Austria). Dos gramos de muestra en base seca, fueron disueltos en 25 mL de agua destilada en un portamuestra aluminizado, agitando hasta homogenizar la suspensión. La temperatura a 50 °C fue mantenida durante un minuto, luego elevada a 95 °C en 7,5 min, se mantuvo en 95 °C durante 5,0 min, inmediatamente se enfrió a 50 °C en 7,5 min, y finalmente se mantuvo a 50 °C durante 2 min. La

velocidad del husillo (Anton Paar, ST24-2D/2V, Austria) fue de 960 rpm durante los primeros 10 s, permitiendo dispersar uniformemente la suspensión de y luego reducida a 160 rpm para el resto del experimento [22]. Los parámetros evaluados fueron temperatura inicial de pastificación, viscosidad máxima, estabilidad (breakdown) y asentamiento (setback).

D. Análisis estadístico

Se llevó a cabo un diseño completamente aleatorizado (DCA) unifactorial en tres niveles: muestra (almidón espin, almidón criollo y almidón diamante 22). Para establecer el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) ($\alpha=0,05$). Para comparar los valores medios se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey ($\alpha=0,05$). Los experimentos se realizaron por triplicado para cada condición de tratamiento. Los datos experimentales fueron analizados estadísticamente utilizando el software estadístico STATGRAPHICS Centurion XVII.I.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Caracterización Físicoquímica de Tubérculos y Almidones de Ñame

En la Tabla I, se muestra los valores de la composición físicoquímica de las variedades de ñame espin, criollo y Diamante 22, observando que las variedades presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en cuanto a humedad, ceniza proteína, grasa, carbohidratos y pH, sin embargo, con relación al contenido de fibra los genotipos entre sí no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$).

Las tres variedades presentaron mayores contenidos de humedad y carbohidratos, en relación a sus demás componentes físicoquímicos, característica principal de esta especie, catalogándola como una fuente principal de energía. Así mismo, se destacaron por presentar valores mínimos en cuanto al contenido de grasa. Este mismo comportamiento fue evidenciado por Ref. [23] y Ref. [24] en diferentes genotipos de ñame de la variedad *Dioscorea alata*.

TABLA I
COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA^a DE LAS VARIEDADES DE ÑAME ESPINO, CRIOLLO Y DIAMANTE 22

Parámetro	Espino	Criollo	Diamante 22
Humedad (%)	75,27±0,45 ^{a,b}	67,43±0,30 ^c	68,63±0,20 ^b
Ceniza (%)	3,84±0,08 ^b	4,77±0,30 ^a	4,23±0,14 ^b
Proteína (%)	6,99±0,001 ^a	4,53±0,001 ^b	6,98±0,01 ^a
Grasa (%)	0,46±0,03 ^a	0,52±0,03 ^a	0,36±0,04 ^b
Fibra (%)	2,89±0,20 ^a	3,43±0,45 ^a	3,45±0,41 ^a
CHOS (%)	10,53±0,66 ^c	19,31±0,57 ^a	16,34±0,53 ^b
pH	5,91±0,03 ^a	5,62±0,07 ^b	5,81±0,07 ^a

^aValores expresados en base seca

^bLetras diferentes en la misma fila denotan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$), conforme a la prueba de Tukey

El ñame espin presentó el mayor contenido de humedad, siendo estadísticamente significativo con respecto a los ñames

criollo y Diamante 22, y estuvo por encima del rango reportado por Ref. [23] en diferentes genotipos de ñame de la variedad *Dioscòrea alata* (72,36 a 74,65%). Por su parte los valores de humedad de las variedades *Dioscòrea alata* (Criollo y Diamante 22), se encuentran dentro del rango informado en Ref. [24] para la misma variedad (66,22 a 74,99%) y fueron similares al encontrado en Ref. [25] en *Dioscòrea trifida* (68,9%).

En cuanto, al contenido de ceniza, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre las variedades, caracterizándose el ñame criollo con un contenido de ceniza superior a los demás, mientras que entre las variedades espinoso y diamante 22 no hubo diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$). Los valores obtenidos fueron superiores a los encontrados por Ref. [23] y Ref. [24] en diferentes genotipos de ñame de la variedad *Dioscòrea alata* (0,99 a 2,97%) y concuerdan con los reportados en Ref. [26] para ñames de las variedades *Dioscòrea bulbifera* y *trifida* (2,54 a 4,14%).

El menor valor de proteína fue encontrado en la variedad criollo siendo estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) con respecto a espinoso y diamante 22, mientras que estos últimos no presentan diferencias estadísticas entre sí. Los valores registrados para estos fueron similares al rango informado en Ref. [27] para la variedad *Dioscòrea alata* (4,13 a 6,35%), pero fueron superiores a los reportados por Ref. [23] y Ref. [24] en diferentes genotipos de ñame de la variedad *Dioscòrea alata* (1,48 a 2,49%).

La variedad diamante 22 presentó el menor contenido de grasa, y fue estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) con respecto a espinoso y criollo, mientras que estos últimos no presentan diferencias estadísticas entre sí. Los valores registrados para estos fueron similares al rango informado por Ref. [23] en genotipos de ñame de la variedad *Dioscòrea alata* (0,32 a 0,51%) y los obtenidos para espinoso y diamante 22 estuvieron dentro del rango reportado por Ref. [26] para ñames de las variedades *Dioscòrea bulbifera* y *trifida* (0,26 a 0,47%).

En el contenido de fibra no se presentaron diferencias significativas entre las variedades estudiadas, de igual forma, Ref. [23] no reportó diferencias en el contenido de fibra de los genotipos de ñame estudiados reportando mayores valores que los de este estudio con rangos de 3,52 a 3,80%. Por su parte, Ref. [27] y Ref. [24] encontraron diferencias significativas entre los genotipos de *Dioscòrea alata* estudiados.

La variedad criolla se caracterizó por presentar el mayor contenido de carbohidratos, generando diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) con respecto a espinoso y diamante 22. No obstante, los valores obtenidos para el genotipo *Dioscòrea alata* (Criollo y Diamante 22), se encuentran dentro del rango informado en Ref. [23] para la misma variedad (16,46 a 20,25%). Estas variaciones observadas entre las variedades pueden deberse al material genético y sus interacciones con el medio ambiente [28].

En cuanto al pH, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre las variedades, caracterizándose el ñame criollo con el menor valor, siendo diferente a los demás, mientras que entre las variedades espinoso y diamante 22 no hubo diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$). El resultado obtenido con el ñame espinoso fue igual al reportado en Ref. [29] para harina de ñame de la especie *Dioscòrea alata* (5,91). No obstante, todos los datos obtenidos se encuentran dentro del rango aceptado para harinas comerciales, ya que los valores de pH deben ser superiores a 5,6 [30].

Los valores obtenidos a partir de la composición fisicoquímica de los almidones de ñame presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en todos los parámetros evaluados a excepción del contenido de grasa y almidón (Tabla II). En la humedad, el almidón de ñame criollo presentó el mayor valor ($p \leq 0,05$) y el espinoso el menor, lo cual podría estar relacionado con el contenido de humedad de las muestras antes de ser sometidas al proceso de secado. No obstante, todas las muestras evaluadas se encontraron por debajo del porcentaje de humedad recomendado (12%), para alcanzar el equilibrio en productos como los almidones y las harinas, en donde es posible predecir que tendrán una gran estabilidad en el tiempo [31, 32]. Los valores de humedad fueron inferiores a los reportados en Ref. [33] para cinco especies de *Dioscòrea* (11,80 a 12,70%) y fueron superiores a los encontrados por Ref. [34] en diferentes variedades de *Dioscòrea alata* (8,66 a 10,22%).

Los almidones obtenidos a partir de las variedades de ñame espinoso y diamante 22 no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$) en el contenido de ceniza, pero fueron diferentes al de criollo, obteniendo este último el mayor valor, posiblemente asociado a un mayor contenido de minerales y sales inorgánicas [31]. Los valores obtenidos fueron similares a los informados en Ref. [33] para cinco genotipos silvestres de ñame (*Dioscòrea* spp) (entre 0,1 y 0,3%) y a los reportados en Ref. [35], para almidones de diferentes variedades de *Dioscòrea alata* y *esculenta* (entre 0,13 y 0,32%, respectivamente).

TABLA II
COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA^a DE LOS ALMIDONES DE ÑAME ESPINOSO, CRIOLLO Y DIAMANTE 22

Parámetro	Espino	Criollo	Diamante 22
Humedad (%)	10,44±0,10 ^c	11,70±0,14 ^a	11,26±0,14 ^b
Ceniza (%)	0,14±0,008 ^b	0,37±0,02 ^a	0,12±0,02 ^b
Proteína (%)	0,4 ±0,0002 ^a	0,33±0,01 ^b	0,32± 0,03 ^b
Grasa (%)	0,06±0,01 ^a	0,06±0,009 ^a	0,07±0,003 ^a
Fibra (%)	ND ^c	ND	ND
Amilosa (%)	23,60±0,40 ^c	24,99±0,05 ^b	25,72±0,07 ^a
Amilopectina (%)	76,40±0,41 ^a	75,01±0,05 ^b	74,27±0,07 ^c

Almidón (%)	98,53±0,17a	99,08±0,74a	98,72±0,65 a
-------------	-------------	-------------	--------------

^aValores expresados en base seca

^bLetras diferentes en la misma fila denotan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$), conforme a la prueba de Tukey

^cND: No detectado

El almidón espino presentó el mayor valor de proteína siendo estadísticamente diferente ($p \leq 0,05$) al de criollo y diamante 22, mientras que estos no presentaron diferencias. Resultados similares fueron obtenidos por Ref. [34], en diferentes variedades de *Dioscòrea alata* cuyos porcentajes de proteína variaron entre 0,10 y 0,49% y por Ref. [36] en almidones nativo y modificados de la especie *Dioscòrea opposita* (entre 0,12 a 0,31%).

Los almidones no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) en el contenido de grasa, y estuvieron dentro del rango informado en Ref. [34] para cuatro variedades de la misma especie (0,00 a 0,06%). En los almidones analizados no se detectó fibra en su composición, resultados consistentes con los informados en Ref. [34] para cuatro variedades de ñame.

En cuanto al contenido de amilosa, los almidones presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) presentando el mayor valor el diamante 22 y el menor el espino. Asimismo, se evidenciaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre los almidones en el contenido de amilopectina, siendo mayor en el espino y menor en el de diamante 22. La relación amilosa/amilopectina es una característica propia de cada almidón, y su proporción influye sobre sus propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales, determinado la aplicación específica que se puede dar de éste en el desarrollo de un producto [37]. La amilosa se caracteriza porque favorece la retrogradación de sus pastas durante el enfriamiento, ocasionando el indeseable fenómeno de sinéresis, mientras que la amilopectina presenta pastas espesas que no se retrogradan fácilmente al enfriarse [38]. Los resultados obtenidos de amilosa se encontraron dentro del rango reportado en Ref. [35] para *Dioscòrea esculenta* y *alata* (19,98 a 29,29%) y en los informado en Ref. [39] para almidón nativo y modificados enzimáticamente de maíz (23,47 a 28,95%), mientras que los valores de amilopectina son superiores a los informados en Ref. [40] para *Dioscòrea bulbifera* (70,62%).

En cuanto al contenido de almidón, las muestras no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre ellas. No obstante, el contenido de almidón determinado en todas las muestras fue elevado indicando una alta pureza de los almidones obtenidos y fueron superiores a los reportados en Ref. [29] para almidón nativo de la especie *Dioscòrea alata* (94,67%).

C. Caracterización Tecno-funcional de Almidones de Ñame

En la Tabla III se muestran los valores obtenidos de los IAA, PH e ISA de los almidones en estudio, observando que entre las muestras no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,05$) en los valores de IAA y PH. Los valores de IAA y PH fueron superiores a los encontrados por

Ref. [41] en almidón de ñame criollo (1,77 g gel/g muestra para ambos) y espino (1,82 g gel/g muestra para IAA y 1,79 g gel/g muestra para PH), pero inferiores al rango reportado por Ref. [34] en variedades de *Dioscòrea alata* (2,32 a 2,39 g gel/g muestra).

TABLA III
PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES^a DE LOS ALMIDONES DE ÑAME
ESPINO, CRIOLLO Y DIAMANTE 22

Parámetro	Espino	Criollo	Diamante 22
IAA (g/g)	1,98±0,03a ^b	2,00±0,02a	2,03±0,05a
PH (g/g)	1,97±0,03a	2,00±0,02a	2,02±0,05a
ISA (g/g)	0,010±0,003b	0,012±0,008a	0,011±0,004ab
CRA (%)	95,56±0,60a	90,71±0,91b	96,34±0,99a
CAA (g/g)	0,99±0,015b	1,04±0,003a	1,06±0,004a
S (%)	0,36±0,01b	0,87±0,08a	0,86±0,06a
CAAc (g/g)	0,59±0,01c	0,92±0,01a	0,74±0,02b
CE (%)	3,99±0,05b	4,01±0,18b	10,09±0,23a
Sinéresis (%)	3,39±0,62c	30,64±0,05a	4,39±0,24b

^aValores expresados en base seca

^bLetras diferentes en la misma fila denotan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$), conforme a la prueba de Tukey

En el ISA se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) entre las muestras, el almidón obtenido a partir del ñame criollo presentó el mayor valor y fue diferente al espino, quien obtuvo el menor. Las diferencias presentadas, podrían ser debidas al menor contenido de amilopectina detectado en el almidón criollo, ya que se ha planteado la posibilidad de que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo, facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, lo cual podría a su vez incidir en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua [42]. Un comportamiento similar fue evidenciado en Ref. [34], al comparar los ISA de almidones obtenidos a partir de tubérculos de yuca, ñame y papa, presentando los de yuca los mayores valores por tener menor contenido de amilopectina. No obstante, los valores obtenidos de ISA fueron inferiores a los encontrados por Ref. [34] en las variedades de ñame (1,25 a 2,79 g solubles/g muestra).

Los almidones obtenidos a partir de las variedades de ñame espino y diamante 22 presentaron los mayores valores de CRA y fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$) al criollo. No obstante, los resultados obtenidos fueron inferiores a los encontrados por Ref. [36] en almidones nativos y modificados de ñame de la especie *Dioscòrea opposita* (103,83 a 241,92%). Por su parte, en la CAA los almidones obtenidos de la variedad *Dioscòrea alata* (criollo y diamante 22) no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, pero fueron diferentes al espino, quien obtuvo el menor valor y estuvieron dentro del rango informado por Ref. [43] en almidones nativos y modificados de ñame de las especies *Dioscòrea rotundata*, *alata*, *cayenensis* y *domentorum* (0,63 a 1,04 g agua/g almidón). Las variaciones en la capacidad de absorción y retención de agua podrían ser atribuidas a la existencia de proporciones diferentes de regiones cristalinas y amorfas dentro de los gránulos de almidón, ya que los

gránulos con muchas zonas amorfas, débilmente asociadas se espera que absorban mayor cantidad de agua [44].

Los almidones obtenidos de la variedad *Dioscórrea alata* (criollo y diamante 22) no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) entre ellos, en la solubilidad, pero fueron diferentes al espino, quien obtuvo el menor valor, posiblemente asociado a su menor contenido de amilosa [44]. Los valores obtenidos fueron inferiores a los reportados en Ref. [45] para AN de ñame de las variedades *Dioscórrea rotundata* y *cayenensis* (2,77 y 2,29% respectivamente).

En cuanto a la CAAC (Tabla III), se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre las muestras de almidón, siendo mayor en el criollo y menor en el espino. Las diferencias presentadas probablemente se deban a una mayor densidad de residuos lipofílicos en la superficie de sus gránulos [46]. Los resultados obtenidos de CAAC estuvieron dentro del rango reportado por Ref. [45] en almidones nativos y modificados de ñame de las especies *Dioscórrea rotundata*, *alata*, *cayenensis* y *domentorum* (0,43 a 1,05 g aceite/g almidón).

El almidón obtenido a partir de la variedad de ñame diamante 22, se caracterizó por presentar una mayor CE, siendo diferente ($p \leq 0,05$) al de los almidones espino y criollo. Las diferencias presentadas podrían ser debidas a una mayor presencia de mucilago en el almidón diamante 22 [47]; el valor obtenido de CE para dicho almidón estuvo dentro del rango reportado por Ref. [48] en almidones oxidados de yuca (4,67 a 23,70%).

En la sinéresis, se evidenciaron diferencias significativas entre las muestras de almidón ($p \leq 0,05$), presentando el criollo el mayor valor y el espino el menor. Las diferencias presentadas pueden ser debidas a una mayor reorganización de la amilosa en el gel obtenido a partir del almidón criollo, perdiéndose el dominio de las moléculas de agua, las cuales salen fuera del gel [41]. Sin embargo, los valores encontrados fueron inferiores a los reportados por Ref. [49] en almidones nativo de ñame de la variedad *Dioscórrea alata* (67%), pero el del criollo fue mayor que el encontrado en *Dioscórrea esculenta* (28,4%).

En la Tabla IV y Fig. 1 se muestra el comportamiento de la viscosidad en suspensiones de almidones de ñame durante ciclos de calentamiento-enfriamiento, en la cual se observan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en todos los parámetros evaluados. Los almidones obtenidos de la variedad *Dioscórrea alata* (criollo y diamante 22), presentaron mayores temperaturas de gelificación ($p \leq 0,05$), por lo cual requerirán mayor temperatura o tiempo de cocción para iniciar el proceso de absorción de agua, hinchamiento y gelificación que el almidón obtenido de la especie *Dioscórrea rotundata* (espino). Estas diferencias posiblemente se deban al contenido de amilosa encontrada en los almidones. Se ha informado que entre más amilosa posea un almidón, este requerirá de una mayor temperatura para dar inicio al proceso de pastificación,

debido a que el alto grado de orden intragranular dificulta el ingreso de agua al gránulo [50]. La temperatura inicial de pasta del almidón espino se encontró dentro del rango reportado por Ref. [34] en las variedades de ñame *Dioscórrea alata* (75 a 79 °C).

TABLA IV
COMPORTAMIENTO DE LA VISCOSIDAD EN SUSPENSIONES DE ALMIDONES DE ÑAME ESPINO, CRIOLLO Y DIAMANTE 22

Parámetro	Espino	Criollo	Diamante 22
Temperatura inicial de pasta (°C)	78,20±0,10c ^a	83,50±0,20a	81,10±0,10b
Viscosidad máxima (cP)	2220,50±19,50b	1217,50±80,50c	2576,50±102,50a
Estabilidad (breakdown)	252,00±44,00a	80,00 ±16,00b	223,50±87,50ab
Asentamiento (setback)	2106,00±2,00a	692,50±51,50c	1742,00±72,00b

^aLetras diferentes en la misma fila denotan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$), conforme a la prueba de Tukey

En cuanto a la viscosidad máxima, el almidón diamante 22 presentó el mayor valor y fue estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) con respecto a las demás muestras. Posiblemente los gránulos de almidón obtenidos de la variedad diamante 22 tienen mayor tendencia a absorber agua en el proceso de calentamiento y presentan mayor tamaño, lo que los lleva a ocupar un mayor volumen y otorgar una mayor viscosidad [50]. Los valores de viscosidad máxima encontrados para los almidones espino y criollo fueron inferiores a los informados por Ref. [51] para almidones de las mismas variedades (3210,5 cP para espino y 1443 cP para criollo), mientras que la del diamante 22 fue superior a la informada por el mismo autor (1628 cP).

La estabilidad obtenida con el almidón de ñame espino fue estadísticamente diferente ($p \leq 0,05$) con respecto a la alcanzada con el almidón de ñame criollo, presentando este último el valor más bajo de estabilidad, lo cual indica que sus geles son más resistentes al estrés mecánico y térmico. La menor estabilidad de los almidones espino y diamante 22 puede estar asociada a la presencia de una estructura intragranular más débil, lo que origina que sean más frágiles y susceptibles a la ruptura por fuerzas térmicas y mecánicas. En cuanto al asentamiento, el almidón espino presentó el mayor valor ($p \leq 0,05$), lo cual indica que este tiene una mayor tendencia a retrogradar debido al incremento en la viscosidad de las suspensiones durante el enfriamiento [29].

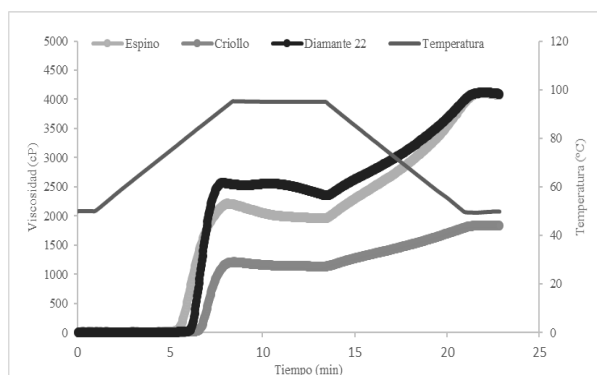


Fig. 1 Viscoamilograma de almidones de ñame.

IV. CONCLUSIONES

Es posible la extracción de almidones de ñame con una alta pureza, dado a su elevado contenido de almidón, bajos contenidos de grasa y proteína. Los almidones obtenidos mostraron excelentes propiedades tecnofuncionales y de pastificación, que resaltan su funcionalidad en diversas matrices alimentarias. Los almidones de ñame diamante 22 y espino podrían ser un excelente espesante producto del desarrollo de una mayor viscosidad durante el calentamiento y posterior enfriamiento. Los gránulos de ñame criollo presentaron una mayor estabilidad pudiendo ser empleados en productos que requieran mantener la estabilidad de suspensiones de los geles durante procesos de cocción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Universitaria del Caribe CECAR, el apoyo económico del proyecto de investigación.

REFERENCIAS

[1] FAOSTAT. 2013. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/home>. Acceso: 30 de Marzo (2015).

[2] Y. Reina, *Documentos de Trabajo sobre Economía Regional Banco de la República – Sucursal Cartagena: El cultivo de ñame en el Caribe colombiano*, 1^{ra} ed., Banco de la República, 2012, pp.1-34.

[3] E. Montes, J. Salcedo, J. Zapata, J. Carmona, y S. Paternina, “Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidón de ñame (D. trifida) utilizando a-amilasa (Termamyl 120 L, Tipo L.)”, *Vitae*, vol. 15, no. 1, pp. 51-60, Mayo 2008.

[4] O. Aluko, and O. Koya, “Some engineering properties of yam setts from two species of yams”, *Journal of Food Engineering*, vol. 76, no. 3, pp. 396-401, October 2006.

[5] E. Pacheco, y N. Techeira, “Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*)”, *Interciencia*, vol. 34, no. 4, pp. 280-285, Junio 2009.

[6] G. Bortnowska, N. Krzemińska, and K. Mojka, “Effects of waxy maize and potato starches on the stability and physicochemical properties of model sauces prepared with fresh beef meat”, *International Journal of Food Science & Technology*, vol.48, no. 12, pp. 2668-2675, July 2013.

[7] C. Lobato, C. Ramírez, E. Vernon, and J. Alvarez, “Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt”, *Journal of Food Engineering*, vol. 131, pp. 110-115, June 2014.

[8] H. Liu, Y. Nie, and H. Chen, “Effect of different starches on colors and textural properties of surimi-starch gels”, *International Journal of Food Properties*, vol. 17, no. 7, pp. 1439-1448, July 2014.

[9] L. Bello, S. Contreras, R. Romero, J. Solorza, y A. Jiménez, “Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano Musa paradisiaca L. (Var. Macho)”, *Agrociencia*, vol. 36, no. 2, pp. 169-180, Febrero 2002.

[10] AOAC International. 2012. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Ed. 19. Editorial Gaithersburg, MD, USA. Official Method. 3000p

[11] A. Bello, “Amilopectina. Caracterización molecular y funcional”, Ph.D, tesis, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato. Guanajuato, México, Jun. 1995.

[12] ISO 6647-1: 2007, 2007. Rice- Determination of amylose content. Part one: Reference method. Geneva, p. 7.

[13] W. Morrison, and B. Laignelet, “An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other Starches”, *Journal of Cereal Science*, vol. 1, no. 1, pp. 19-35, January 1983.

[14] R. Anderson, H. Conway, V. Pheiser, y E. Griffin, “Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking”, *Cereal Science Today*, vol. 14, pp. 4-12, Marzo 1969.

[15] AACC. 2012. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, Methods, 61-02.01 (RVA), 88-04 (WHC). Ed. 11. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

[16] B. Abbey, y G. Ibeh, “Functional properties of raw and heat processed cowpea (*Vigna unguiculata*, Walp) flour”, *Journal of Food Science*, vol. 53, no. 6, pp. 1775-1777, November 1988.

[17] J. Eastman, and C. Moore, “Cold water soluble granular starch for delled food compositions”, *Patent*, vol. 4, pp. 465-702, Aug. 1984.

[18] L. Beuchat, “Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 25, no. 2, pp. 258-261, March 1977.

[19] K. Yasumatsu, et al, “Studies on the functional properties of food-grade soybean products: Part I. Classification of soybean products by their chemical constituents and protein properties”, *Agricultural and Biological Chemistry*, vol. 36, no. 4, pp. 523-543, July 1972.

[20] H. Sánchez, F. Solorza, G. Mendez, O. Paredes, and L. Bello, “Isolation and partial characterization of Okenia (*Okenia hypogaea*) starch”, *Starch*, vol. 54, pp. 193-197, December 2002.

[21] AACC. 2000. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. Ed. 10. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

[22] L. Montoya, G. Giraldo, y A. Lucas, “Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta”, *Vitae*, vol. 19, no. 1, pp. 346-348, Febrero 2012.

[23] D. Vergara, “Caracterización fisicoquímica, sensorial e instrumental de nuggets de ñame utilizando la deshidratación osmótica como pretratamiento en el proceso fritura por inmersión”, MSc, tesis, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia, Agt. 2015.

[24] A. Alvis, C. Vélez, y M. Rada-Mendoza, “Composición de ñames frescos cultivados en Colombia y sometidos a freído por inmersión”, *Información Tecnológica*, vol. 19, no. 1, pp. 3-10, Enero 2008a.

[25] H. Acuña, “Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*Dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados” MSc, tesis, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, Sep. 2012.

[26] A. Rincon, C. Araujo, F. Carrillo, e E. Martín, “Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las Dioscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbifera*) e mapuey (*Dioscorea trifida*)”, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 50, no. 3, pp. 286-290, Maio 2000.

[27] C. De Paula, M. Pirozi, M. Puiatti, J. Borges, y A. Durango, “Características fisicoquímicas y morfológicas de rizóforos de inhame (*Dioscorea alata*)”, *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 10, no. 2, pp. 61-70, 2012.

[28] C. Feniman, “Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) dos cultivares 576-70 quanto à cocção, composição química e

- propiedades do amido em duas épocas de colheita”, MSc, Tese, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil, Dez. 2004.
- [29] N. Techeira, “Formulación y evaluación de productos alimenticios dirigidos al adulto mayor, a base de almidones modificados y harina de ñame (*Dioscörea alata*)”, Ph.D. tesis, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela, Dic. 2008.
- [30] E. Marcano, y M. Marcano, “La harina de ñame (*Dioscorea alata*), un ingrediente potencial en la elaboración de productos de panadería” *Saber*, vol. 23, no. 2, pp. 134-140, Abril 2011.
- [31] E. Pérez, y E. Pacheco “Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de *Ipomoea batatas* Lam”, *Acta Científica Venezolana*, vol. 56, no. 1, pp. 9-15, Mayo 2005.
- [32] N. Techeira, L. Sívoli, B. Perdomo, A. Ramírez, y F. Sosa, “Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscörea alata*), cultivadas en Venezuela”, *Interciencia*, vol. 39, no. 3, pp. 191-197, Febrero 2014.
- [33] E. Pérez, et al, “Isolated starches from yams (*Dioscorea* sp) grown at the Venezuelan Amazons: Structure and functional properties”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 98, no. 1, pp. 650-658, October 2013.
- [34] A. Alvis, C. Vélez, H. Villada, y M. Rada-Mendoza, “Análisis fisicoquímico y morfológico de almidones en ñame, yuca, papa y determinación de la viscosidad de pastas”, *Información Tecnológica*, vol. 19, no. 1, pp. 19-28, Marzo 2008b.
- [35] L. Jayakody, R. Hoover, Q. Liu, and E. Donner, “Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 69, no. 1, pp. 148-163, May 2007.
- [36] H. Huang, et al, “Preparation, physicochemical characterization and biological activities of two modified starches from yam (*Dioscorea Opposita* Thunb.)”, *Food Hydrocolloids*, vol. 55, pp. 244-253, April 2016.
- [37] R. Ahmed, L. Zhongyi, K. Matthew, and A. Stephen, Ed., *Genetically modified starch: state of art and perspectives: Starch polymers: from genetic engineering to green applications*. USA: Elsevier, 2014, vol. 1.
- [38] R. Hoover, “Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 49, no. 4, pp. 425-437, September 2002.
- [39] Y. Benavent, and C. Rosell, “Comparison of porous starches obtained from different enzyme types and levels”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 157, pp. 533-540, February 2017.
- [40] C. Araujo, A. Rincón, y F. Padilla, “Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L.”, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 54, no. 2, pp. 241-245, Septiembre 2004.
- [41] J. Salcedo, J. Hernández, and A. Fernández, “Effect of the acetylation process on native starches of yam (*Dioscorea* spp.)”, *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, vol. 69, no. 2, pp. 7997-8006, June 2016.
- [42] J. Hwang and I. Kokini, “Contribution of the side branches to rheological properties of pectins”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 19, no. 1, pp. 41-50, April 1992.
- [43] K. Falade, and O. Ayetigbo, “Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea* spp.) cultivars”, *Food Hydrocolloids*, vol. 43, pp. 529-539, January 2015.
- [44] L. Rached, C. de Vizcarrondo, A. Rincón, y F. Padilla, “Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado”, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 56, no. 4, pp 375-383, Noviembre 2006.
- [45] A. Oladebeye, A. Oshodi, I. Amoo, and A. Karim, “Functional, thermal and molecular behaviours of ozone-oxidised cocoyam and yam starches”, *Food Chemistry*, vol. 141, no. 2, pp. 1416-1423, November 2013.
- [46] W. Morrison, R. Tester, C. Snape, R. Lawand M. Gidley, “Swelling and gelatinization of cereal starches. IV. Some effects of lipid-complexed”, *Cereal Chemistry*, vol. 70, no. 4, pp. 385-391, May 1993.
- [47] M. Torrenegra, G. León, G. Matiz, y J. Sastoque, “Lipofilización del almidón de *Dioscorea rotundata* P. y su posible uso como agente emulsificante”, *Revista Cubana de Farmacia*, vol. 49, no. 4, pp. 605-617, Diciembre 2015.
- [48] M. Ascencio, R. Andrade, y J. Salcedo, “Caracterización funcional del almidón oxidado de yuca (*Manihot esculenta*)”, *Agronomía Colombiana Suplemento*, vol. 1, no. 1, pp. S757-S759, Diciembre 2016.
- [49] S. Srichuwong, N. Isono, H. Jiang, T. Mishima, and M. Hisamatsu, “Freeze-thaw stability of starches from different botanical sources: Correlation with structural features”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 87, no. 2, pp. 1275-1279, January 2012.
- [50] A. Beleia, S. Butarelo, and R. Silva, “Modeling of starch gelatinization during cooking of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)”, *Science and Technology*, vol. 39, no. 4, pp. 400-405, May 2006.
- [51] A. Paternina, J. Figueroa, J. Salcedo, y M. Cervera, “Propiedades de empastamiento en almidones nativos de yuca, ñame y batata”, *Agronomía Colombiana Suplemento*, vol. 1, no. 1, pp. S402-S404, Diciembre 2016.