

**MODIFICACIÓN ENZIMÁTICA DE HARINAS Y ALMIDONES DE ÑAME
(CRIOLLO, ESPINO, Y DIAMANTE) CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO
DE SUCRE**



MARÍA ALEJANDRA PUPO ARGUMEDO

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

BERÁSTEGUI 2020

**MODIFICACIÓN ENZIMÁTICA DE HARINAS Y ALMIDONES DE ÑAME
(CRIOLLO, ESPINO, Y DIAMANTE) CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO
DE SUCRE**



MARÍA ALEJANDRA PUPO ARGUMEDO

DIRECTOR

DEIVIS LUJAN RHENALS, Ing., Ph.D.

CO-DIRECTOR

RODRIGO SALGADO ORDOSGOITIA, Ing., Ph.D.

UNIVERSIDAD DE CORDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

BERÁSTEGUI 2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Esta investigación la dedico en primera instancia a Dios, por permitir materializar una de mis metas en mi formación profesional.

A mi familia por ser ese apoyo constante que me ha dado la fuerza para seguir adelante a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

Este trabajo de grado, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación, no hubiese sido posible su finalidad sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que me acompañaron y me colaboraron en el recorrido de este proceso y han sido soporte en momentos de angustia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Córdoba por haberme abierto las puertas para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron su enseñanza.

Agradezco también a mi director de tesis Ph.D. Deivis Luján Rhenals y co- director de tesis Ph.D. Rodrigo Salgado, por transmitirme su conocimiento y capacidades, y tener toda la paciencia para guiarme durante el desarrollo de este proyecto, gracias a sus orientaciones y apoyo pude culminar este trabajo.

También hago extensivo mis agradecimientos a Laura Payares, María Ortega y Ana Paternina por sus aportes y colaboración en el desarrollo de la investigación.

RESUMEN

El ñame es uno de los tubérculos más importantes para el sector agropecuario y agroindustrial, así como para otras industrias como la química y la farmacéutica. Este tubérculo es una importante fuente de almidón y harinas, que son productos de gran interés. Sin embargo, estos productos (almidón y harinas) por sus estructuras nativas resultan ser deficientes en aplicaciones industriales, por lo que surge la necesidad de modificarlos por vía física, química y/o enzimática. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la modificación enzimática de harinas y almidones de ñame (criollo, espino, y diamante) cultivado en el departamento de Sucre. Se evaluó el efecto de la variedad de ñame (espino, criollo y diamante), concentración de muestra (5 y 10% p/v) y concentración de enzima (0,15 y 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$). Se determinaron los equivalentes de dextrosa (ED), acidez titulable, pH, estabilidad y claridad de pastas, capacidad de absorción de agua (CAA), estabilidad al descongelamiento y deshielo, solubilidad en agua. Se obtuvieron valores de ED entre 1,95 y 7,88%, presentándose diferencia significativa ($p < 0,05$) en los tratamientos evaluados. La mayoría de los geles obtenidos son considerados transparentes ($\%T > 40\%$), hubo una disminución de los valores de CAA en las harinas hidrolizadas tratadas con 0,15 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima para ñame espino y las harinas tratadas con 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima para ñame diamante, en comparación con las harinas nativas; así mismo, el comportamiento de los valores porcentuales en los tres ciclos (24, 48 y 72 horas) de sinéresis para todos los almidones y harinas evaluadas es descendente. Los almidones y harinas hidrolizados diamante (5% muestra- 0,15 $\mu\text{l}/\text{mL}$ de enzima, 10% muestra 0,15 $\mu\text{l}/\text{mL}$ de enzima, 10% muestra-0,35 $\mu\text{l}/\text{mL}$ de enzima) podrían ser utilizados en alimentos de poca transparencia, como mayonesas, productos cárnicos, bebidas tipo néctar o productos de panificación, así mismo los demás tratamientos evaluados de harinas y almidones hidrolizados diamante, espino y criollo pueden ser utilizados en alimentos como mermeladas, gelatinas y confiterías.

Palabras clave: almidón, harina, hidrólisis enzimática, propiedades tecno-funcionales, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

Yam is one of the most important tubers for the agricultural and agro-industrial sector, as well as for other industries such as chemical and pharmaceutical. This tuber is an important source of starch and flours, which are products with great interest. However, these products (starch and flours) turn out to be deficient in industrial applications due to their native structures, so there is a need to modify them physically, chemically and / or enzymatically. The goal of this research was to evaluate the enzymatic modification of yam flours and starches (criollo, espino and diamante) grown in the department of Sucre. The effect of the yam variety (criollo, espino and diamante), sample concentration (5 and 10% w/v) and enzyme concentration (0,15 and 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$) were evaluated. Dextrose equivalents, titratable acidity, pH, paste stability and clarity, water absorption capacity (WAC), thaw and thaw stability, and water solubility were determined. DE values were obtained between 1,95 and 7,88%, showing a significant difference ($p < 0.05$) in the treatments evaluated. Most of the gels obtained are considered transparent ($\% T > 40\%$), there was a decrease in the WAC values in hydrolyzed flours treated with 0,15 $\mu\text{L}/\text{mL}$ of enzyme in espino yam and flours treated with 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$ of enzyme in diamante yam, compared to native flours: Likewise, the behavior of the percentage values in the three cycles (24, 48 and 72 hours) of syneresis for all the starches and flours evaluated is downward. Starches and flours of the diamante yam hydrolyzates (5% sample- 0,15 $\mu\text{l}/\text{ml}$ enzyme, 10% sample 0,15 $\mu\text{l}/\text{ml}$ enzyme, 10% sample-0,35 $\mu\text{l}/\text{ml}$ enzyme) could be used in foods with little transparency, such as mayonnaise, meat products, nectar-type drinks or bakery products, as well as the rest of the evaluated hydrolyzed starch and diamond yam flour and starch treatments can be used in foods such as jams, jellies and confectionery.

Key words: starch, flour, enzymatic hydrolysis, techno-functional properties, physical-chemical properties

CONTENIDO

Pág.		
	1. INTRODUCCIÓN	13
	2. REVISIÓN DE LITERATURA	15
	2.1 ÑAME	15
	2.2. COMPONENTES NUTRICIONALES DEL ÑAME	16
	2.3. HARINA DE ÑAME	17
	2.4. ALMIDÓN DE ÑAME	18
	2.5. PROPIEDADES DE LOS ALMIDONES	19
	2.5.1. Capacidad de retención de agua	19
	2.5.2. Solubilidad	20
	2.5.3. Resistencia ciclo congelamiento-deshielo	20
	2.5.4. Estabilidad y claridad de las pastas	20
	2.5.5. pH.	21
	2.6. ALMIDÓN MODIFICADO	21
	2.7. MODIFICACIÓN ENZIMÁTICA DE ALMIDONES Y HARINAS	22
	2.8. ENZIMA AMILOGLUCOSIDASA	22
	3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
	3.1 LOCALIZACIÓN	24
	3.2. MATERIALES	24
	3.3. VARIABLES	24
	3.3.1. Variables independientes	24
	3.3.2. Variables dependientes	24
	3.4. EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES Y HARINAS NATIVAS	25
	3.4.1. Adecuación de la materia prima	25
	3.4.2. Obtención de harinas	25
	3.4.3 Obtención de almidones	25

3.5. OBTENCIÓN DE ALMIDONES MODIFICADOS POR VÍA ENZIMÁTICA	26
3.5.1. Hidrólisis enzimática	26
3.5.2. Determinación de equivalentes de dextrosa	26
3.6. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA	27
3.6.1. Acidez titulable	27
3.6.2. pH	27
3.7. PRUEBAS TECNOLÓGICAS	27
3.7.1. Estabilidad y claridad de las pastas	27
3.7.2. Capacidad de absorción de agua	28
3.7.3. Estabilidad al descongelamiento	28
3.7.4. Solubilidad en agua	28
3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL	28
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
4.1. RENDIMIENTOS DE HARINAS Y ALMIDONES DE ÑAME	30
4.2. DETERMINACIÓN DE EQUIVALENTES DE DEXTROSA	30
4.3. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA	33
4.3.1. Acidez titulable	33
4.3.2. pH	34
4.4. PRUEBAS TECNOLÓGICAS	35
4.4.1. Estabilidad y claridad de las pastas	35
4.4.2. Capacidad de absorción de agua	39
4.4.3. Estabilidad al descongelamiento	41
4.4.4. Solubilidad en agua	42
5. CONCLUSIONES	45
6. RECOMENDACIONES	47
7. BIBLIOGRAFÍA	48
8. ANEXOS	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Información nutricional del ñame	17
Tabla 2. Características de la Harina de trigo y Harina de ñame de la especie <i>Discorea alata</i>	17
Tabla 3. Rendimiento con respecto al peso total (%)	30
Tabla 4. Valores promedio de %ED de almidones y harinas hidrolizados de ñame	31
Tabla 5. Valores promedio de la acidez titulable de almidones y harinas de ñame hidrolizados	33
Tabla 6. Valores promedio del pH de almidones y harinas de ñame hidrolizados.	34
Tabla 7. Valores promedio de la CAA de almidones y harina de ñame hidrolizados.	40
Tabla 8. Porcentaje de sinéresis de almidones y harinas enzimáticas de ñame.	42
Tabla 9. Valores de solubilidad en agua de almidones y harinas de ñame hidrolizados	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Producción de ñame por departamentos	15
Figura 2. Grafica de los cultivos del departamento de Sucre y su producción.	15
Figura 3. Segmentos estructurales de amilosa (A) y amilopectina (B).	19
Figura 4. Clasificación de las principales modificaciones de almidón.	21
Figura 5. Equipo de burbujeo continuo	27
Figura 6. Transmitancia de Harinas de ñame espino, nativa e hidrolizadas	36
Figura 7. Transmitancia de Harina de ñame criollo, nativa e hidrolizadas	36
Figura 8. Transmitancia de Harinas de ñame diamante, nativa e hidrolizadas	37
Figura 9. Transmitancia de Almidones de ñame espino, nativo e hidrolizados	38
Figura 10. Transmitancia de Almidones de ñame criollo, nativo e hidrolizados	38
Figura 11. Transmitancia de Almidones de ñame diamante, nativo e hidrolizados	39

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Equivalentes de Dextrosa	55
Anexo B. Pruebas fisicoquímicas	55
Anexo C. Pruebas tecno-funcionales	56

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia existe una gran diversidad de productos agrícolas de mucha importancia en la alimentación diaria, estos en su mayoría son consumidos de manera natural o con mínimos procesos, entre los cuales se puede considerar que los tubérculos proporcionan carbohidratos esenciales en el desarrollo del ser humano, siendo el ñame una fuente importante de almidón (Vargas 2013). La producción nacional de ñame en el año 2018 fue de 419.267 toneladas (t) (FAOSTAT 2020).

Para el 2018, Colombia tuvo una tasa de rendimiento de en el cultivo de ñame de 10,46 t/ha (FAOSTAT 2020). Este rendimiento se debe directamente a las características del proceso productivo como lo es la calidad y variedad de las semillas, el tipo de siembra y tipo de suelos; La producción de ñame se concentra en los departamentos de la Región Caribe, zona donde también se centraliza su consumo. La región Caribe proporciona más del 90% de la producción nacional de ñame (Reina 2012).

El ñame es uno de los principales productos de la agricultura del departamento de Sucre, ubicándose entre los tres de más alta producción para exportación a nivel nacional junto a Córdoba y Bolívar, beneficiando alrededor de 20 mil familias en los tres departamentos. Para el 2018, en el departamento de Sucre (Reina 2012), los municipios con mayor producción fueron Toluviéjo (3.000 t), Morroa (2.176 t), San Pedro (1.500 t) y Corozal (1.440 t) (Agronet 2020); en este departamento se cultivan tres especies mayoritarias de ñame: criollo (*Dioscorea alata*), espino (*Dioscorea rotundata*) y diamante (*Dioscorea alata*), estas especies se han mejorado genéticamente para contrarrestar enfermedades del cultivo y la capacidad de resistir las sequías (Popoola et al. 2013; García et al. 2012).

Se ha demostrado que sus harinas y almidones pueden tener un mayor uso en la industria alimentaria y que tienen varias propiedades funcionales, pero su contenido de amilo-amilopectina y viscosidad afectan el proceso de digestibilidad (Riley et al. 2006), por lo que su uso y aplicación en los alimentos podría tener problemas de aceptación en el mercado. Sus propiedades están muy relacionadas con la procedencia de la fuente vegetal, las condiciones climáticas y las características de los suelos puesto que en una misma región y un mismo género es posible encontrar distintos contenidos de almidón que corresponden a diferencias en los contenidos de amilosa y amilopectina (Vargas 2013) con lo que las harinas obtenidas podrían tener distintas propiedades fisicoquímicas (Kolawole y Falade 2015).

Uno de los componentes principales del ñame es el almidón, un biopolímero de D-glucosa con propiedades especiales; la obtención y modificación de este puede utilizarse, como materia prima en la elaboración de productos convencionales o en el desarrollo de nuevos productos, que se han convertido en una forma de incrementar la producción, demanda y añadir un valor agregado a este tubérculo (Aristizábal y Sánchez 2007; Pérez y Pacheco 2005; Moorthy 2002). En la industria alimentaria se usa como ingrediente de diferentes preparados y es valorado por su capacidad de modificar la textura, de ser adhesivo, gelificante, humectante, estabilizante, formador de películas para protección de alimentos, y porque aumenta la vida útil, mejora las características y la calidad de los productos; sin embargo, la estructura nativa del almidón a veces resulta poco eficiente lo que reduce su uso en aplicaciones industriales al provocar una baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Amani et al. 2005; Kaur et al. 2004; Bello-Pérez et al. 2002).

Las limitaciones antes mencionadas, se pueden superar modificando la estructura nativa del almidón por métodos químicos, físicos, enzimáticos o una combinación de los diferentes métodos (Cereda et al. 2003; Rincón 2007) dando como resultado un almidón que presenta características propias para aplicaciones industriales específicas (Aristizábal

y Sánchez 2007). Una de estas modificaciones es la hidrólisis enzimática del almidón que se lleva a cabo por medio del uso de enzimas y que puede ser considerada como una de las técnicas para modificar el almidón nativo por reducción de su peso molecular promedio. Los almidones modificados por enzimas son los más importantes comercialmente (Vilpoux 2004).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. EL ÑAME

Es un producto de alto consumo en la cocina típica de la Región Caribe Colombiana, pertenece a la familia *Dioscoraceae* y sus orígenes se indica que comienzan en África y Asia, presentando la siguiente clasificación taxonómica (González 1999):

- Reino: *Plantae*.
- División: *Magnoliophyta*.
- Clase: *Liliopsida*.
- Orden: *Dioscoreales*.
- Familia: *Dioscoreaceae*.
- Género: *Dioscorea*.

El Departamento de Sucre es uno de los principales productores de ñame en Colombia y el tercer productor en el Caribe colombiano (Figura 1). A nivel local el ñame ocupa el tercer lugar en cuanto a toneladas producidas en el año 2013, y las especies cultivadas corresponden a ñame criollo, espino y diamante. Se evidencia en el gráfico de la Figura 2 que la producción de ñame es superada sólo por la producción de yuca industrial y arroz, siendo comparable con la producción de maíz tecnificado.

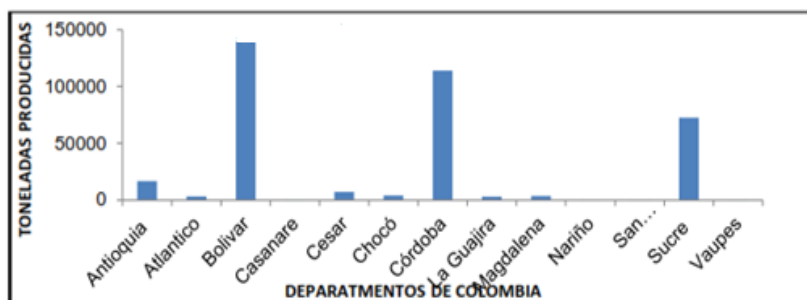


Figura 1. Producción de ñame por departamentos. Fuente: Agronet. 2013.

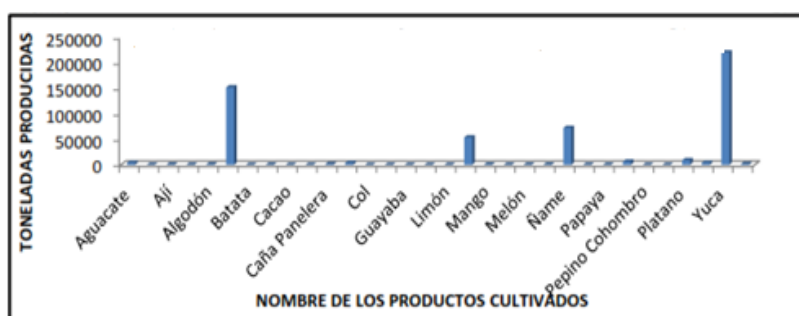


Figura 2. Cultivos del departamento de Sucre y su producción. Fuente: Agronet. 2013.

A pesar de esta importante cifra de producción, el ñame solo se ha producido en la región con fines de sustento alimenticio y económico para la población y los pequeños productores; su comercialización es mayoritariamente nacional y es muy poco exportado. No existe una inversión económica hacia la tecnificación del cultivo para obtener un mejor producto, y aunque se han realizado estudios sobre la forma de obtener una mejor producción, no se destinan rubros con tales fines (Acevedo 2015; Quintero 2003).

Desde este punto de la producción es necesario conducir las investigaciones hacia la búsqueda de sus aplicaciones en la generación de nuevos productos y, a nivel industrial y/o mejorar las existentes, lo cual estaría contemplado en el Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación en Sucre (Red Nacional de Agencias de Desarrollo Local 2013).

2.2. COMPONENTES NUTRICIONALES DEL ÑAME

El ñame (*Dioscorea*) es uno de los seis géneros pertenecientes a la familia de los Dioscoraceae y es originario de África y Asia. Es una planta netamente tropical y trepadora que se desarrolla mejor en temperaturas comprendidas entre 25 y 30 °C. Agrupa aproximadamente 600 especies, de las cuales solamente doce son comestibles siendo las más importantes: *Dioscorea alata* (diamante, blanco o criollo), *Dioscorea rotundata* (ñame espino), *Dioscorea cayenensis* (ñame amarillo), *Dioscorea esculenta* (ñame bondad o papa), *Dioscorea trifida* (Yampí) y *Dioscorea bulbifera* (Reina 2012). El valor alimenticio del ñame lo convierten en un sustituto de la papa y la yuca, ocupando el segundo lugar después de la papa en eficiencia para producir energía digestible, gracias a su alta composición de almidón que se traduce en fuente rica de carbohidratos, acompañada además de grandes proporciones de fósforo y potasio (Montes et al. 2008). Es gracias a estas propiedades que resulta de gran importancia realizar investigaciones que optimicen el uso de este tubérculo.

Se emplea para obtención de harina y almidón, los cuales tienen muchos usos como materia prima en la elaboración de alimentos convencionales y nuevos productos alimenticios (Techeira et al. 2014; Vargas 2013). El almidón es muy utilizado en la industria alimentaria y no alimentaria, por tanto, para su extracción se han utilizado diversos métodos. Sin embargo, el almidón de ñame obtenido es de baja calidad por la presencia de componentes no amiláceos, como el mucílago (Chávez et al. 2014).

Como producto de consumo ha sido ampliamente estudiado; entre sus principales componentes nutricionales se puede destacar proteínas, vitaminas, minerales, un alto contenido energético (González 1999), y bajo porcentaje de colesterol, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Información nutricional del ñame

COMPUESTO	CANTIDAD*	MEDIDA
Agua	69,60	Gramos
Calorías	118	Kilocalorías
Proteínas	1,53	Gramos
Grasa	0,17	Gramos
Carbohidratos	27,88	Gramos
Fibra	4,1	Gramos
Azúcar	0,50	Gramos
Calcio	17	Miligramos
Hierro	0,54	Miligramos
Magnesio	21	Miligramos
Fosforo	55	Miligramos
Potasio	816	Miligramos
Sodio	9	Miligramos
Zinc	0,24	Miligramos
Vitamina C	17,1	Miligramos
Tiamina	0,112	Miligramos
Riboflavina	0,032	Miligramos
Niacina	0,552	Miligramos
Vitamina B-6	0,293	Miligramos
Vitamina A, RAE	7	Microgramos_RAE
Vitamina A, IU	138	IU
Vitamina E	0,35	Miligramos
Colesterol	0	Miligramos

* Cantidad por cada 100 gramos.

Fuente: USDA -United State Department of Agriculture. National Agricultural Library.

2.3. HARINA DE ÑAME

Para conocer los posibles usos de una harina es indispensable conocer las propiedades que son influenciadas por la composición química y las interacciones entre los componentes, que incide en su comportamiento durante el procesamiento. Entre estas propiedades se encuentran la capacidad de fijación de agua, y las características de empaste dadas por el comportamiento reológico, establecido mediante perfiles amilográficos durante la cocción, estas se encuentran relacionadas con los niveles de

proteínas, carbohidratos (almidón), lípidos y fibra, principalmente, así como también con la distribución del tamaño de las partículas (Belén et al. 2004).

La Tabla 2 presenta los parámetros más importantes entre la harina de trigo y la harina de ñame de la especie *Discorea alata* (Montes et al. 2008).

Tabla 2. Comparación entre las características de la harina de trigo y harina de ñame de la especie *Discorea alata*.

Características/resultados	H. trigo	H. ñame
pH	5,700 ± 0,230	5,820 ± 0,150
Acidez titulable (% a. cítrico)	0,682 ± 0,016	0,676 ± 0,031
Humedad (%m/m)	12,847 ± 1,250	8,421 ± 1,321
Cenizas (%m/m)	0,584 ± 0,062	1,509 ± 0,038
Proteínas (%m/m)	7,572 ± 0,860	1,172 ± 0,364
Viscosidad máxima (UB)	395 ± 15,7	575 ± 25,4
Índice de asentamiento (UB)	185 ± 13,8	95 ± 9,5
Índice de estabilidad (UB)	35 ± 2,1	-25 ± 1,7
Índice de consistencia (UB)	75 ± 5,7	140 ± 12,4

Fuente: Montes et al. 2008.

2.4. ALMIDÓN DE ÑAME

El almidón está entre los polímeros de hidratos de carbono, que actualmente posee mayor atención debido a su utilidad en diferentes productos alimenticios que contribuyendo en gran medida a las propiedades texturales de muchos alimentos; además del amplio uso que tiene como espesante, estabilizador coloidal (cremas, sopas), agente gelificante y

retenedor de agua; así mismo, es dispuesto para la elaboración de productos de panadería, pasabocas (snacks), entre otros usos (Singh et al. 2007).

El almidón puede encontrarse en frutos, semillas, hojas y tubérculos. Los principales componentes son la amilosa y la amilopectina. Estos polímeros son muy diferentes en su forma estructural; la amilosa tiene una estructura lineal, mientras que la amilopectina es ramificada. Cada estructura juega un papel importante en la finalidad última del almidón nativo y sus derivados (Vargas 2013).

Las diferentes características del almidón, no sólo la morfología y el tamaño del gránulo, sino también la calidad y la composición que posee, están muy relacionadas con la procedencia de la fuente vegetal de la cual se obtiene y a su vez puede variar las características entre la misma especie, las condiciones climáticas y las características de los suelos varían de un país a otro, así que para cualquier producto natural, es posible que la composición de metabolitos cambie como por ejemplo sucede para hongos (González 1999), plantas (Santacoloma 2012), y donde se ha demostrado que el ñame no es una excepción a este caso, puesto que en una misma región y una misma especie es posible encontrar distintos contenidos de almidón, que se clasifican en almidones tipo A, B, y C, que corresponden a diferencias en los contenidos de amilosa y amilopectina (Figura 3) (Vargas 2013) con lo que las harinas obtenidas podrían tener distintas propiedades fisicoquímicas (Kolawole y Falade 2015; Xia 2014).

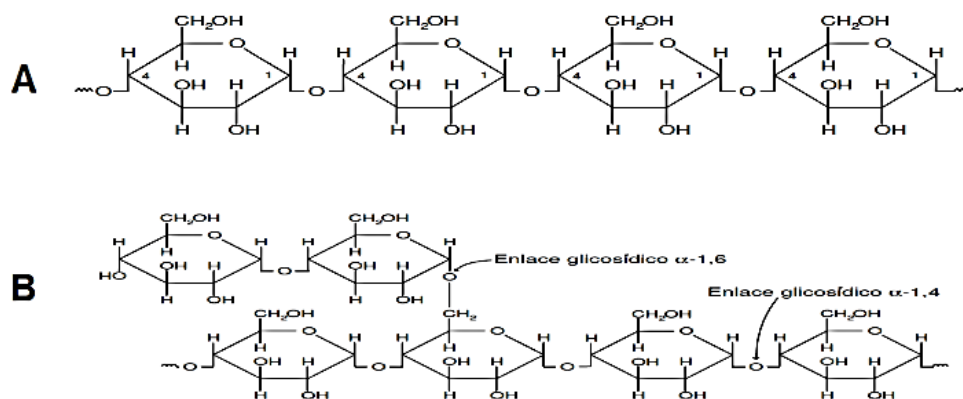


Figura 3. Segmentos estructurales de amilosa (A) y amilopectina (B).

Fuente: Vargas (2013).

Si se tiene en cuenta lo dicho por Riley et al. (2006), en el cual se clasifican los almidones por sus estructuras, se señala que las de estructura tipo A son las que tienen menor contenido de amilosa y mayor contenido de amilopectina, las tipo B un mayor contenido de amilosa y menor contenido de amilopectina y C un contenido intermedio. El contenido de amilosa juega un papel importante en la digestibilidad de los alimentos, ya que algunos estudios han determinado que los almidones con un bajo contenido de amilosa son de más fácil digestión que aquellos con un alto contenido. Las estructuras A y C son más digeribles, o sea son más sensibles a la amilasa y la estructura tipo B es menos digerible, o sea menos sensible a la amilasa, y eso según el autor se debe a la estructura cristalina que presenta.

El contenido de amilosa en el almidón de ñame presenta variaciones leves de una especie a otra. En promedio, la amilosa para *Discorea alata* es de 28,50% (Karam et al. 2006), porcentaje muy cercano al reportado por Araujo et al. (2004) para *Discorea bulbifera*, que mencionan en su estudio un porcentaje de 29,37% y una cantidad de amilopectina de 70,62%.

2.5. PROPIEDADES DE LOS ALMIDONES

Las propiedades funcionales se definen como “cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afectan y modifican algunas características de un alimento y que contribuyen a la calidad final del producto”. Las propiedades funcionales de los almidones de las pastas o geles de almidón son importantes para sus futuras aplicaciones. Estas difieren de acuerdo a la fuente botánica del almidón y a su relación Amilosa/Amilopectina (Gordon 1990).

2.5.1 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

El almidón es insoluble en agua fría; pero es capaz de retener agua. La CRA se refiere a la cantidad total de agua retenida por un gel de almidón bajo estado definido de

condiciones. El agua se adhiere a la superficie de los gránulos de almidón, algo se introduce por las grietas y lleva el gránulo a su hinchamiento. Este comportamiento puede ser atribuido a la relación amilosa/amilopectina, ya que las moléculas de agua quedan atrapadas en la estructura de la amilopectina, así como también a la diferencia en la distribución de la longitud de la cadena (Bello-Pérez et al. 1998). En el uso de almidón en solución y especialmente en la industria de alimentos, la cantidad de agua tomada por el almidón es muy importante.

2.5.2 Solubilidad

La solubilización del almidón conduce a la destrucción parcial de la estructura granular dependiendo de la especie botánica y del tipo cristalino del almidón nativo (Less 1982). La solubilidad de los almidones se incrementa con el aumento de la temperatura debido al incremento en la movilidad de los gránulos de almidón, lo que facilita una mayor dispersión de las moléculas del almidón en el agua (Adebowale et al. 2005).

2.5.3 Resistencia al ciclo congelamiento-deshielo

La congelación modifica los atributos de calidad de las pastas de almidón congeladas, al incrementar la exudación del agua “sinéresis“, deteriorar la estructura de la pasta, originar cambios reológicos al comparar con las muestras descongeladas y originar una retrogradación total del almidón a -20 °C, confiriendo a la pasta una estructura de esponja capaz de liberar y absorber agua (Hurtado y Dufour 1999). En enfriamiento, las moléculas en una pasta de almidón se hacen menos solubles y sufren retrogradación, los efectos de la retrogradación incluyen cuajado de salsas en deshielo, enranciado de productos cocidos, y la formación de una película en la superficie del gel de almidón. Para muchos productos alimenticios procesados, es deseable tener una pasta de almidón elástica que no sufra retrogradación a los ciclos congelamiento-deshielo (Carrascal 2013).

2.5.4 Estabilidad y claridad de la pasta

Una suspensión de almidón en agua es opaca y la gelatinización incrementa la transparencia. La claridad de la pasta está relacionada con el estado de dispersión, por ejemplo, el nivel de dilución y la retrogradación de una muestra. El término retrogradación se refiere a la deteriorización en calidad de una muestra en un periodo de Tiempo. La retrogradación consiste de dos procesos separados: gelificación de las moléculas de amilosa exudadas de los gránulos durante la gelatinización, y recristalización de la amilopectina (Carrascal 2013).

2.5.5 pH

Los almidones cuya conductividad eléctrica es superior a la media estándar, indican gran acidez (concentración de hidrogeniones $[H^+]$), por tal motivo se considera una propiedad química de gran importancia, al momento de ser caracterizado (Carrascal 2013).

2.6. ALMIDÓN MODIFICADO

Los almidones naturales se utilizan porque regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes y gelificantes, pero frecuentemente no suelen ser adecuados en el momento de procesos específicos, ya que su estructura nativa puede verse afectada por las condiciones de proceso o almacenamiento (temperatura, pH, y presión), limitando así su uso en otras aplicaciones industriales, por la baja resistencia a esfuerzos de corte, baja descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis. Las limitaciones anteriores se pueden superar modificando la estructura nativa por métodos químicos, físicos, enzimáticos y/o combinados, para obtener un almidón modificado con propiedades deseables para aplicaciones específicas (Bello et al. 2002).

La figura 4 indica, de forma general, la clasificación de las modificaciones de almidón con sus respectivos sub productos.

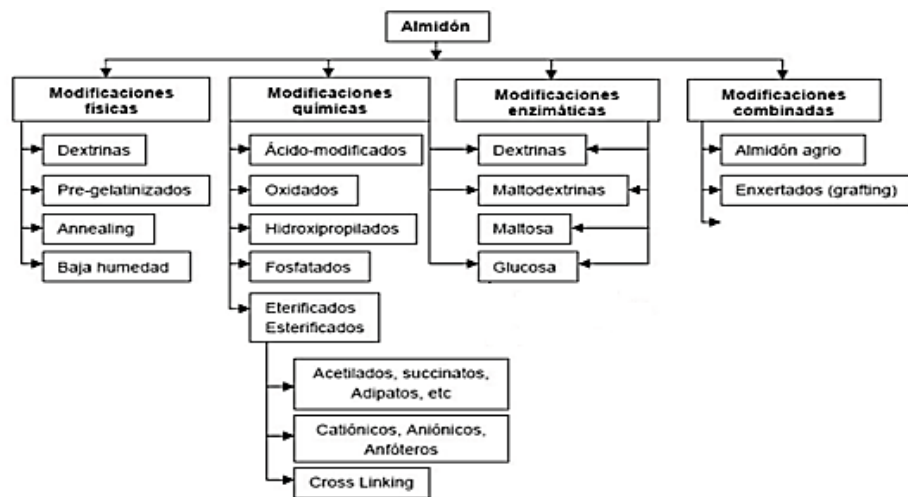


Figura 4. Clasificación de las principales modificaciones de almidón.
Fuente: Bello-Pérez et al. (2002).

2.7. MODIFICACION ENZIMÁTICA DE ALMIDONES Y HARINAS

La modificación enzimática se ha utilizado tradicionalmente para modificar almidones nativos y crear productos con propiedades alteradas de solubilidad, viscosidad, y/o gelificación que poseen amplias aplicaciones en alimentos, papel, textil y otras industrias (Wang 2001). Debido a las limitaciones de los almidones en cuanto a propiedades mecánicas y químicas, y a su alta degradación, se realizan modificaciones para aumentar su calidad (Bello-Pérez et al. 2002).

Una de las modificaciones enzimáticas es la hidrólisis de almidón, esta reúne todos los productos de fraccionamiento del almidón, independientemente de los catalizadores usados (ácidos, enzimas) o del grado de este fraccionamiento. Incluyen un importante número de productos diferentes como glucosa, maltosa, maltodextrinas, fructosa, dextrinas, etc. Los hidrolizados presentan propiedades físicas, funcionales, energéticas y organolépticas que son características de cada tipo de producto (Montes et al. 2008).

2.8. ENZIMA AMILOGLUCOSIDASA

Las enzimas son proteínas globulares formadas por una o más cadenas polipeptídicas plegadas, creando una “hondonada” donde encaja el sustrato y tiene lugar la reacción, son biomoléculas de naturaleza proteica que aceleran la velocidad de reacción hasta alcanzar un equilibrio (Pérez y Montalvo 2016).

Las enzimas tienen gran influencia en los alimentos durante su maduración; además pueden añadirse enzimas a los alimentos durante el procesado para cambiar sus características, algunas enzimas endógenas cambian características de calidad de color, textura, flavor, aroma y calidad nutricional. La textura es un atributo de calidad muy importante en los alimentos; en frutas, vegetales y cereales, se debe principalmente a carbohidratos complejos (Beltrán y Herreño 2010).

Las enzimas hidrolasas catalizan la rotura de macromoléculas, es decir, la acción específica de estas es degradar moléculas catalizando la hidrólisis de uniones de éteres (-C-O-C-), ésteres (-CO-O-) y aminoácidos (-CO-NH), entre estas enzimas se encuentra la alfa amilasa (α -amilasa); las α -amilasas pueden ser de origen fúngico (*Aspergillus oryzae*) o bacteriano (*Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*). Las α -amilasas hidrolizan los enlaces α -1,4 del interior del almidón (tanto en amilosa como en amilopectina), del glucógeno y de las ciclodextrinas, manteniendo la configuración α del carbono anomérico. Dado que es una enzima “endo”, su acción tiene un gran efecto sobre la viscosidad de los alimentos que tienen el almidón como base. Estas enzimas hidrolizan los enlaces éter (glucosídicos) de las cadenas de los polisacáridos de las sustancias amiláceas, degradándolas a oligosacáridos, disacáridos y monosacáridos (Beltrán y Herreño 2010; Lehninger et al. 2006).

La amiloglucosidasa también conocida como glucoamilasa es una enzima producida por la fermentación de una cepa seleccionada de *Aspergillus niger* que cataliza la liberación de sucesivas unidades de glucosa a partir del final de las cadenas de almidón licuado. A diferencia de las α -amilasas, la glucoamilasa puede hidrolizar tanto las ramificaciones

alfa-D-1,6 como los enlaces poliméricos alfa D-1,4 del almidón. Tiene la capacidad de hidrolizar los enlaces α -1,4 de extremos no reductores de polisacáridos para la formación de glucosa y posee la capacidad de hidrolizar enlaces α -1,6 a más baja velocidad, pudiéndose completar la hidrólisis de almidón. El peso molecular de la amiloglucosidasa AMG formadas a partir de *Aspergillus niger* se encuentra entre 60 y 70kDa (Pornpong et al. 2005).

Un estudio sobre hidrólisis de ñame con glucoamilasa mostró buenos resultados en cuanto a las propiedades físicas obtenidas del almidón modificado, también demostró que estos almidones modificados exhibían temperaturas de gelatinización (T_p) crecientes y disminución de la entalpía de gelatinización (ΔH) (Xia 2014.)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El estudio experimental se desarrolló en los Laboratorios de Bioprocesos y Fermentaciones, Análisis de Alimentos e Ingeniería aplicada del Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Córdoba (Campus Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba-Colombia), con una temperatura promedio de 29 °C, humedad relativa 90%, altura de 25 m.s.n.m. y una presión atmosférica promedio de 752 mm Hg; situada geográficamente en las coordenadas 8° 40' 26'' de latitud Norte y 75° 46' 44'' de latitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich. También se realizaron experimentos en las instalaciones de la Planta Piloto de Operaciones Unitarias de la Universidad de Sucre, sede Granja Perico, municipio de Sampués, Sucre - Colombia, ubicada geográficamente a 213 m.s.n.m entre los 9°12'40'' Latitud Norte y 75°24'10.7'' Longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich, presenta una humedad relativa del 77% y una temperatura promedio de 29 °C.

3.2. MATERIALES

Se utilizó ñame cultivado en el departamento de Sucre, municipio Los Palmitos, vereda El Tigre, finca El Paraíso debido a que se encuentra en la zona de mayor producción del departamento de Sucre (Reina 2012).

La enzima utilizada fue la amiloglucosidasa (Dextrozyme GA de Novozymes).

3.3. VARIABLES

3.3.1 Variables independientes

- Almidones y harinas nativos de ñame espinoso, criollo y diamante
- Concentración para harina y almidón: 5 y 10% p/v
- Concentración de enzima (Amiloglucosidasa: Dextrozyme GA de Novozymes): 0,15 y 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$

3.3.2 Variables dependientes:

Equivalente de dextrosa (ED)

Propiedades fisicoquímicas, de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC (2012):

- Acidez titulable
- pH.

Propiedades funcionales:

- Estabilidad y claridad de las pastas de almidón
- Capacidad de adsorción de agua
- Estabilidad al descongelamiento
- Solubilidad en agua fría y caliente

3.4. EXTRACCIÓN DE HARINAS Y ALMIDONES NATIVOS

3.4.1 Adecuación de la materia prima

La materia prima se pesó, lavó, retiró la cáscara y se desinfectó con una solución a 200 ppm de hipoclorito de sodio durante 10 minutos por inmersión, se enjuagaron y almacenaron hasta su procesamiento.

3.4.2 Obtención de las harinas

La harina (H) de ñame se obtuvo siguiendo la metodología propuesta por Pérez y Pacheco (2005), con algunas modificaciones. Se secó la pulpa de ñame rayada, para posteriormente molerla y tamizar. Antes de secar la pulpa, los tubérculos lavados y desinfectados fueron pelados, troceados, en este proceso se perdió un poco de peso. Posteriormente las muestras se secaron al sol (secado por convección natural) en bandejas durante aproximadamente 6 horas, y se terminaron de secar en un horno (secado por convección forzada) a 60 °C durante 12 horas. Posteriormente fueron sometidos a un proceso de molienda en un Micromolino de martillo (Tipo WILLYE Tecnal TE 650) en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad de Sucre Sede Granja Perico; y tamizado hasta malla 100. Posteriormente se midió la humedad de la harina en una balanza analítica (PRECISA XM-60 MOISTURE BALANCE).

3.4.3 Obtención de los almidones

Para obtener el almidón de ñame (AÑ), se licuó la pulpa previamente pesada y se añadió agua en una relación 8:1 (agua: pulpa de ñame) para obtener la lechada de almidón. Para separar el mucilago se empleó un equipo de burbujeo continuo a escala piloto (Figura 5), ubicado en la Planta Piloto de la Universidad de Sucre diseñado para la obtención de almidón y recuperación de su mucilago, siguiendo la metodología propuesta por Pérez et al. (20016) y Salcedo et al. (2015), y así se logró facilitar la sedimentación del almidón. Una vez sedimentado se lavó el almidón con agua destilada, empleando una centrifuga para separar el exceso de agua, ya lavado se procedió a secar en un horno a 45 °C durante 18 horas.



Figura 5. Equipo de burbujeo continuo.

- **RENDIMIENTOS**

Se calculó el rendimiento de la harina y el almidón de ñame con las ecuaciones 1 y 2 que se muestran a continuación.

Con respecto a los kilogramos iniciales (Ecuación 1):

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso final obtenido}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Ecuación 1. Rendimiento con respecto al peso total.

En relación a la pulpa (Ecuación 2):

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso final obtenido}}{\text{Peso pulpa}} \times 100$$

Ecuación 2. Rendimiento con respecto a la pulpa.

3.5. OBTENCIÓN DE ALMIDONES MODIFICADOS POR VÍA ENZIMÁTICA

3.5.1 Hidrólisis enzimática del almidón

Se tomó 10 y 20 g de harina y almidón nativo de ñame y fueron solubilizados en 200 mL de una solución búffer de citrato de sodio, pH 4,5, durante 30 minutos a 60 °C en un baño

con agitación a 250 rpm, posteriormente, fueron añadidos 30 o 70 μL de amiloglucosidasa (0,15 μL de enzima/mL de búfer y 0,35 μL de enzima/mL de búfer), manteniendo la suspensión bajo agitación a 60 °C durante 3 horas (Dura et al. 2014). Suspensiones de almidón sin adición de enzima se usaron como referencia bajo las mismas condiciones de pH y tiempo de reacción. Luego de cada tratamiento, las suspensiones de almidón fueron centrifugadas a 6000 rpm durante 15 min, a temperatura de 4 °C con el fin de precipitar la enzima y separarla.

3.5.2 Determinación de Equivalente de Dextrosa (ED)

En la caracterización de los productos de la hidrólisis del almidón y harina se emplea el parámetro que mide el grado de hidrólisis; equivalente de dextrosa (ED), que se define como unidades de glucosa puras requeridas para reducir la misma cantidad de reactivo ácido dinitrosalicílico (DNS) en 100 unidades de masa de hidrolizado seco (Miller 1959).

Se calculó porcentaje de equivalente de dextrosa (%ED), para lo cual se elaboró una curva de calibración (Concentración de glucosa vs. Absorbancia) según método de Miller (1959).

3.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA

3.6.1 Acidez titulable (AOAC 1990)

Se pesaron 10 g de muestra, estos se mezclaron con 20 mL de agua destilada y se agitaron hasta formar una pasta fina, se agregaron 80 mL más de agua destilada y 2 gotas de solución alcohólica de fenolftaleína, titulando con NaOH 0,1 N. La acidez titulable se expresó como porcentaje de ácido láctico presente en la muestra, mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Acidez normal en mL}}{100\text{g de muestra}} = \frac{V * F * meq AL}{P} * 100$$

V=cantidad de NaOH gastado en la titulación

F= normalidad de solución (0,1 N)

Meq AC= mili-equivalente-gramo del ácido láctico (1,5)

P= peso en gramos de muestra

3.6.2 pH (AOAC 1990)

Inicialmente se pesó 1 g de muestra y se depositó en un Erlenmeyer adicionando 10 mL de agua destilada, se agitó por 30 minutos, se dejó reposar por 10 minutos en un beaker. Finalmente, se midió el pH de la suspensión utilizando el pH-metro (METROHM).

3.7. PRUEBAS TECNOLÓGICAS

3.7.1 Estabilidad y claridad de la pasta:

Se determinó según método descrito por Bello-Pérez et al. (2002). Se preparó una suspensión de almidón al 4,0% p/v, para ello se pesó 0,4 g de almidón, los cuales se depositaron en tubos de ensayo tapa rosca y se adicionaron 10 mL de agua destilada y se agitaron manualmente para homogenizar. Los tubos de ensayo con las suspensiones se colocaron en agua a ebullición por 30 min agitándose vigorosamente cada cinco minutos, luego se enfriaron a temperatura ambiente y se determinó el porcentaje de transmitancia en un espectrofotómetro UV-visible (Spectroquant® Pharo 300, Merck Alemania) a 650 nm, empleando agua como blanco. Finalmente, las muestras se almacenaron a temperatura ambiente y se determinó el porcentaje de transmitancia a las 24, 48 y 72 horas de almacenamiento. La claridad de las pastas se estudia en función del valor de transmitancia en los geles de almidón, leída desde el espectrofotómetro.

3.7.2 Capacidad de absorción de agua

Se determinó por el método de Bello-Pérez et al. (2002). En un tubo de centrifuga graduado, previamente pesado, se depositó aproximadamente 1,0 g de muestra y se adicionaron 10 mL de agua destilada, se agitó con suavidad para homogenizar. Luego se centrifugó a 3500 rpm durante 15 minutos. El líquido sobrenadante fue decantado y el tubo con el precipitado se drenó totalmente durante 4-5 minutos para luego ser pesado, la

ganancia en masa de la muestra, representa la capacidad de absorción de agua de la misma.

$$CAA (\%) = \left(\frac{Masa\ agua\ retenida\ (g)}{Masa\ muestra\ (g)} \right) * 100$$

3.7.3 Estabilidad al descongelamiento

Se determinó según el método de Bello-Pérez et al. (2002), con algunas modificaciones. Se preparó una suspensión gelificante de almidón al 2% (p/v), pesando un (1) gramo de muestra y se vertió en un beaker de 100 mL, donde se adicionó agua destilada hasta completar un volumen de 50 mL, luego se llevó a una plancha de calentamiento con agitación magnética, durante 10 minutos a 90 °C y luego se dejó enfriar hasta temperatura ambiente.

Posteriormente se pesaron 10 g de gel y se llevaron a tubos de centrifuga de polipropileno, almacenándolos a -20 °C durante 22 horas. Pasado este tiempo, las muestras congeladas se colocaron en un baño de agua a 30 °C durante 90 minutos. Luego las muestras se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 minutos para ser decantadas y secadas. El porcentaje de agua liberada (líquido sobrenadante) se registró como la pérdida de peso del gel. Seguidamente las muestras se congelaron nuevamente a -20 °C durante 22 horas. El procedimiento se repitió por tres ciclos, y se registró el porcentaje de agua liberada en cada ciclo.

$$Sinéresis (\%) = \left(\frac{Masa\ líquido\ liberado\ (g)}{Peso\ muestra} \right) * 100$$

3.7.4 Solubilidad en agua fría y caliente

Una muestra de 15 gramos de suspensión preparada con 10% de la muestra (1,5 g) y 90% de agua destilada (13,5 g) se preparó y mezcló manualmente en un tubo de ensayo. Las muestras a temperatura de 30 y 70 °C, se centrifugaron a una velocidad de 3500 rpm por 15 min. Una vez centrifugadas, la masa de líquido sobrenadante se pesó; posteriormente, 5 g de ésta se transfirieron a una cápsula y se secaron en una estufa de aire caliente a 105 °C hasta llegar a un peso constante. La solubilidad de agua fría y agua caliente para las muestras se determinó como la razón entre la masa de sólido presente en el líquido sobrenadante y la masa de la muestra en la suspensión (Less 1982).

$$\text{Solubilidad} = \frac{\text{Masa de sólido en una cápsula} * \text{masa total de sobrenadante}}{\text{masa de sobrenadante a secar} * \text{masa total de muestra en la suspensión}} * 100$$

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se estudió bajo un arreglo factorial 6x2x2 completamente aleatorizado, teniendo como variables independientes la variedad en seis niveles (almidón espino, almidón criollo, almidón diamante, harina espino, harina criollo y harina diamante), la concentración de muestra en dos niveles (5 y 10%) y la cantidad de enzima en dos niveles (0,15 y 0,35 µL/mL). Las variables dependientes fueron CAA, pH, acidez titulable, sinéresis.

Para el análisis estadístico, se determinó el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia $\alpha=0,05$, Para comparar los resultados obtenidos se empleó una prueba de rangos múltiples de comparación de medias de Tukey. Se realizaron en todos los casos tres repeticiones para cada tratamiento, y se analizaron los datos con la ayuda del paquete estadístico R 3.2.1 versión libre.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. RENDIMIENTOS DE HARINAS Y ALMIDONES DE ÑAME

En la Tabla 3, se puede observar las diferencias de los rendimientos en la obtención de harina y almidón de ñame, teniendo en cuenta el peso total de tubérculo incluyendo la cáscara e imperfecciones, de los tres tipos de ñame estudiados en este trabajo y se evidencia que el de mayor rendimiento es el espino (*Dioscorea rotundata*), por otra parte los rendimientos obtenidos en este trabajo fueron levemente superiores a los obtenidos en los estudios de García et al. (2012) y Meaño et al. (2014), los cuales obtuvieron 29,34 a 30,44% para harinas, y 7,44%, para almidones. Mientras que el caso del almidón el rendimiento fue inferior al obtenido por Salcedo et al. (2010) y Pacheco y Techeira (2009). El bajo rendimiento en el almidón de ñame se debe a la gran humedad que posee este alimento, siendo aproximadamente de 66,22 a 74,99% en promedio (Alvis et al. 2008).

Tabla 3. Rendimientos de harina y almidón de ñame (%)

VARIEDAD ÑAME	HARINA	ALMIDON
ESPINO	29,41±0.5	9,77±0.3
CRIOLLO	21,76±0.3	9,07 0.5
DIAMANTE	16,20±0.8	9,42±0.4
Otros autores		
ESPINO	-	13,70 (Salcedo et al. 2010)
DIAMANTE	-	16,20 (Salcedo et al. 2010)
CRIOLLO	29,34 (García et al. 2012)	12,91 (Pacheco y Techeira 2009)

García et al. (2012) reportan un rendimiento de 29,34% para la harina del ñame criollo, este valor es mayor al obtenido en este estudio para esa misma variedad y para el ñame diamante, pero similar al valor porcentual obtenido para el ñame Espino. El rendimiento obtenido en este trabajo para el almidón de ñame es inferior al reportado por otros autores para ñame espino (13,7%) (Salcedo et al. 2010), ñame diamante (16,2%) (Salcedo et al. 2010) y ñame criollo (12,91%) (Pacheco y Techeira 2009).

4.2. DETERMINACIÓN DE EQUIVALENTE DE DEXTROSA (ED)

En la Tabla 4 se muestra el porcentaje de ED (%ED) de almidones y harinas hidrolizados de ñame. De acuerdo al análisis de varianza hay diferencia significativa ($p < 0,05$) en los tratamientos evaluados (Anexo A). En los hidrolizados de ñame se encontraron valores entre 1,95 y 7,88%, estos están muy por debajo a los reportados por Montes et al. (2008) y Paternina (2017) para almidones hidrolizados de *D. trifida* y de ñame espino, respectivamente, donde hallaron de hasta 73,68% para temperaturas de reacción de 93 °C. Así mismo, Kong et al. (2018) reportaron de hasta 30% para almidón hidrolizado de maíz argumentando además que la temperatura es un factor importante en el proceso de hidrólisis y que se obtienen mejores resultados por parte de las enzimas amilolíticas cuando se someten las muestras a un pre tratamiento térmico (Kong et al. 2018; Shariffa et al. 2009).

Los bajos valores de %ED obtenidos en este trabajo pudieron deberse a varios factores, entre ellos la alta concentración de sustrato que pudo inhibir parcialmente a la enzima (Das y Kayastha 2019). Así mismo, a temperaturas inferiores a la de la temperatura de gelatinización (aproximadamente 80 °C para el ñame) no se producen altos rendimientos en la hidrólisis (Almeida et al. 2018; Paternina 2017). Sin embargo, se evidencia la tendencia que al utilizar una mayor concentración de enzima se obtienen valores más altos de %ED.

En cuanto al tiempo de reacción, el cual para este estudio fue de 3 horas, otros autores reportan %ED mayores a los obtenidos en este trabajo para un tiempo de reacción de 1 hora, de esta manera Kong et al. (2018) reportan un %ED de aproximadamente 8% para el almidón de maíz y Montes et al. (2008) un %ED de 37% para el almidón de *D. trifida*, aunque se debe tener en cuenta que la temperatura, el tipo de sustrato y el tipo de enzima utilizada también son factores influyentes en la hidrólisis. En su estudio Li et al. (2011), afirman que el tiempo de reacción es un factor importante en la hidrólisis del almidón de ñame, puesto que demostraron que la tasa de hidrólisis inicial (que va de 0 a 4 horas) es dos o tres veces mayor a la tasa de hidrólisis después de las 4 horas de reacción. Esto se debe a que en el periodo entre las 0 y 4 horas se da una rápida hidrólisis de la región amorfa del gránulo, y después de las 4 horas una lenta hidrólisis de la parte cristalina.

Así mismo, los mayores valores de %ED se presentaron para el almidón de ñame espinoso. Varios autores afirman que la efectividad de la hidrólisis está relacionada con la estructura del gránulo, teniendo en cuenta factores como el contenido de amilosa y la cristalinidad (Evans y Thompson 2004; Riley et al. 2006; Carre 2004). De esta manera, almidones con un mayor contenido de amilosa son más resistentes a la hidrólisis enzimática, y en cuanto a la cristalinidad almidones Tipo A son más resistentes que los Tipo B; en el caso del almidón de ñame es tipo B, que los potencializa hacia el desarrollo de almidones resistentes (Salcedo-Mendoza et al. 2018; Tester 2006; Lindeboom 2004).

Tabla 4. Valores promedio de %ED de almidones y harinas hidrolizados de ñame.

Muestra	Concentración de enzima (µL/mL)	Concentración de la muestra (%)	ED (%)
Almidón criollo	0,15	10	3,29±0,22 fgh
Almidón criollo	0,35	10	4,40±0,28 k
Almidón criollo	0,15	5	1,95±0,83 bc

Almidón criollo	0,35	5	2,89±0,25 ef
Almidón diamante	0,15	10	3,47±0,20 ghi
Almidón diamante	0,35	10	5,29±0,45 l
Almidón diamante	0,15	5	2,15±1,03 cd
Almidón diamante	0,35	5	2,96±0,22 efg
Almidón espino	0,15	10	4,13±0,29 jk
Almidón espino	0,35	10	7,88±0,98 m
Almidón espino	0,15	5	3,54±1,37 hi
Almidón espino	0,35	5	3,76±0,19 hij
Harina Criollo	0,15	10	3,38±0,29 fgh
Harina Criollo	0,35	10	3,47±0,20 ghi
Harina Criollo	0,15	5	1,42±0,72 a
Harina Criollo	0,35	5	2,13±0,21 cd
Harina Diamante	0,15	10	2,61±0,19 de
Harina Diamante	0,35	10	3,91±0,32 ijk
Harina Diamante	0,15	5	1,48±0,83 ab
Harina Diamante	0,35	5	1,77± 0,19 abc
Harina Espino	0,15	10	1,81± 0,21abc
Harina Espino	0,35	10	2,64± 0,23de
Harina Espino	0,15	5	1,58±0,45 ab
Harina Espino	0,35	5	1,64± 0,21 abc

Promedio de tres repeticiones ±desvio patrón. Letras diferentes denotan diferencia significativa por el tet de Tukey ($p<0,05$).

Por otro lado, se tiene que la media porcentual de los %ED en las harinas es menor que en los almidones hidrolizados, lo cual puede deberse a que las harinas son más resistentes a la hidrólisis enzimática que el almidón, esto puede ser debido a que en las harinas hay presencia de polisacáridos no almidonados como celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo tanto para lograr una degradación más eficiente de este material se necesita de la acción tanto de enzimas celulolíticas como amilolíticas, puesto que el acceso de la enzima a la

celulosa puede verse afectado por la cristalinidad de la celulosa, el contenido y la distribución de la lignina y la hemicelulosa, y el área superficial disponible (Chaikaew et al. 2012; Alvira et al. 2010).

4.3. PRUEBAS FISICOQUÍMICAS

4.3.1 Acidez titulable

De acuerdo al análisis de varianza para la acidez titulable (AT) se encontró efecto significativo ($p < 0,05$) en la interacción de los factores variedad*concentración de muestra*concentración de enzima (Anexo B), indicando con ello que hay una variación en los niveles de los factores para la acidez titulable no manteniéndose una tendencia general. Al comparar los valores de acidez de los tratamientos hidrolizados con el de las harinas y almidones nativos (Almidón espino (0,06), Almidón diamante (0,29), Almidón criollo (0,17), Harina espino (0,46), Harina diamante (0,63), Harina criollo (0,75)), se observa (Tabla 5) que para el almidón de ñame espino hubo un aumento en los valores de acidez titulable para la concentración de enzima al 0,15 y 0,35 $\mu\text{L/mL}$ en, lo mismo ocurrió para los tratamientos almidón criollo-5% muestra y ambas concentraciones de enzima, este mismo comportamiento fue reportado por Montes et al. (2008), quienes obtuvieron para almidones modificados de *D. trifida* valores de acidez titulable por encima de los del almidón nativo justificando además que estos valores están relacionados con valores más bajos de pH. Caso contrario ocurrió para los demás tratamientos, donde la acidez titulable disminuyó en comparación con los nativos.

Tabla 5. Valores promedio de la acidez titulable de almidones y harinas de ñame hidrolizados.

Concentración de enzima	Concentración de la muestra	
	5%	10%
	Almidón espino	
0,15 $\mu\text{L/MI}$	0,22 \pm 0,78 aBb ₁	0,19 \pm 0,90 bAb ₃ c ₃
0,35 $\mu\text{L/MI}$	0,10 \pm 0,42 bAb ₂	0,46 \pm 1,86 aBa ₄
	Almidón criollo	

0,15 µL/MI	0,18±0,48 aAb ₁ c ₁	0,17±0,66 aBb ₃ c ₃
0,35 µL/MI	0,20±0,48 bAb ₂	0,11±0,19 bBd ₄
Almidón diamante		
0,15 µL/mL	0,14±0,66 aAc ₁	0,14±0,60 aBc ₃
0,35 µL/mL	0,10±0,78 aAb ₂	0,22±0,54 bBc ₄
Harina espino		
0,15 µL/mL	0,12±0,54 bAb ₁	0,20±0,72 aBa ₃ b ₃ c ₃
0,35 µL/mL	0,20±0,90 aAa ₂	0,13±0,48 bBa ₄
Harina criollo		
0,15 µL/mL	0,28±0,90 aAa ₁	0,26±0,78 bBa ₃
0,35 µL/mL	0,11±0,66 bAb ₂	0,32±1,20 aBb ₄
Harina diamante		
0,15 µL/mL	0,19±1,32 aAb ₁ c ₁	0,23±1,14 bAa ₃ b ₃
0,35 µL/mL	0,17±0,54 bAb ₂	0,29±1,38 aAd ₄

*promedio de tres repeticiones ± desviación patrón.

**Medias con letras minúsculas en columnas indican comparaciones entre la concentración de enzima para cada variedad de almidón y concentración de la muestra; letras mayúsculas en filas indican comparaciones entre la concentración de la muestra para cada variedad de almidón y concentración de enzima; letras minúsculas con subíndices (1, 2, 3 y 4) indican comparaciones entre las variedades para un nivel fijo de cantidad de enzima y concentración de la muestra. Diferentes letras indican diferencia estadísticamente significativa conforme a la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Por otra parte, al evaluar la incidencia de la cantidad de enzima sobre cada variedad de almidón y harina junto a la concentración de muestra (Tabla 5), se observó que hubo diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) para todos los tratamientos evaluados a excepción de los tratamientos almidón diamante-5% de muestra donde se observa una disminución.

Tabla 5. Valores promedio de la acidez titulable de almidones y harinas de ñame hidrolizados.

Concentración de enzima	Concentración de la muestra	
	5%	10%
Almidón espino		
0,15 µL/mL	0,22±0,78 aBb ₁	0,19±0,90 aBb ₃ c ₃
0,35 µL/mL	0,10±0,42 bAb ₂	0,46± 1,86 aBa ₄
Almidón criollo		
0,15 µL/mL	0,18±0,48 aAb ₁ c ₁	0,17±0,66 aBb ₃ c ₃
0,35 µL/mL	0,20±0,48 bAb ₂	0,11±0,19 bBd ₄
Almidón diamante		
0,15 µL/mL	0,14±0,66 aAc ₁	0,14±0,60 aBc ₃
0,35 µL/mL	0,10±0,78 aAb ₂	0,22±0,54 bBc ₄
Harina espino		
0,15 µL/mL	0,12±0,54 bAb ₁	0,20±0,72 aBa ₃ b ₃ c ₃
0,35 µL/mL	0,20±0,90 aAa ₂	0,13±0,48 bBa ₄
Harina criollo		
0,15 µL/mL	0,28±0,90 aAa ₁	0,26±0,78 bBa ₃
0,35 µL/mL	0,11±0,66 bAb ₂	0,32±1,20 aBb ₄
Harina diamante		
0,15 µL/mL	0,19±1,32 aAb ₁ c ₁	0,23±1,14 bAa ₃ b ₃
0,35 µL/mL	0,17±0,54 bAb ₂	0,29±1,38 aAd ₄

*promedio de tres repeticiones ± desviación patrón.

**Medias con letras minúsculas en columnas indican comparaciones entre la concentración de enzima para cada variedad de almidón y concentración de la muestra; letras mayúsculas en filas indican comparaciones entre la concentración de la muestra para cada variedad de almidón y concentración de enzima; letras minúsculas con subíndices (1, 2, 3 y 4) indican comparaciones entre las variedades para un nivel fijo de cantidad de enzima y concentración de la muestra. Diferentes letras indican diferencia estadísticamente significativa conforme a la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Así mismo, al realizar comparaciones entre la concentración de la muestra para cada variedad de almidón y concentración de enzima se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) para todos los tratamientos excepto los de harina de ñame diamante. De esta manera, para los tratamientos con harina de ñame criollo así como los de almidón y harina de ñame diamante, se muestran valores de AT mayores cuando se utiliza una concentración de muestra del 10% Excepto concentración 0,15 que es que permanece constante para almidón diamante y 0,15 de harina criollo que presenta una disminución en los valores. La acidez es un índice de calidad importante de la materia prima vegetal, ya que permite determinar si el producto ha sufrido o no algún deterioro ya sea fisicoquímico o microbiológico; el valor de acidez es debido a la presencia de diversos ácidos orgánicos, en proporciones variables, principalmente: cítrico, málico, tartárico, oxálico, fórmico, succínico, galacturónico, entre otros (Holguín y Mercado 2011).

4.3.2. pH

En la Tabla 6 se muestran los valores de pH de los almidones y harinas hidrolizadas de ñame. De esta manera, en el análisis de varianza para pH se encontró un efecto significativo ($p < 0,05$) de la interacción de los factores variedad*concentración de muestra*concentración de enzima (Anexo B), indicando con ello que hay una variación en los niveles de los factores para el pH, no manteniéndose una tendencia general.

De esta manera al comparar los valores de pH de los hidrolizados con las harinas y almidones nativos (Almidón espino (7,77), Almidón diamante (7,54), Almidón criollo (6,19), Harina espino (6,34), Harina diamante (6,13), Harina criollo (6,065)) se tiene que con la hidrólisis enzimática disminuyó el pH en todos almidones y harinas hidrolizados.

Los valores bajos de pH aceleran el hinchamiento y descomposición del gránulo de almidón y a altas temperaturas efectúa la hidrólisis de los enlaces glucosídicos, como por ejemplo cuando se hornean pasteles de frutas, así mismo este tipo de almidones son ideales para conservas, aderezos para ensaladas, rellenos de frutas entre otros alimentos (Manson 2015).

Tabla 6. Valores promedio del pH de almidones y harinas de ñame hidrolizados.

Concentración de enzima	Concentración de la muestra	
	5%	10%
	Almidón espino	
0,15 µL/mL	4,10±0,04 bBc ₁	4,18±0,01 bAb ₃
0,35 µL/mL	4,63±0,04 aAc ₂	4,42±0,02 aBb ₄
	Almidón criollo	
0,15 µL/mL	4,30±0,04 bBc ₁	4,28±0,007 aAb ₃
0,35 µL/mL	4,58±0,01 aAa ₂	4,26±0,03 bBb ₄ c ₄
	Almidón diamante	
0,15 µL/mL	4,23±0,04 bBc ₁	4,72±0,01 aAa ₃
0,35 µL/mL	4,67±0,01 aBb ₂	4,69±0,02 bAa ₄
	Harina espino	
0,15 µL/mL	5,26±0,05 aAa ₁	4,38±0,02 aBb ₃
0,35 µL/mL	4,51±0,06 bBf ₂	4,35±0,05 bAb ₄ c ₄
	Harina criollo	
0,15 µL/mL	4,75±0,00 aBb ₁	4,69±0,04 aAa ₃
0,35 µL/mL	4,74±0,03 bBd ₂	4,70±0,04 bAa ₄
	Harina diamante	
0,15 µL/mL	4,72±0,04 aBb ₁	4,59±0,01 aAa ₃
0,35 µL/mL	4,72±0,00 bAe ₂	4,16±0,02 bBc ₄

*promedio de tres repeticiones ± desviación patrón.

**Medias con letras minúsculas en columnas indican comparaciones entre la concentración de enzima para cada variedad de almidón y concentración de la muestra; letras mayúsculas en filas indican comparaciones entre la concentración de la muestra para cada variedad de almidón y cantidad de enzima; letras minúsculas con subíndices (1, 2, 3 y 4) indican comparaciones entre las variedades para un nivel fijo de cantidad de enzima y concentración de la muestra. Diferentes letras indican diferencia estadísticamente significativa conforme a la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Por otro lado, al evaluar el efecto de la concentración de la muestra para cada variedad de almidón y concentración de enzima sobre el valor de pH (Tabla 6), se observó que existe diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para cada uno de los tratamientos evaluados.

4.4. PRUEBAS TECNOLÓGICAS

4.4.1 Estabilidad y claridad de las pastas

En las Figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11, se muestran los valores de transmitancia de los almidones y harinas hidrolizadas de ñame espino, criollo y diamante, así como de los nativos de estas variedades, los valores de transmitancia obtenidos en este estudio

muestran geles transparentes y algunos opacos. Las pastas de almidón con porcentajes de transmitancia (%T) menor del 40% son consideradas opacas, mientras que las que tienen %T superiores a 40% son consideradas transparentes (Meaño et al. 2014; Aristizábal y Sánchez 2007).

En la Figura 6 se observa el comportamiento de la estabilidad y claridad de las pastas de las harinas nativa e hidrolizada de ñame espino a temperatura ambiente y a 4° C, la mayoría de estos geles obtenidos son considerados transparentes. Los geles que presentan menor cantidad de amilosa se dispersan fácilmente incrementando su claridad (Hernández-Medina et al. 2008). Se observa que los geles almacenados a temperatura ambiente presentaron porcentajes de transmitancia (%T) superiores al de la harina nativa para todos los tratamientos a excepción del tratamiento 5% muestra-0,15µL/mL de enzima, así mismo los demás tratamientos presentaron estabilidad en el tiempo. A los 4° C se presentaron menores valores de transmitancia que a temperatura ambiente, presentándose mayor estabilidad en los tratamientos con 10% de muestra.

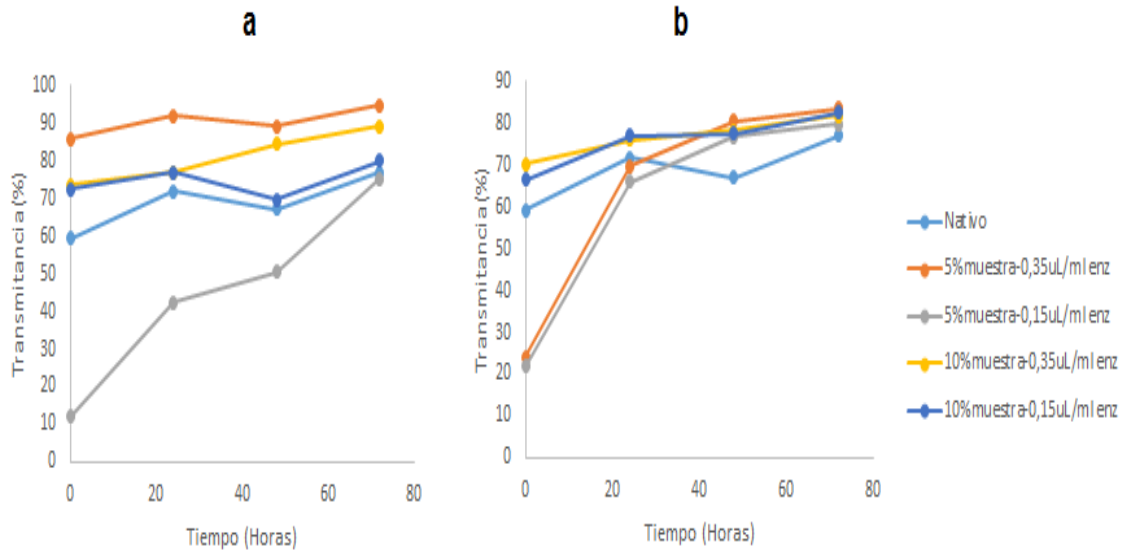


Figura 6. Transmitancia de Harinas de ñame espino, nativa e hidrolizadas. a) Almacenados a temperatura ambiente y b) Almacenados a 4 °C.

Por otro lado, en las harinas de ñame criollo (Figura 7) se formaron geles transparentes los cuales presentaron estabilidad en el tiempo, siendo más estables a 4 °C. Así mismo con relación a la harina nativa los %T para los geles almacenados a 4 °C estuvieron por encima del valor reportado a partir de las 24 horas. Por otro lado, a temperatura ambiente el tratamiento 5% muestra-0,35µL/mL de enzima presentó estabilidad hasta las 48 horas para después disminuir en el %T, de acuerdo con Bello-Pérez et al. (2002), un mayor tiempo de almacenamiento puede influir en la disminución del %T, ya que la propagación y maduración de los cristales en la fracción de la amilopectina puede verse favorecida, lo cual aumenta la retrogradación.

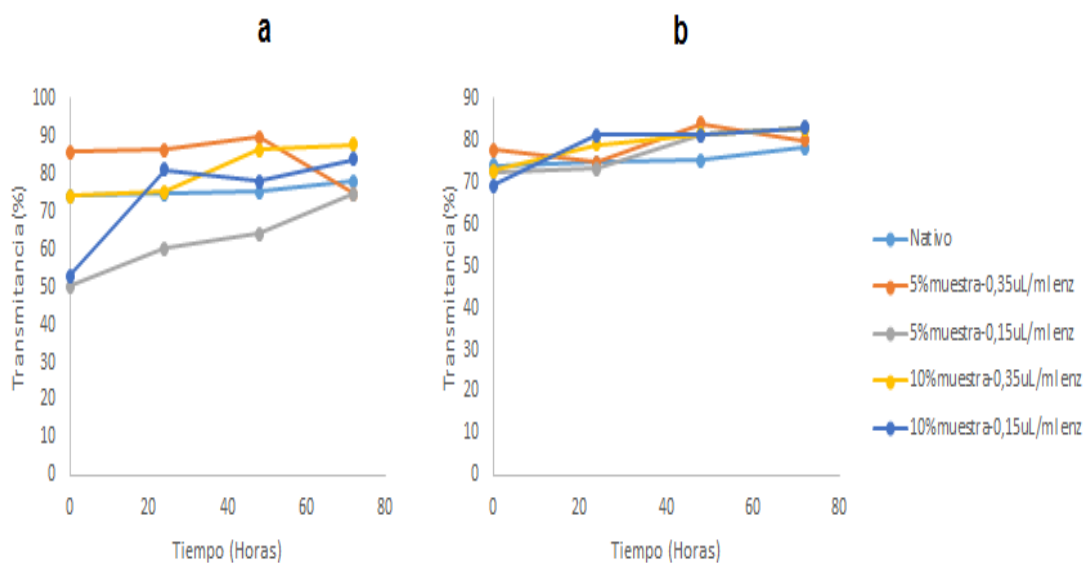


Figura 7. Transmitancia de Harinas de ñame criollo, nativa e hidrolizadas. a) Almacenados a temperatura ambiente y b) Almacenados a 4 °C.

En cuanto a la claridad y estabilidad de las harinas de ñame diamante (Figura 8), a temperatura ambiente y a 4 °C formaron geles transparentes a las 72 horas de almacenamiento. Así mismo a temperatura ambiente presentaron un comportamiento más estable y similar al de la nativa a excepción de los dos tratamientos con 5% de muestra, en los cuales a 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima se presenta estabilidad en el %T hasta las 48 horas para después descender a las 72 horas, así mismo para el mismo porcentaje de muestra y 0,35 y 0,15 $\mu\text{l}/\text{ml}$ de enzima el %T es menor que el nativo e inició con un gel opaco a las 0 hora hasta obtener un gel transparente y estable entre las 4 y 72 horas. En cuanto a los geles almacenados a 4 °C, los tratamientos acorde a la figura expuesta (5% muestra-0,35 μl de enzima, 5% muestra-0,15 μl de enzima, 10% muestra-0,35 μl de enzima), presentaron un pico descendente en el %T a las 24 horas para luego aumentar a las 48 horas y mostrar un comportamiento similar al de la harina nativa en este periodo de tiempo hasta las 72 horas; por otro lado el tratamiento 10% muestra-0,15 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima mostró un comportamiento más estable aunque con %T mayor que el de la harina nativa a 4° C.

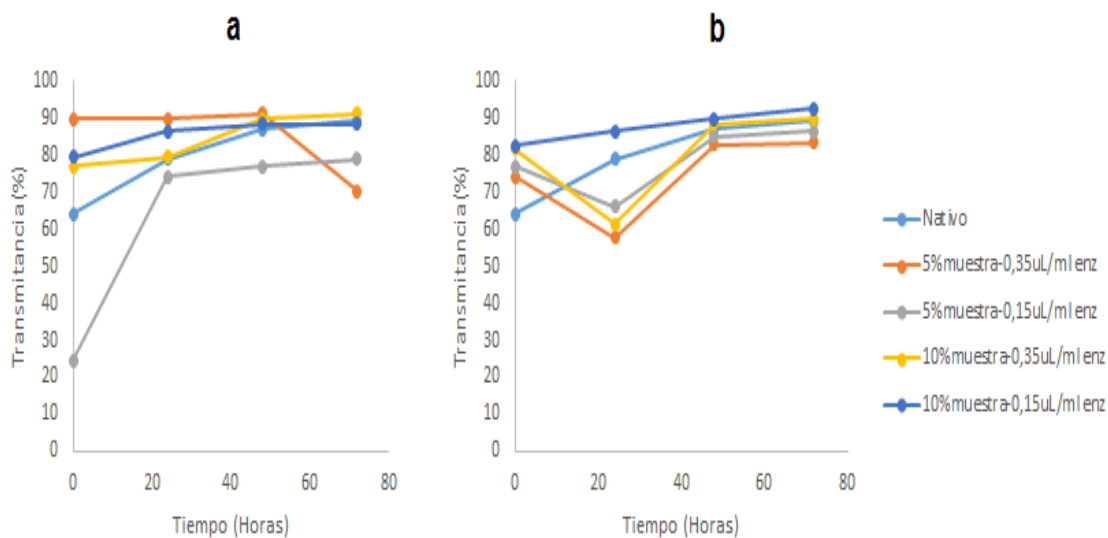


Figura 8. Transmitancia de Harinas de ñame diamante, nativa e hidrolizadas. a) Almacenados a temperatura ambiente y b) Almacenados a 4 °C.

En la Figura 9 (a y b), se muestra la transmitancia de los almidones de ñame espinero. Los geles de los almidones hidrolizados de esta variedad son transparentes, mientras que el nativo es opaco. Para ambas temperaturas evaluadas, los valores de transmitancia de los almidones hidrolizados estuvieron por encima del nativo. Los tratamientos a temperatura ambiente presentaron una mejor estabilidad en el tiempo a excepción del tratamiento 5% muestra-0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima que presentó un pico descendente a las 24 horas. A los 4 °C los geles de los hidrolizados presentaron un comportamiento similar, en el cual mostraron un ascenso del %T a las 24 horas y luego un descenso a las 48 horas y estabilizarse hasta las 72 horas. Así mismo, los %T a temperatura ambiente de los almidones hidrolizados son mayores que a 4 °C. El comportamiento de los geles de los tratamientos con 5% de muestra y 10% muestra-0,15 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima a temperatura ambiente es similar al reportado por Paternina (2017) para esta variedad utilizando 4% muestra-0,15 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima a una temperatura de 63 °C obteniendo un %T de aproximadamente 90%, aunque el %T obtenido para este estudio fue menor a temperatura ambiente que el reportado por este autor.

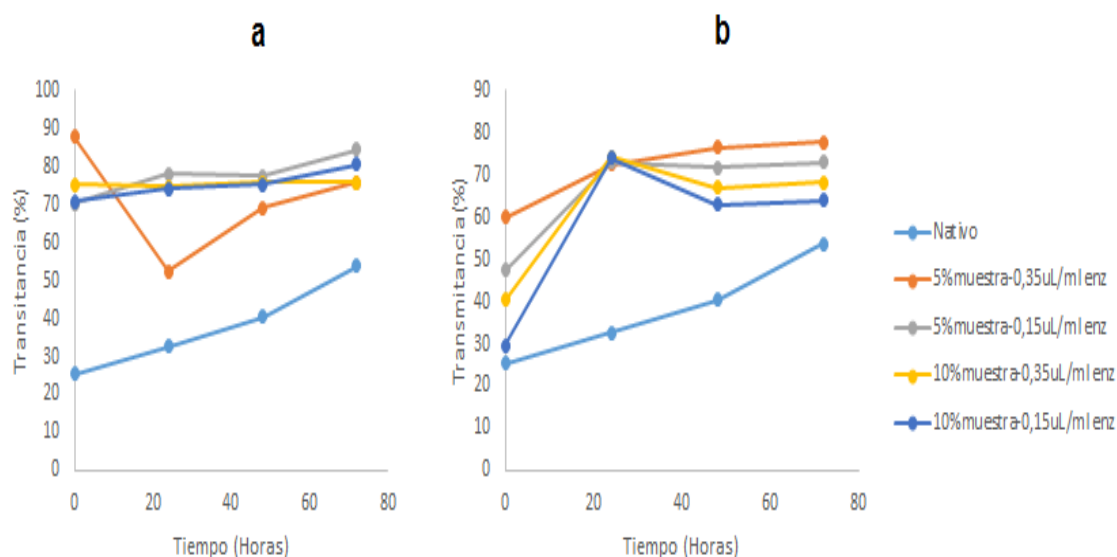


Figura 9. Transmitancia de Almidones de ñame espino, nativo e hidrolizados. a) Almacenados a temperatura ambiente y b) Almacenados a 4 ° C.

Por otro lado, en los almidones de ñame criollo (Figura 10 a y b) a temperatura ambiente, a las 0 hora el almidón nativo presentó un %T menor que el de los hidrolizados el cual descendió al transcurrir el tiempo y a las 72 horas el %T de los hidrolizados fue superior al del nativo. A los 4 ° C el comportamiento del almidón nativo, difiere de los hidrolizados, mostrando un %T menor, los hidrolizados presentaron un aumento en él %T a las 20 horas, pero luego descendieron al transcurrir del tiempo. Algunos autores afirman que una temperatura de almacenamiento de 4 °C puede contribuir a la formación de cristales menos perfectos que los formados a temperatura ambiente. Así mismo, la disminución de la transmitancia puede estar relacionada con el hecho de que la agregación de las cadenas de amilosa puede ser llevada a mayor velocidad a bajas temperaturas (Paternina 2017; Bello- Pérez et al. 2002).

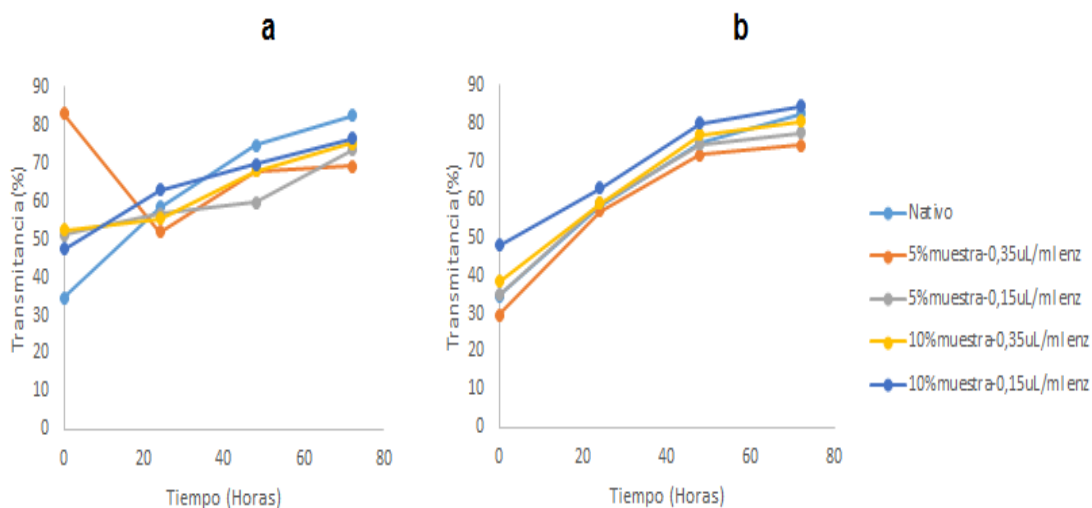


Figura 10. Transmitancia de Almidones de ñame criollo, nativo e hidrolizado. a) Almacenados a temperatura ambiente y b) Almacenados a 4 °C.

En la Figura 11(a y b), se muestran los %T de los almidones de ñame diamante a temperatura ambiente y a 4 ° C, respectivamente. De esta manera, a temperatura ambiente se observó que la mayoría de los tratamientos y el nativo mostraron un comportamiento similar, a excepción del tratamiento con 10% muestra-0,15 $\mu\text{L}/\text{ml}$ de enzima el cual mostró valores de %T menores todos tratamientos, así mismo a esta temperatura los valores de %T aumentaron en el tiempo, sin sobrepasar a las 72 horas un %T de 70% (Figura 11a). Por otra parte, todos los geles de los almidones hidrolizados de esta variedad de ñame (Figura 11b) almacenados a 4° C mostraron un comportamiento similar, aumentando los valores de %T desde las 0 hora hasta las 48 horas, para disminuir en el periodo de tiempo hasta las 72 horas; así mismo, los almidones hidrolizados presentaron valores de transmitancia menores que el del almidón nativo, y los geles son considerados opacos.

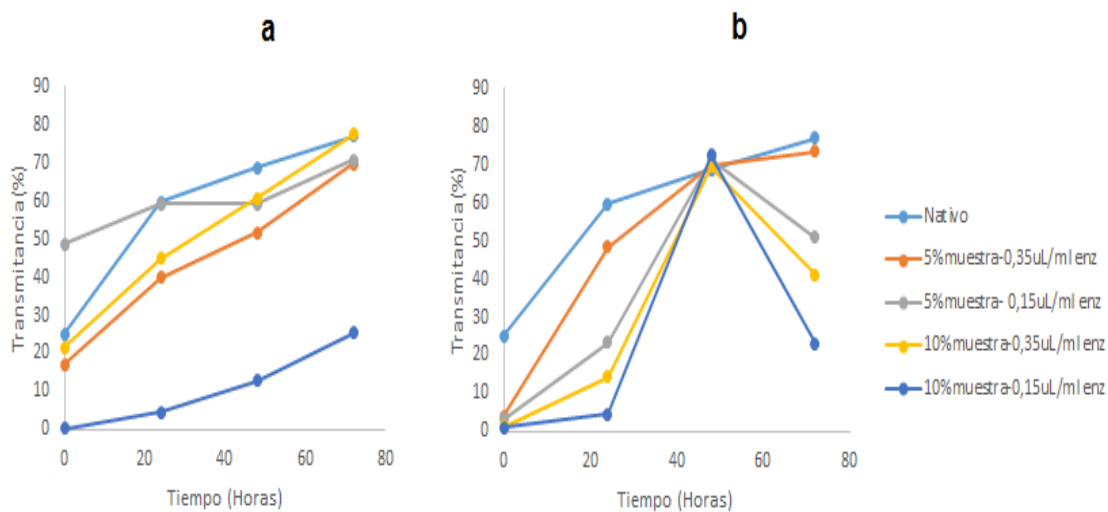


Figura 11. Transmitancia de Almidones de ñame diamante, nativo e hidrolizados. a) Almacenados a temperatura ambiente y b) almacenados a 4°C.

En los tratamientos donde los %T fueron mayores en los hidrolizados que en el nativo, se podría decir que en estos casos la hidrólisis enzimática mejoró la claridad de las pastas. La mayoría de los geles obtenidos en este estudio son considerados transparentes, así mismo los %T a 4 ° C obtenidos para todos los almidones enzimáticos evaluados estuvieron por encima del rango reportado por Montes et al. (2008) para almidones enzimáticos de *D. trífida* en los cuales los %T estuvieron alrededor de 20-50%. La transparencia u opacidad en los geles son unas características que influyen sobre brillantez y opacidad del color de los productos en los que se empleen como espesantes (Hernández-Medina et al. 2008); por tanto, los geles opacos no son deseables para la industria de alimentos y textil, puesto que se requiere una alta claridad (Nuwamanya et al. 2011). Estos geles opacos como los hidrolizados de ñame diamante (5% muestra- 0,15 μ L/mL de enzima, 10% muestra 0,15 μ L/mL de enzima, 10% muestra-0,35 μ L/mL de enzima) podrían ser utilizados en alimentos de poca transparencia como mayonesas, productos cárnicos, bebidas tipo néctar o productos de panificación (Paternina 2017; Hernández-Medina et al. 2008). Por otro lado, los demás tratamientos de harinas y almidones hidrolizados de ñame diamante, espino y criollo cuyos geles fueron

transparentes pueden ser utilizados en alimentos como mermeladas, gelatinas y confiterías (Hernández-Medina et al. 2008).

4.4.2. Capacidad de absorción de agua

De acuerdo al análisis de varianza para la capacidad de absorción de agua (CAA) se encontró efecto significativo ($p < 0,05$) de la interacción de los factores variedad*concentración de muestra*concentración de enzima (Anexo C), lo cual indica que existe una variación en los niveles de los factores para la CAA no manteniéndose una tendencia general.

De esta manera, al evaluar el efecto de la cantidad de enzima sobre cada concentración de muestra y la variedad del sustrato (Tabla 7) se observa que para el caso de los almidones hidrolizados no existe diferencia significativa en los valores de CAA solo cuando se utilizan las variedades espino y diamante con una concentración del 5%. En cuanto a las harinas hidrolizadas no existe diferencia significativa en los valores de CAA cuando se utiliza la variedad diamante con ambas concentraciones de muestra y la variedad criollo con 10% de muestra.

Tabla 7. Valores promedio de la CAA (g/g) de almidones y harina de ñame hidrolizados.

Concentración de enzima	Concentración de la muestra	
	5%	10%
	Almidón espino	
0,15 µL/MI	1,275±0,066 aBb ₁ c ₁	2,201±0,250 aAa ₃
0,35 µL/MI	1,590±0,586 aAb ₂	0,738± 0,144 bBc ₄
	Almidón criollo	
0,15 µL/mL	1,904±0,230 aAa ₁	1,813±0,194 aAa ₃ b ₃ c ₃
0,35 µL/mL	1,093±0,118 bAb ₂	0,748±0,198 bAc ₄
	Almidón diamante	
0,15 µL/mL	1,629±0,179 aAa ₁ b ₁	1,356±0,287 aAb ₃ c ₃
0,35 µL/mL	1,456±0,089 aAb ₂	0,550±0,256 bBc ₄
	Harina espino	
0,15 µL/mL	0,984±0,474 bAc ₁	1,279±0,169 bAc ₃
0,35 µL/mL	2,567±0,231 aAa ₂	2,070±0,186 aBa ₄
	Harina criollo	
0,15 µL/mL	2,052±0,109 aAa ₁	1,933±0,136 aAa ₃ b ₃
0,35 µL/mL	1,620±0,296 bAb ₂	1,637±0,252 aAa ₄ b ₄
	Harina diamante	
0,15 µL/mL	1,596±0,025 aAa ₁ b ₁	1,635±0,192 aAa ₃ b ₃ c ₃
0,35 µL/mL	1,582±0,188 aAb ₂	1,481±0,132 aAb ₄

*promedio de tres repeticiones ± desviación patrón.

**Medias con letras minúsculas en columnas indican comparaciones entre la concentración de enzima para cada variedad de almidón y concentración de la muestra; letras mayúsculas en filas indican comparaciones entre la concentración de la muestra para cada variedad de almidón y cantidad de enzima; letras minúsculas con subíndices (1, 2, 3 y 4) indican comparaciones entre las variedades para un nivel fijo de cantidad de enzima y concentración de la muestra. Diferentes letras indican diferencia estadísticamente significativa conforme a la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La mayor media (2,567g/g) de CAA se presentó para la harina de espino con 5% de muestra y 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima, además a nivel muestral el promedio de los valores de CAA de las harinas hidrolizadas fue mayor que el de los almidones hidrolizados. Este comportamiento puede deberse al mayor contenido de proteínas que interactúan con el agua, tal capacidad depende de las interacciones proteína-agua y agua-agua, y de la capilaridad del alimento, ya que una mayor CAA se puede atribuir a la retención física de agua por acción capilar (Aguilera 2009). Por otro lado, Andrade et al. (2017) indican que menores valores de CAA sugieren una mayor proporción de grupos hidroxilo en la formación de hidrógeno y enlaces covalentes entre las cadenas de almidón que con el agua.

Al comparar los valores de CAA de los almidones hidrolizados con los nativos de ñame espino (0,855 \pm 0,14 g/g), ñame criollo (0,842 \pm 0,375 g/g) y ñame diamante (1,230 \pm 0,075 g/g), se tiene que hubo un aumento en los valores de CAA, a excepción de los tres tratamientos con 10% de muestra y 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima. Este aumento puede estar asociado al aumento en el área superficial de los gránulos de almidón ocasionada por la hidrólisis enzimática (Paternina 2017). Así mismo los valores de CAA para el almidón enzimático de ñame criollo tratado con 0,15 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima se encuentran por encima de los obtenidos por Oke et al. (2013), quienes reportan valores de CAA para diferentes variedades de ñame criollo entre 0,27 y 1,12 g/g. Según Rincón (2007), el aumento de CAA en almidones modificados puede deberse al rompimiento de las fuerzas intragranulares en la región amorfa, lo cual genera una desorganización de la estructura del gránulo, ocasionando por el desdoblamiento de las regiones con doble hélice, facilitando con ello el ingreso de agua al gránulo.

Así mismo, hubo una disminución de los valores de CAA en las harinas hidrolizadas tratadas con 0,15 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de enzima de ñame espino y las harinas tratadas con 0,35 $\mu\text{L}/\text{mL}$ en ñame diamante, en comparación con las nativas. Para las demás harinas hidrolizadas los valores de CAA estuvieron por encima de los obtenidos para las nativas, los cuales corresponden a 1,324 \pm 0,125 g/g 1,586 \pm 0,665 g/g y 1,444 \pm 0,229 g/g para ñame espino, ñame diamante y ñame criollo, respectivamente. La CAA es importante en alimentos viscosos como sopas, salsas, masas y productos horneados en los que se requiere una buena interacción proteína-agua, para el volumen y consistencia de las masas (Amandikwa et al. 2015; Abebe et al. 2015). Además, los valores de CAA de las harinas hidrolizadas de ñame criollo y diamante estuvieron por encima de los reportados por Oke et al. (2013) para diferentes variedades de harinas nativas de ñame (0,21-1,38 g/g).

4.4.3. Estabilidad al descongelamiento

En la Tabla 8 se presenta la estabilidad al descongelamiento (sinéresis) de los almidones y harinas de ñame. De acuerdo a Otegbayo et al. (2011) el fenómeno de la sinéresis se basa en la exudación de agua a partir de geles congelados durante el proceso de retrogradación, siendo esta una propiedad muy importante para la industria alimenticia, ya que sugiere una menor retrogradación durante el almacenamiento congelado (Yang et al. 2017).

Tabla 8. Porcentaje de sinéresis de almidones y harinas enzimáticas de ñame.

Variedad de almidón y de harina	Concentración de la muestra (%)	Concentración de enzima ($\mu\text{L}/\text{mL}$)	Sinéresis (%)			Sinéresis (%) acumulada
			Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
Almidón Nativo Criollo	-	-	91,43 \pm 0,23	1,62 \pm 0,84	5,91 \pm 4,26	98,96
Almidón Nativo Espino	-	-	21,63 \pm 0,59	20,03 \pm 2,45	21,03 \pm 2,13	62,69
Almidón Nativo Diamante	-	-	47,74 \pm 12,17	12,38 \pm 3,91	8,12 \pm 1,33	68,24
Harina Nativa Espino	-	-	30,14 \pm 5,05	25,30 \pm 1,13	9,00 \pm 1,11	64,44
Harina Nativa Criollo	-	-	45,60 \pm 6,66	17,99 \pm 4,61	7,67 \pm 0,72	71,26
Harina Nativa Diamante	-	-	50,55 \pm 3,62	10,67 \pm 0,66	3,06 \pm 0,14	64,28
Harina Espino	5	0,35	53,16 \pm 1,191	27,00 \pm 3,25	6,86 \pm 4,552	79,82
Harina Criollo	5	0,35	56,27 \pm 5,941	31,73 \pm 5,13	15,25 \pm 8,824	86,37
Harina Diamante	5	0,35	57,91 \pm 2,654	26,84 \pm 1,87	12,14 \pm 6,432	74,97
Almidón Espino	5	0,35	55,78 \pm 3,262	28,52 \pm 2,17	11,41 \pm 6,068	80,39
Almidón Criollo	5	0,35	72,01 \pm 1,673	28,97 \pm 0,28	4,90 \pm 2,210	82,37
Almidón Diamante	5	0,35	42,41 \pm 4,827	31,33 \pm 1,96	4,46 \pm 2,032	70,89
Harina Espino	5	0,15	43,71 \pm 12,19	29,11 \pm 8,25	10,44 \pm 6,113	74,76
Harina Criollo	5	0,15	48,28 \pm 7,319	32,62 \pm 2,18	9,81 \pm 7,444	82,05
Harina Diamante	5	0,15	54,88 \pm 4,830	25,44 \pm 0,89	12,47 \pm 6,612	74,39
Almidón Espino	5	0,15	37,70 \pm 4,241	26,93 \pm 2,96	6,39 \pm 3,082	67,65
Almidón Criollo	5	0,15	55,67 \pm 1,805	28,50 \pm 0,57	5,19 \pm 1,856	73,09
Almidón Diamante	5	0,15	47,20 \pm 1,333	21,77 \pm 1,03	12,30 \pm 6,624	66,05
Harina Espino	10	0,35	42,81 \pm 1,159	25,96 \pm 4,66	12,59 \pm 6,126	66,73
Harina Criollo	10	0,35	66,52 \pm 0,137	29,25 \pm 1,14	9,10 \pm 4,489	87,92
Harina Diamante	10	0,35	61,96 \pm 3,400	30,82 \pm 1,61	11,02 \pm 5,538	86,04
Almidón Espino	10	0,35	88,30 \pm 0,022	30,84 \pm 0,02	0,00 \pm 0,358	90,45
Almidón Criollo	10	0,35	60,70 \pm 8,581	29,84 \pm 3,89	0,49 \pm 0,267	80,02
Almidón Diamante	10	0,35	64,06 \pm 0,836	29,34 \pm 1,15	6,64 \pm 3,561	82,23
Harina Espino	10	0,15	63,47 \pm 3,891	25,53 \pm 0,36	3,47 \pm 1,232	76,68
Harina Criollo	10	0,15	69,57 \pm 1,553	27,27 \pm 0,66	2,90 \pm 0,576	76,45
Harina Diamante	10	0,15	72,29 \pm 3,375	33,51 \pm 0,10	9,11 \pm 4,292	92,47
Almidón Espino	10	0,15	78,38 \pm 1,936	28,97 \pm 1,08	0,98 \pm 1,275	83,50
Almidón Criollo	10	0,15	69,41 \pm 4,919	31,57 \pm 0,99	0,28 \pm 0,986	88,18
Almidón Diamante	10	0,15	45,19 \pm 3,089	30,82 \pm 2,43	11,03 \pm 5,813	78,35

Media aritmética \pm error estándar.

De esta manera, al transcurrir los tres ciclos evaluados, en los almidones y harinas el porcentaje de sinéresis disminuye significativamente, siendo más evidente en los almidones de espino y criollo donde se usó 10% de muestra, esto puede indicar una posible disminución del contenido de amilosa de estas muestras, puesto que según Salcedo-Mendoza et al. (2018) con la despolimerización de las moléculas de amilosa se producen áreas más lineales.

Así mismo, al comparar las harinas y almidones nativos con los hidrolizados se observa que para los almidones hidrolizados de ñame espino y ñame criollo el porcentaje de sinéresis acumulada aumento; por tanto, se puede decir que en estos casos mejoró la estabilidad al ciclo congelamiento-descongelamiento, caso contrario ocurrió en los almidones hidrolizados de ñame diamante donde este valor porcentual aumentó con exención a la concentración 5% y 0,15 de enziama presento una ligera disminucion ; de igual forma sucedió en el caso de todas las harinas hidrolizadas. De esta manera, para los almidones de ñame espino tratados con enzimas en el tercer ciclo de congelamiento, en comparación con el nativo de esta variedad, hubo una considerable disminución en el porcentaje de sinéresis. Además, en el tercer ciclo de sinéresis los almidones enzimáticos de ñame espino y criollo (10% muestra-0,35 μ L/mL de enzima, 10% muestra-0,15 μ L/mL de enzima) presentaron una sinéresis muy baja (<1%). Según Pacheco y Techeira (2009), la modificación del almidón pudo ocasionar una despolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina, generando moléculas más lineales, lo cual pudo ocasionar un fenómeno de agregación gradual de las cadenas lineales formando una malla que disminuyó los porcentajes de agua separada.

En el primer ciclo de sinéresis se nota un aumento en el porcentaje de sinéresis en todos los almidones hidrolizados de ñame espino al igual que en las harinas hidrolizadas de esta variedad y de la variedad criollo, en comparación con el almidón y las harinas nativas, respectivamente. En el caso, del almidón hidrolizado de ñame diamante, hubo un aumento del porcentaje de sinéresis en el primer ciclo del almidón tratado con 10% de muestra-0,35 μ L/mL de enzima, este mismo comportamiento sucedió en todas las harinas hidrolizadas de esta variedad en comparación con los valores de los nativos. Así mismo, en el primer ciclo de sinéresis se presentó un aumento de este valor en todos los almidones hidrolizados de ñame criollo en comparación con el almidón nativo de esta variedad. No obstante, el comportamiento de los valores porcentuales en los tres ciclos de sinéresis para todos los almidones y harinas evaluados es descendente.

4.4.4 Solubilidad en agua

En la Tabla 9 se muestran los valores de solubilidad en agua de almidones y harinas de ñame hidrolizados. Se muestra que a una temperatura de 30 ° C, en el caso de las harinas disminuyó considerablemente el porcentaje de solubilidad para la mayoría de los tratamientos a excepción de los de harina de ñame criollo y el tratamiento de harina de ñame diamante-10%-muestra-0,35µl/mL enzima, en los cuales aumentó el porcentaje de solubilidad. Según Bello-Pérez et al. (2002) la presencia de algunos compuestos químicos en las harinas como proteínas, que al estar conjuntamente con la fracción de almidón pueden incrementar la solubilidad a temperatura ambiente.

En el caso de los almidones a la temperatura de 30 ° C, se observó un aumento en todos los valores de solubilidad en comparación con los almidones nativos. De esta manera, a 30 ° C el mayor valor de solubilidad (131,5%), se presentó para el almidón de ñame criollo-5%de muestra-0,35µl/mL enzima, además esta variedad fue la que presentó los mayores valores de solubilidad. Este comportamiento puede deberse a la facilidad de dispersión en agua causada por la disminución en el número de asociaciones entre cadenas de almidón, así como la despolimerización o el acortamiento de los polímeros que conforman el almidón, permitiendo una mejor y rápida movilidad de los componentes en el medio de dispersión (Pacheco y Techeira, 2009). Así mismo, según Techeira (2008) los almidones que poseen la capacidad de solubilizarse a temperatura ambiente, pueden utilizarse como agentes espesantes ideales para la preparación de productos instantáneos, como pudines, rellenos para tortas, bebidas, entre otros.

Tabla 9. Valores de solubilidad en agua de almidones y harinas de ñame hidrolizados.

Temperatura	Variedad	Nativo	5% muestra-0,15 µL/mL enzima	5% muestra-0,35 µL/mL enzima	10% muestra-0,15 µL/mL enzima	10% muestra-0,35 µL/mL enzima
70 °C	harina diamante	19,21 ±0,35	2,45±1,68	5,73±0,95	4,89±0,13	4,47±0,86
	harina criollo	20,98±0,80	10,44±4,15	2,54±0,75	10,01±1,62	5,62±2,10

	harina espino	12,28±3,90	1,65±4,47	7,80±5,05	7,64±2,44	4,33±1,74
30 °C	harina diamante	19,70±0,36	4,83±1,69	4,38±0,94	5,07±0,14	28,31±0,87
	harina criollo	19,84±0,79	16,33±4,16	26,24±0,76	20,79±1,61	2,65±2,11
	harina espino	17,80±3,91	7,98±4,48	14,94±5,04	4,18±2,45	1,86±1,75
70 °C	almidón diamante	2,91±0,99	5,73±2,35	0,88±0,48	3,63±0,77	2,37±0,49
	almidón criollo	2,86±0,00	3,85±0,42	8,71±6,86	7,00±0,10	7,04±0,51
	almidón espino	2,50±0,58	4,30±0,56	5,42±0,00	4,59±0,34	41,60±5,64
30 °C	almidón diamante	1,51±1,00	2,41±2,36	1,57±0,49	11,80±0,76	5,91±0,50
	almidón criollo	2,88±0,01	3,25±0,43	131,55±0,86	6,84±0,11	7,77±0,50
	almidón espino	1,67±0,59	3,50±0,57	5,42±0,01	4,11±0,35	5,34±5,65

Media aritmética ± error estándar.

Por otro lado, a 70 ° C en el caso de las harinas hubo una disminución en el porcentaje de solubilidad para todos los tratamientos evaluados en comparación con la harina nativa, este mismo comportamiento se presentó para el almidón de ñame diamante-5% de muestra-0,35 µL/mL enzima. Para los demás almidones hidrolizados, se presentó un aumento en el porcentaje de solubilidad comparado con los almidones nativos, este comportamiento puede estar relacionado con un mayor grado de orden intragranular en el almidón nativo, lo cual dificulta la dispersión en agua de los componentes del granulo de almidón (Techeira 2008). Así mismo, investigadores afirman que se da una absorción irreversible y progresiva del agua generada por la ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas (Hernández-Medina 2008). De igual manera, Huang et al. (2016) dicen que en almidones tratados enzimáticamente el porcentaje de solubilidad aumenta debido a que la modificación mejora la interacción en la estructura amorfa y cristalina de las cadenas de almidón, así mismo lo atribuyen a la formación de fracciones de bajo peso molecular.

5. CONCLUSIONES

Los rendimientos en la producción de harinas y almidones dependieron de la variedad del ñame utilizado y presentaron valores superiores a otros estudios, siendo el ñame espino el de mayor rendimiento en almidón (9,77 %) y en harina (29,41%).

Se logró evaluar el grado de conversión de las harinas y almidones de tres variedades de ñame en el proceso de hidrólisis enzimática y se determinó que existieron diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos, lo cual indica que el proceso afecta de manera importante, reflejándose en el grado de equivalente de dextrosa, el peso final y la pérdida de peso luego del bioproceso.

Las harinas hidrolizadas de ñame presentaron una mayor capacidad de absorción de agua comparadas con los almidones hidrolizados de las mismas variedades, lo cual puede deberse a un mayor contenido de proteínas que interactúan con el agua. Así mismo; en la mayoría de los tratamientos, para harinas y almidones, la hidrólisis enzimática aumentó la CAA, posiblemente debido al rompimiento de las fuerzas intragranulares en la región amorfa, lo cual facilita el ingreso de agua al gránulo.

El porcentaje de sinéresis acumulada disminuyó para los almidones hidrolizados de ñame espino y ñame criollo en comparación con las harinas y almidones nativos, esto posiblemente ocasionado por el efecto de la modificación enzimática y la despolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina, lo cual ocasiona la disminución de los porcentajes de agua separada.

La mayoría de los geles formados presentaron porcentajes de transmitancia mayores del 40%, por lo que se consideran geles transparentes, y se podrían utilizar en productos de la industria alimentaria como mermeladas, gelatinas y confitería.

Con la hidrólisis enzimática se presentó un aumento en los valores de acidez titulable en las harinas y almidones de ñame en comparación con los valores de los nativos, este

comportamiento se puede correlacionar con valores bajos de pH obtenidos en los tratamientos evaluados.

Para el caso de los almidones hidrolizados hubo un aumento en los valores de solubilidad en agua a 30 ° C en comparación con el nativo, obteniéndose un valor máximo de 131,5%. Así mismo, a 70 ° C para las harinas hidrolizadas disminuyó el porcentaje de solubilidad en comparación con el nativo, comportamiento posiblemente relacionado con un mayor grado de orden intragranular, lo cual puede dificultar la dispersión del agua.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar otras propiedades funcionales, tales como viscosidad aparente, resistencia a la acidez, resistencia al corte, conductividad eléctrica, entre otras, para identificar otros posibles usos industriales de estos almidones modificados.
- Realizar ensayos con los almidones modificados y evaluar su calidad final en el desarrollo de productos de la industria alimenticia, farmacéutica, química o textil.
- Se recomienda continuar con el estudio de la modificación enzimática de las demás especies de ñame existentes en Colombia, teniendo en cuenta las regiones de procedencia, y evaluar sus propiedades funcionales para ampliar sus aplicaciones en los diferentes sectores de la industria.

7. BIBLIOGRAFÍA

Abebe, W., Collar, C. y Ronda, F. 2015. Impact of variety type and particle size distribution on starch enzymatic hydrolysis and functional properties of tef flours. *Carbohydrate Polymers* 115: 260-268

Acevedo, A. 2015. Desarrollo y productividad de ñame (*Dioscorea trifida* y *Dioscorea esculenta*) en diferentes condiciones hídricas. *Acta Agronómica* 64(1): 24-27

Adebowale, A., Sanni, L. y Awonorin, S. 2005 Effect of texture modifiers on the physicochemical and sensory properties of dried fufu. *Food Sci Technol Int.* 11: 373 - 382.

Aguilera, Y. 2009. Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

Agronet. [En línea], 2013. Producción de ñame en Colombia <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>. Acceso: 19 de diciembre (2015).

Agronet. [En línea], 2020. Producción de ñame en Colombia <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>. Acceso: 2 de marzo (2020).

Almeida, R., Pereira, T., Freire, V., Santiago, A., Lisboa, H., Sousa, L. y Pereira, R. 2018. Influence of enzymatic hydrolysis on the properties of red rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 141: 110-119

Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M. J., y Negro, M. J. 2010. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*,101(13): 4851-4861.

Alvis, A., Vélez, C., y Rada, C. 2008. Composición de ñames frescos cultivados en Colombia y sometidos a freído por inmersión. *Información Tecnológica* 19: 3-10.

Amandikwa, C., Iwe, M., Uzomah, A. y Olawuni, A. 2015. Physico-chemical properties of wheat-yam flour composite bread. *Nigerian Food Journal* 33: 12–17.

Amani, N., Kamenan, A., Rolland – Sabaté, A. y Colonna, P. 2005. Stability of yam starch gels during processing. *Afr. J. Biotechnol.* 4:94-101.

Andrade, L., Alves, N. y Pereira, J. 2017. Extraction and properties of starches from the non-traditional vegetables yam and taro. *Polímeros* 27(2): 151-157.

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC, USA.

Araujo, C., Rincón, A. y Padilla, F. 2004. Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54 (2): 241-245.

Aristizábal, J. y Sánchez, T. 2007. Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca. *Boletín 163 de Servicios Agrícolas de la FAO*. 33-40 p, 109-110 p, 130 p.

Belén D., Alemán R., Álvarez F. y Moreno M. 2004. Evaluación de algunas propiedades funcionales y reológicas de la harina de Coroba (*Jessenia polycarpa*). Rev. Fac. Agron (LUZ). 21:161-171.

Bello-Pérez, P. L. A., Contreras, Ramos, S. M., Romero, R., Solorza, J., y Jiménez, A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). Agrociencia 36 (2): 169-180.

Bello-Pérez, L., Pano de León, Y., Agama-Acevedo, E. y Paredes-López, O. 1998. Isolation and partial characterization of amaranth and banana starches. Starch/Stärke. 50: 409–413.

Beltrán, A. y Herreño, L. 2010. Aplicación de la enzima α -amilasa comercial ban® 4801 a la harina de arroz de la variedad Fedearroz 50 para la elaboración de una bebida vegetal. Tesis Ingeniero de Alimentos, Universidad de la Salle, Bogotá D.C.

Carrascal, J. 2013. Acetilación de almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia

Carre, B. 2004. Causes for variation in digestibility of starch among feedstuffs. World's Poultry Science Journal 60: 76-88.

Cereda, M., Vilpoux, O. y Demiate, I. 2003. Amidos modificados. In: Cereda, M.P., Vilpoux, O.F. Tecnologías, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Latino-americanas. São Paulo: Fundação Cargill. Cap. 12. 246-332 p.

Chaikaew, S., Maeno, Y., Visessanguan, W., Ogura, K., Sugino, G., Lee, S. H., y Ishikawa, K. 2012. Application of thermophilic enzymes and water jet system to cassava pulp. *Bioresource Technology* 126: 87-91.

Chávez, D., Salcedo, J., Lozano, E., y A, Fernandez. 2014. Rediseño y evaluación de un equipo para la obtención de almidón de ñame y subproductos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 67(2): 353-356.

Das, R. y Kayastha, A. 2019. Enzymatic hydrolysis of native granular starches by a new β -amylase from peanut (*Arachis hypogaea*). *Food Chemistry* 276: 583-590.

Dura, A., Blaszcakb, W., y Rosella, C. 2014. Functionality of porous starch obtained by amylase or amyloglucosidase treatments. *Carbohydrate Polymers* 101, 837– 845.

DANE. [En línea].2016. Estadísticas Agroforestales_1987-2013 Ñame y otros cultivos informes DANE.
http://207.239.251.112/www/htm3b/ReportesAjax/parametros/reporte14_2011.aspx?cod=14. Acceso: 26 Agosto (2016).

Evans, A. y Thompson, D. 2004. Resistance to alphaamylase digestion in four native high-amylose maize starches. *Cereal Chemistry* 81: 31-37.

FAOSTAT. [En línea], 2020. Production mundial de ñame
<http://www.fao.org/faostat/es/#home>. Acceso: 2 de marzo (2020).

García, A., Pérez, E., y Dávila, R. 2012. Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey. *Agronomía Trop.* 62: 1-4.

García, M., Batista, R., Rodríguez, S., Kosky, R., Malaurie, B., Hamon, P., y Demenorval, L. 2011. Optimización de un medio de cultivo para plantas

micropropagadas de *Dioscorea alata* L. Revista Colombiana de Biotecnología, 13(2): 221-228.

González, A. 1999. Lanostanoid Triterpenes from *Ganoderma lucidum*. Journal of Natural Products, 62(12):1700-1701.

Gordon, M. 1990. Methods of starch analysis. Starch 42: 4.

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Holguín, M. y Mercado, Y. 2011. Análisis bromatológico del tubérculo seco y pulverizado de *Dioscórrea cayenensis* “ñame amarillo”. Tesis de Pregrado. Universidad de Sucre, Sincelejo.

Huang, H., Jiang, Q., Chen, Y., Li, X., Mao, X., Chen, X., Huang, L. y Gao, W. 2016. Preparation, physicochemical characterization and biological activities of two modified starches from yam (*Dioscorea Opposita* Thunb.). Food Hydrocolloids 55: 244-253.

Hurtado, J. y Dufour, D. 1999 Análisis comparativo de las propiedades funcionales de diversos almidones de raíces y tubérculos autóctonos de Colombia: Potenciales usos. 20 p.

Karam, L., Ferrero, C., Martino, M., Zaritzky, N. y Grossmann, M. 2006. Caracterización térmica, microestructural y textural de mezclas de almidón de maíz, yuca y ñame gelatinizados. International Journal of Food Science and Technology 805-812.

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

Kolawole O. y Falade, A. 2015. Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. Food Hydrocolloids 44: 478-490.

Kong, H., Yang, X., Gu, Z., Li, Z., Cheng, L., Hong, Y. y Li, C. 2018. Heat pretreatment improves the enzymatic hydrolysis of granular corn starch at high concentration. Process Biochemistry 64: 193–199.

Lehninger, A. y Nelson, D. y COX, M. 2006. Principios de Bioquímica. 4º Edición, Ed. Omega, Barcelona. p 190

Less, R. 1982. Análisis de los Alimentos. Métodos Analíticos y de Control de Calidad. España: Acribia. Zaragoza.

Li, X., Gao, W., Wang, Y., Jiang, Q. y Huang, L. 2011. Granule structural, crystalline, and thermal changes in native chinese yam starch after hydrolysis with two different enzymes— α -amylase and gluco-amylase. Starch/Stärke 63: 75-82.

Lindeboom, N., Chang, P. y Tyler, R. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. Starch 56:(3-4): 89-99.

Manson, W. 2015. Starch use in foods. En Y. Nakamura (Ed.), Starch. Japan, Springer. 784 p.

Meaño, N., Ciarfella, A. y Dorta, A. 2014. Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera L.*) para predecir sus posibles usos tecnológicos. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente 182-187.

Miller, G. 1959. Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry 31(3): 426-428.

Montes, E., Salcedo, J., E, Z. J., Carmona, J. y Paternina, S. 2008. Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidón de ñame (*D. trifida*) utilizando á-amilasa (TERMAMYL®120 L, Tipo L). Vitae 15 (1): 51-60.

Moorthy, S. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A review. Starch 559 – 592.

Nuwamanya, E., Baguma, Y., Wembabazi, E. y Rubaihayo, P. 2011. A comparative study of the physicochemical properties of starches from root, tuber and cereal crops. Afr. J. Biotech. 10: 12018-12030.

Oke, M., Awonorin, S. y Workneh, T. 2013. Effect of varieties on physicochemical and pasting characteristics of water yam flours and starches. African Journal of Biotechnology 12(11): 1250-1256.

Otegbayo, B., Bokanga, M. y Asiedu, R. 2011. Physicochemical properties of yam starch: Effect on textural quality of yam food product (Pounded yam). Journal of Food Agriculture and Environment 9(1): 145-150.

Pacheco, E. y Techeira, N. 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). Revista Interciencia 34(4): 281-299

Paternina, A. (2017). Efecto de la adición de almidón y harina de ñame, en las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y sensoriales de salchichas bajas en grasa. Tesis de Maestría Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Córdoba, Montería.

Pérez, E., y Pacheco, E. 2005. Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de *Pomoea batatas Lam.* Acta Científica Venezolana 56(1): 9-15.

Pérez, P. y Montaña L. [en línea] 2016. Saliva y Enzima Alfa Amilasa: Esenciales Para La Digestión. <https://www.sabermas.umich.mx/secciones/articulos/421-saliva-y-enzima-alfa-amilasa-esenciales-para-la-digestion.html>. Acceso: 15 Enero (2017).

Popoola, A., Adedibu, B. y Ganiyu, S. 2013. Rapid assessment of resistance of tissue-cultured water yam (*Dioscorea alata*) and white guinea yam (*Dioscorea rotundata*) to anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.). Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz 46(6): 663-669.

Pornpong, S., Saovanee, D. y Sittiwat, L. 2005. Effect of glycation on stability and kinetic parameters of thermostable glucoamylase from *Aspergillus niger*. Process Biochemistry 2821-2826.

Quintero, I. 2003. Enraizamiento in vitro de *Dioscoreas sp.* Revista Colombiana de Biotecnología, (2):51 - 56.

Red Nacional De Agencias De Desarrollo Local. [En línea], 2013. Plan Estratégico Departamental De Ciencia, Tecnología E Innovación De Sucre. <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/pedcti-sucre.pdf>. Acceso: 2 Octubre (2016).

Reina, Y. 2012. El cultivo del ñame en el Caribe colombiano. No. 168. Banco de la Republica Centro de Estudios Económicos Regionales. Documentos de trabajo sobre economía regional. Cartagena.

Riley, K., Wheatley, A. y Asemota, N. 2006. Isolation and Characterization of Starches from eight *Dioscorea alata* cultivars grown in Jamaica. *Afr. J. Biotech.* 5 (17): 1528-1536.

Rincón, A. 2007. Efecto de la oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpusaltilis*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57 (3): 287-294.

Riley, C., Wheatley, A. y Asemota, H. 2006. Physicochemical characterization of starches from jamaican yams (*Dioscorea* spp.): Potential for pharmaceutical exploitations. *European Journal of Scientific Research* 15 (2): 207-219.

Salcedo, J., Montes, E., Zapata, J., Márquez, D. y Díaz, M. 2010. Obtención de jarabes de fructosa a partir de hidrolizados enzimáticos de almidón de ñame (*Dioscorea alata* y *Dioscorea rotundata*). *Vitae* 17(3): 243 251.

Salcedo, J., Pérez, J., y Fernández, A. 2015. Evaluación de un proceso continuo de burbujeo para recuperación de almidón y mucilago de ñame. *Temas Agrarios* 20(1): 71-82.

Salcedo-Mendoza, J., García-Mogollón, C. y Salcedo-Hernández, D. 2018. Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea alata*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 16(2): 99-107.

Shariffa, Y., Karim, A., Fazilah, A. y Zaidul, I. 2009. Enzymatic hydrolysis of granular native and mildly heat-treated tapioca and sweet potato starches at sub-gelatinization temperature. *Food Hydrocolloids* 23: 434 440.

Singh, J., Kaur, L. y McCarthy, O., 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocolloids* 21: 5-7

Sosulky F. 1962. The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemists* 39: 344-349.

Techeira, N. 2008. Formulación y evaluación de productos alimenticios dirigidos al adulto mayor a base de almidones modificados y harina de ñame (*Dioscorea alata*). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Tester, R., Qi, X. y Karkalas, J. 2006. Hydrolysis of native starches with amylases. Review. *Animal Feed Science and Technology* 130(1-2): 39-54.

Tomasik, P., y Horton, D. 2012. Enzymatic conversions of starch. *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*, 68. Elsevier Inc.

Vargas, H. 2013. Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: Propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha*: 37-45.

Vilpoux, O. 2004. Cassava starch production process in Brasil, Thailand and China. In: Marney, P y Olivier, F. *Technology, Use and Potencialities of Latin American Starchy Tubers*. São Paulo, Brasil, NGO Raíces and Cargill Foundation. 147-185 p.

Wang, L. Wang, Y. 2001. Structures and physicochemical properties of acid-thinned corn, potato, and rice starches. *Starch/Starke*, 53: 570–576.

Xia, L. 2014. Evaluation of three traditional Chinese medicine (TCM) starches and potential application in health product industry. *Food Hydrocolloids*,40: 196-202.

Yang, L., Zhou, Y., Zheng, X., Wang, H. y Wang, N. 2017. Determination of optimum experimental conditions for preparation and functional properties of hydroxypropylated, phosphorylated and hydroxypropyl-phosphorylated glutinous rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules* 105: 317-327.

8. ANEXOS

Anexo A. Determinación de %ED

Tabla A-1. Análisis de varianza para %ED

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
TRATAMIENTO	147.093	23	6,39536	233,98	0,0000
RESIDUOS	1.312	48	0,0273334		
TOTAL (CORREGIDO)	148.405	71			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de ED en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre ED con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para ED con intervalos de confianza del 95.0%

Nivel	Casos	Media	Error		Limite	
			Est.	Inferior	Superior	
MEDIA GLOBAL	72	3.06526				
TRATAMIENTO						
AC-10%-30UL	3	3.29	0.0954523	3.09808	3.48192	
AC-10%-70UL	3	4.39667	0.0954523	4.20475	4.58859	
AC-5%-30UL	3	1.95333	0.0954523	1.76141	2.14525	
AC-5%-70UL	3	2.89233	0.0954523	2.70041	3.08425	
AD-10%-30UL	3	3.47433	0.0954523	3.28241	3.66625	
AD-10%-70UL	3	5.29033	0.0954523	5.09841	5.48225	
AD-5%-30UL	3	2.147	0.0954523	1.95508	2.33892	
AD-5%-70UL	3	2.96333	0.0954523	2.77141	3.15525	
AE-10%-30UL	3	4.134	0.0954523	3.94208	4.32592	
AE-10%-70UL	3	7.87833	0.0954523	7.68641	8.07025	
AE-5%-30UL	3	3.542	0.0954523	3.35008	3.73392	
AE-5%-70UL	3	3.76233	0.0954523	3.57041	3.95425	
HC-10%-30UL	3	3.37767	0.0954523	3.18575	3.56959	
HC-10%-70UL	3	3.47167	0.0954523	3.27975	3.66359	
HC-5%-30UL	3	1.42433	0.0954523	1.23241	1.61625	
HC-5%-70UL	3	2.131	0.0954523	1.93908	2.32292	
HD-10%-30UL	3	2.61467	0.0954523	2.42275	2.80659	
HD-10%-70UL	3	3.90833	0.0954523	3.71641	4.10025	
HD-5%-30UL	3	1.477	0.0954523	1.28508	1.66892	
HD-5%-70UL	3	1.76867	0.0954523	1.57675	1.96059	
HE-10%-30UL	3	1.807	0.0954523	1.61508	1.99892	
HE-10%-70UL	3	2.64367	0.0954523	2.45175	2.83559	
HE-5%-30UL	3	1.58133	0.0954523	1.38941	1.77325	
HE-5%-70UL	3	1.637	0.0954523	1.44508	1.82892	

Anexo B. Caracterización Físicoquímica

Tabla B-1. Análisis de varianza para acidez titulable.

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
Variedad	5	0.10986	0.02197	22.7547	0
concentracion	1	0.06125	0.06125	63.4304	0
concdenz	1	0.00180	0.00180	1.8641	0.1785
variedad*concentracion	5	0.08076	0.01615	16.7275	0
variedad*concdenz	5	0.02801	0.00560	5.8019	3e-04
concentracion*concdenz	1	0.03645	0.03645	37.7476	0
variedad*concentracion*concdenz	5	0.14651	0.02930	30.3456	0
Residuals	48	0.04635	0.00097		
Total	71	0.51100	0.00720		

Tabla B-2. Análisis de varianza para pH.

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
variedad	5	1.41128	0.28226	21.3314	0
concentracion	1	0.39457	0.39457	29.8194	0
concdenz	1	0.00517	0.00517	0.3906	0.535
variedad*concentracion	5	1.07202	0.21440	16.2036	0
variedad* concdenz	5	1.20342	0.24068	18.1897	0
concentracion* concdenz	1	0.07157	0.07157	5.4087	0.0243
variedad*concentracion*concdenz	5	0.75352	0.15070	11.3895	0
Residuals	48	0.63513	0.01323		
Total	71	5.54669	0.07812		

Anexo C. Pruebas Tecno funcionales.

Tabla C-1. Análisis de de varianza para CAA

Analysis of Variance Table			
	DF	SS	MS
variedad	5	2.69374	0.53875
concentraciondemuestra	1	0.45360	0.45360
concdeenzima	1	0.79695	0.79695
variedad*concentraciondemuestra	5	0.77509	0.15502
variedad*concdeenzima	5	8.19687	1.63937
concentraciondemuestra*concdeenzima	1	1.50130	1.50130
variedad*concentraciondemuestra*concdeenzima	5	1.72250	0.34450
Residuals	48	2.75200	0.05733
Total	71	18.89205	0.26609
		Fc	Pr>Fc
variedad		9.3968	0
concentraciondemuestra		7.9116	0.0071
concdeenzima		13.9004	5e-04
variedad*concentraciondemuestra		2.7038	0.0313
variedad*concdeenzima		28.5937	0
concentraciondemuestra*concdeenzima		26.1854	0
variedad*concentraciondemuestra*concdeenzima		6.0087	2e-04
Residuals			
Total			