



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE CIENCIAS DEL AGRO Y DEL AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
MATURÍN**

**EFFECTO DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN LAS
PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FUNCIONALES DE
ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)**

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD TESIS DE GRADO
PRESENTADO POR:
ANA KARINA LÓPEZ TOVAR

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Marzo, 2023

**EFFECTO DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN LAS
PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FUNCIONALES
DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)**

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD TESIS DE GRADO
PRESENTADO POR:
ANA KARINA LÓPEZ TOVAR**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

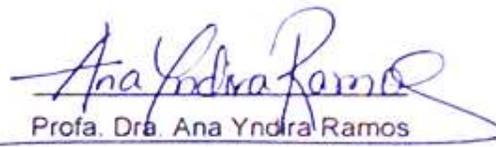
APROBADO POR:



Prof. Lcda. Marglorys Marchán Figueroa
Tutora



Prof. MSc. Carmen Farias
Jurado Principal



Prof. Dra. Ana Yndira Ramos
Jurado Principal

Marzo, 2023



ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-ECAA-DLTA-2023

MODALIDAD: TESIS DE GRADO

ACTA N° 718

En Maturín, siendo las 2:00 pm, del día 29 de Marzo de 2023, reunidos en la sala de Postgrado, Campus: Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado, profesores: Ana Ramos (Jurado), Carmen Farías (Jurado), Marglorys Marchán (Tutor Académico), a fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de **Licenciado en Tecnología de Alimentos**, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **"EFECTO DEL TIEMPO DE FERMENTACION EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FUNCIONALES DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*)"**, por la bachiller: Ana Karina López Tovar, C.I. N° 24.550.393. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como:

Aprobado

Ana Yndira Ramos
Dra. Ana Ramos
C.I.: 10.308.657
Jurado

Carmen Farías
M.Sc. Carmen Farías
C.I.: 8.536.104
Jurado

Marglorys Marchán
Leda. Marglorys Marchán
C.I.: 16.696.718
Tutor académico

Ana Karina López Tovar
Br. Ana Karina López Tovar
C.I.: 24.550.393
Estudiante

Luisa Gamboa
M.Sc. Luisa Gamboa
C.I.: 13.249.955
Comisión de Trabajo de Grado



Meylan Liendo
Dra. Meylan Liendo
C.I.: 12.152.196
Jefe Departamento

Según establecido en Resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. Esta acta está asentada en el folio N° 31 del libro de Actas de Trabajos de Grado del año 2023 del Departamento de Licenciatura en Tecnología de Alimentos de la Escuela de Ciencias del Agro y del Ambiente y está debidamente firmada por los miembros del jurado, tutor y estudiante.

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajo de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico primeramente a Dios por ser mi guía y por darme la fuerza para continuar en los momentos más difíciles.

A mis padres, Angélica Tovar y Gerzon López, quienes desde el primer momento han estado para mí y han luchado conmigo en función a mis metas

A mis hermanos, Alejandra y Alejandro López, que son mi apoyo, y con este logro demostrarle que, con esfuerzo, dedicación y trabajo duro, cualquier meta se puede lograr

A mis abuelos, María Teresa Tovar, Juan Cordero, Hilda López, y Gerzon Morales que desde el cielo están guiándome y dándome la fuerza que necesito para lograr mis metas.

Ana Karina López.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por ser mi guía y darme la fortaleza para seguir adelante en momentos difíciles.

A mis padres, por todo su apoyo, paciencia y amor incondicional.

A mis hermanos, por siempre estar presentes

A toda mi familia, abuelos, tíos, tías, primos y primas que también aportaron su grano de arena en la construcción de esta meta.

A mi asesora Marglorys Marchán por todo su tiempo, conocimiento y apoyo, en cada etapa de este proceso, su ayuda ha sido fundamental para la culminación de esta meta.

A mi amiga Karen Suarez, la cual conocí por medio de esta carrera y se ha vuelto como una hermana, me ha ayudado en este camino con sus consejos para lograr mis metas.

También, agradecer a personas que a lo largo de mi vida y carrera han estado presentes aportando su grano de arena en mí, como lo es Darwin Peinado, Gabriel Marchán, Laleska Guerra, Marina Romero, Anyelys Hernández, Marielys Hernández, Sandra Yordi, Jennifer Fernández, Jossemar Bolaños y Evelyn Lara.

Ana Karina López.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE CUADROS EN APENDICE	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
GENERAL.....	3
ESPECÍFICOS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
ORIGEN Y DESCRIPCIÓN DE LA YUCA.....	4
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA YUCA.....	6
VALOR NUTRICIONAL DE LA YUCA.....	7
IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA YUCA.....	9
ALMIDÓN.....	10
TIPOS DE ALMIDÓN.....	14
Nativos.....	14
Modificados.....	14
FERMENTACIÓN DE ALMIDÓN.....	15
ALMIDÓN FERMENTADO DE YUCA.....	16
PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE LOS ALMIDONES.....	16
Propiedades fisicoquímicas de los almidones.....	17
Propiedades funcionales de los almidones.....	19
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS	26
OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	26
OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO Y FERMENTADO DE YUCA.....	26
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO (%R) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO.....	30
CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA (% DE HUMEDAD, % DE CENIZAS, PH Y ACIDEZ TITULABLE) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO.....	32
Determinación del contenido de humedad.....	32

Determinación del contenido de cenizas	33
Determinación de pH.....	34
Determinación de acidez titulable.....	34
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES (CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS, TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO A LOS DIFERENTES TIEMPOS ESTUDIADOS	35
Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA).....	35
Determinación del índice de absorción de lípidos (IAL).....	36
DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (TG).....	37
DISEÑO EXPERIMENTAL	38
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO (% R) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO	39
CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA (% HUMEDAD, % CENIZAS, PH Y ACIDEZ TITULABLE) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO (28, 35 Y 42 DÍAS).....	42
Determinación del porcentaje de humedad del almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 42 días)	42
Determinación del porcentaje de cenizas de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 42 días)	44
Determinación del ph y acidez titulable del almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo	47
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA).....	52
DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN.....	55
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS (IAL)	58
CONCLUSIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÉNDICE	79
ANEXO	87
HOJAS METADATOS	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la yuca	6
Cuadro 2. Valor nutricional de la yuca.	8
Cuadro 3. Valor nutricional del almidón en diferentes fuentes botánicas.....	12
Cuadro 4. Determinación del porcentaje de rendimiento de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.	39
Cuadro 5. Porcentaje de humedad (% Humedad) del almidón de yuca nativo y fermentado tres periodos de tiempo.....	43
Cuadro 6. Porcentaje de cenizas (% cenizas) de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.	45
Cuadro 7. pH y acidez titulable de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.	48
Cuadro 8. Capacidad de retención de agua (CRA) de almidón de yuca nativo y fermentado a diferentes tiempos.	53
Cuadro 9. Temperatura de gelatinización de almidón de yuca nativo y fermentado en diferentes tiempos.	55
Cuadro 10. Índice de absorción de lípidos (IAL) de almidón de yuca nativo fermentado en diferentes tiempos.....	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Raíces de yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz).	4
Figura 2. Producción de yuca fresca por país.....	9
Figura 3. Gránulos de almidón de diferentes fuentes botánicas.	11
Figura 4. Estructura química de la amilosa.....	12
Figura 5. Estructura química de la amilopectina.	13
Figura 6. Diagrama del proceso de extracción de almidones de yuca nativo y fermentados, establecido por Alarcón y Dufour (2002).	28
Figura 7. Diagrama experimental para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidón de yuca nativo y fermentado.	31

INDICE DE CUADROS EN APENDICE

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento (% R) del almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.....	80
Cuadro 2. Análisis de varianza para porcentaje de humedad de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).....	80
Cuadro 3. Análisis de varianza para porcentaje de cenizas de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).....	81
Cuadro 4. Comparación de medias MDS entre las interacciones del porcentaje de cenizas de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).	81
Cuadro 5. Análisis de varianza del pH de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).	82
Cuadro 6. Comparación de medias MDS entre las interacciones de pH de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).....	82
Cuadro 7. Análisis de varianza de acidez titulable de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).....	83
Cuadro 8. Comparación de medias MDS entre las interacciones de acidez titulable de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).	83
Cuadro 9. Análisis de varianza de la capacidad de retención de agua (CRA) del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.	84
Cuadro 10. Comparación de medias MDS entre las interacciones de la capacidad de retención de agua (CRA) del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.	84
Cuadro 11. Análisis de varianza de la temperatura de gelatinización del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.	85
Cuadro 12. Análisis de varianza del índice de absorción de lípidos del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.	85
Cuadro 13. Comparación de medias MDS entre las interacciones del índice de absorción de lípidos del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.	86

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una raíz cuyo principal uso es como fuente básica de alimentos, sin embargo, en los últimos años su producción se ha orientado como materia prima en la producción de almidón, porque es de bajo costo. El almidón es un polisacárido formado por amilosa y amilopectina que puede ser usado en productos de panadería y repostería cuando se modifica su estructura nativa. Uno de los métodos para modificar el almidón es la fermentación, proceso que se lleva a cabo bajo condición anaerobia, capaz de ocasionar cambios deseables en las propiedades del almidón que son de interés en la industria de los alimentos, razón por la que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tiempo de fermentación en las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nativo y fermentado. El experimento se realizó con un diseño de bloques al azar con efecto único y tres repeticiones. Los resultados se evaluaron a través de un ANAVA con un nivel de significancia del 95 %, evidenciándose que no hubo diferencias estadísticas significativas para el porcentaje de rendimiento (% R), % humedad y la temperatura de gelatinización, sin embargo para, el % cenizas y el índice de absorción de lípidos (IAL) hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) mientras que los resultados de pH, acidez titulable y capacidad de retención de agua (CRA) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Los valores más altos para ceniza (0,1943 %), pH (6,70) y acidez titulable ($1,33 \times 10^{-3}$ mEqAL/g almidón) correspondieron al almidón nativo seguido en cada caso del almidón fermentado por 28 días y cuyos valores son 0,06 %; 4,00 y $8,47 \times 10^{-4}$ mEqAL/g almidón respectivamente. Para la CRA se obtuvo el valor más bajo (532,03 %) para el almidón nativo (sin fermentar) y el más alto (969,47 %) para el fermentado por 35 días. El valor máximo para el IAL lo presentó el almidón nativo (117,56 %) seguido del fermentado por 42 días (80,74 %). Los resultados sugieren que los almidones fermentados tienen un alto potencial para ser usado para la elaboración de salchichas frankfurt, mortadela, surimi, yogures, flan, y como recubrimiento comestible en productos que requieran freírse antes de consumirlo.

Palabras Clave: yuca, almidón, fermentación, propiedades funcionales

SUMMARY

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a root whose main use is as a basic source of food, however, in recent years its production has been oriented as raw material in the production of starch, because it is low cost. Starch is a polysaccharide formed by amylose and amylopectin that can be used in bakery and confectionery products when its native structure is modified. One of the methods to modify starch is fermentation, a process that is carried out under anaerobic conditions, capable of causing desirable changes in starch properties that are of interest to the food industry, which is why the objective of This research was to evaluate the effect of fermentation time on the physical, chemical and functional properties of native and fermented cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch. The experiment was carried out with a randomized block design with a single effect and three repetitions. The results were evaluated through an ANAVA with a significance level of 95%, evidencing that there were no significant statistical differences for the yield percentage (% R), % moisture and gelatinization temperature, however for the % ashes. and the lipid absorption index (IAL) there were highly significant differences ($p \leq 0.01$) while the results of pH, titratable acidity and water retention capacity (CRA) showed significant differences ($p \leq 0.05$). The highest values for ash (0.1943 %), pH (6.70) and titratable acidity (1.33×10^{-3} mEqAL/g starch) corresponded to native starch followed in each case by starch fermented for 28 days and whose values are 0.06%; 4.00 and 8.47×10^{-4} mEqAL/g starch respectively. For the CRA, the lowest value (532.03 %) was obtained for the native starch (without fermentation) and the highest (969.47 %) for the one fermented for 35 days. The maximum value for the IAL was presented by native starch (117.56%) followed by that fermented for 42 days (80.74%). The results suggest that fermented starches have a high potential to be used for the preparation of frankfurt sausages, bologna, surimi, yoghurts, flan, and as an edible coating in products that require frying before consumption.

Keywords: cassava, starch, fermentation, functional properties.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) conocida también como mandioca o cassava, es catalogada como la más importante dentro de las raíces y tubérculos de interés económico. Este interés surge por su bajo costo de producción, su alto contenido de carbohidratos en relación con los cereales, y su alto porcentaje de almidón. Siendo este último un polisacárido natural que constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos. Debido a esto, es usado en la industria alimentaria como gelificante, espesante, estabilizante, entre otros. Los almidones más comercializados son obtenidos a partir de maíz, trigo, papa y yuca. Los cuales se extraen utilizando un proceso de dispersión en agua a temperatura ambiente, y posteriormente son filtrados con mantas.

Los almidones que se extraen de su fuente botánica sin someterse a ningún tratamiento físico, químico o enzimáticos e denominan almidones nativos y poseen propiedades fisicoquímicas y funcionales importantes para la elaboración de productos alimenticios, sin embargo, tienen muchas limitantes entre las que destacan su susceptibilidad a la retrogradación cuyo proceso es inevitable y conduce al deterioro de la calidad de los alimentos, su baja solubilidad en agua fría, su baja resistencia a los esfuerzos mecánicos, entre otras. Para mejorar las propiedades funcionales de los almidones y ampliar su campo de aplicación se utilizan una diversidad de métodos para su modificación entre las que destaca la fermentación.

La fermentación del almidón es un proceso que ocurre naturalmente, con el cual se busca mejorar sus propiedades funcionales como la temperatura de gelatinización, el índice de absorción de lípidos y la

capacidad de retención de agua. Los almidones fermentados constituyen una excelente alternativa para la elaboración de estos productos, porque se obtienen de una materia prima que es accesible económicamente, el proceso de fermentación es natural y esto lo hace libre de sustancias químicas, lo que permite su consumo en persona de todas las edades, también permite extender el menú de las personas con diversas condiciones alimentarias y finalmente mejora las características de los productos.

El almidón fermentado de yuca es el más utilizado con este fin, porque adquiere características de sabor, textura, olor, y expansión, que son muy deseables, principalmente en los productos horneados (Alarcón y Dufour 2002). Salcedo (2017), también indica que en Brasil y Colombia se obtiene el almidón agrio o fermentado de yuca para ser empleados en alimentos extruidos, rellenos de pasteles, entre otros. Partiendo de la necesidad que hay en Venezuela de elaborar nuevos productos con mejores características y de bajo costo se ha planteado como objetivo de esta investigación evaluar el efecto del tiempo de fermentación en las propiedades físicas, químicas y funcionales de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nativo y fermentado.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el efecto del tiempo de fermentación en las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nativo y fermentado.

ESPECÍFICOS

- Determinar el porcentaje de rendimiento (% R) del almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 42 días).
- Caracterizar física y químicamente (% de humedad, % de cenizas, pH y acidez titulable) el almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 42 días).
- Determinar las propiedades funcionales (capacidad de retención de agua, índice de absorción de lípidos, temperatura de gelatinización) del almidón de yuca nativo y fermentado a los tiempos evaluados.

REVISIÓN DE LITERATURA

ORIGEN Y DESCRIPCIÓN DE LA YUCA

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es una raíz con forma cilíndrica y oblonga (Figura 1), tiene una pulpa firme surcada por fibras longitudinales más rígidas muy ricas en hidratos de carbono y azúcares, pero su cáscara es dura, leñosa y no comestible. Es llamada por diversos nombres entre los que destacan mandioca, cassava y tapioca (León y Rossel 2010, Suárez y Mederos 2011).



Figura 1. Raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Fuente: Infoagro 2019.

Es originaria de América del Sur, dentro de su proceso evolutivo fue domesticada hace unos 5000 años y cultivada de manera extensiva en las

regiones tropicales y subtropicales. Actualmente, la yuca se cultiva en América, Asia y África (Olsen y Schaal 2001, Bedoya y Patermina 2022).

Su principal uso es como fuente básica de alimento y es cultivada principalmente por pequeños agricultores, pero a pesar de su producción a pequeña escala logran rendimientos que alcanzan a suplir las demandas de consumo (Ospina y Ceballos 2002, Diaz y López 2022). La FAO estima que para el año 2017 la producción anual de yuca en el mundo fue de 278 millones de toneladas. La expansión de este cultivo en términos de hectáreas sembradas ha crecido más rápidamente en África y Asia que en América, sin embargo, en este último continente los principales países productores son Brasil, Paraguay, Colombia y Venezuela (FAO 2017).

La yuca es un arbusto leñoso perenne de tamaño variable de 1–5 m de altura, los cultivares se agrupan según su tamaño en: bajos (hasta 1,5 m), intermedios (1,5–2,5 m) y altos (más de 2,5 m) (Cock 1989, Liu *et al.* 2014). Sus tallos y ramas se componen de una corteza constituida por una parte externa de súber (corcho) y felógeno y una interna de felodermis y liber y; de un cilindro central que está formado por una parte leñosa externa y médula interna. Las hojas son alternas, simples y tienen vida corta, duran de uno a dos meses, los pecíolos son largos y finos, de 20 a 40 cm de largo, son rectos o curvos según el cultivar, el color del pecíolo es otra característica varietal; puede ser púrpura, rojo o verde, uniforme o manchado (Bautista 2003). Las raíces de la yuca se caracterizan por su capacidad de almacenamiento de almidón y generalmente se propaga a través de esquejes que surge de manera accidental; en consecuencia, se da la formación de raíces fibrosas y raíces tuberosas (Moraes y Coral 2002).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA YUCA

Pertenece a la familia *Euphorbiaceae* (Cuadro 1), constituida por 7200 especies, se caracterizan por formar vasos laticíferos, compuestos de células secretoras o galactocitos que producen secreciones lechosas (Suárez y Mederos 2011).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la yuca

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Subfamilia	Crotonoideae
Tribu	Manihoteae
Género	<i>Manihot</i>
Especie	<i>Manihot esculenta</i>

Fuente: Aristizábal *et al.* 2007, Suárez y Mederos 2011

Al principio el nombre científico de la yuca fue dado por Crantz en 1766. Posteriormente, Pohl en 1827 y Pax en 1910 la reclasificaron y dividieron en dos especies diferentes: yuca amarga *M. utilissima* y yuca dulce *M. aipi*. No obstante, Ciferri en 1938 reconoció el trabajo de Crantz, a partir de ahí se propone el nombre utilizado actualmente. Dentro de esta familia se encuentran tipos arbóreos, arbustos, ornamentales, medicinales y malezas. Asimismo, el género *M. esculenta* es el de mayor importancia económica y nutricional (Oliva 2017).

Sin embargo, la identificación morfológica por parte de los agricultores es todo un reto, debido a que los agricultores designan las variedades con nombres muy sencillos que guardan relación con alguna característica de la planta (algodonas por ser de fácil cocción, rojitas en relación a los pecíolos rojos), o con su procedencia. Por estas razones, la colecta y la caracterización de estas variedades son necesarias, debido a que el uso del nombre vulgar tiene limitaciones y en ocasiones permite confusiones, ya que un mismo nombre vulgar puede atribuirse a genotipos diferentes o contrastantes. Asimismo, una variedad de yuca puede ser clasificada como amarga en una región y como dulce en otra, debido a que el contenido de glucósidos cianogénicos no es constante dentro de una variedad y depende también de las condiciones edafoclimáticas del cultivo (Ceballos y Hershey 2017, Floro *et al.* 2018).

VALOR NUTRICIONAL DE LA YUCA

Vivanco (2012) cita que la yuca se divide de acuerdo al contenido de glucosatiocianogénico (promotor de la formación de ácido cianhídrico) en amarga y dulce; la primera, de mayor desarrollo, rica en almidón y con un contenido superior de linamarina (glucósido cianogénico), mientras que la yuca dulce es generalmente para consumo directo y contiene menor cantidad de linamarina. Pérez (2016), señala que son raíces que acumulan nutrientes que sirven de reserva para las plantas, dentro de su composición nutricional, destacan su alto contenido de carbohidratos, vitaminas y minerales, que aportan beneficios a la salud de sus consumidores.

En cuanto a su valor nutricional (Cuadro 2), Benacer (2018) refiere que el aporte en carbohidratos de esta raíz es de un 38 %, aunque comparativamente tenga un bajo contenido en vitaminas y minerales.

Cuadro 2. Valor nutricional de la yuca.

Componente	Valor nutritivo/100 g de alimento
Humedad	61,6 g
Proteína	1,1 g
Grasa	0,2 g
Carbohidratos	34,2 g (disponibles) 36,5 g (totales)
Fibra dietética	2,3 g (total) 1,3 g (insoluble)
Cenizas	0,6 g
Calcio	29 mg
Fósforo	53 mg
Hierro	0,7 mg
Magnesio	70 mg
Zinc	0,55 mg
Cobre	0,16 mg
Sodio	15 mg
Potasio	344 mg
Vitamina A	Trazas
Tiamina	0,06 mg
Riboflavina	0,03 mg
Niacina	0,6 mg
Ácido ascórbico	35 mg

Fuente: Turipe 2017.

De igual manera Benacer (2018), también menciona que para determinadas poblaciones mundiales la yuca es la fuente principal de varios minerales como el potasio y el calcio, además de vitaminas como la C, la B1, B2 y B5, también poseen un alto contenido en agua y no contiene gluten. Puede ser consumida por personas de todas las edades y en especial, para los deportistas, personas que tengan un gran desgaste físico y en personas que sufren de afecciones digestivas (acidez, gastritis, úlcera y celiaquía o intolerancia al gluten), lo cual hace que aumente su demanda en la fabricación de productos en la industria alimentaria (Rivera *et al.* 2012).

IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA YUCA

La yuca continúa su transición hacia un mercado orientado a productos y materias primas para la industria de procesamiento, ya que es un alimento básico en 105 países. En principio se debe a que es cultivado por pequeños productores; además, las raíces son ricas en carbohidratos, las hojas tiernas contienen hasta un 25 % de proteínas, hierro, calcio y vitaminas A y C (Becerra 2020; Bedoya y Patermina 2022). AGRONET-Colombia (2021), indica que si se compara la yuca con otras raíces y tubérculos como la papa, el camote y el ñame cultivados en ese país; la yuca es la que presenta la mayor tasa de crecimiento de consumo anual hasta el 2020, con 1,9 % y el segundo lugar en términos de producción De acuerdo con la FAO (2020a) el país con mayor producción de yuca para ese año fue Nigeria con un total de 59063109,47 toneladas seguido de la República Democrática del Congo con 42769463 toneladas (Figura 2), mientras que en Venezuela la producción fue de 415146,63 toneladas.

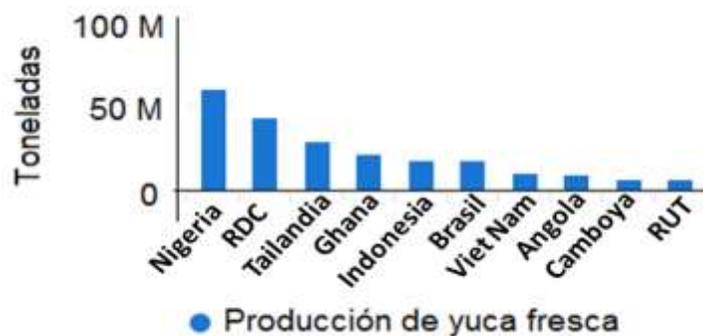


Figura 2. Producción de yuca fresca por país

Fuente: FAO 2020a.

Mientras más del 60-70 % de los suministros de la yuca todavía se destinan para comidas tradicionales, la capacidad de la industria de almidón

de yuca está aumentando significativamente. Varios factores están impulsando su creciente demanda, como el alto precio de los cereales hoy día, que convierte a la yuca en una alternativa atractiva para reemplazar alimentos como el trigo y el maíz, debido a que la yuca se puede transformar en una harina de alta calidad que puede sustituir parcialmente a la harina de otros cereales (FAO 2013). Es también, la fuente de almidón más barata que existe en el mundo y es utilizada en más de 300 productos industriales (FAO 2008). En comparación con los almidones que se obtienen de los diferentes cereales y tubérculos, el almidón de yuca tiene un color que tiende más al blanco y tiene mayor viscosidad, es muy estable en los productos alimenticios e igualmente tiene propiedades óptimas para su uso en productos de panadería y repostería (Jiménez y Martínez 2016). Dentro de la industria se ha puesto en evidencia una tendencia hacia la utilización de almidón modificado, en preferencia a la utilización de almidón nativo, sobre todo en el suroeste de Brasil, seguido por Colombia, Venezuela y recientemente Paraguay (FAO 2020_b).

ALMIDÓN

El almidón es un carbohidrato de almacenamiento energético de las plantas superiores y es un componente imprescindible en la mayoría de los alimentos en los que está presente, desde el punto de vista nutricional y funcional (Pérez 2016). Asimismo, en el área comercial el almidón de yuca es el segundo más abundante después de maíz, y tiene mucha importancia económica ya que es utilizado ampliamente en la industria de los alimentos como agente estabilizador, emulsionante, humectante, espesante, entre otras aplicaciones (Fennema 2010).

Hernández (2016) señala que el almidón se encuentra en forma de gránulos en los granos o semillas, tubérculos, tallos y raíces de las plantas. El tamaño de los gránulos de almidón puede variar de 1 a 100 μm . Los gránulos de mayor tamaño corresponden a los del almidón de papa (<110 μm), seguido por los gránulos del almidón de trigo (<30 μm) y por los del almidón de yuca que puede variar de 5 a 35 μm y finalmente el almidón de maíz (<25 μm) (Singh *et al.* 2003, Pérez 2018) (Figura 3).

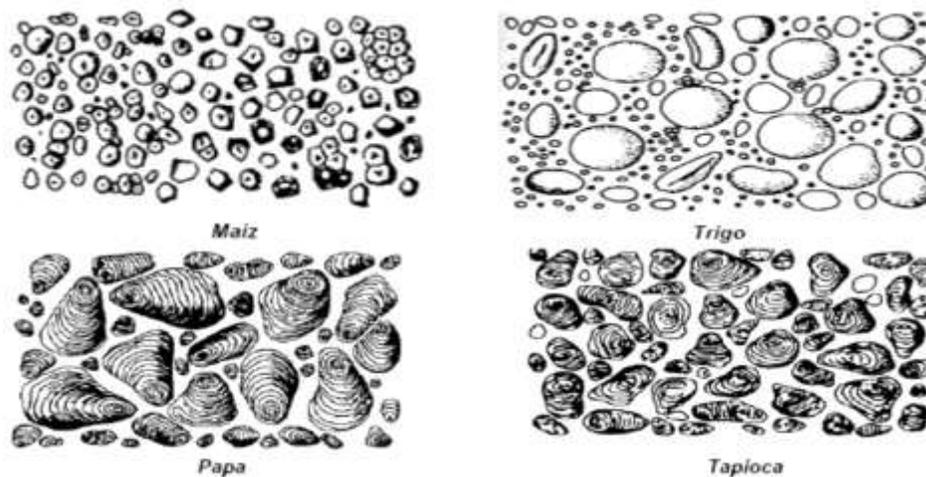


Figura 3. Gránulos de almidón de diferentes fuentes botánicas.

Fuente: Guízar 2009.

Mundialmente la producción almidón, aproximadamente el 83 %, es obtenido del maíz; después la fuente más importante es el trigo con un 7 %, seguido por la papa con un 6 % y la yuca con un 4 %. Por otro lado, cuando se realiza la extracción de los gránulos de almidón y se secan, este presenta una apariencia de un polvo blanco insoluble en agua fría y una composición química con bajo contenido de proteínas, cenizas, lípidos y el resto lo conforma el almidón propiamente dicho (Cuadro 3). Estos constituyentes, en muchas ocasiones definen ciertas propiedades funcionales, por lo cual, la estructura del almidón necesita ser estudiada a nivel molecular (se refiere a

la cantidad, estructura fina, forma y tamaño de las moléculas que lo conforman) (Tovar 2008, Biliaderis 1991, Guilbot y Mercier 1985).

El gránulo del almidón se compone de dos tipos de polisacáridos, amilosa y amilopectina, polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos en α (1,4) y α (1,6) con diferentes propiedades (Sánchez *et al.* 2015). Igualmente, Bustamante y Peralta (2018) definen estos componentes del grano de la siguiente forma:

Cuadro 3. Valor nutricional del almidón en diferentes fuentes botánicas.

Componentes	Maíz	Trigo	Papa	Yuca
Humedad (%)	13,00	14,00	19,00	13,00
Carbohidratos (%)	85,92	84,59	80,41	86,59
Lípidos (%)	0,60	0,80	0,05	0,10
Proteínas (%)	0,35	0,40	0,06	0,10
Cenizas (%)	0,10	0,15	0,40	0,20

Fuente: Aristizábal y Sánchez 2007.

- I. **Amilosa:la amilosa** (Figura 4) es un polímero lineal formado por 250 a 300 unidades de α -D-glucopiranosas, unidas únicamente por enlaces α (1,4) se disuelve fácilmente en agua, adquiriendo una estructura secundaria característica de forma helicoidal, en la que cada vuelta de hélice comprende 6 unidades de glucosa. Suele constituir del 25 al 30 % del almidón (Guerrero 2014). Es responsable de la gelificación

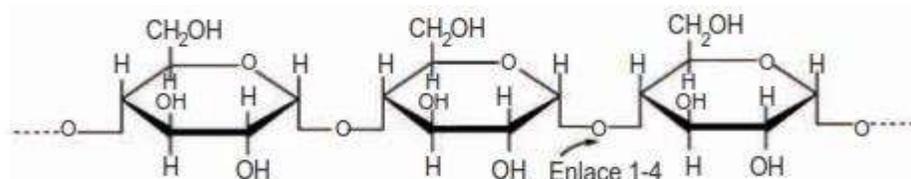


Figura 4. Estructura química de la amilosa.

Fuente: Aristizábal y Sánchez 2007.

II. **Amilopectina:** es un polímero ramificado, compuesto por unas 1000 unidades de α -D-glucopiranososa. Además de los enlaces α (1,4) contiene enlaces α (1,6) que están regularmente espaciadas cada 25 a 30 unidades de glucosa y son los puntos de ramificación de la estructura (Figura 5) (Pardo et al. 2013). Es responsable de la estructura del gránulo del almidón y forma tres cuartas partes del almidón total (70 -75 %) (Vaclavik y Christian 2002). Los almidones con alto contenido de amilopectina se comportan como espesante en una suspensión, pero no forman geles, porque a diferencia de la amilosa, las moléculas de la amilopectina tienden a asociarse y a formar enlaces químicos (Salcedo 2017).

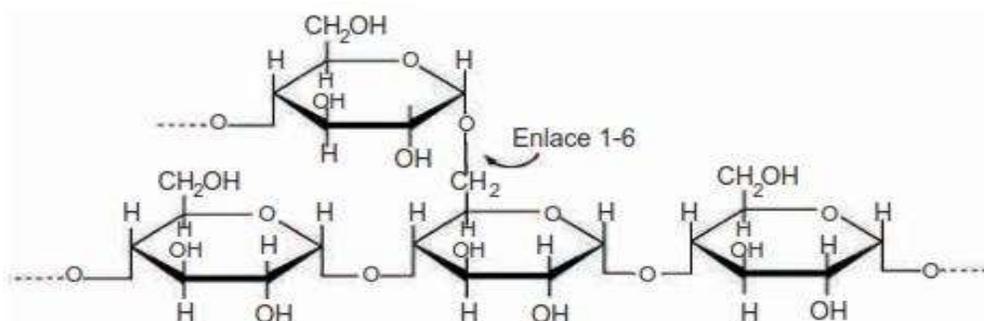


Figura 5. Estructura química de la amilopectina.

Fuente: Aristizábal y Sánchez 2007.

Las propiedades fisicoquímicas y las funcionales que presentan los almidones están gobernadas por el contenido de sus dos polisacáridos constituyentes: amilosa y amilopectina, depende del peso molecular promedio, así como la organización de estos dos polímeros en el interior del gránulo. Debido a estas propiedades se utiliza en diferentes industrias como la farmacéutica, textil, petrolera y de alimentos, como gelificantes, estabilizantes, espesantes, entre otros (Blazek y Copeland 2008; Palomino et al. 2010).

TIPOS DE ALMIDÓN

Según Salcedo (2017), el almidón se clasifica básicamente en:

Nativos

Son almidones que no han sufrido ningún proceso de modificación física, química, enzimática o vía de fermentación durante su obtención (González *et al.* 2014). Los almidones nativos no son los más adecuados para procesamientos específicos, ya que la estructura nativa del almidón puede ser poco eficiente debido a que las condiciones del proceso (por ejemplo: temperatura, pH y presión) limitan su uso en otras aplicaciones industriales, por la baja resistencia a esfuerzos de corte, baja descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Alvis *et al.* 2008).

Meneses *et al.* (2008) y Murillo y Ruiz (2022), señalan que el almidón nativo de yuca se obtiene del procesamiento húmedo de las raíces frescas de yuca, es extremadamente versátil y alcanza una eficiencia incomparable en todas sus aplicaciones en la industria alimentaria. El tamaño del gránulo del almidón de yuca puede variar de 5 a 35 μm , su forma es entre redonda y achatada, también su contenido de almidón en las raíces de yuca puede variar entre 15 a 33 % y el de amilosa es alrededor del 17 % (Pérez 2018).

Modificados

Son almidones nativos que han sido modificados por medios físicos, químicos o biológicos para producir cambios deseables para aplicaciones específicas, que contribuyen a la estabilidad, apariencia y funcionamiento en

la preparación de los alimentos (Guevara 2014). Entre las modificaciones químicas destacan, la acetilación, oxidación, esterificación y entrecruzamiento. Entre las físicas están tratamiento térmico, radiación o ultrasonido y dentro de las biológicas están las enzimáticas y la fermentación. Los procesos de fermentación les confieren a los almidones propiedades que le permiten mantener características como el aspecto, textura, claridad, suavidad y estabilidad como ingrediente principal en la elaboración de productos horneados (Sulbarán 2013).

FERMENTACIÓN DE ALMIDÓN

La fermentación es un proceso metabólico de las levaduras y algunas bacterias que transforman los compuestos químicos orgánicos, principalmente azúcares, en otras sustancias orgánicas más simples (Puerta 2010). En los almidones este proceso se realiza de manera natural en tanques, que pueden ser de cerámica, cemento o plástico, en los cuales el almidón se coloca en agua de tal forma que la capa de agua no supere los 5 cm se deja en reposo y a temperatura ambiente. La etapa de fermentación se caracteriza por la presencia o formación de burbujas de gas en la masa de almidón, aparición de espumas en la superficie del agua sobrenadante, descenso rápido de valores de pH y aumento de la acidez titulable del líquido sobrenadante (González y Arévalo 2001). La disminución de pH se debe a la liberación de ácidos orgánicos como consecuencia de la acción conjunta de microorganismos y las reacciones químicas involucradas (Macron *et al.* 2007).

ALMIDÓN FERMENTADO DE YUCA

El almidón fermentado de yuca se origina a raíz de reacciones ácidas e hidrolíticas parciales que se dan en el almidón nativo producidas por reacciones enzimáticas causadas por diversos microorganismos amilolíticos que se originan a raíz de un proceso de fermentación anaerobia, durante 20 a 30 días, que después de un secado directo al sol, modifican su estructura lo que le otorga propiedades funcionales al almidón nativo que antes no poseía y de esta manera se vuelven de mayor utilidad para la industria de panificación y repostería (Gontard 1993, Vargas *et al.* 2012, Serna *et al.* 2017).

Diversos estudios han confirmado la presencia de bacterias, mohos y levaduras en la flora natural de la yuca, principalmente bacterias amilolíticas como el grupo predominante (Macron *et al.* 2006, Avancini *et al.* 2007). Estas bacterias se encargan de llevar a cabo el proceso de fermentación, a partir del cual se obtiene un polvillo ácido (almidón fermentado) ampliamente utilizado en productos de panadería y confitería (Soto 2016). El uso de los almidones fermentados en panadería es posible porque el proceso de fermentación modifica sus propiedades físicas, químicas y funcionales como por ejemplo su poder de expansión, capacidad de retención de agua, índice de absorción de agua, entre otras propiedades funcionales.

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE LOS ALMIDONES

Los almidones tienen amplias aplicaciones que dependen de sus propiedades funcionales, siendo las más importantes a considerar para determinar su uso en la elaboración de alimentos y otros sectores de la

industria las fisicoquímicas y las funcionales (Polanco 2014, Atencio y Ramírez 2020).

Propiedades fisicoquímicas de los almidones

Holguín (2019), indica que entre las propiedades destacan el contenido de humedad, cenizas, pH, acidez titulable que son indicadores de calidad en la industria alimentaria (Atencio y Ramírez 2020).

Humedad

Se refiere a la pérdida de peso que experimenta el producto al ser secado mediante calentamiento en estufa a temperatura constante y a presión atmosférica normal, bajo condiciones tales que eviten cualquier cambio químico que pueda ocurrir en la muestra (COVENIN 1980). La FAO (2007) señala que el valor de referencia para humedad en almidones es del 10-13 % y la razón para estos valores tiene que ver con el hecho de que a porcentajes de humedad más alto se favorece la proliferación de microorganismos, particularmente mohos y levaduras que pueden ocasionar procesos de fermentación que alteran la calidad de los almidones. De igual manera *Alvis et al.* (2008), determinaron que la humedad en diferentes almidones de ñame y yuca oscila entre 10,22 % y 8,50 % respectivamente. Mientras que *González y Arévalo* (2001), reportaron para almidones fermentados de yuca durante 20 días un contenido de humedad igual a 12,8 %. *Morales et al.* (2012) reportaron para almidón fermentado de yuca una humedad del 10,7 %. Todos estos valores están por debajo del máximo valor permitido por FAO (2007), lo que permite inferir que el almidón de yuca pudiera ser estable frente al desarrollo de moho y levaduras.

Cenizas

Proporciona una estimación del material mineral presente en la muestra de almidón incluyendo metales, sales y trazas de elementos; el método más utilizado para su determinación es el gravimétrico. El contenido de cenizas no debe exceder el 0,12 % (FAO 2007). Gonzáles y Arévalo (2001) reportaron para almidones fermentados durante 20 días un contenido de cenizas igual a 0,26 % valor que está por encima de valor de referencia de la FAO (2007). Morales *et al.* (2012) reportaron para almidón fermentado de yuca un contenido de cenizas de 0,5 %. El contenido de cenizas es un parámetro indicador de calidad que puede ser útil para identificar si hay alteraciones en el almidón de yuca.

pH

La FAO (2007), menciona que el valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una muestra y es determinado con un medidor llamado pH-metro o potenciómetro. Es una propiedad muy importante para los procesos de caracterización del almidón ya que le da una predisposición de ceder o aceptar hidrogeniones, los pH generalmente desviados de la media (pH:7,0 – 7,5), son los más usados para procesos de modificación. El valor del pH en un almidón nativo debe estar entre 6,0-6,5 (FAO 2007, Holguín 2019). Morales *et al.* (2012) reportaron para almidón fermentado de yuca un pH de 3,63 el cual es un valor bajo con respecto al almidón nativo y que se debe a la formación de ácidos particularmente ácido láctico durante el proceso de fermentación. Gonzáles y Arévalo (2001) reportaron para almidón fermentado de yuca un pH igual a 5.

Acidez titulable

La acidez titulable es una medida de la cantidad de ácido presente, esta es determinada por titulación con hidróxido de sodio, utilizando como indicador del viraje la fenolftaleína. El cálculo es realizado de acuerdo a la cantidad de ácidos presente. Para el caso particular de almidón de yuca el ácido predominante es el ácido láctico. La acidez titulable debe estar entre $2,2 \times 10^{-3}$ y 5×10^{-3} mEq de ácido láctico/g de almidón (FAO 2007). Gonzáles y Arévalo (2001) reportaron para almidón fermentado de yuca una acidez titulable de 1,17 mEq ácido láctico/ g de almidón. La acidez titulable es un parámetro de calidad importante porque valores superiores a 5×10^{-3} mEq de ácido láctico/ g de almidón sugieren que el almidón se ha sometido a fermentación.

Propiedades funcionales de los almidones

Las propiedades funcionales dependen de una serie de factores integrados que incluyen la composición del polímero, la estructura molecular, la organización entre cadenas y constituyentes menores tales como lípidos, grupos fosfato y proteínas. Como resultado, los almidones de diferentes orígenes botánicos difieren en sus propiedades físicas y funcionales. Además, la modificación química, enzimática y física del almidón, ya sea con la preservación o destrucción del gránulo nativo, amplía las propiedades de funcionalidad (Bemiller y Wistler 2009). Entre las propiedades funcionales de los almidones que son aprovechadas en la industria alimentaria encontramos las siguientes:

Solubilidad

El almidón es un polímero poco soluble debido a que la amilosa y amilopectina se unen por puentes de hidrógeno, formando una estructura compleja, altamente organizada, que presenta una gran estabilidad a las múltiples interacciones que existen con sus dos polímeros constituyentes, es decir su solubilidad depende de la cantidad de estos polímeros en el medio (Kaur *et al.* 2007). La solubilidad en agua está influenciada por la relación amilosa - amilopectina y por las características de éstas, peso molecular, grado de ramificación, longitud de las ramificaciones y conformación de moléculas complejas de lípidos. Además, las proteínas dentro de los gránulos de almidón juegan un papel muy importante en el control del poder de hinchamiento de los mismos (Zhang *et al.* 2005).

Viscosidad

Es la resistencia de las moléculas de un fluido a deformarse, esta oposición es debido a las fuerzas de adherencia que tienen un fluido, esta propiedad pertenece a los fluidos en movimiento la cual no se ve reflejada en líquidos estáticos puesto que sus moléculas están en estado estacionario. El almidón se comporta como un fluido no newtoniano y su comportamiento se describe como pseudo-plástico puesto que al momento de fluir su viscosidad disminuye al aumentar su velocidad de desplazamiento (Ríos 2014).

Absorción de agua

Es la capacidad del gránulo de almidón de absorber y retener agua y está ligado directamente con la temperatura de gelatinización ya que entre más aumenta la temperatura su capacidad de retención de agua es mayor.

La cantidad de agua absorbida por el almidón dependerá del contenido de humedad, del medio que lo rodea el almidón absorbe agua hasta alcanzar el equilibrio con el medio circundante (proceso reversible), por lo tanto, la absorción de agua provoca que el gránulo presente un hinchamiento incrementando el tamaño hasta un 10 % (Singh *et al.* 2003).

Capacidad de retención agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA), expresa la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por gramo de material seco que ha sido sometido a un exceso de agua y posteriormente centrifugado (Martínez *et al.* 2017).

Índice de absorción de lípidos

El índice de absorción de lípidos (IAL), expresa la máxima cantidad de aceite que puede ser absorbida por gramo de material seco expuesto a un exceso de aceite y posteriormente sometido a una fuerza centrífuga (Martínez *et al.* 2017).

Poder de hinchamiento

La capacidad del poder de hinchamiento se manifiesta debido a la fuerza de enlace presente en el interior del gránulo de almidón y son altamente asociados con una estructura micelar extensa y frecuentemente enlazada. La presencia de los lípidos puede inhibir el hinchamiento de los gránulos, debido a la formación de complejos insolubles con la fracción de amilosa (Yoshimoto *et al.* 2000). Este se manifiesta cuando los gránulos de almidón se sumergen en agua y esta presenta un hinchamiento, que además

con un aumento de la temperatura se incrementa el volumen y por tal motivo se presenta una pérdida de cristalinidad, por su parte la amilosa puede ser lixiviada formando así un gel. Cuanto más alto es el contenido de amilosa más bajo es el poder de hinchamiento y menor es la fuerza del gel (Sánchez 2007).

Gelatinización

Los gránulos de almidón que son mezclados con agua fría absorben y se hinchan entre un 10 – 20 % debido a que su estructura es altamente organizada y presentan una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes, sin embargo, cuando a esta mezcla se le aplica temperatura (60-70 °C), empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles formando una pasta (gelatinización). Durante este proceso y a medida que se va incrementando la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse, aumentando su volumen, adicionalmente se observa que el orden molecular dentro de los gránulos es destruido gradual e irreversiblemente, también se pierde su patrón de difracción de rayos X, la birrefringencia y su cristalinidad. La temperatura en la cual ocurre este proceso irreversible se llama temperatura de gelatinización (Badui 2006, Karim *et al.* 2008, Lescano 2010).

La temperatura de gelatinización es característica para cada tipo de almidón y depende fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa del almidón. La temperatura de gelatinización del almidón nativo de yuca está en un rango comprendido entre 60-70 °C (Badui 2006, FAO 2007, Karim *et al.* 2008). En ese mismo sentido, investigadores como Hernández-

Medina *et al.* (2008) reportaron para almidón nativo de yuca una temperatura de gelatinización de 62,5 °C.

Retrogradación

Es el proceso siguiente a la gelatinización del almidón, en este proceso se libera agua presente dentro del gránulo de almidón mientras este se enfría, en este proceso las moléculas de amilosa y amilopectina se asocian entre sí, reteniendo agua en los intersticios que se forman entre los gránulos de almidón (Samanez 2020).

Se sabe que los almidones poseen propiedades funcionales muy utilizadas en la industria alimentaria, y este ofrece una amplia gama de posibilidades en el desarrollo de nuevos productos, ya sea utilizando de manera tradicional almidón nativo o modificado. Estas modificaciones mejoran sus propiedades originales y multiplican sus usos y ventajas (Pedraza y Arenas 2017)

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Murillo y Ruiz (2022), en su trabajo titulado “Efectos del tiempo de fermentación y las variedades de yuca sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del almidón determinaron que la variedad de yuca y el tiempo de fermentación mejoraban la capacidad de expansión del almidón nativo, utilizando como variables tiempo de fermentación (10, 18 y 25 das) y las variedades de yuca (INIAP PORTOVIEJO 650, 651 y 652). También evaluaron la calidad fisicoquímica, mediante análisis de pH, acidez titulable, humedad, cenizas de las materias primas y del mejor tratamiento que corresponde a la variedad INIAP PORTOVIEJO 652, al cual también se le

determinó la capacidad de expansión. Se analizó la calidad microbiológica del mejor tratamiento, mediante análisis de recuento de coliformes totales, *E. coli*, mohos y levaduras. Se aplicó un diseño estadístico, con arreglo factorial analizados por la vía de un DCA.

Los resultados indicaron que al evaluar la capacidad de expansión de los almidones hubo diferencias estadísticas en relación al tiempo de fermentación y las variedades de yuca, así como las interacciones entre estos dos factores. El almidón de la variedad 652 alcanzó en promedio el mayor poder de expansión a los 18 días de fermentación llegando a 14,83 cm³/g, con niveles microbiológicos permisibles para consumo humano. El almidón obtenido por su alto poder de panificación se convierte en una materia prima funcional importante para usos en panificación y afines.

Chaparro *et al.* (2020), en el trabajo de investigación titulado “Caracterización del almidón de sagú (*Canna indica*) fermentado para la implementación de procesos agroindustriales”, estudiaron los cambios que genera la fermentación en el almidón de sagú frente al almidón nativo, para el estudio sometieron al almidón a fermentación en tres relaciones diferentes de almidón-agua (1:2, 1:4 y 1:6), tomaron muestras del almidón a los días 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 y 45, y evaluaron sus propiedades fisicoquímicas, térmicas y microbiológicas. Como resultado obtuvieron que la relación entre los días de fermentación y las variables de acidez, humedad, densidad, cenizas y tamaño de partícula son directamente proporcionales (correlación de Pearson). Contrario de las variables de pH, temperatura de gelatinización y viscosidad. Comprobaron que la relación almidón-agua empleada en la fermentación del almidón no afecta las variables mencionadas. Por otra parte, en los días 40 y 45 de las relaciones 1:4 y 1:6, obtuvieron resultados donde en la gelatinización se alcanzan a temperaturas de hasta de 75,3°C y

la viscosidad aumenta en la etapa de enfriamiento, también obtuvieron pH bajos y valores altos de acidez lo cual ayuda a inhibir el crecimiento microbiano, solo encontraron presencia de levaduras y bacterias amilolíticas durante la fermentación, lo cual permite que este tipo de almidón sea apto para productos como mermeladas, gelatinas, mayonesas, dulces de leche y productos de panadería.

Ríos y Aguila (2001) estudiaron la fermentación natural del polvillo (almidón fermentado) de yuca, para verificar los cambios que ocurren en sus características, así como en los panes elaborados con el polvillo como insumo. En muestras de líquido sobrenadante de las fermentaciones observaron que la evolución de la acidez fue positiva, con disminución del valor del pH y aumento de la acidez titulable, adicionalmente observaron que el proceso fermentativo altera la composición química del polvillo y comprobaron una variación significativa en el contenido de proteína y fibra, y una variación leve en el porcentaje de lípidos y cenizas. Los investigadores concluyeron que la fermentación disminuye la viscosidad, principalmente la viscosidad máxima y aumenta el poder de hinchamiento e índice de solubilidad del polvillo, también concluyeron que los cambios fisicoquímicos y reológicos del polvillo produjeron cambios deseables en el proceso de panificación con aumento en la expansión hasta los 30 días de fermentación seguida de una disminución mientras que la densidad disminuyó hasta los 30 días, seguida de un incremento de este valor.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, modalidad Tesis de Grado se realizó en los laboratorios de: Tecnología de Alimentos, ubicados en el Campus los Guaritos, Edafología y Desarrollo de plantas y post-cosecha, ubicados en el campus Juanico de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, municipio Maturín, estado Monagas.

OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima que se utilizó para la extracción del almidón, en este caso la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), se obtuvo a partir de un proveedor específico cuyo cultivo estaba ubicado en El Pinto, municipio Piar, estado Monagas, las muestras de yuca se seleccionaron de acuerdo a lo establecido por INTA (2017), para ello se realizó una inspección visual tomando en cuenta las características de calidad adecuadas en cuanto a tamaño cuyos parámetros estuvieron ubicados en aproximadamente 30 cm de largo y 6-8 cm de diámetro, y forma cilíndrica oblonga. Los tubérculos que presentaron alguna característica indeseable tales como deformidades y crecimiento fúngico fueron retirados. Se seleccionaron los que estaban en buen estado y seguidamente se transportaron en sacos de malla plástica, hasta ser llevados al Laboratorio de Tecnología de Alimentos, donde se realizaron las extracciones del almidón.

OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO Y FERMENTADO DE YUCA

Los almidones de yuca se extrajeron siguiendo la metodología planteada por Alarcón y Dufour (2002). En la Figura 6 se muestra el

diagrama del proceso de extracción de almidón de yuca nativo y fermentado a diferentes tiempos (0, 28, 35 y 42 días), el cual se describe a continuación:

Recepción de materia prima: los tubérculos de yuca dulce provenientes de El Pinto, municipio Piar, se inspeccionaron y se descartaron las raíces dañadas, mordidos por roedores, deteriorados o que presentaron crecimiento fúngico.

Lavado y pelado: se lavó la materia prima con agua potable a fin de eliminar la tierra e impurezas adheridas a la cáscara. La última operación de esta etapa fue pelarlas con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable estéril marca magefesa. Se utilizaron 100 kg de yuca con cáscara.

Pesado: una vez lavadas y peladas las yucas, éstas se pesaron en una balanza analítica digital marca Saco, cuya capacidad es de 40 kg con una apreciación de 0,001 g.

Rallado: después de pesar las yucas a éstas se les realizó un rallado de forma manual utilizando un rallo de acero inoxidable marca Press, con el propósito de liberar el almidón de los amiloplastos y facilitar la extracción del mismo.

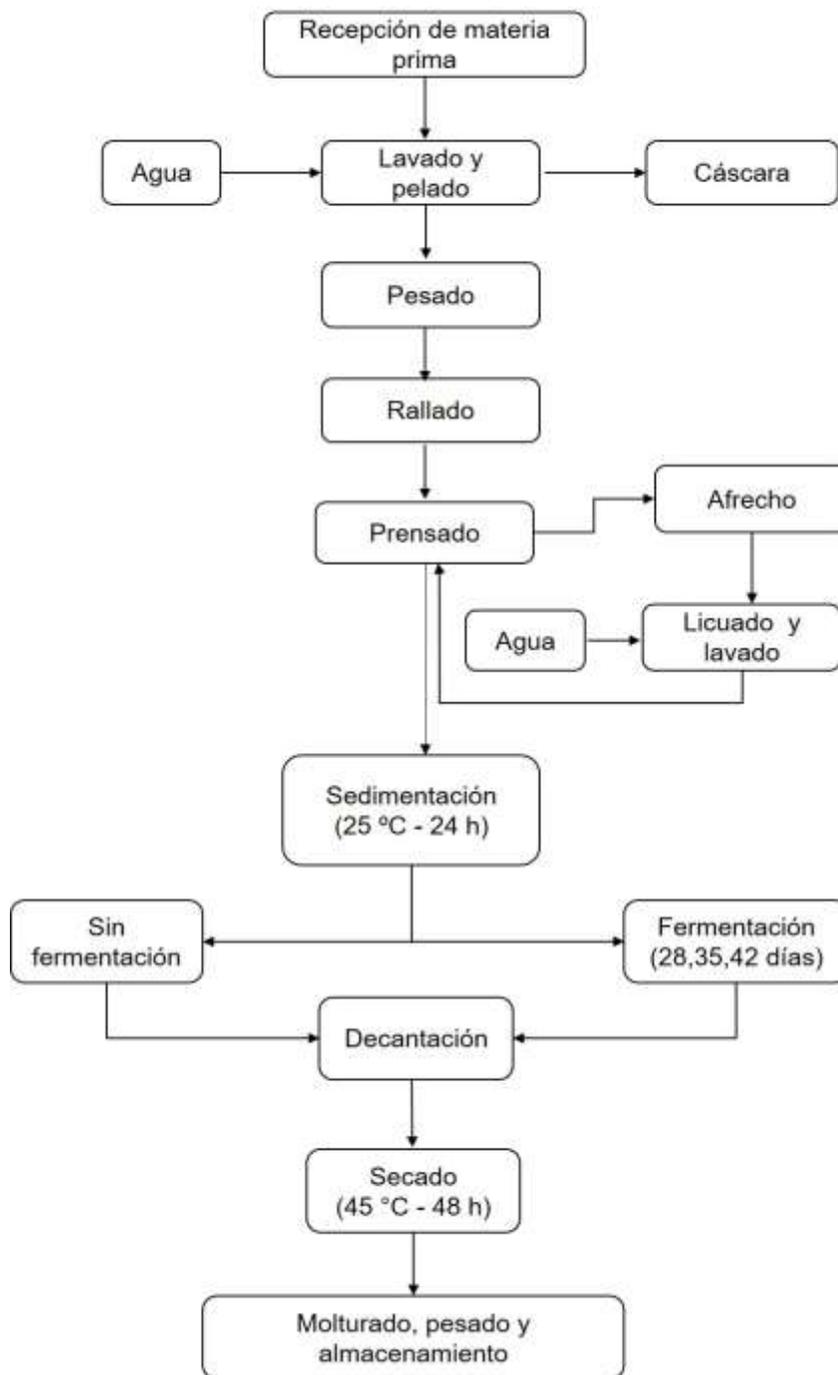


Figura 6. Diagrama del proceso de extracción de almidones de yuca nativo y fermentados, establecido por Alarcón y Dufour (2002).

Prensado: se llevó a cabo un prensado utilizando una tela de muselina, donde se colocó la yuca rallada, constituida por el almidón y el afrecho y luego se le aplicó presión manualmente, con la finalidad de separar el almidón liberado del afrecho, se obtuvo una lechada en el cual se encuentra disperso el almidón.

Licuada y lavado: el almidón que aún quedaba retenido en el afrecho obtenido en el paso anterior, se liberó colocando 300g de este en una licuadora marca Oster con 700mL de agua y se agitó por aproximadamente un minuto a 3000 rpm. Luego la mezcla formada por agua, almidón suspendido y afrecho, se prensó usando una tela muselina y se lavó con suficiente agua. El proceso descrito anteriormente se repitió hasta que el agua del filtrado salió clara, reflejo de que se extrajo la mayor cantidad de almidón posible, completando un total de tres ciclos.

Sedimentación: la suspensión de almidón obtenido en el prensado se dividió en cuatro (4) partes iguales y se colocaron en envases de polietileno de 50 cm de alto por 30 cm de ancho, y se dejaron en reposo a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas.

Fermentación: luego de haber transcurrido las 24 horas correspondientes al proceso anterior, se colocaron tres (3) de las suspensiones del almidón obtenidas a temperatura ambiente (25 °C) en el laboratorio de Tecnología de Alimentos por un periodo de 28, 35 y 42 días respectivamente, mientras que la muestra restante pasó directamente a las siguientes etapas del proceso (Decantación, secado, Molturado, pesado y almacenamiento del almidón) para obtener el almidón nativo.

Decantación: transcurrido el tiempo de fermentación se decantó trasvasando el líquido sobrenadante de las muestras, el cual posteriormente se desechó. Los almidones se colocaron en bandejas de vidrio para someterse al proceso de secado.

Secado: los almidones húmedos obtenidos en la etapa anterior se llevaron en bandejas de vidrio a una estufa convencional a 45 °C por 48 horas.

Molturado, pesado y almacenamiento del almidón: los almidones secos se trituraron a temperatura ambiente en un mortero de cerámica, el polvo resultante de cada uno se pesó en una balanza digital marca Saco cuya capacidad era de 40 kg con una apreciación de 0,001 g y luego se almacenaron las muestras en bolsas de polietileno a temperatura ambiente para su posterior uso. Luego de terminado el proceso de obtención de almidones se procedió a determinar el porcentaje de rendimiento (% R), y se obtuvieron las cantidades necesarias de muestra de cada uno de los almidones con diferentes tiempos de fermentación y se realizaron los análisis correspondientes (Figura 7).

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO (%R) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO

Para determinar el porcentaje de rendimiento se utilizó la metodología descrita por Ashveen *et al.* (2008). Se pesó primero la parte comestible de la yuca antes de extraer el almidón y luego se pesó el almidón seco obtenido. El porcentaje de rendimiento se determinó a partir de la siguiente fórmula:

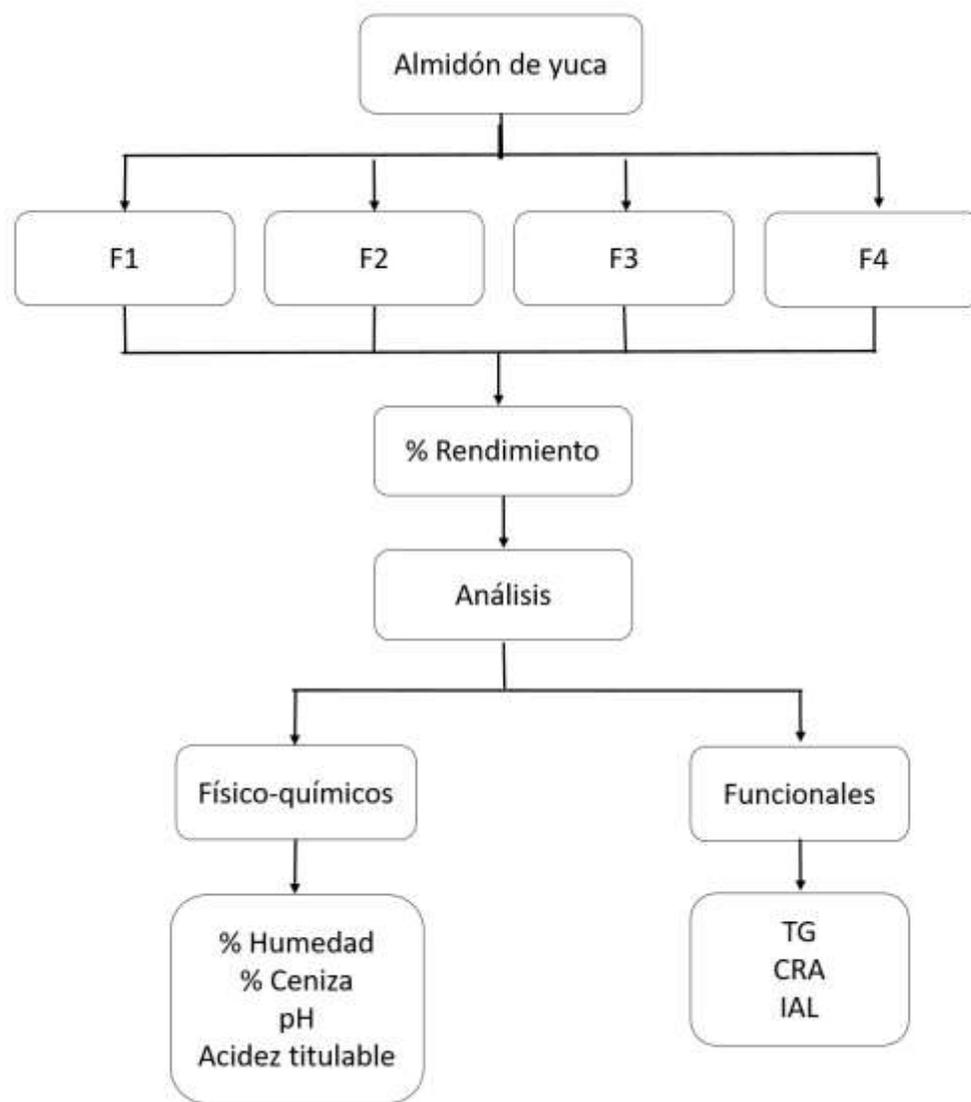


Figura 7. Diagrama experimental para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidón de yuca nativo y fermentado.

Dónde:

F1= almidón sin fermentar (Nativo).

F2= almidón fermentado durante 28 días.

F3= almidón fermentado durante 35 días.

F4= almidón fermentado durante 42 días.

$$\% R = \frac{PAS}{PY} \times 100$$

Donde:

% R= Porcentaje de rendimiento.

PAS= Peso del almidón seco.

PY= Peso de la yuca sin cáscara.

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA (% DE HUMEDAD, % DE CENIZAS, PH Y ACIDEZ TITULABLE) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO

Determinación del contenido de humedad

El procedimiento que se utilizó para determinar el contenido de humedad fue por gravimetría contemplado en la Norma COVENIN (1980) con algunas modificaciones:

Procedimiento:

- Se llevaron los crisoles a peso constante dejándolos en una estufa convencional a 105 °C durante 24 horas para secarlos.
- Transcurridas las 24 horas los crisoles se sacaron de la estufa y se dejaron enfriar a temperatura ambiente (25 °C) en un desecador. Cuando alcanzaron la temperatura ambiente se pesaron en una balanza analítica marca Adventurer OHAUS, U.S.A.
- En los crisoles anteriormente pesados se añadieron 5 gramos de almidón y se colocaron en la estufa convencional a 105 °C por un periodo de 24 horas.

- Transcurrido el tiempo se sacaron los crisoles de la estufa y se dejaron enfriar en un desecador y posteriormente se pesaron en una balanza analítica, Adventurer OHAUS, U.S.A.
- El porcentaje de humedad se determinó por triplicado usando la siguiente expresión (COVENIN 1980).

$$\% H = 100 - \left[\frac{(CV + MS) - CV}{MH} \right] \times 100$$

Dónde:

% H= Porcentaje de humedad

MH= Peso de la muestra húmeda.

MS= Peso de la muestra seca.

CV= Peso del crisol vacío.

Determinación del contenido de cenizas

El contenido de cenizas se determinó por método gravimétrico de acuerdo a la metodología establecida en la norma COVENIN (1981):

Procedimiento:

- La muestra usada para determinar humedad se colocó en una mufla a 550 °C por 3 horas.
- Después de apagar la mufla, los crisoles se sacaron cuando la temperatura de la mufla alcanzó los 150 °C, y se dejaron enfriar en un desecador.
- Se pesaron los crisoles con la muestra en una balanza analítica, y se determinó el contenido de cenizas por triplicado utilizando la siguiente fórmula (COVENIN 1981):

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{(\text{CV} + \text{ceniza}) - \text{CV}}{\text{M}} \times 100$$

Dónde:

CV= Peso del crisol vacío.

M= Peso de la muestra.

Determinación de pH

El pH se determinó de acuerdo a las metodologías planteadas en la norma COVENIN (1979) y el ISI (1999). Combinando estas dos metodologías con algunas modificaciones:

Procedimiento:

- Se calibró el potenciómetro (pH-metro portable marca Sartorius modelo PT-10) con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0.
- Se mezclaron 10 g de almidón en base seca con 90 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) y a temperatura ambiente con agitación constante durante 15 minutos.
- Se filtró la suspensión usando un filtro whatman N° 1.
- Del filtrado se tomó una alícuota y se midió el pH, sumergiendo el electrodo en la solución y se anotó la lectura del equipo. El análisis de pH se realizó por triplicado.

Determinación de acidez titulable

Se determinó de acuerdo a la metodología planteada por el ISI (1999). Se realizó una titulación con hidróxido de sodio usando fenolftaleína como indicador.

Procedimiento:

- Se mezclaron 10 g de almidón en base seca con 90 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) y a temperatura ambiente con agitación constante durante 15 minutos.
- Se filtró la suspensión usando un filtro whatman N° 1.
- Se tituló la solución filtrada con hidróxido de sodio 0,017 N utilizando fenolftaleína como indicador hasta el viraje de incoloro a rosa pálido. La acidez titulable, se reportó como mEq de ácido láctico (mEqAL)/g de almidón y se determinó por triplicado a través de la siguiente fórmula

$$\text{mEqAL} = \frac{N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}}{\text{PM}}$$

Donde:

N_{NaOH} = Normalidad del hidróxido de sodio.

V_{NaOH} =Volumen de hidróxido de sodio gastado.

PM= Masa de la muestra.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES (CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS, TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO A LOS DIFERENTES TIEMPOS ESTUDIADOS

Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA)

Se determinó según metodología por Bryant y Hamaker (1997) con algunas modificaciones:

Procedimiento:

- Se agregaron a los tubos de centrifuga, previamente pesados, 10 mL de una dispersión de almidón al 1 % en masa (% m/m).
- Se colocaron en baño María a 80 °C durante 15 minutos, con agitación a los 5 min y a los 10 min.
- Transcurrido los 15 minutos, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 min.
- El sobrenadante se decantó y los tubos se dejaron en reposo por un período de 10 min.
- Transcurrido el tiempo de reposo se drenaron los tubos, luego se pesaron. La ganancia de peso se utilizó para determinar por triplicado la capacidad de retención de agua a través de la siguiente expresión:

$$\% \text{ CRA} = \frac{[(\text{PTCV} + \text{muestra}) - \text{PTCV}]}{\text{PM}} \times 100$$

Dónde:

CRA= Capacidad de retención de agua.

PTCV= Peso tubo de centrifuga vacío.

PM= Peso de la muestra.

Determinación del índice de absorción de lípidos (IAL)

Constituye la cantidad de aceite absorbida por cada 100 g de muestra. Se determinó empleando la técnica usada por Granito *et al.* (2009).

Procedimiento:

- Se agregaron 3 mL de aceite comestible a 0,5 g de muestra en tubos de centrífuga graduados, los cuales se agitaron por un minuto.
- Luego los tubos de centrífuga con el almidón y aceite, se colocaron en baño María a 24 °C por 30 min.
- Transcurrido los 30 minutos, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante un minuto.
- Después de centrifugar, se midió en el tubo de centrifuga graduado el volumen de aceite que no fue absorbido. El índice de absorción de lípidos se determinó por triplicado usando la siguiente expresión:

$$IAL = \frac{[(\text{volumen inicial de aceite}) - (\text{Volumen de aceite excedente})]}{PM} \times 100$$

Donde

IAL= Índice de absorción de lípidos

PM = Peso de la muestra

DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN (TG)

La temperatura de gelatinización se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Garnica *et al.* (2010).

Procedimiento:

- Se pesaron 10 g de almidón en base seca, se formó una dispersión con agua destilada y luego se trasvasó a un balón aforado de 100 mL y se le añadió agua hasta la línea de aforo.

- En una plancha de calentamiento se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C.
- Se tomaron 25 mL de la suspensión de almidón y se añadieron en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Se introdujo el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.
- Se agitó con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se formó una pasta y la temperatura permaneció estable por unos segundos, registrándose ésta como la temperatura de gelatinización. El análisis se realizó por triplicado

DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo, el experimento se realizó con un diseño de bloque al azar con efecto único, donde la fuente de variación la constituyeron los tiempos de fermentación (0, 28, 35, 42 días) con tres repeticiones cada uno y las variables dependientes fueron: % Rendimiento, % humedad, % cenizas, pH, acidez titulable, capacidad de retención de agua, índice de absorción de lípidos y temperatura de gelatinización.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos se evaluaron a través de un análisis de varianza (ANOVA), para conocer el efecto del tiempo de fermentación sobre las propiedades físicas, químicas y funcionales de los almidones de yuca. La corrida de los datos se realizó con el software IBM SPSS Statistics versión 8.0 y el método utilizado para discriminar entre las medias es la prueba de mínima diferencia significativa (MDS) de Fisher, con un nivel de significación del 5 % ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en esta investigación relacionada con la evaluación del efecto del tiempo de fermentación en las propiedades físicas, químicas y funcionales de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nativo y fermentado.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO (% R) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO

El Cuadro 4 muestra los resultados del porcentaje de rendimiento de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.

Cuadro 4. Determinación del porcentaje de rendimiento de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.

Tiempo de fermentación (días)	% Rendimiento
Sin fermentar	24,18 ^a ± 1,442
28	20,45 ^a ± 0,988
35	19,24 ^a ± 1,749
42	17,20 ^a ± 4,906

Los valores reportados son el promedio de tres repeticiones y \pm es la desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna significa que hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5 %.

De acuerdo al ANAVA presentado en el Cuadro 1 del Apéndice se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) para el porcentaje de rendimiento de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo, lo que quiere decir que el tiempo de fermentación no

tiene ningún efecto sobre el porcentaje de rendimiento. Para esta variable no se encontró una normativa legal a nivel nacional o internacional por el cual regirse.

En el Cuadro 4 se observa que el mayor porcentaje de rendimiento corresponde para el almidón nativo (24,18 %), seguido por los almidones fermentados por 28 (20,45 %), 35 (19,24 %) y por 42 días (17,20 %), el cual representa el menor porcentaje de rendimiento obtenido en esta investigación. Estos resultados son similares a los reportados por Zuñiga (2019) para almidón de yuca nativo cuyos valores están comprendidos entre 20,70 % y 22,74 %, también son muy cercanos a dos de los tres valores reportados por Nunes *et al.* (2009) para almidón de yuca nativo, extraídos de variedades diferentes, estos valores están comprendidos entre 20,64 y 33,35 %, sin embargo están por encima de los valores determinados por Silva *et al.* (2012) para almidones nativos obtenido a partir de tres variedades de yuca cuyos valores son 15,50 %; 10,70 % y 6,80 %

El porcentaje de rendimiento del almidón de yuca se ve afectado por muchos factores como por ejemplo la temporada de siembra del cultivo y estrés hídrico, así lo demostraron Janket *et al.* (2020) en su investigación, en la cual reportaron que los cultivos plantados en temporada cálida-seca (20-Abril) con irrigación, tuvieron un rendimiento de 16,489 kg/ha mientras que los cultivos plantados en el mismo periodo sin irrigación presentaron el rendimiento más bajo de almidón con un valor promedio de 9,227 kg/ ha. De acuerdo con Baafi y Safo-Kantanka (2007) el porcentaje de rendimiento del almidón también depende de la variedad y la edad de la planta al momento de la cosecha.

En otra investigación Pastrana *et al.* (2014) evidencian que hay una relación directa entre el contenido de almidón en la raíz de yuca y la disponibilidad de agua. En su estudio los resultados arrojaron un contenido de almidón 71,4 % más alto en los tratamientos con riego que en los no regados concluyendo que la disponibilidad de agua durante el cultivo afecta el contenido de almidón en la raíz.

Los bajos valores de % R observados en los almidones fermentados con respecto al almidón nativo posiblemente se deba al proceso de despolimerización que sufren los almidones durante la fermentación y también puede estar influenciado por el proceso de decantación al que se sometió después fermentación, en el cual pudo perderse pequeñas cantidades de almidón. Durante el proceso de fermentación los gránulos de almidón sirven de sustrato para las bacterias amilolíticas y sufren cambios en su morfología, sobre este particular Oyeyinka *et al.* (2019) reportaron que los gránulos de almidón nativo presentaron superficies lisas mientras que los almidones fermentados de yuca presentaron gránulos parcialmente rotos con fisuras o microagujeros y superficies ásperas, esta pérdida parcial observada en los gránulos de almidón pueden influir en el rendimiento.

Por su parte Alonso *et al.* (2016) a través de microscopía electrónica de barrido demostraron que a partir de los 15 días de fermentación aparecen unos microporos en la superficie del almidón indicativo que las bacterias lo están usando como sustrato, después de los 30 días de fermentación observaron poros y pérdida parcial de algunas secciones. Estas modificaciones en la morfología del gránulo pueden explicar el bajo rendimiento de los almidones fermentados respecto al almidón nativo, sin embargo, estos resultados siguen representando un alto rendimiento que resulta de interés para la industria.

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA (% HUMEDAD, % CENIZAS, PH Y ACIDEZ TITULABLE) DEL ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y FERMENTADO EN TRES PERIODOS DE TIEMPO (28, 35 Y 42 DÍAS)

A continuación, se presentan los resultados de % de humedad, % de cenizas, pH y acidez titulable.

Determinación del porcentaje de humedad del almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 42 días)

El Cuadro 5, muestra los resultados del porcentaje de humedad del almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo y se observa que los valores van desde de 11,18 % hasta de 12,36 %. De acuerdo al ANAVA presentado en el Cuadro 2 del Apéndice se encontró que para los resultados de porcentaje de humedad del almidón de yuca nativo (sin fermentar) y fermentado (28, 35 y 42 días) no existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) lo que quiere decir que el tiempo de fermentación no tiene ningún sobre efecto el porcentaje de % humedad.

La FAO (2007) exige como parámetro de calidad un porcentaje de humedad para almidones procesados de forma industrial y artesanal entre 10 a 13 % y la normativa venezolana no contempla un valor de referencia de porcentaje de humedad para almidón de yuca, sin embargo, en la norma COVENIN (2001), establece como valor máximo para porcentaje de humedad un 15 %; para harina de trigo, que puede servir como referente por ser también un producto amiláceo. Los almidones evaluados en este estudio se encuentran dentro de los valores de aceptación exigidos por la FAO (2007) y COVENIN (2001).

Cuadro 5 Porcentaje de humedad (% Humedad) del almidón de yuca nativo y fermentado tres periodos de tiempo.

Tiempo de fermentación (días)	% Humedad
Sin fermentar	11,18 ^a ± 0,835
28	12,08 ^a ± 1,285
35	12,36 ^a ± 0,412
42	11,97 ^a ± 1,177

Los valores reportados son el promedio de tres repeticiones y \pm es la desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna significa que hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5 %

El porcentaje de humedad es un parámetro de calidad importante porque contenidos altos de humedad favorecen la proliferación de mohos y levaduras. El incremento en el porcentaje de humedad con el tiempo de fermentación observada en el Cuadro 5, podría ser consecuencia de la despolimerización que sufren las moléculas de almidón durante el proceso de fermentación, que conduce a la formación de azúcares cuyos grupos hidroxilos tienen mejor interacción en el agua (Putri *et al.* 2011).

Los valores de porcentaje de humedad encontrados en esta investigación están por debajo de los valores reportados por Aquino *et al.* (2016) para su valor superior y están ligeramente por encima del valor mínimo reportado. Estos investigadores encontraron en su estudio valores de porcentaje de humedad comprendidos entre 11,12 y 15,06 % para almidones de yuca fermentados por periodos comprendidos entre 4 y 60 días, adicionalmente señalan que la legislación de Brasil no establece parámetros de calidad para polvillo ácido (almidón fermentado) sino solo para almidón nativo cuyo valor máximo permitido es del 18 %, cuyo valor está por encima del obtenido en esta investigación para almidón nativo de yuca.

Por su parte Machado *et al.* (2012) reportaron un porcentaje de humedad de 12,87 % para almidón de yuca fermentado, este valor es ligeramente superior a los porcentajes de humedad reportados en este estudio para almidón de yuca fermentado durante los tiempos de fermentación evaluados en este estudio. En otra investigación González y Arévalo (2001) reportaron 13,7; 7,7 y 7,9 % de humedad para almidones de yuca fermentados durante 25, 35 y 40 días donde se puede notar que los dos últimos valores están muy por debajo a los encontrados en este estudio para los tiempos de fermentación 35 y 42 días cuyos valores fueron 12,36 % y 11,97 % respectivamente. Nuwamanya *et al.* (2010) reportaron para almidones nativos de distintos clones de yuca valores comprendidos entre 14,97 y 16,66 %; valores que están por encima a los valores de porcentaje de humedad reportados en este estudio.

Determinación del porcentaje de cenizas de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 42 días)

El Cuadro 6, muestra los resultados del porcentaje de cenizas de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo, en el cual se observa que los valores van desde 0,0507 hasta 0,1943 %. En el cuadro también se evidencia que el valor más alto correspondió al almidón nativo (sin fermentar) (0,1943 %) seguido por los almidones fermentados por 28 (0,0590 %), 42 (0,0517 %) y 35 días (0,0507 %).

El ANAVA (Cuadro 3 del Apéndice), arrojó que hay diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para la variable % cenizas, interpretándose esto como que el tiempo de fermentación ejerce un efecto en los resultados de % cenizas. Por otro lado, el Cuadro 4 del Apéndice muestra la prueba de comparación de medias para porcentaje de cenizas, donde se evidencia que

el almidón nativo es estadísticamente diferente a los almidones fermentados durante 28, 35 y 42 días y que los almidones fermentados por 28, 35 y 42 días no presentan diferencias entre sí, pero son diferentes al almidón nativo.

Cuadro 6. Porcentaje de cenizas (% cenizas) de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.

Tiempo de fermentación (días)	% Cenizas
Sin fermentar	0,19 ^a ± 0,0072
28	0,06 ^b ± 0,0147
35	0,05 ^b ± 0,0058
42	0,05 ^b ± 0,0094

Los valores reportados son el promedio de tres repeticiones y \pm es la desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna significa que hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5 %

El contenido de cenizas en almidones está relacionado principalmente con el contenido de fósforo por lo que se considera un parámetro de calidad importante en el análisis de los almidones. De acuerdo con Kaur *et al.* (2009) el contenido de cenizas en papas tiene una correlación negativa con el rango de gelatinización, lo que significa que cuando se incrementa el contenido de fósforo se observa una disminución en el rango de gelatinización y además demostraron que tiene una correlación positiva con la temperatura inicial de gelatinización lo que implica que un aumento en el contenido de fósforo se refleja en un incremento en la temperatura de gelatinización, esto demuestra que el contenido de cenizas afecta algunas propiedades funcionales de los almidones. En este estudio no es posible relacionar el contenido de cenizas con la temperatura de gelatinización porque para ello es necesario determinar el tipo y cantidad de minerales presentes, adicionalmente solo se ha reportado correlación entre las propiedades funcionales como

temperatura de gelatinización, poder de hinchamiento y solubilidad con el contenido de fósforo.

En almidón de yuca un alto contenido de cenizas puede ser indicador de posibles alteraciones o fallas en el proceso de extracción y secado, por ejemplo, puede ser indicativo que el secado se llevó a cabo al sol en un lugar en el cual pudo contaminarse con partículas de polvo por esa razón la FAO (2007) establece para almidón de yuca nativo un valor aceptable de porcentaje de cenizas de hasta 0,12 %. Los almidones fermentados evaluados en este estudio se encuentran por debajo del máximo valor permitido por la FAO sin embargo el almidón nativo está por encima de este valor.

Los bajos valores de cenizas observados en los almidones fermentados respecto al almidón nativo pueden atribuírsele a la despolimerización que sufre el almidón durante la fermentación y al proceso de lavado al cual es sometido una vez que finaliza la fermentación. Figueroa *et al.* (2018) señalan que, durante la extracción del almidón nativo, compuestos solubles en agua tales como vitaminas y nitrógenos pueden ser removidos durante la etapa del lavado.

Comparando los resultados obtenidos en este estudio con los reportados en otras investigaciones se tiene que los valores de porcentaje de cenizas para el almidón de yuca nativo (0,1943 %) son superiores a los reportados por Alvis *et al.* (2008) cuyos valores están comprendidos entre 0,11 y 0,16 %, sin embargo, en relación a los almidones fermentados estos valores son superiores. Alvis *et al.* (2008) también reportaron valores de porcentaje de cenizas para almidón nativo de ñame comprendidos entre 0,45-0,69 %, los cuales son más altos que los observados para almidón

nativo y fermentados en este estudio. Pardo *et al.* (2013) reportaron para almidones de papa criolla 0,409 % de cenizas, este valor es superior a los valores de porcentaje de cenizas para almidón nativo y fermentado.

En otra investigación Álava *et al.* (2017) reportaron para almidón de yuca fermentado, valores comprendidos entre 0,10 y 0,44; siendo el límite de este intervalo superior a cualquiera de los valores encontrados en este estudio mientras que el límite inferior (0,10 %) es un valor que se ubica por debajo del porcentaje de cenizas para almidón nativo y es mayor a los porcentajes de cenizas de los almidones fermentados en los tiempos de 28, 35 y 42 días. Aquino *et al.* (2016) determinaron que los almidones de yuca fermentados a escala industrial presentaron un contenido de cenizas entre 0,13 y 0,25 %, encontrándose el último valor por encima del valor de porcentaje de cenizas en este estudio para almidón de yuca nativo. Por su parte Kaur *et al.* (2009) reportaron para almidones de diferentes variedades de papa almacenadas a diferentes temperaturas porcentajes de cenizas desde 0,13 % hasta 1,54 %, el último valor está muy por encima de los resultados de porcentaje de cenizas determinados en este estudio.

Determinación del pH y acidez titulable del almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo

En el Cuadro 7, se muestra los valores de pH y acidez titulable para almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo donde se puede apreciar que a mayor tiempo de fermentación el pH de los almidones disminuye. El mayor valor de pH corresponde al almidón nativo (6,70) mientras que el valor más bajo corresponde al almidón fermentado durante 42 días (3,53).

El ANAVA (Cuadro 5 del Apéndice) muestra que hay diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los valores del pH eso implica que el tiempo de fermentación tiene efecto sobre los resultados del pH. La prueba de comparación de media (Cuadro 6 del Apéndice) arrojó que el pH del almidón nativo es estadísticamente diferente a los almidones fermentados mientras que los almidones fermentados durante 28, 35 y 42 días no presentaron diferencias entre sí, pero son diferentes al almidón nativo.

Cuadro 7. pH y acidez titulable de almidón de yuca nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.

Tiempo de fermentación (días)	pH	Acidez titulable (mEq AL/g)
Sin fermentar	6,70 ^a ± 0,56	1,33x10 ⁻³ a ± 3,34x10 ⁻⁴
28	4,00 ^b ± 0,62	8,47x10 ⁻⁴ b ± 7,55x10 ⁻⁵
35	3,90 ^b ± 0,23	7,82x10 ⁻⁴ b ± 6,21x10 ⁻⁵
42	3,53 ^b ± 0,58	7,61x10 ⁻⁴ b ± 1,00x10 ⁻⁶

Los valores reportados son el promedio de tres repeticiones y \pm es la desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna significa que hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5 %

La FAO (2007) señala que el almidón nativo con calidad industrial debe tener un pH comprendido entre 4,5 -5,5. Los almidones fermentados evaluados en este estudio se encuentran por debajo de este intervalo mientras que el almidón nativo está por encima. Por su parte, Brasil a través de SISLEGIS (2005) en su reglamento técnico de identidad y calidad de los productos amiláceos establece para almidón nativo de yuca un pH comprendido entre 6,5 -7,0. Los almidones fermentados se encuentran por debajo de este valor mientras que el almidón nativo se ajusta a este intervalo. En Venezuela no se encontró una normativa que establezca los valores mínimos y máximos permitidos para almidón nativo y fermentado.

Los resultados evidencian una disminución del pH a medida que el tiempo de fermentación aumenta. De acuerdo con Leal *et al.* (2018) esta tendencia se debe a la formación de ácidos orgánicos que se forma durante el proceso de fermentación. Por su parte Figueredo *et al.* (2018) señalan que el descenso del pH en los almidones durante la fermentación es una consecuencia de las actividades biocatalíticas de las bacterias ácidos lácticas, responsables de la conversión de los azúcares que se forman por la despolimerización del almidón en ácidos orgánicos. Durante la fermentación se forman ácidos orgánicos tales como ácido láctico, butírico, propiónico, acético, entre otros, así lo confirman Aquino *et al.* (2016) quienes encontraron que en muestras de almidón de yuca fermentado el ácido láctico representó el mayor porcentaje de 54,46 a 97,52 % del total mientras que el ácido acético tuvo una máxima representatividad de 13,0 %, el ácido propiónico se ubicó entre 1,16 a 15,34 % del total y el ácido butírico se encontró con una representación máxima de 3,44 al 51,74 % del total. Estos autores también citan que en almidones fermentados los valores de pH dependen de la temperatura de fermentación y de la microbiota presente e indican que en regiones frías la fermentación es lenta con predominio de la microbiota láctica con mayor frecuencia de *Lactobacillus plantarum* y en las regiones calientes, la fermentación es más rápida con predominio de la microbiota butírica siendo el *Clostridium butyricum* el de mayor relevancia.

Comparando los resultados de pH obtenidos en este estudio con investigaciones como la de Aquino *et al.* (2016) se tiene que el rango de valores de pH (3,11 a 4,82) reportados por el autor para almidón de yuca fermentado es similar al pH de los almidones fermentados durante 28, 35 y 42 días. Por su parte Machado *et al.* (2012) reportaron para almidón de yuca fermentado un pH de 3,8; valor que se encuentra por debajo de los

almidones fermentados durante 28 y 35 días, pero por encima del valor de pH para almidón fermentado durante 42 días.

Machado *et al.* (2010) encontraron para almidón fermentado de yuca un pH igual a 2,82, valor que está muy por debajo de los valores de pH encontrados para los almidones fermentados en los diferentes tiempos en estudio. De acuerdo con Machado *et al.* (2010) valores bajos de pH es uno de los parámetros característicos de los almidones fermentados que además de indicar que se ha modificado el almidón impiden la proliferación de microorganismos que pudieran alterar la calidad microbiológica de los mismos.

En relación a los resultados de acidez titulable se observa en el Cuadro 7 que el mayor valor correspondió al almidón nativo con $1,33 \times 10^{-3}$ mEqAL/g, seguido por los almidones fermentados por 28 ($8,47 \times 10^{-4}$ mEqAL/g) y 35 días (mEqAL/g) y el menor valor es para el almidón fermentado durante 42 días ($7,61 \times 10^{-4}$ mEqAL/g). De acuerdo con el análisis de varianza para acidez titulable (Cuadro 7 del Apéndice) existen diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) por lo que se puede decir que el tiempo de fermentación tiene efecto sobre la variable acidez titulable. La prueba de comparación de medias (Cuadro 8 del Apéndice) arrojó que el almidón nativo es diferente a los almidones fermentados mientras que los almidones fermentados no presentan diferencias entre sí, pero si son diferentes al almidón nativo.

En el Cuadro 7, se observa que los valores de acidez titulable se incrementan durante los primeros 28 días de fermentación, posterior a este tiempo hay una caída de sus valores. Es posible que este comportamiento se deba a la microbiota presente en cada una de las fases de la fermentación,

esta información está fundamentada en el trabajo de Leal *et al.* (2018) quienes demostraron que usando *Lactobacillus plantarum* como cultivo iniciador para la fermentación de almidón de yuca se obtuvo una acidez titulable más alta que utilizando *Lactobacillus brevis* y además demostraron que algunas especies de levadura pueden tener actividad amilolítica lo que sugiere que probablemente éstas desempeñan un rol importante al principio de la fermentación, degradando el almidón y liberando azúcares para el crecimiento de las bacterias ácido lácticas y de ellas mismas.

La FAO (2007) indica que la acidez titulable del almidón de yuca nativo debe estar comprendido entre $2,2 \times 10^{-3}$ y 5×10^{-3} mEq de ácido láctico/g de almidón, lo que significa que el almidón de yuca nativo evaluado en este estudio está por debajo de este valor de referencia. La Norma COVENIN no contempla valores de referencias para acidez titulable de almidón de yuca.

Comparando los resultados de acidez titulable obtenidos en esta investigación se tiene que el valor de acidez titulable del almidón de yuca nativo ($1,33 \times 10^{-3}$ mEqAL/ g almidón) es mayor al reportado por Demiate y Kotovicz (2011) para almidón nativo de la misma raíz cuyo valor fue $7,5 \times 10^{-5}$ mEqAL/g (0,75 mL de NaOH 0,01 N/100 g de almidón), este mismo autor también reportó para almidones de yuca fermentado grado comercial valores de acidez titulable entre $3,1 \times 10^{-4}$ y $8,3 \times 10^{-4}$ mEqAL/g de almidón (3,10-8,63 mL NaOH 0,01 N/100 g de almidón) este rango de valores está por debajo de cualquier valor de acidez titulable para almidones fermentados reportados en este estudio. Por su parte Machado *et al.* (2010) reportaron para almidón fermentado de yuca $3,12 \times 10^{-4}$ mEqAL/g (3,12 mL NaOH 0,01 N /100 g) cuyo valor fue inferior a los resultados arrojados en este estudio. Estas observaciones pueden estar influenciadas por la carga bacteriana presente que depende del origen de la materia prima y manipulación de la misma. Tan

(2017) cita que la biosíntesis de almidón varía cuantitativa y cualitativamente durante el crecimiento, por lo que asegurar la calidad constante de cada almidón sigue siendo un problema, porque su funcionalidad muestra variaciones impredecibles, influenciadas por las condiciones edafoclimáticas de la fuente botánica durante el crecimiento.

Los valores de acidez titulable para todos los almidones fermentados obtenidos en esta investigación están por encima de los valores encontrados en la investigación de Machado *et al.* (2012) para almidón fermentado de yuca secado al sol cuyo valor de acidez titulable es de $7,49 \times 10^{-4} \text{mEqAL/g}$ almidón (7,49 mL NaOH 0,01 /100 g de almidón), sin embargo, es inferior al valor de almidón nativo.

Los valores de pH y acidez titulable son parámetros importantes que sirven como indicadores de la calidad de los almidones y sus valores varían de acuerdo al tipo de almidón y al grado de impurezas incluyendo la presencia de minerales, ácidos grasos libres, proteínas, compuestos fenólicos, sulfitos entre otros porque estos compuestos pueden liberar aniones en el agua de la dispersión de almidón. Adicionalmente durante el proceso de extracción dejar los almidones en dispersión a largo plazo puede dar lugar a procesos enzimáticos y bacterianos que dan origen a la formación de compuestos ácidos que influyen en los valores de acidez titulable (Pedrosa *et al.* 2019).

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA)

En el Cuadro 8, se presentan los resultados de capacidad de retención de agua para almidón de yuca, nativo y fermentado, en el cual se observa

que el menor valor para la CRA correspondió al almidón nativo (532,03 %) y el mayor valor fue para el almidón fermentado por 35 días (973,41 %).

Cuadro 8. Capacidad de retención de agua (CRA) de almidón de yuca nativo y fermentado a diferentes tiempos.

Tiempo de fermentación (días)	CRA (%)
Sin fermentar	532,03 ^a ± 1,00
28	969,47 ^b ± 1,99
35	973,41 ^b ± 16,7
42	962,50 ^b ± 7,09

Los valores reportados son el promedio de tres repeticiones y \pm es la desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna significa que hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 5 %.

El ANAVA mostrado en el Cuadro 9 del Apéndice evidenció que hay diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) en los resultados de CRA para almidón de yuca nativo y fermentado, lo que significa que el tiempo de fermentación tiene efecto sobre la variable CRA. A través de la prueba de comparación de media (Cuadro 10 del Apéndice) se demostró que el valor de la CRA para almidón nativo es diferente a los almidones fermentados, mientras que los almidones fermentados son iguales entre sí, pero diferentes al almidón nativo. En Venezuela no se encontró una normativa que establezca un valor de referencia para CRA de almidón de yuca y a nivel internacional no se hallaron normativas que indiquen un valor de referencia para esta propiedad funcional.

La CRA describe la máxima cantidad de agua que un material puede retener en su estructura y depende tanto del área superficial como de la disponibilidad de poros (Schmitz *et al.* 2021). De acuerdo con Nyman y Haska (2013) a mayor área superficial se incrementa la disponibilidad de

poros y fisuras lo que a su vez aumenta la capacidad de retención de agua de un material, entonces, el incremento de la capacidad de retención de agua observado en los almidones fermentados de la presente investigación puede correlacionarse con un aumento en la formación de poros y fisura en la estructura granular como una consecuencia de la acción bacteriana y el ácido formado durante la fermentación, evidenciados en la investigación de Oyeyinka *et al.* (2019), mientras que el descenso de la CRA observado en los almidones fermentados a los 42 días puede explicarse por un posible colapso de la estructura porosa de los gránulos de almidón como una consecuencia de su despolimerización.

Comparando los resultados de la CRA obtenidos en este estudio con otras investigaciones se encontró que los resultados de la CRA para almidón de yuca, nativo y fermentado, mostrados en el Cuadro 8 están por encima de los reportados por Espitia *et al.* (2016) para tres variedades de almidones nativos de ñame, *Dioscorea bulbifera* (165,66 %), *Dioscorea trifida* (186,00 %), *Dioscorea esculenta* (134,33 %), también son superiores a los reportados por Salcedo *et al.* (2017) para almidones nativos de yuca y ñame cuyos valores son 89,91 % y 100,25 % respectivamente. También están por encima de los valores reportados por Raza *et al.* (2021) para almidón nativo de flecha de agua (*Sagittaria sagittifolia* L.) cuyo valor es de 47,07 % y por encima del valor reportado por Marboh y Mahanta (2021) para almidón nativo de sohphlang (*Flemingia vestita*) cuyo valor es 87 %. Sohphlang es una raíz comestible que pertenece a la familia de las *Fabaceae*.

La alta capacidad de retención de agua mostrada por los almidones fermentados por 28, 35 y 42 días sugieren que podría ser utilizado en la elaboración de salchicha porque de acuerdo con lo citado por Sánchez *et al.* 2014 se suelen utilizar almidones de maíz, papa y yuca en las formulaciones

de salchicha con el objetivo de disminuir el pH, contenido de agua y la pérdida de peso durante la cocción. Luallen (2018) señalan que para carnes tipo salchichas frankfurt, mortadela, surimi, yogures, flan entre otros productos, el almidón con alta CRA se utiliza para reducir y controlar el agua libre.

DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de la temperatura de gelatinización de almidón de yuca, nativo y fermentado en el que se observa que la temperatura de gelatinización en los distintos tratamientos, son similares. La menor temperatura de gelatinización corresponde al almidón nativo (67,2 °C), mientras que la mayor temperatura de gelatinización corresponde al almidón fermentado durante 42 (67,8 °C) días.

Cuadro 9. Temperatura de gelatinización de almidón de yuca nativo y fermentado en diferentes tiempos.

Tiempo de fermentación (días)	Temperatura de gelatinización (°C)
Sin fermentar	67,2 ^a ± 0,509
28	67,2 ^a ± 0,190
35	67,4 ^a ± 0,386
42	67,8 ^a ± 0,767

Los valores reportados son el promedio de tres repeticiones y \pm es la desviación estándar. Letras diferente en la misma columna significa que hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5 %.

De acuerdo con el ANAVA aplicado a la temperatura de gelatinización, mostrado en el Cuadro 11 del Apéndice, no existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes tratamientos aplicados al almidón de yuca, lo que significa que el tiempo de fermentación no tiene efecto sobre

la variable temperatura de gelatinización con una tendencia de aumento no significativo. La FAO (2007) indica valores de referencia para almidón de yuca nativo comprendidos entre 57,5-70 °C así tanto en Venezuela como en la comunidad internacional no se encontró un marco legal que establezca valores de referencia para la temperatura de gelatinización del almidón nativo de yuca.

Realizando una comparación de la temperatura de gelatinización encontrada en este estudio, para almidón de yuca nativo y fermentado, con los valores obtenidos por otros investigadores, se observa que son superiores a los valores reportados por Alvis *et al.* (2008) para almidones nativos de diferentes variedades de yuca cuyos valores están comprendidos entre 61 y 66 °C, sin embargo, son similares a los valores reportados por Oliveira *et al.* (2021) para almidón de yuca nativo y fermentados, cuyos valores son 67,9 °C y 68,5 °C respectivamente, pero son inferiores a los reportados por Espitia *et al.* (2016) para almidones nativos de tres variedades de ñame, *Dioscorea trifida*, *Dioscorea esculenta* y *Dioscorea bulbifera* cuyos valores son 75,25 °C, 79,75 °C y 79,0 °C respectivamente.

También están por debajo de los valores reportados por Oyeyinka *et al.* (2019) para almidón de yuca, fermentados por periodos de 24 (1 día), 48 (días) y 72 horas (3 días) cuyos valores son 76 °C, 79 °C y 80 °C. En el trabajo de Oyeyinka *et al.* (2019) se observó un aumento gradual de la temperatura de gelatinización con respecto al tiempo de fermentación y ese comportamiento se lo atribuyeron a posibles restricciones para el hinchamiento del gránulo por presencia de fibra y a la disminución del contenido de amilosa. En este estudio la temperatura de gelatinización tuvo un incremento no significativo con el tiempo de fermentación y eso permite inferir que no hubo cambios importantes en cuanto al contenido de amilosa.

En otra investigación Charles *et al.* (2004) reportaron para almidones nativos de dos variedades de yuca amarga, temperaturas de gelatinización comprendidas entre 64,4 °C y 69,9 °C y de dos variedades de yuca dulce valores comprendidos entre 68,2 y 68,3 °C. Las temperaturas de gelatinización observadas en esta investigación están ligeramente por debajo de este último rango de valores, sin embargo, son similares al valor reportado por Díaz *et al.* (2018) para almidón fermentado de yuca cuyo valor es 67,2 °C y se encuentran ligeramente por debajo de la temperatura de gelatinización de almidón nativo de yuca reportada por este mismo autor equivalente a 68,5 °C. Asimismo, son superiores a los valores reportados por Garcia *et al.* (2015) para almidones fermentados de yuca cuyos valores están comprendidos entre 63,37 °C y 64,80 °C. La similitud en los resultados de temperatura de gelatinización observados para los diferentes tiempos de fermentación permite inferir que el proceso de fermentación no produjo cambios considerables en la arquitectura del gránulo como para ocasionar cambios importantes en la temperatura de gelatinización (Oyeyinka *et al.* 2019).

Por otro lado, no hay evidencia que el contenido de cenizas afecte la temperatura de gelatinización, sin embargo, el contenido de cenizas se puede correlacionar con otras propiedades si se demuestra, por ejemplo, la presencia de fósforo. El fósforo en los almidones se puede encontrar como fosfolípido y como monoéster fosfato, los cuales tienen diferentes efectos en la pasta de almidón. Los fosfolípidos disminuyen la claridad de las pastas mientras que los monoésteres fosfato aumentan la claridad y viscosidad de la pasta, también se ha demostrado que el fósforo incrementa el poder de hinchamiento y la solubilidad en agua en los almidones (Leonel *et al.* 2021). La temperatura de gelatinización de los almidones evaluados en esta investigación sugiere que tienen poca tendencia a retrogradar, en ese

sentido Pizarro *et al.* (2016), señalan que estos almidones pueden utilizarse en la elaboración de alimentos congelados y refrigerados.

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE LÍPIDOS (IAL)

En el Cuadro 10, se muestran los resultados del IAL, en el cual se observa que a medida que aumenta el tiempo de fermentación el IAL disminuye hasta el día 35 y luego sufre un ligero aumento a los 42 días de fermentación. El máximo valor para IAL correspondió al almidón nativo (117,56 %) y el menor valor corresponde a los almidones fermentados durante 35 días (72,76 %).

Cuadro 10. Índice de absorción de lípidos (IAL) de almidón de yuca nativo fermentado en diferentes tiempos.

Tiempo de fermentación (días)	Índice de absorción de lípidos
Sin fermentar	117,56 ^a ± 5,39
28	80,35 ^b ± 3,84
35	72,76 ^c ± 2,53
42	80,74 ^b ± 1,20

Los valores reportados son el promedio de tres repeticiones y \pm es la desviación estándar. Letras iguales en la misma columna significa que no hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 5 %.

El ANAVA del Cuadro 12 del Apéndice arrojó que hay diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) para el IAL del almidón de yuca nativo y fermentado, interpretándose esto como que el tiempo de fermentación tiene efecto sobre el IAL. La prueba de comparación de medias (Cuadro 13 del Apéndice) mostró que el almidón nativo es diferente a los almidones fermentados por 28, 35 y 42 días, mientras que el almidón fermentado por 28 días es diferente al almidón nativo y al fermentado por 35

días, pero igual al fermentado durante 42 días. El almidón fermentado durante 35 días es diferente al almidón nativo y a los almidones fermentados por 28 y 42 días y finalmente el almidón fermentado durante 42 días es diferente a los demás almidones estudiados, pero igual al almidón fermentado durante 28 días.

No se encontraron valores de referencia en la normativa legal nacional o internacional para este parámetro, porque es una propiedad funcional que depende de la fuente botánica y del tratamiento que se le aplique al almidón, sobre ese particular Zhang *et al.* (2022) sugieren que el daño que puede causar un tratamiento sobre la estructura granular puede ocasionar un descenso en el IAL.

El IAL mide las interacciones entre las terminaciones hidrofóbicas del almidón y el aceite. Sathe (2002) señala que el IAL es importante para el desarrollo de productos alimenticios fritos, así como para su estabilidad en el almacenamiento (particularmente para el desarrollo de la rancidez oxidativa). Valores altos de IAL favorecen la retención del sabor, mejora la palatabilidad de los alimentos, extiende la vida útil en productos cárnicos mediante la reducción de la humedad (Chel *et al.* 2002, Ghavidel y Prakash 2006). También, se ha evidenciado que los complejos amilosa lípido puede modificar las propiedades y funcionalidades del almidón; por ejemplo, reduce su solubilidad en agua y retarda la retrogradación e hidrólisis enzimáticas (Tang y Copeland 2007).

Comparando los resultados de IAL de almidón de yuca, nativo y fermentado, observados en esta investigación con la de otros autores se tiene que el valor de IAL del almidón nativo está por encima del IAL de almidones nativo de yuca y sagú reportado por Granados *et al.* (2014) cuyos

valores son 82,25 % y 51 % respectivamente, mientras que los almidones fermentados están por debajo del valor de almidón nativo de yuca, pero por encima del valor del almidón nativo de sagú.

El IAL obtenido en este estudio para almidón de yuca nativo es superior a los determinados por Salcedo *et al.* (2017) para almidones nativos de yuca y ñame, cuyos valores fueron 0,98 g aceite/g almidón (98 %) y 0,73 g aceite/g almidón (73 %) respectivamente, mientras que el IAL de los almidones de yuca fermentados se encuentran dentro del rango de valores de IAL reportados por este mismo autor para almidones de yuca y ñame modificados por hidrólisis ácida, cuyos valores estuvieron comprendidos entre 0,64-0,89 g almidón/g aceite (64-89 %) y 0,73-0,91 g almidón/g aceite (73-91 %), respectivamente. Al igual que en este estudio los almidones de yuca experimentaron un descenso en los valores de IAL cuando se sometieron a la hidrólisis ácida, comportamiento que de acuerdo con los autores probablemente se deba al resultado de leves alteraciones en la morfología del gránulo de almidón, lo que disminuye la densidad de los residuos lipófilos en la superficie del mismo, además sugieren que un aumento en la cristalinidad de los almidones debido a la reacción con ácido diluido, genera una barrera a la transferencia de aceite al interior del gránulo.

Oyeyinka *et al.* (2019) también observaron en almidones de yuca un descenso en el índice de absorción de lípido. El descenso ocurrió en las primeras 24 horas de fermentación y después de ese tiempo los valores se incrementaron conforme aumentó el tiempo de fermentación (Figura 1A del Anexo). Los autores infieren que este comportamiento posiblemente se deba a las diferencias en el grado de despolimerización del almidón, sobre ese particular, Oliveira *et al.* (2021) reportaron que, en el almidón de yuca, fermentado por 21 días, se observó cierta erosión superficial en los gránulos

de almidón, probablemente debido a la acción de las enzimas amilolíticas sobre la fracción amorfa del almidón y también por la actividad de las bacterias, ácido lácticas.

CONCLUSIONES

- Los valores de porcentaje de rendimiento del almidón nativo y fermentado estuvieron comprendidos entre 19,24 y 24,18 % con variaciones no significativas.
- El almidón nativo y fermentado presentaron ligeras variaciones para porcentaje de humedad con un comportamiento no significativo y el máximo valor (12,36 %) para el almidón fermentado durante 35 días y el menor valor (11,18 %) para el nativo
- El % cenizas presentó variaciones significativas para el almidón nativo y fermentado con el valor más alto para el nativo (0,1943 %) y el más bajo (0,05 %) para los fermentados por 35 y 42 días.
- Los valores más alto para el pH (6,70) y acidez titulable ($1,33 \times 10^{-3}$ mEqAL/g) se obtuvieron para el almidón nativo (sin fermentar), por el contrario, el almidón fermentado por 42 días, presentó los valores más bajo de pH (3,53) y acidez titulable ($7,61 \times 10^{-4}$ mEqAL/g almidón), evidenciándose una disminución de ambos parámetros con el tiempo de fermentación.
- La capacidad de retención de agua (CRA) de los almidones fermentados aumentó significativamente con respecto al almidón nativo observándose el valor más bajo (532,03 %) para el almidón nativo (sin fermentar) y el más alto (969,47 %) para el fermentado por 35 días, mientras que en los resultados de temperatura de gelatinización las variaciones fueron no significativas con valores comprendidos entre 67,2-67,8 °C.
- El índice de absorción de lípidos (IAL) disminuyó drásticamente durante los primeros 35 días de fermentación y luego de ese tiempo mostró un leve aumento, encontrándose diferencias altamente significativas en los

resultados obtenidos, con el menor IAL (72,76 %) para el almidón fermentado por 35 días y el mayor (117,56 %) valor para el nativo (sin fermentar).

- Los almidones fermentados, evaluados en este estudio, presentaron un alto rendimiento, un % de cenizas y % de humedad aceptable, una alta CRA y un bajo IAL que sugieren tienen un alto potencial para ser usado para la elaboración de salchichas frankfurt, mortadela, surimi, productos de panadería y pastelería, yogures, flan, como recubrimiento comestible y en productos que requieran freírse antes de consumirlo. Adicionalmente, la temperatura de gelatinización de todos los almidones estudiados indican que podrían usarse en la elaboración de productos que requieran ser congelados o refrigerados.
- El almidón que presentó mejor comportamiento en cuanto a % rendimiento (19,24 %), % humedad (12,36 %), % cenizas (0,05 %), pH (3,90), acidez titulable ($7,82 \times 10^{-4}$ mEqAL/g), IAL (72,76 %) y temperatura de gelatinización (67,4 °C) fue el almidón fermentado por 35 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRONET COLOMBIA. 2021. Reporte: comparativo de área, producción, rendimiento y participación departamental por cultivo. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#>. (Acceso 22.03.22)
- ALARCON M, DUFOUR D. 2002. Almidón agro de yuca en Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca; Proyecto IP-3 de Mejoramiento de Yuca. pp. 470-502.
- ALVIS A, VÉLEZ C, VILLADA H, RADA-MENDOZA M. 2008. Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. Información tecnológica. 19(1): 19-28.
- ÁLAVA L, BRAVO B, ZAMBRANO J, ZAMBRANO D, ROSANNA K. 2017. Caracterización física y microbiológica del almidón de yuca (*Manihotesculenta*Crantz) producido en Canuto-Manabí ecuador Avances en investigación agropecuaria. 21(2): 25-40.
- ALONSO L, NIÑO A, ROMERO A, PINEDA P, REAL A, RODRIGUEZ M. 2016. Physicochemical transformation of cassava starch duringfermentation for production of sour starch in Colombia. Starch/Stärke. 68: 1–9.
- AQUINO A, GERVIN V, AMANTE E. 2016. Avaliação do processoproductivo de polvilhoazedo em indústrias de Santa Catarina. Braz. J. FoodTechnol., Campinas, 19: 1-8.
- ARISTIZÁBAL J, SÁNCHEZ T. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. pp.137.
- ASHVEEN N, RANDHIR C, DAVID R, JAGJIT K. 2008. Isolation and properties of starch from some local cultivars of cassava and taro in Fiji. The South Pacific Journal of Natural Science. 26:45-48.

- ATENCIO P, RAMIREZ D. 2020. Evaluación de antioxidantes y características físicas de almidón en cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) con pulpas de color cultivadas en la región Huánuco. Huánuco, Perú. Universidad Nacional "Hermilio Valdizán". Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. [Disertación Grado en Ingeniería Agroindustrial], pp. 119.
- AVANCINI S, FACCIN G, VIEIRA M, ROVARIS A, PDETA R, TRAMONTE R, AMANTE A. 2007. Cassava starch fermentation wastewater. Characterization and preliminary toxicological studies. Food and chemical toxicology. 5: 2273-2278.
- BAAFI E, SAFO-KANTANKA O. 2007. Effect of Genotype, Age and Location on Cassava Starch Yield and Quality. Journal of Agronomy 6: 581-585 Disponible en: <https://scialert.net/fulltext/?doi=ja.2007.581.585> (Acceso 27-08-2021).
- BADUI D. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición, Pearson Educación de México. pp.736.
- BAUTISTA R. 2003. Técnicas de manejo e importancia del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en México. [Disertación grado ingeniero agrónomo], pp. 129.
- BECERRA L, OVALLE T, MARÍN D, GUTIÉRREZ J, MORENO M, MORENO M, CALLE F, LUNA J, BELALCÁZAR J, LABARTA R, OCAMPO J, DUFOUR D, PANTOJA R. 2020. Catálogo de variedades de yuca, Cauca - Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia, pp. 82
- BEDOYA L, PATERMINA D. 2022. Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de ANA (ácido 1-naftalenacético) sobre los componentes de rendimiento de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) var. Mcol 2066, en un suelo del valle Medio del Sinú, Córdoba Colombia. Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa Ingeniería Agronómica. [Disertación Grado Ingeniero Agronomo], pp.87.
- BEMILLER J, WISTLLER R. 2009. Starch: chemistry and technology. 3ed. Burlington, US, Editorial Academic Press. pp.879.
- BENACER R. 2018. Yuca, fuente de energía. Disponible en: <http://www.webconsultas.com/dieta-y-nutricion/dieta-equilibrada/la-yuca-fuente-de-energia-12297>.(Acceso 18.01.2019).

- BILIADERIS CG. 1991. The structure and interactions of starch with food constituents. *Can J Physiol Pharmacol.* 69: 60-78
- BLAZEK J, COPELAND L. 2008. Propiedades aglutinantes e hinchantes de la harina y el almidón de trigo en relación con el contenido de amilosa. *Polímeros de carbohidratos Science direct.* 71(3): 380-387.
- BRYANT C, HAMAKER B. 1997. Effect of time on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal chemistry.* 74: 171-175.
- BUSTAMANTE R, PERALTA M. 2018. Caracterización de bio-polímero obtenido a partir de leche de vaca y almidón de yuca. Guayaquil, Ecuador .Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química. Carrera de Ingeniería Química. [Disertación Grado en ingeniería Química], pp. 97.
- CEBALLOS H; HERSHEY C. 2017. Cassava (*Manihot esculenta Crantz*). In: Campos H; Caligari P. (eds). 2017. Genetic Improvement of Tropical Crops. Springer, pp. 129–180.
- CHAPARRO S, ROMERO W, RODRÍGUEZ M. 2020. Caracterización del almidón de sagú (*Canna indica*) fermentado para la implementación de procesos agroindustriales. *Sistemas De Producción Agroecológicos.* 11(2): 23-51.
- CHARLES A, CHANG Y, KOC W, SRIROTH K, HUANG T. 2004. Some Physical and Chemical Properties of Starch Isolates of Cassava Genotypes. *Starch/Stärke* 56: 413–418.
- COCK, J. 1989. La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 240
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 1980. Productos de cereales y leguminosas. Determinación de humedad, 1553-80, FONDONORMA, Caracas, Venezuela. pp. 6.
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 1981. Productos de cereales y leguminosas. Determinación de cenizas, 1553-81, FONDONORMA, Caracas, Venezuela. pp.7.
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 2001 (4ta. Revisión) Harina de trigo, 2135-2017 FONDONORMA, Caracas, Venezuela. pp. 9.

- DEMIATE I, KOTOVICZ V. 2011. Cassava starch in the Brazilian food industry. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 31(2): 388-397
- DIAZ P, LÓPEZ C. 2022. Yuca: pan y carne, una alternativa potencial para hacer frente al hambre oculta. *Acta Biológica Colombiana*, 26(2): 235-246.
- DÍAZ A, DINI C, VIÑA S, GARCÍA M. 2018 Technological properties of sour cassava starches: Effect of fermentation and drying processes, *LWT - Food Science and Technology*: 1-34.
- ESPITIA J, SALCEDO J, GARCÍA C. 2016. Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea trifida*, *Dioscorea esculenta*). *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 39 (1): 31-36.
- FENNEMA O. 2010. *Química de los alimentos*, Ed. Acribia, S.A. Zaragoza España. pp. 123-126.
- FIGUEROA J, CADENA E, RINCÓN C, SALCEDO J. 2018. Modification of the fermentation process for sour cassava starch with expansion properties. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 16: 55-61.
- FLORO V, LABARTA R, BECERRA L, MARTINEZ J, OVALLE, T. 2018. Determinantes domésticos de la adopción de variedades mejoradas de yuca utilizando huellas dactilares de ADN para identificar variedades en campos de agricultores: un estudio de caso en Colombia. *Rev. Economía Agrícola*. 69 (2): 518-536.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf> (Acceso 08.01.2018).
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2008. Yuca para la seguridad alimentaria y energética. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/es/> (Acceso 02.04.2022).

- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2013. Save and Grow: Cassava: a guide to sustainable production intensification. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/i3278e/i3278e.pdf>. (Acceso 09.02.2022).
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2017. Food Outlook, Biannual Report on Global Food Markets. Trade and Markets Division of FAO. Disponible en <http://www.fao.org/3/CA2320EN/ca2320en.pdf>. (Acceso 29.01.2022)
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS).2020a.Producción.https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country.(Acceso20.01.2023).
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) 2020b. Versión resumida de El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. Roma. Disponible en línea en: <https://www.fao.org/3/cb1441es/CB1441ES.pdf>. (Acceso 08.01.2022).
- GARNICA A, PRIETO L, ROCÍO A, CERÓN M. 2010. Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanumtuberosum* L. subespecie indígena) para la industria de alimentos. Alimentos Hoy. 19 (21): 125-129.
- GARCIA M, LANDI C, SOARES M, CALIARI M. 2015. Structural characteristics and gelatinization properties of sourcassava starch. J Therm Anal Calorim: 1-8.
- GHAVIDEL R, PRAKASH J. 2006. Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. Journal of the Science of Food and Agriculture. 6:1189–1195.
- GUILBOT A, MERCIER C. 1985. Starch: The Polysaccharides. In: Aspinall O. New York, USA: Academic Press. 209-282 pp.
- GONTARD N, GUILBERT S, CUQ J. 1993. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. J. of food science. 58(1): 206-211.

- GONZALEZ A, OLGUÍN N, LOAYZA E, SEVERICH E. 2014. Almidón nativo y modificado. Obtención cuantificación, modificación y usos. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Facultad Ciencias Farmacéutica y Bioquímica. Instituto de Investigación F.C.F.B. [Disertación Doctorado], pp. 84.
- GONZÁLES L, AREVALO S. 2001. Fabricación del polvillo ácido a partir del almidón de yuca. Rev. Amaz. inv. alim. 1 (1): 49-73.
- GRANADOS C, GUZMAN L, ACEVEDO D, DÍAZ M, HERRERA A. 2014. Propiedades funcionales del almidón de sagú (*Maranta arundinacea*). Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 12(2): 90-96.
- GRANITO M, GUINAND J, PÉREZ D, PÉREZ S. 2009. Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris* Procesada: un ingrediente potencial para alimentos. Interciencia. 34(2): 64-70.
- GUERRERO D. 2014. Almidón. Seminario: Almidón, Gelatinización y Retrogradación. Distrito Federal, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. [Disertación Grado Ingeniero Químico], pp.76
- GUEVARA C. 2014. Almidones Modificados. Disponible en: es.scribb.com/bo/doc/154238811/ALMIODNES-MODIFICADOS. (Acceso: 15.01.2019).
- GUÍZAR A. 2009. Obtención y caracterización física y química del almidón de "Camote de cerro" (*Dioscorea* spp.). Michoacán, Mexico. Instituto Politécnico Nacional. [Disertación Maestría], pp. 106.
- HERNÁNDEZ K. 2016. Formulación y caracterización de películas comestibles de almidón de papa nativo y modificado. México. Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Básicas. [Disertación Grado Maestro Ciencias Alimentarias], pp. 142.
- HERNÁNDEZ-MEDINA M, TORRUCO-UCO J, CHEL-GUERRERO L, BETANCUR-ANCONA, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas. 28(3): 718-726.

- HOLGUÍN J. 2019. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. Bogotá, Colombia. Fundación Universidad de América Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Química. [Disertación Grado en Ingeniería Química], pp. 151.
- INFOAGRO. 2019. Estudiar las raíces de yuca. Disponible en: <https://infoagro.com.ar/estudiar-las-raices-de-yuca/>.(Acceso 7.03.2022).
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2017. Manual del cultivo de yuca (*Manihotesculenta*Crantz).Disponible en:<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>(Acceso 13.08.2022)
- ISI (INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE).1999. Determination of pH in starch and syrup.ISI 26-5e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). Disponible en línea en: <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm> (Acceso 17.06.2018).
- JANKET A, VORASOOT N, TOOMSAN, B, KAEWPRADIT W, JOGLOY S, THEERAKULPISUT P, HOLBROOK C, KVIEN C, BANTERNG P. 2020. Starch Accumulation and Granule Size Distribution of Cassava cv. Rayong 9 grown under Irrigated and rainfed conditions using different growing seasons. *Agronomy* 10: 2-17.
- JIMÉNEZ E, MARTÍNEZ S. 2016. Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (*Manihot esculentum*) variedad guayape. Lambayeque, Perú. Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias. Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. [Disertación de Grado Ingeniero Alimentario], pp. 116.
- KARIM A, NADIHA M, CHEN F, PHUAH Y, CHUI Y, FAZILAH A. 2008. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylonsagu*) starch. *Food Hydrocolloids*. 22: 1044-1053.
- KAUR L, SINGH J, MCCARTHY O, SINGH H. 2007. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*, 82 (3): 383 - 394.

- KAUR A, SINGH N, EZEKIEL R, SODHI N. 2009. Properties of starches separated from potatoes stored under different conditions. *Food Chemistry*, 114(4): 1396–1404.
- LEAL F, BARBOSA F, HENRIQUE S, CANTINI A, COLENA G, SOUZA E, ROSA C, ALVES C. 2018. Selection of starter cultures for the production of sour cassava starch in a pilot-scale fermentation process. *Brazilian Journal of microbiology*. 49: 823–831.
- LEÓN A, ROSSEL C. 2010. De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Primera edición. CDD 664.752 3. Córdoba, Argentina.
- LEONEL M, SOUZA D, PAES T. 2021. Unmodified cassava starches with high phosphorus content. *International Journal of Biological Macromolecules*.187: 113-118.
- LESCANO L. 2010. Caracterización de las harinas de trigo, maíz, cebada, quinua, papa, destinadas a panificación mediante la determinación de las propiedades funcionales de sus almidones. Ambato-Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. [Disertación Grado Ingeniero en Alimentos], pp.147.
- LIU Q, LIU J, ZHANG P, HE S. 2014. Root and tuber crops. *Encyclopedia of agriculture and food systems*, 46-61.
- LUALLEN T. 2018. Utilizing Starches in Product Development. *Starch in Food*. 545–579.
- MACHADO A, DINIZ I, TEXEIRA M, BIRCHAL. 2012. Estudo do efeito da secagem por radiação ultravioleta nas propriedades tecnológicas da fécula de mandioca fermentada. *e-xacta*, 5 (1): 7-14.
- MACHADO A, MACHADO F, PEREIRA J. 2010. Caracterização física, química e tecnológica do polvilho azedo, *Revista verde* 5(3): 1-6.
- MACRON M, VIEIRA M, SANTOS K, DE SIMAS K, AMBONI R, AMANTE E. 2006. The effect of fermentation on cassava starch microstructure. *Journal of Food Process Engineering*. 29: 362–372.

- MACRON M., VIEIRA M., SANTOS K., SIMAS K., AMBONI R., AAMNTE E. 2007. The effect of improved fermentation physicochemical properties and sensorial acceptability of sour cassava starch. Brazilian archives biology and technology. 50(6): 1073-1081.
- MARBOH V, MAHANTA C. 2021. Physicochemical and rheological properties and in vitro digestibility of heat moisture treated and annealed starch of sohphlang (*Flemingia vestita*) tuber. International Journal of Biological Macromolecules. 168 : 486–495
- MARTÍNEZ J, HERNANDEZ J, ARIAS A. 2017. Physicochemical and functional properties of white and brown rice (*Oryza sativa* L) starch. Rev. Alimentos 25(41):15-30.
- MENESES J, CORRALES M, VALENCIA M. 2008. Revisión de la Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Revista IEA. 8(3): 5-7.
- MORAES M, CORAL D. 2002. Morfo-anatomía. En MP. Cereda Ed., Agricultura: América Latina tuberosa almidonada, Fundação Cargil, Brasil: 48-65.
- MORALES M, RODRÍGUEZ E, SEPÚLVEDA A. 2012. Evaluación de las propiedades físicas y texturales del buñuelo. Revista Lasallista de investigación. 9 (2) 112-121.
- MURILLO R, RUIZ V. 2022. Efectos del tiempo de fermentación y las variedades de yuca sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del almidón. Calceta, Ecuador. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. Departamento de Ingeniería de Agroindustrial. [Disertación Grado en Ingeniería de Agroindustrial], pp. 64.
- NYMAN M, HASKA L. 2013. Vegetable, fruit and potato fibres. Fibre-Rich and Wholegrain Foods, 193–207.
- NUWAMANYA E, BAGUMA Y, EMMAMBUX N, TAYLOR J, PATRICK R. 2010. Physicochemical and functional characteristics of cassava starch in Ugandan varieties and their progenies. Journal of Plant Breeding and Crop Science 2(1): 1-11.

- NUNES L, SANTOS W, CRUZ R. 2009. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. *Alim. Nutr* 20 (1): 129-134.
- OLIVA J. 2017. Evaluación del rendimiento de cultivares de yuca biofortificada Santa Rosalía Zacapa. Universidad Rafael Landívar, pp. 1-13.
- OLIVEIRA D, DEMOGALSKI L, DIAS A, PEREIRA A, ALBERTIA A, LOS P, DEMIATE I. 2021. Traditional sour cassava starch obtained with alterations in the solar drying stage. *Food Science and Technology*, Campinas, 41(1): 319-327
- OLSEN K, SCHAAL B. 2001. Microsatellite variation in cassava (*Manihot esculenta*, *Euphorbiaceae*) and its wild relatives: further evidence for a southern Amazonian origin of domestication. *American Journal of Botany* 88(1):131-142.
- OSPINA B, CEBALLOS H. 2002. La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 585.
- OYEWINKA S, ADELOYE A, OLAOMO O, KAYITESI E. 2019. Effect of fermentation time on physicochemical properties of starch extracted from cassava root, *Food Bioscience*:1-34.
- PALOMINO C, MOLINA Y, PÉREZ E, 2010. Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* L. Schott y *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. *Rev. Fac. Agron. (UCV)*. 36(2):58-66.
- PARDO O, CASTAÑEDA J, ORTÍZ C. 2013. Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papas. *Agroindustria* (4): 289-295.
- PASTRANA F, ALVIZ H, SALCEDO G. 2014. Respuesta de dos cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (CM 3306-4 y MCOL 2215) a la aplicación de riego en condiciones hídricas diferentes. *Acta Agronómica*, 64 (1) 2015: 48-53.

- PEDRAZA J, ARENAS A. 2017. Evaluación del proceso de modificación de almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel laboratorio. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Química. [Disertación Grado en Ingeniería Química], pp. 71.
- PEDROSA M, MARQUEZ U, SCHMIELI. 2019. Identification and Analysis Starch in Starches for Food Application. Elsevier inc: 23-69.
- PÉREZ C. 2016. Natrusan. Disponible en: <http://www.natrusan.net/tuberculos-beneficios-y-propiedades/>. (Acceso 2.02.19).
- PÉREZ N. 2018. Características generales y usos de la yuca (*Manihot esculenta* C.). Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. División de Ciencia Animal. Departamento de Producción Animal. [Disertación Grado Ingeniero Producción Animal], pp.64.
- PIZARRO M, SÁNCHEZ T, CEBALLOS H, MORANTE N, DUFOUR D. 2016. Diversificación de los almidones de yuca y sus posibles usos en la Industria Alimentaria. Revista Politécnica. 37(2):
- POLANCO L. 2014. Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo *Phureja*). Revista latinoamericana de la papa, 18(1): 1-24.
- PUERTA G. 2010. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Avances técnicos. Cencicafé. 402:0120-0178. Colombia. pp.12.
- PUTRI W, HARYADI D, MARSENO, CAHYANTO M. 2011. Effect of biodegradation by Lactic Acid Bacteria on physical properties of cassava starch. International Food Research Journal 18(3): 1149-1154.
- RAZA H, AMEER K, MA H, LIANG Q, REN X. 2021. Structural and physicochemical characterization of modified starch from mung bean tuber (*Vigna radiata* L.) using tri-frequency power ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry 80: 1-12.

- RÍOS, K. 2014. Análisis comparativo de las propiedades físicoquímicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca. México. Oaxaca, México. Universidad Tecnológica de la Mixteca. [Disertación Grado en Maestría], pp. 72.
- RÍOS L, AGUILA S. 2001. Fabricación de polvillo ácido a partir de almidón de yuca, Revista Amazónica de Investigación Alimentaria. 1(1): 43-59.
- RIVERA B, ACEVES L, JUÁREZ J, PALMA D, GONZÁLEZ R, GONZÁLEZ V. 2012. Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Tabasco, México. Avances en investigación agropecuaria, 16(1): 29-47.
- SÁNCHEZ J, SOTO S, GÜEMES N. 2014. Estudio físico-químico en salchichas adicionadas con almidón de plátano macho (*Musa paradisiaca*). Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan. 2(3): 334-341.
- SALCEDO J. 2017. Agroindustria de productos amiláceos II: Métodos y técnicas de caracterización. Universidad de Sucre. Colombia. pp. 102.
- SALCEDO J, CERVERA M, RESTREPO C. 2017. Lintnerización de almidones nativos de yuca (*Manihot esculenta crantz*) y ñame (*Dioscorea rotundata*). Vitae 24(2): 55-67.
- SAMANEZ C. 2020. Propiedades físicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas de almidones extraídos de clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*) cultivados en la provincia de Andahuaylas. Science, Technology and Society, 1(1): 7-7.
- SÁNCHEZ, I. 2007. Propiedades físicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión CDMX, México. Instituto Politécnico Nacional. [Disertación Grado en Maestría], pp. 72.
- SÁNCHEZ L, ARAB E, CHÁFER M, GONZÁLEZ C, CHIRALT A. 2015. Active Edible and Biodegradable Starch Films. Polysaccharides: Bioactivity and Biotechnology. 717-734.
- SATHE S. 2002. Dry Bean Protein Functionality. Critical Reviews in Biotechnology. 22(2):175–223.

- SISLEGIS (SISTEMA DE LEGISLACIÓN DE BRASIL) (2005). Regulamento técnico de identidade e qualidade dos produtos amiláceos derivados da raiz de mandioca. Instrução normativa 23/2005 Disponible en línea en: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1141329604> (Acceso 26.08.2022)
- SCHMITZ E, NORDBERG E, ADLERCREUTZ P. 2021. Altering the water holding capacity of potato pulp via structural modifications of the pectic polysaccharides. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 25(2): 1-8.
- SERNA T, CONTRERAS Y, LOZANO M, SALCEDO J, HERNÁNDEZ J. 2017. Variación del método de secado en la fermentación espontánea del almidón nativo de yuca. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, 15(1): 50-67
- SILVA P, MELO W, CUNHA R, CUNHA E, LOPES E, PENA. 2012. Obtenção e caracterização das féculas de três variedades de mandioca produzidas no estado do Pará COBEQ: 8259-8268
- SINGH N, SINGH J, KAUR L, SODHI N, GILL B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81(2):219-231.
- SOTO I. 2016. Efecto del almidón de yuca modificado con α -amilasa del *Bacillus licheniformis*, en las propiedades viscoelásticas, bromatológicas físicas y sensoriales del diabolín. Córdoba-Argentina. Universidad de Córdoba. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería de Alimentos. [Disertación Grado Ingeniería Alimentos], pp. 93.
- SUÁREZ L, MEDEROS V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*): tendencias actuales. *Cultivos tropicales*, 32(3): 27-35.
- SULBARÁN A. 2013. Acetilación del almidón de millo y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico. Bogotá-Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Farmacia. [Disertación Grado Químico farmacéutico], pp. 161.

- TOVAR, T. 2008. Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays L*) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de Licenciatura en Química en Alimentos [Disertación Grado licenciatura en química de alimentos], pp. 112.
- TURIBE S. 2017. Elaboración de coberturas comestibles a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) y su aplicación en la conservación de cambur manzano (*usa AAB*). Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. [Disertación Grado Licenciado Biología], pp. 112.
- VACLAVIK A, CHRISTIAN W. 2002. Fundamentos de la ciencia de alimentos. Zaragoza-España. pp. 508.
- VARGAS P, ARAYA Y, LOPEZ R, BONILLA A. 2012. Características de calidad y digestibilidad in vitro del almidón agrio de yuca (*Manihot esculenta*) producido en Costa Rica. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 3 (1): 001-013.
- VIVANCO P. 2012. Proyecto de factibilidad para la producción y comercialización de almidón de yuca a Estados Unidos; periodo 2011-2020. Ecuador, Quito. Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de Ciencias Económicas y Negocios. Escuela de Comercio Exterior e Integración. [Disertación Grado Ingeniería en Comercio Exterior e Integración], pp. 207.
- YOSHIMOTO Y, TASHIRO J, TAKENOUCI T, TAKEDA Y. 2000. Molecular structure and some physicochemical properties of high-amylose barley starches. Cereal Chemistry 77 (3): 279-285.
- ZHANG S, LI Q, ZHAO Y, QINZ, ZHENG M, HUIMIN L, LIU J. 2022. Preparation and characterization of low oil absorption corn starch by ultrasonic combined with freeze-thaw treatment. Food Chemistry X 15: 1-8.
- ZHANG P, WISTLER L, BEMILLER J, HAMAKER B. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility a review. Producción. Carbohydrate Polymers, 59 (1): 443-458.

ZUÑIGA V. 2019. Extracción y análisis comparativo de las características del almidón de malanga (*Xanthosomasaggitifolium*), yuca (*Manihotesculenta*) y papa china (*Colocasiaesculenta*) Disponible en línea en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5485/1/UNACH-EC-ING.AGRO-IND-2019-0004.pdf> (Acceso 17-08-2021)

APÉNDICE

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento (% R) del almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo.

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	77,477	25,8255	3,10	0,1107 ^{ns}
Rep	2	10,379	5,1893	0,6228	0,1067
Error	6	49,993	8,3322	-----	-----
Total	11	137,848			

CV = 14,24

ns=no significativo ($p>0,05$), g.l.= grados de libertad, SC= Suma de cuadrado, CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado, P=Probabilidad.

Cuadro 2. Análisis de varianza para porcentaje de humedad de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	2,2890	0,76299	1,91	0,2233 ^{ns}
Rep	2	5,4627	2,73136	6,97	0,205
Error	6	2,3500	0,39167	-----	-----
Total	11	10,1017			

CV = 5,26

ns=no significativo ($p>0,05$), g.l.= grados de libertad.

SC= Suma de cuadrado, CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado. P=Probabilidad.

Cuadro 3. Análisis de varianza para porcentaje de cenizas de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	0,04457	0,01486	205,97	0,0000**
Rep	2	0,00035	0,00018	2,57	0,0001
Error	6	0,00043	0,00007	-----	-----
Total	11	0,04536			

CV = 9,55

**Altamente significativo ($p \leq 0,01$), ns=no significativo, g.l.= grados de libertad.

SC= Suma de cuadrado, CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado. P=Probabilidad.

Cuadro 4. Comparación de medias MDS entre las interacciones del porcentaje de cenizas de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).

Tiempo de fermentación	Media	
0	0,1943	a
28	0,0590	b
35	0,0507	b
42	0,0517	b

Cuadro 5. Análisis de varianza del pH de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	20,2287	6,74290	22,24	0,012*
Rep	2	0,3979	0,19893	0,656	0,010
Error	6	1,8189	0,30316	-----	-----
Total	11	22,4455			

CV = 12,08

*Significativo ($p \leq 0,05$), g.l.= grados de libertad. SC= Suma de cuadrado
CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado. P=Probabilidad.

Cuadro 6. Comparación de medias MDS entre las interacciones de pH de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).

Tiempo de fermentación	Media	
0	6,78	a
28	4,01	b
35	3,90	b
42	3,53	b

Cuadro 7. Análisis de varianza de acidez titulable de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	6,600x10 ⁻⁷	2,200x 10 ⁻⁷	51,53	0,0001**
Rep	2	8,995x10 ⁻⁹	4,497 x 10 ⁻⁹	1,16	0,0001
Error	6	2,562x10 ⁻⁸	4,270 x10 ⁻⁹	-----	-----
Total	11	6,947 x10 ⁻⁷			

CV = 7,02

**Altamente significativo ($p \leq 0,01$) g.l.= grados de libertad. SC= Suma de cuadrado
CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado. P=Probabilidad.

Cuadro 8. Comparación de medias MDS entre las interacciones de acidez titulable de almidón de yuca, nativo y fermentado en tres periodos de tiempo (28, 35 y 45 días).

Tiempo de fermentación	Media	
0	1,33 x10 ⁻³	a
28	8,47 x10 ⁻⁴	b
35	7,82 x10 ⁻⁴	b
42	7,61 x10 ⁻⁴	b

Cuadro 9. Análisis de varianza de la capacidad de retención de agua (CRA) del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	428748	142916	84,70	0,0000**
Rep	2	5443	12721	7,5	0,0000
Error	6	10123	1687	-----	-----
Total	11	444314			

CV = 4,78

**Altamente significativo ($p \leq 0,01$) g.l.= grados de libertad. SC= Suma de cuadrado
CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado. P=Probabilidad.

Cuadro 10. Comparación de medias MDS entre las interacciones de la capacidad de retención de agua (CRA) del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.

Tiempo de fermentación	Media	
0	532,03	a
28	969,47	b
35	973,31	b
42	962,50	b

Cuadro 11. Análisis de varianza de la temperatura de gelatinización del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	0,61967	0,20656	0,76	0,5546 ^{ns}
Rep	2	0,66667	0,33333	1,23	0,498-
Error	6	1,62373	0,27062	-----	-----
Total	11	52,91007			

CV = 0,77

ns= No Significativo ($p > 0,05$), g.l.= grados de libertad.

SC= Suma de cuadrado, CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado. P=Probabilidad.

Cuadro 12. Análisis de varianza del índice de absorción de lípidos del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.

Fuente de variación	g.l	SC	CM	F	P
Tiempo de fermentación	3	3625,09	1208,36	99,78	0,000**
Rep	2	30,79	15,40	1,27	0,000
Error	6	72,66	12,11	-----	-----
Total	11	3728,54			

CV =3,96

** Altamente significativo ($p \leq 0,01$), g.l.= grados de libertad. SC= Suma de cuadrado, CM= Cuadrado medio, F= Valor calculado. P=Probabilidad.

Cuadro 13. Comparación de medias MDS entre las interacciones del índice de absorción de lípidos del almidón de yuca, nativo y fermentado a diferentes tiempos.

Tiempo de fermentación	Media	
0	117,57	a
28	80,35	b
35	72,76	c
42	80,74	b

ANEXO

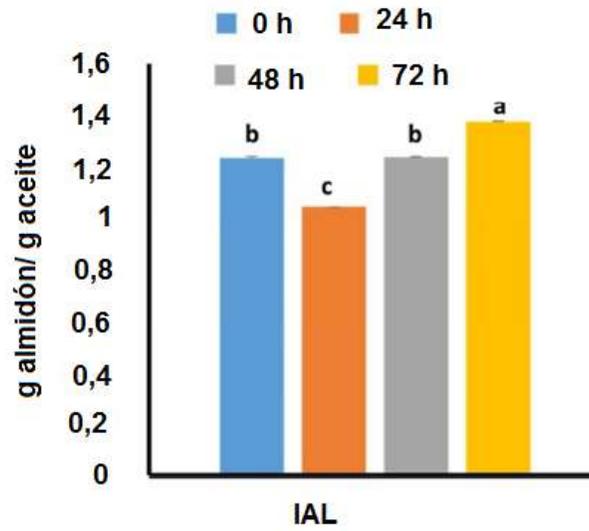


Figura 1A. Índice de absorción de lípidos de almidones fermentados
Fuente: Oyeyinka *et al.* 2019

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	Efecto del tiempo de fermentación en las propiedades físicas, químicas y funcionales de almidón de yuca (<i>manihot esculenta crantz</i>)
---------------	--

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
López Tovar, Ana Karina	CVLAC	C.I: 24.550.393
	e-mail	anakarinalopezt@gmail.com
	CVLAC	C.I:
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

yuca, almidón, fermentación, propiedades funcionales
tesis de grado

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Tecnología de Alimentos

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una raíz cuyo principal uso es como fuente básica de alimentos, sin embargo, en los últimos años su producción se ha orientado como materia prima en la producción de almidón, porque es de bajo costo. El almidón es un polisacárido formado por amilosa y amilopectina que puede ser usado en productos de panadería y repostería cuando se modifica su estructura nativa. Uno de los métodos para modificar el almidón es la fermentación, proceso que se lleva a cabo bajo condición anaerobia, capaz de ocasionar cambios deseables en las propiedades del almidón que son de interés en la industria de los alimentos, razón por la que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tiempo de fermentación en las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nativo y fermentado. El experimento se realizó con un diseño de bloques al azar con efecto único y tres repeticiones. Los resultados se evaluaron a través de un ANAVA con un nivel de significancia del 95 %, evidenciándose que no hubo diferencias estadísticas significativas para el porcentaje de rendimiento (% R), % humedad y la temperatura de gelatinización, sin embargo para, el % cenizas y el índice de absorción de lípidos(IAL) hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) mientras que los resultados de pH, acidez titulable y capacidad de retención de agua(CRA) mostraron diferencias significativas($p \leq 0,05$). Los valores más altos para ceniza (0,1943 %), pH (6,70) y acidez titulable ($1,33 \times 10^{-3}$ mEqAL/g almidón) correspondieron al almidón nativo seguido en cada caso del almidón fermentado por 28 días y cuyos valores son 0,06 %; 4,00 y $8,47 \times 10^{-4}$ mEqAL/g almidón respectivamente. Para la CRA se obtuvo el valor más bajo (532,03 %) para el almidón nativo (sin fermentar) y el más alto (969,47 %) para el fermentado por 35 días. El valor máximo para el IAL lo presentó el almidón nativo (117,56 %) seguido del fermentado por 42 días (80,74 %). Los resultados sugieren que los almidones fermentados tienen un alto potencial para ser usado para la elaboración de salchichas frankfurt, mortadela, surimi, yogures, flan, y como recubrimiento comestible en productos que requieran freírse antes de consumirlo.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Lcda. Marglorys Marchán	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 16696718
	e-mail	mmarchan.udomonagas@gmail.com
MSc. Carmen Farías	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 8536104
	e-mail	mfarias@udo.edu.ve
Dra. Ana Yndira Ramos	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 10308657
	e-mail	Ay2170@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2023	03	29

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOTTG_LTAK2023

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciado en Tecnología de Alimentos

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Licenciatura

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y Ciencias aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Letdo el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago, a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,


JUAN A. BOLANOS CUNELE
Secretario



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR Ragley
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/marjia

Hoja de metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (VIGENTE a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, que deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



Br. Ana Karina López Tovar
C.I.: 24.550.393
Estudiante



Lcda. Marglorys Marchán
C.I.: 16.696.718
Tutor académico