

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA - LEÓN

UNAN-León

ÁREA DE CONOCIMIENTO CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ÁREA DE CONOCIMIENTO ESPECÍFICA DE QUÍMICA

Licenciatura en química



Trabajo monográfico para optar al título de Licenciado en Química

Análisis fisicoquímico del almidón de dos variedades de yuca, extraídos en diferentes días postcosecha.

AUTORES:

- Bra. Yeiling Mercedes Morales Luna.
- Br. Carlos Fernando Castro Castro.

TUTOR:

M.Sc. Jorge Isaac Cisne Altamirano.

León, Nicaragua 2025

“45/19 La Patria, La Revolución”

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, fuente de enseñanza y sabiduría por acogernos en sus aulas y brindarnos la formación profesional.

A nuestros profesores por su orientación, paciencia y sabiduría, que nos permitieron aprender y crecer tanto profesional como personalmente. Especialmente al M.Sc. Jorge Cisne por ser guía en este proceso y a M.Sc. Carolina Ortega por su asesoría.

A nuestras familias y amigos por su incondicional apoyo y por creer en nosotros en cada paso del camino. Este logro no hubiese sido posible sin sus presencias y aliento constante.

A nuestros compañeros y amigos que nos acompañaron en todos estos años, y estuvieron presentes con su ayuda y apoyo en los momentos de mayor presión, compartiendo palabras de aliento y puntos de vista que nos ayudaron a superar muchos retos.

A la empresa de almidones por abrirnos sus puertas y facilitarnos lo necesario para realizar análisis en sus instalaciones.

Finalmente, agradecemos a todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron a que este proyecto llegara a su culminación. Estamos profundamente agradecidos por cada experiencia, cada desafío y cada aprendizaje que nos ha dejado este proceso.

Bra. Yeiling Morales

Br. Carlos Castro

DEDICATORIA

A Dios por guiar mis pasos y estar presente en todos los momentos de mi vida dándome las fuerzas necesarias para enfrentar cada una de las adversidades que se me presentaron durante el trayecto para culminar mi profesión.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, gracias por ser una gran inspiración para mí, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles. A mis hermanos, de quienes he recibido todo el cariño y apoyo requerido.

Bra. Yeiling Morales

Quiero dedicar este trabajo investigativo primeramente a mis padres por estar presente siempre en todas las etapas de formación de mi vida, a mi madre que con todo su esfuerzo logró hacerme avanzar a pesar de todos los obstáculos que se nos presentaron y brindarme su apoyo y amor incondicional que me permitieron llegar hasta esta etapa de mi vida.

Br. Carlos Castro

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es una fuente relevante de almidón con múltiples aplicaciones industriales, cuya funcionalidad depende de sus propiedades fisicoquímicas. No obstante, el rápido deterioro fisiológico postcosecha limita su aprovechamiento. Este estudio evaluó el efecto del almacenamiento postcosecha sobre las propiedades fisicoquímicas del almidón extraído de dos variedades de *Manihot esculenta Crantz*: INTA-Tololar y cubana. Las raíces fueron almacenadas a temperatura ambiente durante 0, 3 y 10 días. Luego, se extrajo el almidón y se analizaron propiedades como humedad, cenizas, nitrógeno total, pulpa, pH, acidez, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH), viscosidad y color.

Los resultados mostraron que el rendimiento del almidón disminuyó con el almacenamiento, pasando de 23.85 % a 20.70 % en INTA-Tololar y de 20.99 % a 13.83 % en cubana. El contenido de humedad fue superior en la variedad cubana, que en INTA-Tololar, también incrementó el contenido de pulpa, nitrógeno total y acidez con el tiempo de almacenamiento, especialmente en variedad cubana, mientras que el pH disminuyó en ambas variedades. El contenido de cenizas no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto al tiempo de almacenamiento ni entre variedades. La temperatura de gelatinización (~69–70 °C) y el color se mantuvieron estables, salvo en el almidón de variedad cubana al día 10, que mostró oscurecimiento y un leve aumento de temperatura. INTA-Tololar presentó incrementos en IAA, ISA, PH y viscosidad con el tiempo de almacenamiento, mientras que, en la cubana, estos valores disminuyeron. Se concluye que la variedad INTA-Tololar posee mayor estabilidad postcosecha, siendo apta para aplicaciones alimentarias hasta tres días después de la cosecha, mientras que la variedad cubana, por su deterioro acelerado, presenta limitaciones para consumo directo, siendo adecuada para usos industriales alternativos.

ABSTRACT

*Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a relevant source of starch with multiple industrial applications, whose functionality depends on its physicochemical properties. However, its rapid postharvest physiological deterioration limits its utilization. This study evaluated the effect of postharvest storage on the physicochemical properties of starch extracted from two *Manihot esculenta* Crantz varieties: INTA-Tololar and Cubana. Roots were stored at ambient temperature for 0, 3, and 10 days. Subsequently, starch was extracted, and properties such as moisture content, ash, total nitrogen, pulp, pH, acidity, gelatinization temperature, water absorption capacity (WAC), water solubility index (WSI), swelling power (SP), viscosity, and color were analyzed.*

Results showed that starch yield decreased with storage, from 23.85% to 20.70% in INTA-Tololar, and from 20.99% to 13.83% in Cubana. The Cubana variety exhibited higher moisture content than INTA-Tololar, additionally, pulp content, total nitrogen, and acidity increased with storage time, especially in the cubana variety, while pH decreased in both varieties. Ash content didn't show significant differences ($p > 0.05$) with respect to storage time or between varieties. Gelatinization temperature (~69–70 °C) and color remained stable, except for the Cubana variety starch on day 10, which showed darkening and a slight increase in gelatinization temperature. The INTA-Tololar variety exhibited increases in WAC, WSI, SP, and viscosity with storage time, whereas these parameters decreased in the Cubana variety. In conclusion, the INTA-Tololar variety demonstrated greater postharvest stability, making it suitable for food applications up to three days after harvest. Conversely, the Cubana variety, due to its accelerated deterioration, presents limitations for direct consumption, being more appropriate for alternative industrial uses.

CARTA DE AUTORIZACION DEL TUTOR

León, lunes 19 de mayo 2025

PhD. Sergio López Grío
Jefe Departamento de Química
FFCCTT
UNAN-LEON

Su Despacho:

Estimado Doctor López Grío:

Ante todo, reciba saludos muy atentos y cordiales de mi parte.

En mi condición de tutor del trabajo titulado **“Análisis fisicoquímico del almidón de dos variedades de yuca, extraídos en diferentes días postcosecha.”** presentados por los bachilleres **Yeiling Mercedes Morales Luna, No. carnet 19-00064-0** y **Br. Carlos Fernando Castro Castro, No. carnet 19-01532-0**, certifico que el trabajo realizado cumple con las exigencias académicas y metodológicas establecidas; así mismo con los requisitos de forma del trabajo, de citación y de bibliografía. Por lo anterior, **apruebo** que el documento puede ser aceptado para su defensa por sus autores quienes optan al título de licenciado en química, el cual se desarrolla en la línea de investigación **Agroalimentaria y sublínea Parámetros de calidad de productos de consumo interno y de exportación.**

Agradeciendo de antemano su amable atención y deseándole éxitos en sus funciones le saludo.

Atentamente,

Jorge Isaac Cisne Altamirano
Departamento de Química.
FFCCTT
UNAN-LEON

CC. Archivo.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo General:	2
Objetivos Específicos:.....	2
MARCO TEORICO	3
CARACTERÍSTICAS DE LA RAÍZ DE YUCA (<i>MANIHOT ESCULENTA CRANTZ</i>)	3
Generalidades de la yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>)	3
Estructura de la raíz de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>)	3
Composición química y valor nutricional de la raíz de <i>Manihot esculenta Crantz</i>	4
Deterioro postcosecha (fisiológico y microbiológico)	5
Factores que inciden en el deterioro fisiológico y microbiano de las raíces de yuca	7
Raíz de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) en Nicaragua.....	8
CARACTERÍSTICAS DEL ALMIDÓN	8
Generalidades del almidón	8
Estructura del almidón	9
Fuentes de almidón	11
Extracción de almidón de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>).....	11
Propiedades fisicoquímicas del almidón.....	12
Propiedades funcionales del almidón	13
Calidad del almidón	15
Usos del almidón de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) en las industrias	15
Análisis fisicoquímicos en almidón	16
DISEÑO METODOLOGICO.....	18
Tipo de estudio.....	18

Materia prima	18
Muestra	18
Tratamiento de la muestra	18
Análisis estadístico	18
Plan de análisis	19
Materiales	19
Equipos	20
Preparación de soluciones	21
Extracción de almidón	22
Rendimientos de extracción de almidón	24
Caracterización fisicoquímica del almidón	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS	73

INTRODUCCIÓN

La producción de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Nicaragua ha surgido como una alternativa clave para explorar nuevos mercados y dar valor agregado al cultivo, mejorando el aprovechamiento de las cosechas y beneficiando la economía de los productores. El almidón en la raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es abundante, de fácil extracción y tiene aplicaciones en diversas industrias. A nivel nacional, es usado por pequeñas industrias para panificación, en elaboración de embutidos, como espesante de raspados, en la elaboración de piñatas e incluso en mezclas para cultivos cafetaleros (INTA NICARAGUA, 2021).

No obstante, un desafío significativo para esta industria es el rápido deterioro fisiológico y microbiológico de las raíces. Investigaciones sobre el deterioro fisiológico de las raíces de *Manihot esculenta* Crantz, como el trabajo de Huang (2001), han reportado que este proceso está mediado por actividades enzimáticas que degradan los gránulos de almidón, reduciendo tanto la calidad como la cantidad de almidón extraído de la raíz. A pesar de la relevancia de este problema, se carece de estudios específicos sobre las propiedades del almidón extraído de raíces almacenadas, proveniente de variedades cultivadas en Nicaragua.

La calidad del almidón es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y mejorar la competitividad de los productos terminados en mercados nacionales e internacionales, por lo tanto, resulta necesario controlar factores que inciden en su calidad. En este sentido, el presente estudio plantea analizar algunas propiedades fisicoquímicas del almidón extraído de raíces frescas y almacenadas durante 3 y 10 días, de dos variedades de yuca cultivadas en la región del Pacífico de Nicaragua.

Esto contribuirá al fortalecimiento de la industria almidonera en Nicaragua, proporcionando información clave para la toma de decisiones estratégicas que mejoren la competitividad del sector y permitan satisfacer la creciente demanda de almidón en diversas aplicaciones industriales. Los resultados también servirán como base para nuevos estudios sobre el almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar algunas propiedades fisicoquímicas de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) obtenido de dos variedades en diferentes días de postcosecha, cultivadas en la región del pacífico de Nicaragua.

Objetivos Específicos:

1. Extraer almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) a escala de laboratorio simulando un proceso industrializado.
2. Calcular el rendimiento de almidón extraído de las dos variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en los diferentes días de postcosecha.
3. Determinar la calidad de almidón obtenido mediante análisis fisicoquímicos (color, humedad, ceniza, nitrógeno total, pulpa, pH, acidez, temperatura de gelatinización, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento y viscosidad).

MARCO TEORICO

CARACTERÍSTICAS DE LA RAÍZ DE YUCA (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)

Generalidades de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*)

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*), también conocida en diferentes países como mandioca, tapioca, guacamote, Cassava, aipi y macaxeira, es una especie de origen latinoamericano, cultivada principalmente por sus raíces amiláceas y adaptabilidad a condiciones marginales (Montaldo, 1985). Tiene importancia alimentaria para 500 millones de personas África, Asia y en América latina y el Caribe (Bokanga, 1999).

Se clasifica como una planta dicotiledónea perteneciente a la familia Euphorbiaceae, del género *Manihot* y la especie *Manihot esculenta Crantz*; la única de su género con relevancia económica (Suárez & Mederos, 2011). La planta es un arbusto leñoso de 1.5 a 4.0 metros de altura con ramas que forman una copa redondeada, se propaga mediante estacas, es monoica, tiene hojas y flores de color verde, rojas, amarillas o púrpuras; el fruto es una cápsula de 3 celdas que albergan una semilla cada una y su pedúnculo une las raíces al tallo y su tamaño va desde ausente hasta muy largo (Montaldo, 1985).

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) tiene raíces fibrosas que absorben nutrientes y las raíces tuberosas que se engrosan para almacenar almidón. Inicialmente, todas las raíces son fibrosas, pero en un determinado momento cambian de crecimiento longitudinal a radial para acumular almidón (Suárez & Mederos, 2011). Según Domínguez (1981) la raíz tuberosa es alargada de longitud variable de 20-50 cm y alcanza 5 a 10 cm de diámetro, con formas que pueden ser cilíndricas, cónicas, fusiformes e irregulares.

Estructura de la raíz de yuca (*Manihot esculenta Crantz*)

La raíz está compuesta por la cáscara, la pulpa y fibras centrales (ver figura 1).

La cáscara incluye peridermis y corteza. El peridermis está compuesto por células de corcho (súber o felema) muertas que envuelven la superficie de la raíz y varían en color desde blanco a marrón oscuro; puede ser rugosa hasta más o menos lisa y representa el 1 % - 2 % de la raíz (Ceballos & De la Cruz, 2002; Montaldo, 1985). Debajo está la corteza cortical o felodermis, la cual forma el 12 % - 20 % de la raíz, tiene de 1 mm - 2 mm de espesor y colores que van de blanco a rosado. En la corteza se encuentran

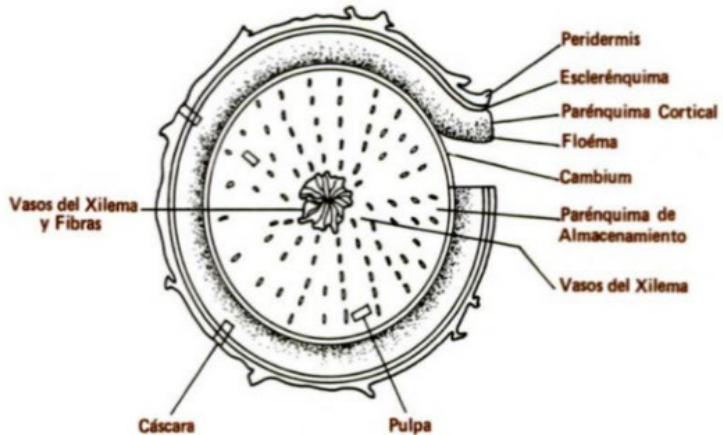
comprimidos el esclerénquima, el parénquima cortical y los tejidos del floema, que contienen glucósidos cianogénicos responsables de la formación del ácido cianhídrico. Luego, debajo de la región cortical y separando la pulpa está el cambium (Domínguez, 1983).

La pulpa representa un 70 % - 85 %, está formada por el parénquima y es la parte más importante. Es una masa sólida compuesta por tejido secundario del xilema derivado del cambium, con células que contienen abundantes gránulos de almidón de tamaño desigual (Ceballos & De la Cruz, 2002). Puede ser amarilla, crema y blanca (Cock, 1989).

Las fibras centrales de la raíz de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) están compuestas por vasos duros de xilema y esclerénquima. La dureza, longitud y anchura de estas fibras, que varían según la variedad, son importantes para la calidad culinaria y el aspecto de las raíces cocinadas para consumo humano (Ceballos & De la Cruz, 2002).

Figura 1

Estructura de la raíz de Manihot esculenta Crantz



Nota. Corte transversal de la raíz de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Tomado de *Yuca: investigación, producción y utilización* (p.46), por Domínguez et al., 1983, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Composición química y valor nutricional de la raíz de *Manihot esculenta Crantz*

El valor nutricional de la raíz de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) varía según la variedad, edad del cultivo, condiciones climáticas y la sanidad de la planta. Es una valiosa fuente de energía debido a su alto contenido de carbohidratos, aportando alrededor de 110 kcal

- 149 kcal por 100 g (Pushpalatha & Gangadharan, 2020). Contiene un 30 % - 40 % de materia seca, de la cual cerca del 90 % es almidón y pequeñas cantidades de varios tipos de azúcares como sacarosa, glucosa, fructosa y maltosa (Cock, 1989).

Contiene bajas cantidades de vitaminas B, proteína, grasa y fibra; posee cantidades modestas de vitamina C y diversos minerales como calcio, hierro, potasio, magnesio, cobre, zinc y manganeso en cantidades equiparables a las legumbres. También se encuentran compuestos fenólicos como hidroxicumarinas (esculina, escopolina, escopoletina), taninos y algunos aminoácidos como arginina, ácido glutámico y ácido aspártico, sin embargo, tiene cantidades bajas de aminoácidos esenciales metionina, cisteína y triptófano (Montagnac et al., 2009). Otros compuestos presentes en las raíces de *Manihot esculenta* Crantz son los glucósidos cianogénicos linamarina y la lotaustralina.

Deterioro postcosecha (fisiológico y microbiológico)

El deterioro postcosecha dificulta la preservación de las raíces de yuca y es una de las principales causas de pérdida de productos frescos. Este deterioro se manifiesta de dos maneras: Fisiológico y microbiano, haciendo que se vuelva un producto inaceptable para el consumo humano y otros usos (Aristizábal & Sánchez, 2007).

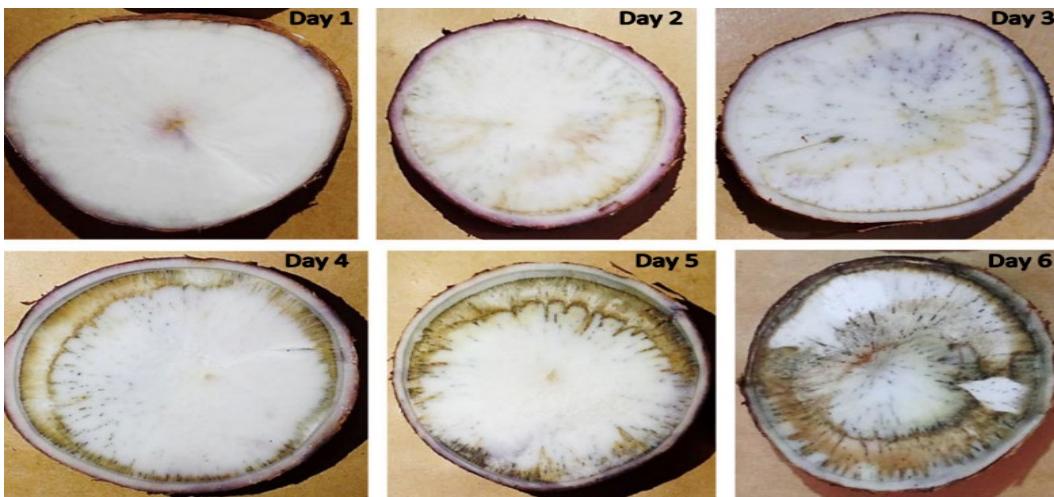
El deterioro fisiológico postcosecha (DFP) también conocido como deterioro primario, inicia durante las primeras 48-72 horas después de la cosecha (Aristizábal & Sánchez, 2007). Es una respuesta de estrés abiótico a daños mecánicos que suelen ocurrir en el extremo distal y proximal de la raíz durante la cosecha (Wheatley, 1991).

La exposición al oxígeno del aire como consecuencia de los daños mecánicos junto con los cambios en las actividades enzimáticas (por ejemplo, catalasa, peroxidasa y superóxido dismutasa) desencadena un proceso de oxidación de ciertos compuestos fenólicos presentes en el tejido de la raíz, causando un estriado vascular que se manifiesta como un color azul negruzco, normalmente en forma de anillo en la periferia del parénquima (Wheatley, 1983). Esta coloración es el resultado de la acumulación de los compuestos fenólicos oxidados y ocasiona un sabor y olor poco agradable (Sánchez & Alonso, 2002). El deterioro progresiva y se extiende hasta provocar decoloración total y

cambios en la estructura de los gránulos de almidón, adquiriendo finalmente una tonalidad café (Booth, 1976), tal como muestra la figura 2.

Figura 2

*Progreso del deterioro fisiológico postcosecha en raíz de *Manihot esculenta* Crantz.*



Nota. Vista del deterioro fisiológico postcosecha mediante corte transversal de la raíz de *Manihot esculenta* Crantz, en diferentes días. Tomado de *Crops that feed the world: Production and improvement of cassava for food, feed, and industrial uses* (p.922), por A. Parmar et al. (2017). Food Security, 9(5).

Entre estos compuestos se encuentran las hidroxicumarinas, destacando la escopoletina, que tiene bajas concentraciones en raíces frescas, pero aumenta después de la cosecha. Estos compuestos bajo luz ultravioleta emiten fluorescencia, por lo que representan un indicador visual del inicio del deterioro (Mahmod & Beeching, 2018).

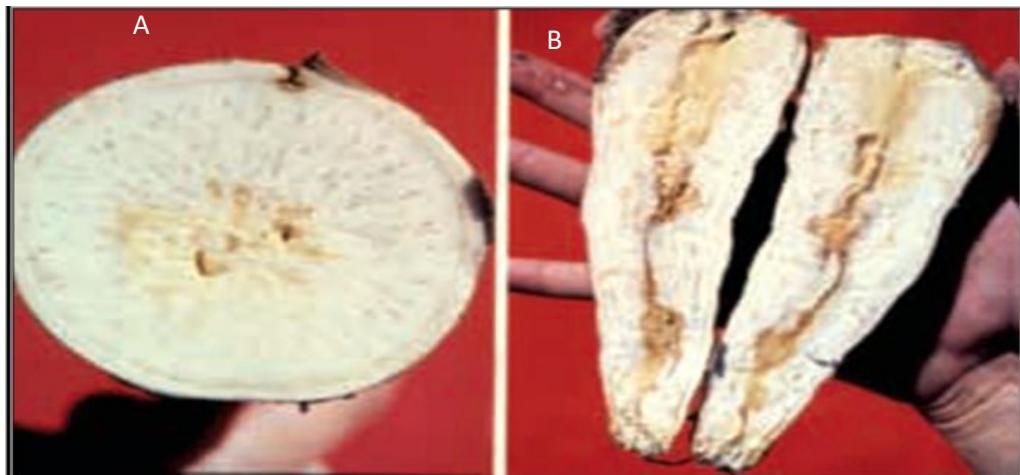
Este tipo de deterioro también se acompaña de un aumento de la respiración (Booth, 1976), aumento en la producción de etileno y peróxido de hidrógeno (Hirose et al., 1984), además de un aumento en el contenido cianogénico en las raíces. Esto afecta la calidad y tasa de extracción del almidón de las raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) debido a que disminuye como consecuencia del rápido deterioro fisiológico (Wenham, 1995).

El deterioro microbiano o secundario es ocasionado por agentes patógenos (hongos y/o bacterias) que inducen fermentación y ablandamiento de las raíces (Booth, 1976). Ocurre después del deterioro fisiológico e implica pudrición microbiana a los 5-7 días después de la cosecha (Booth, 1976). Se acelera en un ambiente en que la humedad relativa y la temperatura son altas, especialmente en las raíces que tengan daños físicos como roces,

cortes, golpes (Sánchez & Alonso, 2002). Aparece un estriado vascular semejante al deterioro primario, sin embargo, la diferencia está en la putrefacción y la distribución de las estrías, ya que en este caso las estrías aparecen cerca de la región de la infección y no se distribuyen en forma de anillo (Wheatley, 1983), (ver figura 3).

Figura 3

*Deterioro microbiano en la raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).*



Nota. A. estriado vascular causado por deterioro microbiano, B. Pudrición húmeda. Adaptado de *Conservación de raíces de yuca en bolsas de polietileno* (p.10), por C, Wheatley, 1991, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Numerosos métodos se han puesto en marcha para disminuir o retardar la aparición del deterioro, entre ellos están la construcción de silos, campo con capas de paja, cajones con aserrín, arena mojada, encerado de las raíces frescas, almacenamiento en bolsas de polietileno y la utilización de productos químicos (Sánchez & Alonso, 2002).

Factores que inciden en el deterioro fisiológico y microbiano de las raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

La variabilidad genética de *Manihot esculenta* Crantz permite identificar variedades resistentes o susceptibles al deterioro postcosecha, con algunas manteniéndose sin decoloración a temperatura ambiente por más tiempo (Booth, 1976).

Los daños mecánicos son cruciales en ambos tipos de deterioro, ya que exponen los tejidos internos a la oxidación y al ataque microbiano, condicionando el inicio e intensidad

de este (Wheatley, 1983). La ocurrencia es afectada por factores como la forma de las raíces, presencia de pedúnculos, adherencia de la cáscara, textura, compactación del suelo, métodos de cosecha, transporte y almacenamiento, (Montaldo, 1985). Además, factores ambientales (humedad, temperatura y condiciones del suelo) y prácticas como la poda de la parte aérea de la planta, también influyen en el deterioro (Wheatley, 1983).

Raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Nicaragua

En Nicaragua la yuca es cultivada por pequeños y medianos productores, especialmente en los departamentos de León (El Tololar, Lechecuagos, Chacraseca) y Nueva Guinea (RAAS) y en menor medida en Chinandega, Masaya (Los altos, Masaya, Nindirí), Granada (Diría, Diriomo), Carazo y Rivas. Se comercializa mayormente en estado fresco para preparar platos locales como sopas, vigorón, baho, buñuelos, entre otros. Sin embargo, también se somete a diferentes procesos para evitar pérdidas económicas, como chips de yuca frita, harina, almidón, elaboración de alcoholes, elaboración de alimentos balanceados para aves, cerdos y ganado; también en la fabricación de papel, textilería, adhesivos y en la perforación de pozos de petróleo, en virtud de dar impermeabilización y reducir el roce en el proceso (IICA & MAGFOR, 2004).

En el país, el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) dedicado a la investigación científica e innovación tecnológica estudia clones de *Manihot esculenta* Crantz y los adapta a las condiciones climáticas y necesidades de Nicaragua, para posteriormente distribuirlas a diferentes productores con nombres específicos, por ejemplo, INTA-Tololar que es el clon MCol 2215, proveniente del CIAT (Flores, 2022).

CARACTERÍSTICAS DEL ALMIDÓN

Generalidades del almidón

El almidón es un carbohidrato insoluble que se forma durante la fotosíntesis de las plantas, a partir de la polarización de algunos residuos de glucosa. Durante este proceso los almidones se desarrollan como estructuras semicristalinas y se distribuye a las hojas, los tallos, las semillas y las raíces, sirviendo como reserva energética esencial para la germinación y crecimiento de las plantas (Pagán, 2015). A pesar de su amplia distribución en el reino vegetal, la extracción comercial se concentra en unas pocas plantas, siendo el maíz la más prominente (Wurzburg, 1986).

La palabra “*almidón*” se usa comercialmente para el producto obtenido de granos o de órganos de la parte aérea de la planta y se usa “*fécula*” en el caso de ser extraída la parte subterránea como raíces y tubérculos (Balaguer, 1894). Sin embargo, hay casos como el del almidón de yuca, que a pesar de ser una fécula se le llama almidón.

Este carbohidrato esencial en la dieta humana se encuentra en una variedad de alimentos como pasta, pan, patatas y arroz, y es reconocido por ser una fuente de energía segura, económica y ampliamente disponible. Además del valor nutricional, el almidón tiene aplicaciones industriales por sus propiedades funcionales.

Estructura del almidón

El almidón es un carbohidrato polimérico constituido de unidades de glucosa anhídrida unidos principalmente por enlaces glucosídicos. Aunque no se ha podido dilucidar con exactitud la estructura del almidón, se ha establecido que en su interior cada gránulo está constituido en su mayoría (98-99 %) por dos tipos de polímeros: amilosa y amilopectina (Wurzburg, 1986). La proporción de estos componentes varía según el tipo de fuente e influyen en las propiedades funcionales del almidón.

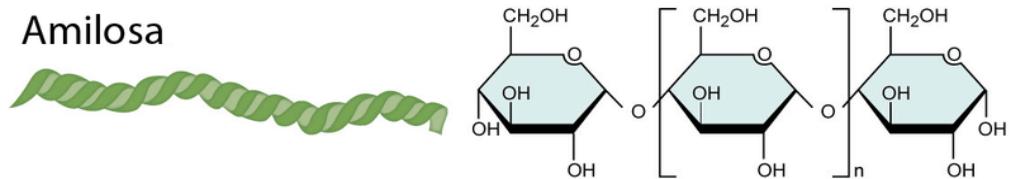
Amilosa y amilopectina

La amilosa y la amilopectina ambas con una forma estructural diferente, mientras que la amilosa tiene una estructura lineal, la amilopectina presenta una ramificada y es el componente principal del polisacárido, constituyendo cerca del 80 % (Vargas & Hernandez, 2013).

La amilosa es un polímero lineal que consta de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1→4) (ver figura 4). En un extremo de la macromolécula la unidad de glucosa contiene el hidroxilo del carbono anomérico libre, por lo cual se llama extremo reductor. En el extremo opuesto, o no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico (Vela, 2020). El número de unidades depende de la fuente de donde provenga el almidón y varía entre 1000-2000 unidades.

Figura 4

Estructura química de amilosa

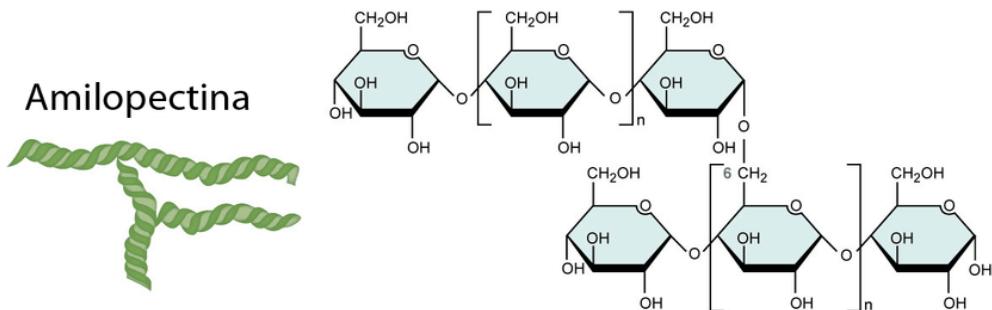


Nota. Adaptado de *Estructura de la amilosa y la amilopectina que forman el almidón* [imagen], por Curiosoando, 2017, <https://curiosoando.com/que-es-el-almidon-resistente>.

Por otro lado, la amilopectina es un polímero ramificado formado de glucosa unidos en un 94-96 % por enlaces α -D-(1→4) en zonas lineales y en un 4-6 % por enlaces α -D-(1→6) que forman los puntos de ramificación. Las ramificaciones aparecen cada 15-35 unidades de glucosa y está constituida de alrededor de 100 000 moléculas de glucosa (ver figura 5).

Figura 5

Estructura química de la amilopectina



Nota. Adaptado de *Estructura de la amilosa y la amilopectina que forman el almidón* [imagen], por Curiosoando, 2017, <https://curiosoando.com/que-es-el-almidon-resistente>

El gran tamaño y naturaleza ramificada de la amilopectina reduce la movilidad de los polímeros e interfiere su tendencia a orientarse muy estrechamente para permitir niveles significantes de enlaces de hidrógeno (Vela, 2020).

Fuentes de almidón

El almidón se encuentra en muchos alimentos de origen vegetal, específicamente puede encontrarse en las semillas de cereales como el maíz, trigo, arroz, sorgo, en tubérculos como la papa, yuca, camote, en semillas de leguminosas como frijol, lentejas, guisantes, también frutas, troncos y hojas como el tabaco (Aristizábal & Sánchez, 2007).

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es la segunda fuente de almidón más grande después del maíz, incluso mayor que el de papa y el del trigo. El alto contenido de almidón en las raíces de yuca y su alto contenido de amilosa, en comparación a otras fuentes, lo hacen un cultivo muy importante para la producción y la comercialización de almidón, más específicamente, almidón nativo, en estos casos el contenido de almidón en la yuca puede variar entre un 15 % y un 33 % (Breuninger et al., 2009).

Extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*)

La extracción del almidón consiste en separar el almidón del tejido celular de las plantas mediante un conjunto de operaciones unitarias que pueden llevarse a cabo de manera artesanal o en instalaciones industriales. El proceso generalmente consta de las siguientes etapas (Aristizábal & Sánchez, 2007):

Recepción de la materia prima: Las raíces cosechadas tienen que ser procesadas como máximo después de 24–48 horas para evitar el daño fisiológico en la raíz y así obtener un producto de calidad.

Lavado y pelado: Se eliminan los pedúnculos, la suciedad y cualquier rastro de impureza adherido a la cáscara, la fricción entre las raíces facilita la eliminación de estas impurezas durante el lavado.

Molienda: Consiste en la reducción de tamaño de la materia prima y liberación de los gránulos de almidón contenidos en las células de la raíz. La eficiencia en la reducción del tamaño influye en el rendimiento del producto terminado. Si la molienda es ineficiente no se separan completamente los gránulos de almidón de las fibras, lo que provoca bajo rendimiento y pérdida de almidón en la lechada, de modo contrario, si la molienda es excesivamente fina puede dañar físicamente los gránulos, ralentizar la sedimentación debido a la menor densidad del gránulo fino, y aumentar la formación de manchas.

Filtración: Se separan la pulpa y la lechada del almidón, en este proceso se tiene que cuidar la presencia de pulpa en el producto lechoso, en industrias se hacen más de un proceso de colado para evitar esto.

Centrifugado: La lechada se somete a un proceso de centrifugación para separar el gránulo de almidón del agua. Para agilizar el proceso en las industrias utilizan las centrifugadoras, aunque de manera artesanal la lechada se conduce a canales o tanques donde se lleva a cabo la sedimentación y pueden durar muchas horas.

Secado: Se somete a cierta temperatura para reducir la humedad del almidón hasta un 12 o 13 % y prolongar su vida útil. El método de secado puede ser en hornos o bien, de manera artesanal utilizando superficies metálicas orientadas al sol.

Acondicionamiento: Comprende las etapas de tamizado, empaquetado y almacenamiento.

Propiedades fisicoquímicas del almidón

Las propiedades fisicoquímicas de los almidones varían significativamente según la fuente botánica, el proceso de obtención y purificación, así como las condiciones de almacenamiento; por lo que juegan un papel crucial para la determinación de sus usos. Entre estas propiedades resaltan la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y la humedad), las características del gránulo (el tamaño, color y forma, así como su naturaleza cristalina, el peso molecular y el contenido de amilosa) (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Los gránulos de almidón varían en tamaño y forma según la fuente, tienen una naturaleza semicristalina ya que poseen fracciones cristalinas debida a la amilopectina y amorphas debida a la amilosa (Zhu, 2014). Los gránulos de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) no tienen tamaño y forma uniforme, son redondos con terminales truncados, y su tamaño varía entre 4-35 mm con un promedio de 20 mm (Aristizábal & Sánchez, 2007).

El contenido de amilosa permite clasificar a los almidones como cerosos, normales/ regulares y con alto contenido de amilosa cuando el contenido de amilosa es del 0 al 15 %, del 20 al 35 % y superior al 40 % del almidón total, respectivamente (Tester

et al., 2004). Para el almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) el contenido de amilosa es de 18 %.

Por otro lado, el almidón no existe como una entidad pura, por lo general, contiene bajas cantidades de proteínas, lípidos, fósforo y trazas de materiales inorgánicos, que también son determinantes en las propiedades y aplicaciones (Zhu, 2014).

La cantidad de proteína en los almidones es importante ya que afecta el sabor y olor, además le otorga cierta capacidad espumante y afectan la carga superficial del gránulo, influyendo en la velocidad de hinchamiento y gelatinización. La cantidad de proteína en el almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es baja, cercana al 0.1 % (Ceballos & De la Cruz, 2002).

En el caso de los lípidos, estos forman un complejo con la amilosa que tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos del almidón, para romper estos complejos y solubilizar la fracción de amilosa se precisan temperaturas mayores a 125°C. Además, afectan la viscosidad y causan rancidez durante el almacenamiento (Ceballos & De la Cruz, 2002).

Las pequeñas cantidades de minerales y sales inorgánicas presentes en el almidón son analizadas colectivamente y reportadas en la industria alimentaria como “cenizas”. En el caso del contenido de humedad en el almidón nativo, este debe estar alrededor de 12 %, aunque hay excepciones que van desde un mínimo de 3 %, considerado como reseco hasta un máximo de 18 % de humedad para algunos tipos de almidones nativos como el almidón de papa (Nilsson, 2024).

Propiedades funcionales del almidón

Las propiedades funcionales dependen de la relación amilosa/amilopectina y para determinar su potencial en el uso industrial y alimenticio es necesario comprenderlas. Entre estas propiedades están la solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Gelatinización

Las cadenas de amilosa y amilopectina están organizadas de manera compacta dentro del gránulo de almidón, estabilizadas por interacciones de puentes de hidrógeno intra e intermoleculares. Dada la estructura semicristalina el almidón es insoluble en agua fría, pero si se calienta inicia un proceso de absorción de agua, los enlaces de hidrógeno se rompen y el agua ingresa al gránulo de manera progresiva, provocando hinchamiento y pérdida del orden interno. Durante el hinchamiento también se produce la liberación de amilosa provocando un aumento progresivo de la viscosidad hasta llegar a un punto máximo llamado “*pico de viscosidad*” y pérdida de la birrefringencia (Rembado & Sceni, 2009). Es un proceso irreversible que se da después de alcanzar la temperatura de gelatinización, la cual es característica de cada almidón (Zhu, 2014).

Gelificación y retrogradación

La gelificación sucede cuando el almidón gelatinizado se enfriá. Las cadenas de amilosa empiezan a orientarse de forma paralela y establecen nuevos puentes de hidrógeno, de modo que se forma una red tridimensional que retiene agua en su interior. Sin embargo, el gel formado no es estable en el tiempo debido a la retrogradación, la cual consiste en la recristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel y trae como consecuencia que el agua retenida en el interior del gel comience a salir y una tenga una caída de la viscosidad; la exudación del agua se denomina sinéresis (Rembado & Sceni, 2009).

Características en los geles tales como brillo, rigidez, estabilidad frente a la retrogradación, entre otras, se debe factores tales como el tipo y concentración de almidón, contenido de amilosa, peso molecular, temperatura del sistema, pH y la presencia de sustancia como azúcares, sales y ácidos orgánicos (Rembado & Sceni, 2009). Un contenido alto de amilosa da formación de geles fuertes, opacos y que sufren sinéresis, también se ve favorecido por pH bajo, aunque a valores de pH inferiores a 3 la cantidad de material precipitado disminuye debido a la hidrólisis del almidón (Aristizábal & Sánchez, 2007).

El almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) gelatiniza a temperaturas similares al almidón de maíz y al almidón de maíz ceroso (60-67 °C), tiene alta solubilidad en agua.

Además, muestra una baja tendencia a la retrogradación y produce un gel más claro y estable en comparación con otros almidones nativos (Ceballos y De la Cruz, 2002). En cuanto a la viscosidad de la pasta del almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), esta es inicialmente alta, pero decae bruscamente por encima de 90 °C y con un posterior enfriamiento no hay formación de gel.

Calidad del almidón

Cada empresa según sus intereses culinarios y usos industriales, establecen ciertos requisitos para considerar al almidón de calidad; esto deja en evidencia que no existe una única norma para determinar la calidad de un almidón, sin embargo, la FAO ha compartido requisitos fisicoquímicos generales que el almidón debe tener para considerarlo de calidad (ver tabla 1).

Tabla 1

Requisitos fisicoquímicos del almidón de yuca

Análisis fisicoquímico	Rango estándar
Almidón (%)	92-98
Humedad (%)	10-13
Cenizas (%)	< 0,12
Nitrógeno total (%)	< 0,064
pH	4,5-5,5
Pulpa (mL)	0,5
Temperatura de gelatinización (°C)	58,5-70,0
Viscosidad máxima (UB)	400-900
Color	Blanco
Tamaño (% que debe pasar malla 100)	99

Nota. Tomado de *Guía para la producción y análisis de almidón de yuca* (p. 113). Por J, Aristizábal & T, Sánchez, 2007, FAO.

Usos del almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en las industrias

El almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) puede ser utilizado en muchas aplicaciones distintas dependiendo del tipo de función que se desee de él, por ejemplo, en la misma industria alimentaria puede ser utilizado como un agente para disminuir la absorción de grasa en alimentos fritados (como los nuggets de pollo); para dar

consistencia el almidón pregelatinizado puede ser utilizado en la producción de panes y también en la fabricación de bebidas energéticas (Vargas & Hernandez, 2013), además de eso, tiene amplios uso en otras industrias como la textil, en la industria farmacéutica como lubricantes para reducir la fricción durante la fabricación de cápsulas y en la industria papelera para mejorar la rigidez de los papeles (IICA & MAGFOR, 2004).

Análisis fisicoquímicos en almidón

Color: Es una técnica cualitativa que se realiza comparando el color del almidón con un almidón patrón que tenga un color de primera calidad (Aristizábal & Sánchez, 2007).

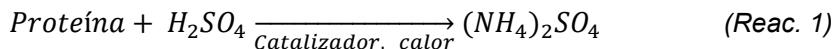
Humedad: Es el contenido de agua que se presenta en un material sólido, se determina mediante la pérdida de peso al someterse a condiciones normalizadas de secado. Es importante determinar humedad ya que por encima de ciertos niveles se facilita la proliferación de ciertos microorganismos indeseables (Iturbe & Sandoval, 2011).

Ceniza: Se define como los residuos inorgánicos después de calcinar muestras de materia orgánica y es utilizado para determinar la calidad del alimento en el que se quiere aplicar el análisis. Estas no siempre son las mismas que en el alimento original debido a la volatilización o interacciones químicas entre los compuestos. Cuando la muestra tiene mucha agua se somete a un secado sobre un plato eléctrico hasta que no emita humo para luego llevarlo a la mufla (Iturbe & Sandoval, 2011).

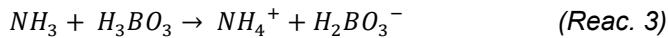
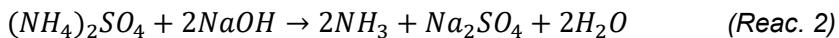
Pulpa: Mediante este análisis se determinan pequeñas cantidades de fibra, pulpa u otra impureza presente en el almidón. Es un residuo insoluble que se determina mediante hidrolisis ácida moderada (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Nitrógeno total: se analiza a través del método de Kjeldahl, consiste en digestar la muestra con H_2SO_4 para convertir el nitrógeno presente a $(NH_4)_2SO_4$, y llevarla a un punto de ebullición con la adición de K_2SO_4 con un catalizador de cobre. El residuo enfriado se trata con NaOH, el amonio presente se desprende, se destila y luego se titula con un ácido. El analito es referido como nitrógeno total o proteína cruda porque el método agrupa proteína verdadera y compuestos nitrogenados no proteicos (AOAC INTERNATIONAL, 1995).

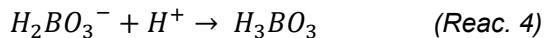
Digestión:



Neutralización y destilación:



Titulación:



pH y acidez titulable: El pH y acidez son indicativos del grado de fermentación del almidón y de la proliferación de hongos, ya que estos liberan amoniaco e incrementan el valor de pH (Aristizábal & Sánchez, 2007). El pH es medido por técnica potenciométrica, mide la acidez o alcalinidad en el almidón, mientras que la acidez titulable se determina por volumetría ácido-base y mide la cantidad de ácidos presentes, expresado como ácido láctico (Nielsen, 2010).

Temperatura de gelatinización: Depende de cada fuente de almidón; se determina calentando almidón en agua hasta alcanzar una temperatura donde se produce el hinchamiento del gránulo (Bello, 2000).

Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento: Estos índices se determinan aprovechando la capacidad de absorción de agua y la exudación de fracciones de almidón durante el incremento la temperatura de las suspensiones de almidón (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Viscoamilograma Brabender: El análisis de viscosidad determina a que tipos de productos se puede aplicar; el almidón debe mantener su viscosidad durante los distintos tratamientos térmicos o mecánicos. El viscoamilograma registra los cambios de viscosidad de una suspensión que a una velocidad constante de cizallamiento es sometida a ciclos de calentamiento y enfriamiento. El análisis se realiza con un viscógrafo brabender, donde el incremento de la viscosidad y empastamiento del almidón se miden por un torque de giro de un motor y son presentados en una gráfica (Barrera et al., 2004).

DISEÑO METODOLOGICO

Se realiza el análisis de algunas propiedades fisicoquímicas, entre los parámetros a analizar: humedad, ceniza y nitrógeno total, empleando como referencia los métodos normalizados AOAC para el análisis de alimentos; también se realizan análisis de color, pulpa, pH y acidez, temperatura de gelatinización, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento y viscosidad, basándose en lo recomendado por Aristizábal & Sánchez (2007).

Tipo de estudio.

El estudio que rige la presente investigación es de carácter experimental, ya que se pretende caracterizar el almidón de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) mediante parámetros fisicoquímicos y revelar información cuantitativa esencial para ampliar conocimientos sobre este tema, del cual existe escasa información disponible.

Materia prima.

La materia prima seleccionada para esta investigación corresponde a dos variedades de yuca: INTA Tololar y cubana. Se adquirió yuca fresca a agricultores de los municipios de León y Chinandega, sin importar el tamaño, forma o daños mecánicos. Las raíces de *Manihot esculenta Crantz* se transportaron y almacenaron en sacos rotulados con el nombre de la variedad, procedencia y edad vegetativa. Se seleccionaron estas variedades por su disponibilidad y uso frecuente en la extracción de almidón.

Muestra.

Almidón extraído de 3 kg de las variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en diferentes días postcosecha (0 días, 3 días y 10 días).

Tratamiento de la muestra.

El almidón extraído fue resguardado en bolsas de polietileno limpias, herméticas, rotuladas e identificadas con la variedad y tiempo de extracción postcosecha.

Análisis estadístico

Se preparó una muestra única de almidón extraído a partir de raíces de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) almacenadas durante 0, 3 y 10 días, y todos los análisis fueron

realizados 9 veces. Los datos se analizaron estadísticamente y se expresan como la media \pm la desviación estándar e intervalo de confianza. El análisis de ANOVA se empleó para establecer diferencias significativas entre las medias de los almidones obtenidos en 0, 3 y 10 días, a un nivel de significancia de $\alpha=0,05$; al encontrar diferencias significativas entre las medias, se realizó la prueba de comparaciones de medias de Tukey a un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. También se compararon datos de ambas variedades en función del día postcosecha mediante prueba T de comparación de dos medias. Los datos fueron procesados con Minitab 22 y la hoja de cálculo Microsoft 365 Excel.

Plan de análisis.

Materiales

Balón volumétrico 100 mL, Clase A PYREX

Balón volumétrico 50 mL, 250 mL y 2000 mL, Clase A PYREX

Balón volumétrico 500 mL, Clase A KIMAX

Bandeja de acero inoxidable, CLINK

Beaker 400 mL, ValueWare

Beaker 50, 100 y 250 mL, PYREX

Bureta 25 mL, Clase A PYREX

Cápsulas de porcelana, capacidad 20 mL, COORS

Cuchillos de acero, OSTER

Desecador, PYREX

Embudo Buchner 600 mL con 150 mm de diámetro, JIPO

Embudo de filtración, PYREX

Erlenmeyers 250 mL, PYREX

Espátulas, BOCHEM

Hojas de papel blancas y limpias

Kitasato de 2000 mL, KIMAX

Papel filtro Whatman N° 1 de 150 mm de diámetro
Perlas de ebullición, Fisher Scientific
Pinzas para crisoles, Fisherbrand
Pipeta pasteur de vidrio, Fisherbrand
Pipeta serológica 10 y 25 mL, Clase A EISCO
Pizeta de 500 mL, Fisherbrand
Probeta 100 mL, Clase A PYREX
Probeta 50 mL, Clase B KIMAX
Rallador de acero inoxidable, BAUHAUS
Recipientes de plástico de 20 litros
Succionador con émbolo para pipeta de 25 mL, BEL-ART PRODUCTS
Tamiz malla 100 mesh, WSTYLER
Tubos de centrífuga plásticos 15 mL, Fisherbrand
Vidrio reloj, PYREX

Equipos

Balanza Analítica, Sartorius MC1 AC 210 S, capacidad máxima 210 g
Balanza, OHAUS navigator, capacidad máx. de 1000 g
Balanza, Macs030A, Capacidad máx. 15,000 g
Campana extractora de gases, Burdinola OR-ST 1200
Centrífuga, CLAY ADAMS CAT. No. 011
Equipo bloque digestor, Tecnal Novus TE-040/25
Placa de Calentamiento Eléctrico, Thermo Fisher Isotemp
Destilador de Nitrógeno, Tecnal TE-0364
Horno Mufla, Heraeus Hanau MR 170 E, 0-1000 °C
Horno, Thelco 130

Licuadora, Oster All-MetalDrive de 2 velocidades + pulso, motor 800 W de potencia

Plancha de agitación, Benchmark

pHmetro, Ohaus aquasearcher AB33PH-F

Termómetro con escala de 0-260 °C, Fisherbrand

Viscógrafo E, Brabender 803324

Reactivos

Ácido bórico, J.T.Baker

Ácido clorhídrico, Merck

Ácido sulfúrico, Fisher Scientific

Agua destilada

Almidón patrón para análisis de color, de almidones de Centro América SA, grado alimenticio.

Etanol absoluto, Fisher Chemical

Fenolftaleína, Fisher Chemical

Hidróxido de sodio, Fisher Scientific

Hidrógeno ftalato de potasio, Thermo Scientific

Rojo de Metilo, Thermo Scientific

Solución ácido sulfúrico 1 N, Fisher Chemical

Soluciones tampón de pH 4.00, 7.00 y 10.00, Fisher Chemical

Sulfato de cobre pentahidratado, Fisher chemical

Sulfato de potasio, Scharlau

Verde de bromocresol, AFG Bioscience

Preparación de soluciones

Fenolftaleína 1 % (p/v en etanol)

Pesar 0.5 g de fenolftaleína y llevar a volumen con etanol en un balón de 50 mL.

Ácido bórico 4 %

Disuelva 20 g de H_3BO_3 y aforar en un balón de 500 mL con agua destilada. Agregar 4 mL de solución indicadora mixta.

Hidróxido de sodio 0,1 N

Pesar 1 g de hidróxido de sodio en un Beaker de 100 mL, adicionar agua destilada y disolverlo. Trasladar a un matraz aforado de 250 mL y enrasar. Estandarizar la solución con hidrógeno ftalato de potasio.

Hidróxido de sodio 40 %

Disolver 200 g de NaOH y aforar a 500 mL, con agua destilada.

Ácido sulfúrico 0.01 N

Tomar 2.5 mL de una solución de H_2SO_4 1 N y aforar en un balón de 250 mL. Estandarizar la solución preparada con una solución de NaOH 0.1 N estandarizada.

Ácido clorhídrico 0.4 %

Medir 22.2 mL de ácido clorhídrico concentrado y aforar en un balón de 2000 mL.

Mezcla catalizadora

Pesar 28.5 g de sulfato de potasio y 1.4 g de sulfato de cobre pentahidratado.

Solución indicadora mixta

Disuelva 0.066 g de rojo de metilo y 0.033 g de verde de bromocresol en 50 mL de etanol 95 %. Transferir a un balón de 100 mL y aforar.

Extracción de almidón

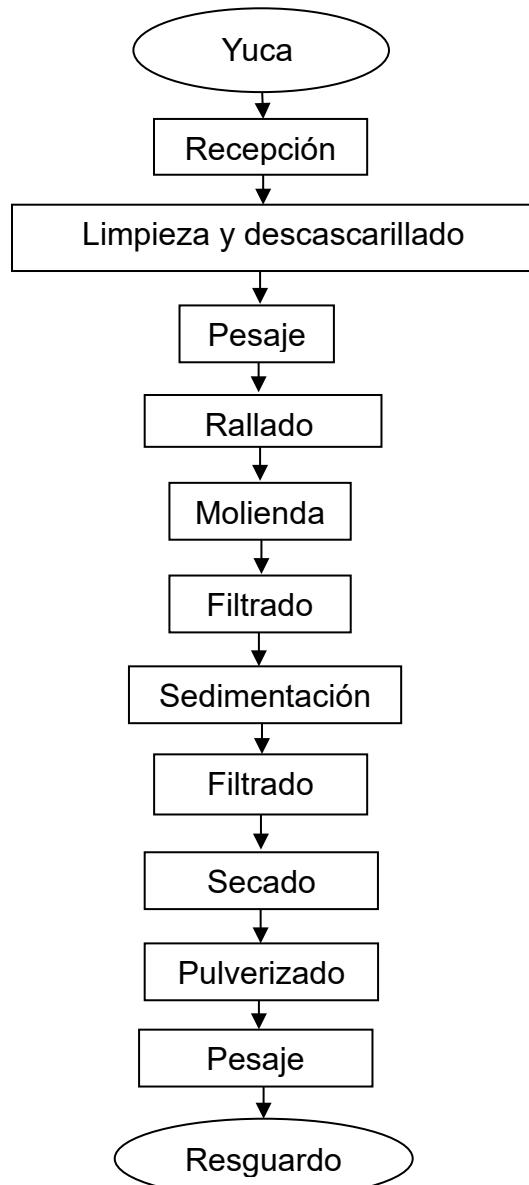
Extraer almidón de la variedad INTA Tololar y cubana en diferentes días de almacenamiento postcosecha mediante un proceso de molienda húmeda, simulando un proceso industrial. El procedimiento se elaboró basándose en lo establecido por Aristizábal & Sánchez (2007) y la metodología utilizada por Quinto et al. (2015).

Lavar la yuca para eliminar el exceso de tierra, realizar un despunte eliminando el pedúnculo, descascarillar y posteriormente en una balanza pesar 3 kg de yuca sin cáscara. Rallar la muestra haciendo uso de un rallador doméstico, luego adicionar

pequeñas cantidades del rallado a una licuadora y agregar agua, licuar por 1 minuto; posteriormente filtrar y hacer lavados a través de un tamiz malla 100 mesh, para separar el almidón de la pulpa, este proceso se repite hasta que la fibra no presente desprendimiento de almidón. La lechada obtenida se deja sedimentar y luego se filtra al vacío para obtener la torta de almidón, la cual luego se seca en un aparato adaptado que suministra una corriente de aire caliente a 120 °C. El almidón seco se pulveriza y se pesa. Almacenar en una bolsa hermética, seca y rotulada.

Figura 6

Flujograma de proceso de extracción de almidón



Rendimientos de extracción de almidón

Calcular el rendimiento de extracción de almidón en base húmeda mediante el cociente del peso del almidón extraído y el peso de raíces de yuca sin cáscara.

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = \frac{\text{masa del almidón seco (g)}}{\text{masa de yuca sin cáscara (g)}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Caracterización fisicoquímica del almidón

Analizar las propiedades fisicoquímicas del almidón usando las metodologías expuestas a continuación:

Determinación de color

Basado en la técnica de Grace (1977), descrita por Aristizábal & Sánchez (2007).

Tomar una cantidad suficiente de almidón sobre una hoja de papel blanco y formar un rectángulo de 2.5-5 cm de longitud y 1.6-3.5 cm de altura con la muestra y otro rectángulo con un almidón patrón. Colocar un papel limpio y fino sobre las dos muestras y presionar suavemente para igualar la superficie superior. Comparar la muestra y el almidón patrón visualmente, utilizando una luz neutral (luz del día) sin reflejos directos y sin sombra.

Humedad

Seguir la metodología descrita en Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995), método 925.10.

En cápsulas de porcelana con tapa previamente calentadas a 130 ± 3 °C durante 1 h, enfriadas y pesadas, colocar 2 g de muestra. Luego, destapar la muestra y secar en el horno la cápsula con la muestra y la tapa a 130 ± 3 °C durante 1 hora (El período de secado de 1 h comienza cuando la temperatura de la estufa es realmente de 130 °C). Por último, tapar la cápsula de porcelana, transferirla a un desecador y pesar el crisol con la muestra hasta tener un peso constante.

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{[(B - A) - (C - A)]}{(B - A)} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

A: Masa de cápsula vacía (g)

B: Masa de cápsula con la muestra húmeda (g)

C: Masa de cápsula con la muestra seca (g)

100 es el factor de conversión a porcentaje

Cenizas

Basado en el método 923.03 de la AOAC (1995).

Pesar 3-5 g de muestra en crisoles de porcelana (previamente secado a 110 °C a peso constante y pesado). Calcinar en una mufla a una temperatura de 550 ± 3 °C por tres horas hasta obtener cenizas de color blanco o ligeramente gris. Enfriar en un desecador y pesar. Calcular por diferencia de pesos el porcentaje de cenizas

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{(B - A)}{C} \times 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

A: Masa de cápsula vacía (g)

B: Masa de cápsula con las cenizas (g)

C: Masa de la muestra húmeda (g)

100 es el factor de conversión a porcentaje

Nitrógeno total

Técnica de referencia AOAC (2000), descrita por Aristizábal & Sánchez (2007).

Etapa de digestión: Pesar 0.3 g de almidón en los tubos Kjeldahl. Colocar perlas de ebullición en el tubo. Agregar 1 g de la mezcla catalizadora y 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Luego, calentar los tubos en el bloque de digestión durante 1 hora a 380 °C o hasta que presente un color verde esmeralda. Dejar enfriar.

Para la etapa de destilación: Colocar el tubo con la muestra en el soporte destilador, agregar 2 gotas de fenolftaleína al tubo y adicionar 20 mL de hidróxido de sodio 40 %. Recibir el destilado en frascos Erlenmeyer de 250 mL que contengan 20 mL de la solución de ácido bórico 4 % con indicador mixto. Destilar hasta que se hayan recogido unos 150 mL del destilado y la solución tenga un color verde.

Etapa de titulación: Titular el amonio recogido con ácido sulfúrico 0.01 N, hasta obtener un ligero color rosa. Analizar blancos de reactivo. Calcular con la siguiente fórmula:

Nitrógeno total (%)

$$= \frac{(\text{Vol. ácido gastado en muestra (mL)} - \text{Vol. ácido gastado en blanco (mL)}) \times 1.4 \times N_{\text{ácido}}}{\text{masa muestra (g)}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde: 1.4 es el factor que resulta de la multiplicación del peso equivalente del nitrógeno 0.014 g/mEq, multiplicado por 100 que es el factor de conversión a porcentaje

Pulpa

Basado en la técnica de Grace (1977), descrita por Aristizábal & Sánchez (2007), con ligeras modificaciones.

Pesar 3 g de almidón y agregar 100 mL de ácido clorhídrico 0.4 %. Calentar hasta ebullición durante una hora. Posteriormente pesar un papel filtro, colocarlo en un embudo Büchner y filtrar el líquido. Por último, lavar con agua caliente y llevar a secar el papel filtro a 105-110 °C.

Porcentaje de pulpa

$$= \frac{\text{Peso papel filtro después de secado (g)} - \text{peso papel filtro vacío (g)}}{\text{muestra (g)}} \times 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

pH y acidez titulable

Medida de pH. Basado en el método 943.02 de AOAC (1995). Método potenciométrico.

Calibrar el pHmetro con soluciones buffer de pH 4.00, 7.00 y 10.00. Mezclar 20.0 g de almidón en base seca con 100 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO₂) durante 15 minutos. Filtrar a través de un papel filtro Whatman N° 1, tomar una alícuota y medir el pH.

Medida de la acidez titulable. Técnica ISI (1999) descrita por Aristizábal & Sánchez (2007). Método por titulación.

Tomar 50 mL del filtrado y titular con hidróxido de sodio 0.1 N, utilizando fenolftaleína.

$$\text{Porcentaje de acidez} \left(\frac{\text{meq ac. láctico}}{\text{g almidón}} \right) = \frac{N_{\text{Titulante}} \times V_{\text{titulante (ml)}} \times 0.09 * 100mL}{g_{\text{almidón}} * 50ml} * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde: 0.09 es miliequivalente de ácido láctico

Temperatura de gelatinización

Técnica de Grace 1977 descrita por Aristizábal & Sánchez (2007).

Pesar 10 g de almidón (base seca) y disolver en agua destilada hasta completar a 100 mL. Calentar agua en un beaker de 250 mL a 85 °C. Tomar 50 mL de la suspensión en un beaker de 100 mL e introducir el beaker con la muestra en el agua a 85 °C. Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta

y la temperatura permanezca estable por unos segundos. Leer la temperatura de gelatinización.

Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento

Basado en la técnica de Anderson et al. 1969 descrita por Aristizábal & Sánchez (2007), con ligeras modificaciones.

Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C. Pesar en los tubos 1.25 g de almidón base seca (bs) y agregar exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse). Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. Centrifugar a temperatura ambiente a 4,200 RPM durante 30 minutos. Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen con una probeta. Tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitados de 50 mL (previamente pesado). Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C. Pesar el tubo de centrífuga con el gel. Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} (g/g) = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra base seca (g)}} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\text{Índice de solubilidad de agua (ISA)} (\%) = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra base seca (g)}} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} (g/g) = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra base seca (g)} - \text{Peso solubles (g)}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Viscosidad Brabender

Técnica de ISI 2000 descrita por Aristizábal & Sánchez (2007), con ligera modificación.

Pesar 25.0 g de almidón (base seca) disolver en agua destilada y completar a 500 mL. Transferir completamente la suspensión a la vasija del viscógrafo Brabender e iniciar el calentamiento desde 50 °C hasta 95 °C a una velocidad de 1.5 °C/min. Mantener la temperatura a 95 °C durante 20 minutos. Enfriar hasta 50 °C con una velocidad de 1.5 °C/min. Mantener la temperatura a 50 °C durante 10 minutos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio experimental se realizó con dos variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) cultivadas en la región del Pacífico de Nicaragua: INTA-Tololar, de piel crema; y cubana, de piel rosácea, ambas con parénquima blanco (véase anexo 1). Tres días después de la cosecha, ambas variedades presentaron estriado vascular azul oscuro (aunque fue más evidente para la variedad INTA-Tololar), mientras que, a los 10 días, en ambas variedades se observó pérdida de agua, estriado y deterioro microbiológico, sin embargo, este último fue más avanzado en la variedad cubana ya que se presentó como una pudrición húmeda (ver anexo 2). Estas observaciones fueron consistentes con la literatura citada anteriormente (ver pág. 5-6), que señala que el deterioro fisiológico en las raíces de yuca comienza 48-72 horas postcosecha seguido de un deterioro microbiológico.

Rendimiento de extracción del almidón y análisis de color

Tabla 2

*Resultados de rendimiento de extracción y color de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*).*

ANALISIS	INTA-TOLOLAR			CUBANA		
	0 días	3 días	10 días	0 días	3 días	10 días
Rendimiento de extracción (%)	23.89	21.85	20.70	20.99	17.96	13.89
Color	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco crema

Los resultados muestran diferencias en el contenido de almidón de las raíces, obteniéndose mayores porcentajes en la variedad INTA-Tololar (23.89-20.70 %) que en la variedad cubana (20.99-13.89 %) (ver tabla 2). Estas diferencias pueden estar relacionadas con las características genéticas de la variedad INTA-Tololar, también del tiempo de cosecha, de modo que se favorece una mayor acumulación de almidón.

A medida que incrementa el tiempo de almacenamiento de las raíces, los rendimientos de extracción de almidón tienden a disminuir en ambas variedades, especialmente para la variedad cubana. Este descenso en el contenido de almidón se debe a su conversión en azúcares y al uso del mismo en la respiración (Siddiqui et al., 2022). Esta disminución de almidón varía según las actividades enzimáticas, procesos de respiración, cultivar y la temperatura de almacenamiento (Castroni y Schulz, 1985).

Los rendimientos, exceptuando el de la variedad cubana de 10 días, están dentro del rango señalado por Aristizábal & Sánchez (2007, p. 50), el cual oscila entre 17-25 %. Asimismo, son similares a los informados por Osunsami (1989) quien reportó un rendimiento superior (24.4 %) en raíces frescas frente a las almacenadas por seis días (16.2 %). También son cercanos a los valores reportados por González (2022) 19,1 % y García & Salmerón (2016) 18.15 y 17 % para almidones extraídos de raíces no frescas.

En cuanto al análisis visual del color del almidón, este mostró ligeras diferencias según el estado de deterioro de las raíces. Aunque todas las muestras presentaron el color blanco esperado, la variedad cubana con 10 días mostró un tono más oscuro (ver anexo 4), lo que puede reducir su calidad y valor económico, ya que influye en la aceptación de los productos alimenticios por parte de los consumidores. Esta coloración oscura del almidón podría ser atribuida al avanzado deterioro fisiológico y microbiano, donde la acción de enzimas como la polifenoloxidasa causan reacciones de oscurecimiento (Aristizábal & Sánchez, 2007), estas y otras impurezas suelen depositarse sobre la superficie del almidón sedimentado, por tal razón, después de la decantación se debe lavar la superficie del almidón con agua.

Análisis fisicoquímicos del almidón

En la tabla 3 se presentan los resultados de los análisis de humedad, cenizas, pulpa, nitrógeno total, pH, acidez y temperatura de gelatinización, realizados a los almidones extraídos de la variedad INTA-Tololar y cubana con 0, 3 y 10 días de almacenamiento.

Tabla 3

*Resultados de los análisis realizados al almidón extraído de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).*

ANALISIS	INTA-TOLOLAR			CUBANA		
	0 días	3 días	10 días	0 días	3 días	10 días
Humedad (%)	12.89 ^a ± 0.15 (IC: ± 0.12)	11.46 ^c ± 0.13 (IC: ± 0.10)	11.98 ^b ± 0.08 (IC: ± 0.06)	12.90 ^b ± 0.33 (IC: ± 0.25)	14.03 ^a ± 0.21 (IC: ± 0.16)	14.08 ^a ± 0.14 (IC: ± 0.11)
Cenizas (%)	0.29 ^b ± 0.02 (IC: ± 0.01)	0.31 ^a ± 0.01 (IC: ± 0.01)	0.31 ^{ab} ± 0.02 (IC: ± 0.01)	0.32 ^a ± 0.03 (IC: ± 0.02)	0.30 ^a ± 0.02 (IC: ± 0.02)	0.33 ^a ± 0.03 (IC: ± 0.03)
Nitrógeno total (%)	< LD ^b ± 0.00 (IC: ± 0.02)	0.017 ^{ab} ± 0.03 (IC: ± 0.02)	0.036 ^a ± 0.03 (IC: ± 0.02)	0.004 ^b ± 0.01 (IC: ± 0.01)	0.012 ^b ± 0.004 (IC: ± 0.003)	0.060 ^a ± 0.01 (IC: ± 0.005)
Pulpa (%)	0.12 ^c ± 0.01 (IC: ± 0.01)	0.21 ^b ± 0.01 (IC: ± 0.01)	0.29 ^a ± 0.01 (IC: ± 0.01)	0.24 ^c ± 0.02 (IC: ± 0.01)	0.34 ^b ± 0.02 (IC: ± 0.02)	0.76 ^a ± 0.01 (IC: ± 0.01)
pH	6.65 ^a ± 0.03 (IC: ± 0.02)	6.68 ^a ± 0.04 (IC: ± 0.03)	6.56 ^b ± 0.04 (IC: ± 0.03)	7.17 ^a ± 0.03 (IC: ± 0.02)	6.03 ^b ± 0.04 (IC: ± 0.03)	5.63 ^c ± 0.03 (IC: ± 0.02)
Acidez (%)	6.86×10 ⁻³ ^b ± 0.00 (IC: ± 0.00)	1.13×10 ⁻² ^b ± 0.00 (IC: ± 0.00)	2.06×10 ⁻² ^a ± 0.00 (IC: ± 0.00)	6.86×10 ⁻³ ^c ± 0.00 (IC: ± 0.00)	4.16×10 ⁻² ^a ± 0.00 (IC: ± 0.00)	2.69×10 ⁻² ^b ± 0.00 (IC: ± 0.00)
T. gelatinización (°C)	69.68 ^a ± 0.44 (IC: ± 0.34)	69.67 ^a ± 0.50 (IC: ± 0.38)	69.67 ^a ± 0.50 (IC: ± 0.38)	69.67 ^b ± 0.50 (IC: ± 0.38)	69.67 ^b ± 0.44 (IC: ± 0.38)	72.78 ^a ± 0.44 (IC: ± 0.34)

Nota: Los valores presentados son la media ± desviación estándar. IC: intervalo de confianza con un nivel de significancia 0.05. Las medias que no comparten una letra en la misma fila son estadísticamente diferentes (p<0.05). < LD indica que es inferior al límite de detección.

Humedad

El contenido de humedad del almidón de la variedad de yuca cubana (14.08-12.90 %) fue superior al de la variedad INTA-Tololar (12.89-11.46 %) (ver tabla 3). Los resultados están dentro del intervalo aceptado para el contenido de humedad (6-16 %) sugerido por Moorthy (2002); sin embargo, los almidones de la variedad cubana en los días 3 y 10

(14.03 y 14.09 %) exceden el límite recomendado por Aristizábal & Sánchez (2007), quien establece un máximo de 13 % para almidones de yuca. Este exceso los hace más susceptibles al crecimiento microbiano.

A continuación, se presentan los resultados de los análisis de ANOVA para el almidón extraído de la variedad INTA-Tololar con 0, 3 y 10 días de almacenamiento; y asimismo para el almidón extraído de la variedad cubana.

Tabla 4

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de humedad en almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	9.4626	4.73130	302.89	0.000
Error	24	0.3749	0.01562		
Total	26	9.8375			

Tabla 5

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de humedad en almidón de variedad cubana.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	8.069	4.03474	71.30	0.000
Error	24	1.358	0.05659		
Total	26	9.428			

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias significativas entre las medias del porcentaje de humedad de los almidones en los tres tiempos de almacenamiento para la variedad INTA-Tololar (tabla 4) y también para los almidones de la variedad cubana (tabla 5), puesto que el valor-P de la razón-F es menor a 0,05 ($p < 0.05$).

ANOVA no permite saber cuál o cuáles de las muestras presentan diferencias, por esta razón se complementó con el análisis de Tukey ($\alpha=0.05$).

Gráfico 1

Gráfico de Tukey para porcentaje de humedad en almidón de variedad INTA-Tololar.

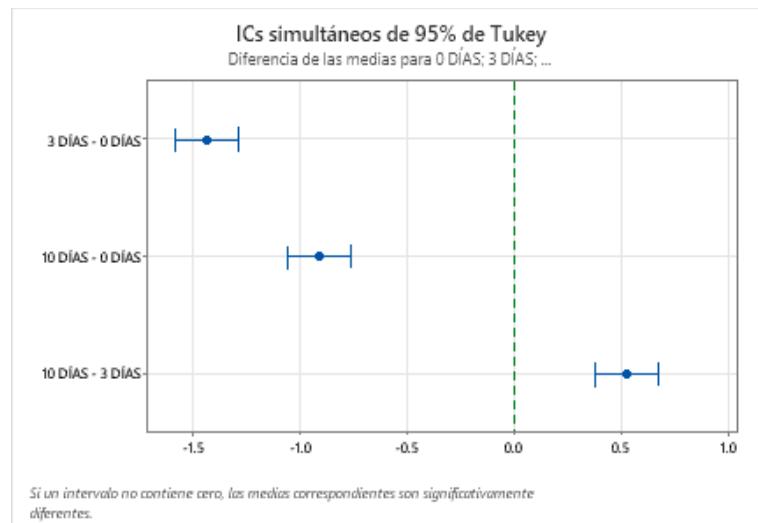
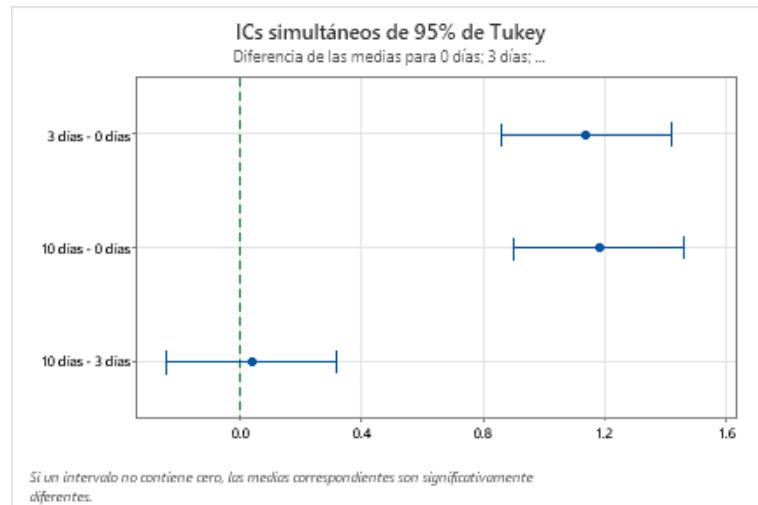


Gráfico 2

Gráfico de Tukey para porcentaje de humedad en almidón de variedad cubana.



El gráfico 1 para el porcentaje de humedad del almidón de INTA-Tololar, muestra que las diferencias entre todos los días de almacenamiento fueron significativas, ya que ningún intervalo incluye el valor cero. En cambio, el gráfico 2 de Tukey para la variedad cubana

indica que el porcentaje de humedad del almidón del día 0 difiere respecto al día 3 y 10. Aparentemente, el tiempo de almacenamiento influye en el contenido de humedad; sin embargo, no se observa un cambio gradual. Por lo tanto, las diferencias parecen estar relacionadas con deficiencias en la etapa de secado y no meramente son debido al almacenamiento.

Se realizó una comparación del porcentaje de humedad del almidón de la variedad INTA-Tololar y cubana en función del tiempo. Previo a aplicar dicho análisis, se realizó aplicó la prueba F donde se determinaron diferencias significativas en las varianzas del día 0 e igualdad de varianzas para los días 3 y 10 de almacenamiento.

Tabla 6

Resultados de comparación de medias para porcentaje de humedad en almidón de variedad INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	0	0.06	11	0.951	Se acepta H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	3	31.25	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	10	39.38	16	0.000	Se rechaza H_0

Los resultados de la tabla 6 muestran que en el día 0 no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las medias del porcentaje de humedad de ambas variedades. Para el día 3 postcosecha, la variedad INTA-Tololar presentó el contenido de humedad más bajo registrado en este estudio, con un promedio de 11.46 %, mientras que la variedad cubana tuvo un 14.03 %, indicando que existen diferencias significativas ($p < 0.05$). De igual manera para el día 10, el análisis estadístico indica que existen diferencias significativas entre la media del contenido de humedad de las dos muestras.

En general, las diferencias estadísticas se deben a deficiencias operarias en la deshidratación y el proceso de secado, y no por la influencia del almacenamiento de las raíces o la variedad.

Cenizas

El contenido de cenizas estuvo en el rango de 0.29-0.31 % para las raíces de INTA-Tololar y 0.30-0.33 % para la cubana (tabla 3). Resultados similares se han reportado en diferentes estudios del almidón de yuca, 0.19-0.21 % (Osunsami, 1989), 0.30 % (Jiménez y Martínez, 2016), 1.55-1.75 % (García y Salmerón, 2016). Sin embargo, los valores obtenidos superan los valores indicados (< 0.12 %) por Aristizábal & Sánchez (2007).

A continuación, se presentan los resultados de ANOVA para el porcentaje de cenizas de ambas variedades en los diferentes días de almacenamiento. Antes de aplicar este análisis estadístico se comprobó igualdad de varianzas mediante la prueba de Cochran.

Tabla 7

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de cenizas en almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.001818	0.000909	3.77	0.038		
Error	24	0.005784	0.000241				
Total	26	0.007602					

Tabla 8

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de cenizas en almidón de variedad cubana.

Análisis de Varianza

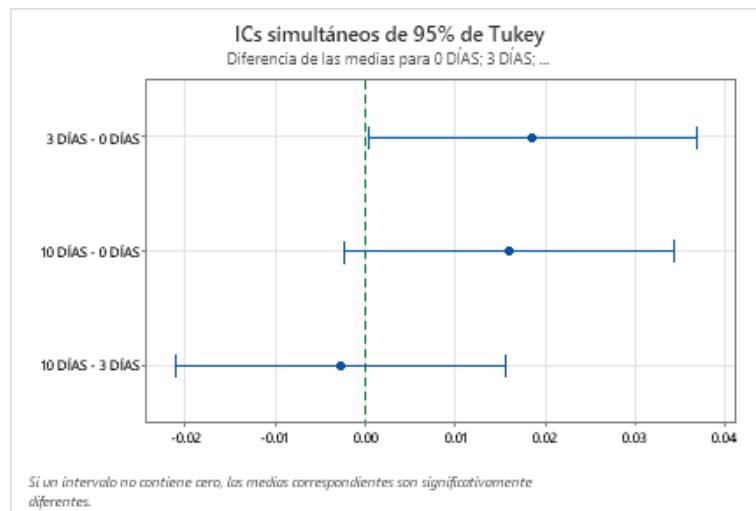
Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.002894	0.001447	1.76	0.194		
Error	24	0.019754	0.000823				
Total	26	0.022648					

La tabla 7 muestra que existen diferencias significativas en el porcentaje de cenizas del almidón de la variedad INTA-Tololar extraído en los 3 tiempos de postcosecha estudiados ($p < 0.05$). En contraste, para el almidón de la variedad cubana (tabla 8), no se determinaron diferencias significativas dado que valor $p > 0.05$

El gráfico de Tukey que se presenta a continuación permite observar cuál o cuáles de los tres conjuntos de datos de almidones de la variedad INTA-Tololar presentan diferencias.

Gráfico 3

Gráfico de Tukey para porcentaje de cenizas en almidón de variedad INTA-Tololar.



El gráfico 3 de Tukey para el almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) INTA-Tololar, muestra que las ligeras diferencias son atribuidas al comparar el día 0 y 3 de almacenamiento.

Previo a la aplicación del test de comparación de medias para los almidones de ambas variedades en cada día evaluado, se comprobó igualdad de varianzas.

Tabla 9

Resultados de comparación de medias para porcentaje de cenizas en almidón de INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	0	1.65	16	0.117	Se acepta H_0
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	3	1.65	16	0.118	Se acepta H_0
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	10	1.28	16	0.218	Se acepta H_0

La tabla 9 indica que no existen diferencias significativas entre las medias del porcentaje de cenizas del almidón de las dos variedades en ningún día de almacenamiento de las

raíces (valor $p > 0.05$). Esto sugiere que en términos de contenido mineral ambas variedades tienen una composición similar que no se ve alterada con el almacenamiento.

Nitrógeno total

Los resultados del porcentaje de nitrógeno total, reflejados en la tabla 3, muestran que dicho contenido incrementa en función de los días de resguardo de la materia prima. El almidón de la variedad cubana registró el contenido más alto (0.06 %) al décimo día, mientras que los almidones de la variedad INTA-Tololar presentaron contenidos más bajos. Todos los resultados no superan el valor máximo permitido por Aristizábal & Sánchez (2007) de 0.064 %.

Tabla 10

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de nitrógeno total de almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Factor	2	0.005915	0.002958	6.89	0.004	
Error	24	0.010297	0.000429			
Total	26	0.016212				

Tabla 11

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de nitrógeno total de almidón de variedad cubana.

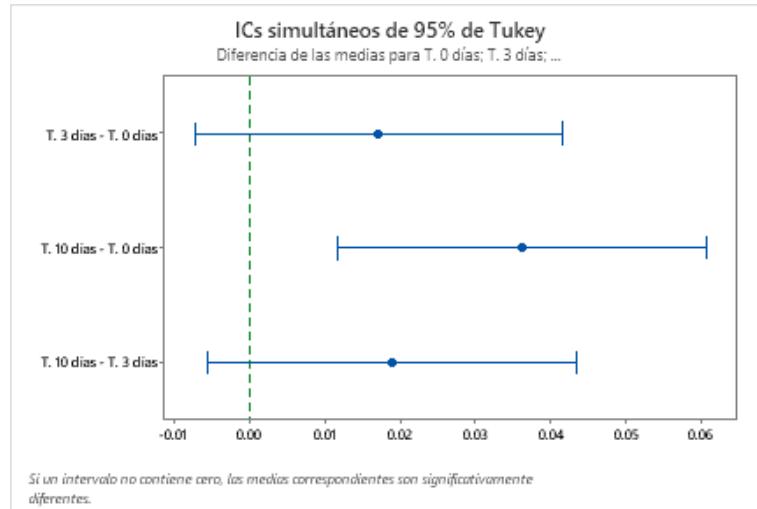
Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Factor	2	0.016822	0.008411	200.66	0.000	
Error	24	0.001006	0.000042			
Total	26	0.017828				

La tabla 10 del análisis ANOVA para el porcentaje de nitrógeno en almidón de INTA-Tololar y la tabla 11 para el almidón de la variedad cubana, indican que existen diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno entre los días de almacenamiento en sus respectivas variedades, ya que en los dos análisis el valor de p es menor que 0.05.

En los siguientes gráficos de Tukey se indican cuales conjuntos de datos aportan estas diferencias estadísticas en el contenido de nitrógeno total.

Gráfico 4

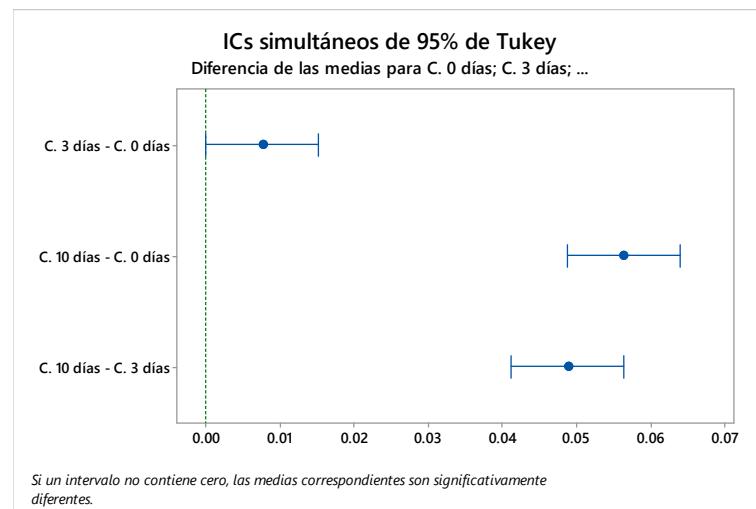
Gráfico de Tukey para porcentaje de nitrógeno total de almidón de variedad INTA- Tololar.



El gráfico 4 del análisis de Tukey para el almidón de la variedad INTA-Tololar indica diferencias estadísticamente significativas entre los días 0 y 10, ya que el intervalo de esa comparación no incluye el valor cero. El aumento considerable en el contenido de nitrógeno del día 0 al día 10 podría estar relacionado con la producción de proteínas en las raíces como defensa contra el deterioro (Nuwamanya, 2015).

Gráfico 5

Gráfico de Tukey para porcentaje de nitrógeno total en almidón variedad cubana.



El gráfico 5 de Tukey para contenido de nitrógeno en la variedad cubana indica que desde el día 0 hasta el día 3 no hay diferencias estadísticas, sin embargo, para el 10 los valores incrementan. Además, el aumento abrupto del día 10 podría explicarse por los resultados del análisis de pulpa, en los que una alta cantidad de impurezas pudo arrastrar material proteico suspendido durante la sedimentación del almidón, depositándolo en la superficie del almidón sedimentado.

Tabla 12

Resultados de comparación de medias para nitrógeno total en almidón de INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	0	-	-	-	-
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	3	0.67	8	0.527	Se acepta H_0
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	10	2.76	9	0.022	Se rechaza H_0

En el análisis t para comparación de medias (tabla 12) muestra que, en el caso del día 3 de postcosecha, no existen diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno total ($p > 0.05$). Sin embargo, se detectan diferencias en los almidones extraídos a los 10 días postcosecha ($p < 0.05$). Es importante destacar que no se pudo realizar la comparación de valores de nitrógeno total en el día 0 debido a que los valores correspondientes a la variedad INTA-Tololar son inferiores al límite de detección del método para la determinación de nitrógeno total en tejido vegetal, el cual es 0.001% según University of California, Davis Analytical Laboratory (2017).

En general, el contenido de nitrógeno total en los almidones extraídos de las raíces de ambas variedades es igual estadísticamente hasta el día 3 y las diferencias encontradas en el día 10 se deben al alto contenido de nitrógeno total reportado en el almidón de la variedad cubana.

Porcentaje de pulpa

En la Tabla 3 se observa un incremento en el contenido de pulpa a medida que aumentan los días de postcosecha. En el caso del almidón extraído de la variedad cubana, se reportó un valor de 0.24 % en el día 0, aumentando a 0.34 % al tercer día, lo que supera

levemente el valor máximo permitido y para el día 10, el contenido de pulpa alcanzó 0.76 %, superando ampliamente los niveles aceptables. En contraste, los almidones de la variedad INTA-Tololar mostraron un menor contenido de pulpa durante todos los días, registrándose el valor más bajo (0.12 %) en el día 0 y el más alto (0.24 %) en el día 10.

Aunque no se encontraron investigaciones que evaluaran el estado de la materia prima en función del tiempo de postcosecha, los porcentajes de pulpa obtenidos en este estudio se compararon con datos como los de Alvis et al. (2008) los cuales reportaron valores de pulpa 0.05 % en los almidones de diferentes variedades de *Manihot esculenta Crantz*, cifras que resultan inferiores a las observadas en este estudio, tanto de la variedad cubana como de INTA-Tololar. Por otro lado, Hernández et al. (2008) informaron un valor de 1.01 %, significativamente mayor que los obtenidos en este estudio. Estos resultados subrayan la variabilidad en los niveles de pulpa, dependiendo de la variedad de *Manihot esculenta Crantz* y las condiciones de procesamiento.

El análisis ANOVA realizado para el porcentaje de pulpa en los almidones de variedad INTA-Tololar (tabla 13) y yuca variedad cubana (tabla 14) refleja que hay diferencias significativas en los diferentes días de extracción, ya que el valor de p es menor a 0.05.

Tabla 13

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de pulpa en almidón de INTA – Tololar.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.130054	0.065027	342.25	0.000
Error	24	0.004560	0.000190		
Total	26	0.134614			

Tabla 14

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	1.34443	0.672214	2210.48	0.000
Error	24	0.00730	0.000304		
Total	26	1.35173			

A continuación, se presentan los gráficos de Tukey para el almidón de cada variedad de yuca (*Manihot esculenta Crantz*).

Gráfico 6

Gráfico de Tukey para porcentaje de pulpa en almidón de variedad cubana.

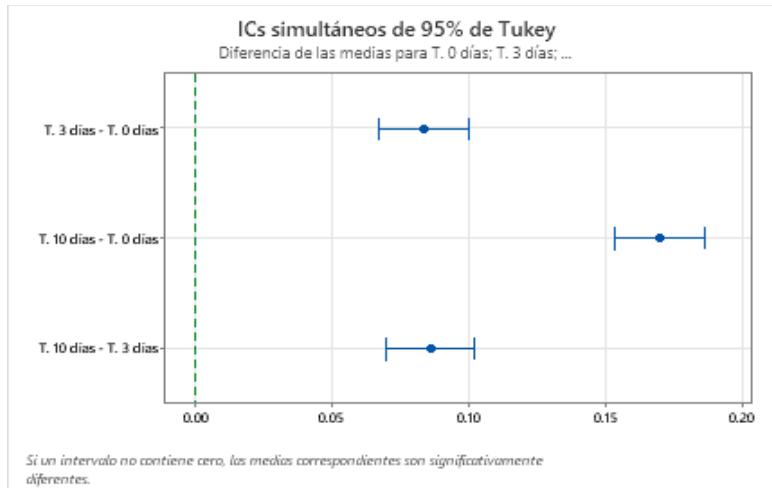
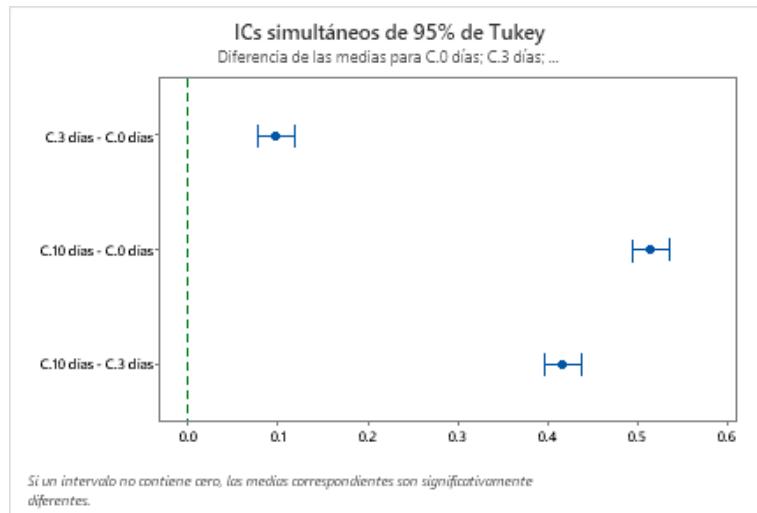


Gráfico 7

Gráfico de Tukey para porcentaje de pulpa en almidón de variedad INTA-Tololar



Los gráficos 6 y 7 de Tukey para los almidones de las variedades INTA-Tololar y cubana, respectivamente, reflejan que hay diferencias significativas en los tres intervalos de tiempo evaluados, ya que no se presentan agrupaciones que incluyan el valor cero. En ambos casos, la mayor diferencia se observa en el intervalo comprendido entre los días

0 y 10, lo cual indica una variación considerable en el contenido de pulpa con el avance del almacenamiento postcosecha.

Muñoz (s.f.) señala que utilizar raíces de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) con un alto nivel de pudrición genera impurezas durante el proceso de extracción ya que se genera pulpa fina producto de que los tejidos pierden integridad estructural. Esto explica el aumento de la pulpa a medida que trascurren los días posteriores a la cosecha. No obstante, aunque este es un factor influyente, la diferencia particularmente alta entre los primeros días y el día 10 de la variedad cubana también se atribuye a deficiencias en el proceso de filtrado, lo que contribuye a la presencia de mayores residuos en el almidón. Para reducir el exceso de estos componentes en las industrias almidoneras se suele eliminar haciendo uso de tamices de diferentes calibres hasta alcanzar niveles aceptables. Este parámetro es relevante ya que una cantidad elevada de pulpa puede afectar negativamente la calidad del almidón, interfiriendo en sus propiedades funcionales, como la temperatura de gelatinización.

Tabla 15

Resultados de comparación de medias para porcentaje de pulpa en almidón de INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	0	16.92	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	3	14.86	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	10	75.08	16	0.000	Se rechaza H_0

La tabla 15, correspondiente al análisis t para comparación de medias del porcentaje de pulpa en la variedad cubana e INTA-Tololar en los días de postcosecha, nos indica que las medias entre ambas variedades son estadísticamente diferentes en todos los días evaluados ya que el valor de p es menor a 0.05. En resumen, estas diferencias se deben a los genotipos, la susceptibilidad al deterioro y a la variabilidad en los errores de extracción, viéndose más afectados los almidones de la variedad cubana.

pH y acidez

Los microorganismos descomponen el almidón liberando moléculas de glucosa susceptibles a ser convertidas por otros microorganismos en ácidos (como el ácido láctico), lo cual reduce el pH.

En la tabla 3, se observa que la mayoría de los valores de pH de los almidones son ligeramente ácidos, obteniéndose un rango de 6.56-6.6 para la variedad INTA-Tololar y 5.63-7.17 para la cubana. Según Badui (2006) los valores de pH dependen de la fuente vegetal, método de extracción y los aditivos usados en su producción, no obstante, el almidón generalmente presenta un pH neutro o ligeramente ácido (rango de 5.0 - 7.0).

El análisis de ANOVA para el pH de la variedad INTA-Tololar en los tres tiempos de almacenamiento se presenta en la tabla 16 y para la variedad cubana en la tabla 17. Donde la hipótesis nula planteada es que no existen diferencias significativas en las medias de pH de los almidones extraídos en los diferentes días de almacenamiento.

Tabla 16

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de pH almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.06361	0.031804	25.29	0.000		
Error	24	0.03018	0.001257				
Total	26	0.09379					

Tabla 17

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de pH almidón de variedad cubana.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	11.4708	5.73541	5772.83	0.000		
Error	24	0.0238	0.00099				
Total	26	11.4947					

Los resultados análisis de ANOVA (tabla 16 y tabla 17) concluyen lo mismo para ambas variedades ($p < 0.05$), es decir, existen diferencias significativas en las medias de pH del almidón extraído en los tres tiempos de almacenamiento estudiados.

Los gráficos del análisis de Tukey para la variedad INTA-Tololar y cubana se presentan a continuación:

Gráfico 8

Gráfico de Tukey para pH en almidón de variedad INTA-Tololar.

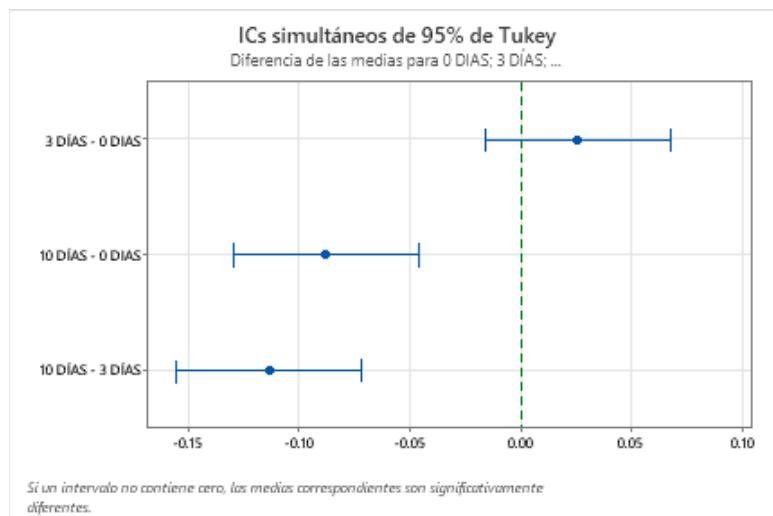
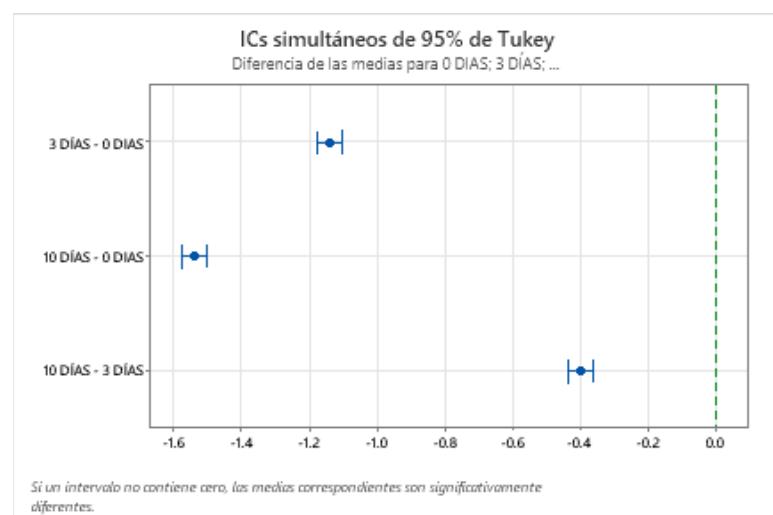


Gráfico 9

Gráfico de Tukey para pH en almidón de variedad cubana.



El gráfico 8 muestra que los valores de pH en el almidón de raíces frescas (0 días) y almacenadas durante 3 días de la variedad INTA-Tololar no disminuyen significativamente; sin embargo, para el día 10 si hay un descenso significativo. En el caso del almidón de la variedad cubana, el gráfico 9 muestra que los valores de pH difieren estadísticamente en todos los tiempos de almacenamiento. La marcada disminución del pH en los almidones de la variedad cubana indica que el ataque microbiano fue más intenso en comparación con los almidones de la variedad INTA-Tololar.

Los valores de pH observados para ambas variedades están dentro de los rangos aceptables para almidones nativos (6.0 a 6.5), lo que sugiere que, a pesar de la fermentación, el almidón no ha alcanzado niveles críticos que comprometan sus propiedades. Por otro lado, un almidón de buena calidad suele tener un pH entre 4.5 y 5.5, según lo establecido por Aristizábal & Sánchez (2007), por lo que los almidones de este estudio no cumplen con los requisitos de calidad propuestos.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la prueba t para comparación de medias del pH del almidón de la variedad INTA-Tololar y cubana. Previo a este análisis se comprobó igualdad de varianzas mediante la prueba F.

Tabla 18

Resultados de comparación de medias para pH en almidón de INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	0	-39.95	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	3	36.01	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	10	57.55	16	0.000	Se rechaza H_0

La tabla 18 indica que existen diferencias significativas entre las dos variedades, en todos los días de almacenamiento. Estas diferencias indican que las dos variedades de *Manihot esculenta* Crantz fueron afectadas de manera distintas por los procesos de fermentación y estos se ven reflejados en el pH de sus almidones.

En cuanto a la acidez. Se obtuvo que el porcentaje de acidez del almidón de la variedad INTA-Tololar es de 6.86×10^{-3} - 2.06×10^{-2} y para la variedad cubana es de 6.86×10^{-3} - 4.16×10^{-2} . Estos valores son superiores a los recomendados por Aristizábal & Sánchez (2007) para la acidez titulable (2.2×10^{-3} y 5×10^{-3} meq de ácido láctico/g de almidón).

Mediante el análisis de ANOVA se identifica si existen diferencias significativas en el porcentaje de acidez de los almidones en los diferentes días de almacenamiento. Previo a este análisis se comprobó homocedasticidad de varianzas. Los resultados se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 19

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de acidez en almidón INTA-Tololar.

Análisis de Varianza					
	Fuente	GL	SC	Ajust.	MC
Factor	2	0.000884	0.000442	29.56	0.000
Error	24	0.000359	0.000015		
Total	26	0.001243			

Tabla 20

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de porcentaje de acidez en almidón cubana.

Análisis de Varianza					
	Fuente	GL	SC	Ajust.	MC
Factor	2	0.005488	0.002744	195.33	0.000
Error	24	0.000337	0.000014		
Total	26	0.005825			

El análisis de ANOVA indica que, para ambas variedades existen diferencias significativas en las medias de porcentaje de acidez en los distintos días de almacenamiento postcosecha de las raíces (tabla 19 y 20).

Posteriormente, los gráficos del análisis de Tukey muestran que conjuntos de datos son los que difieren.

Gráfico 10

Gráfico de Tukey para porcentaje de acidez en almidón de variedad INTA-Tololar.

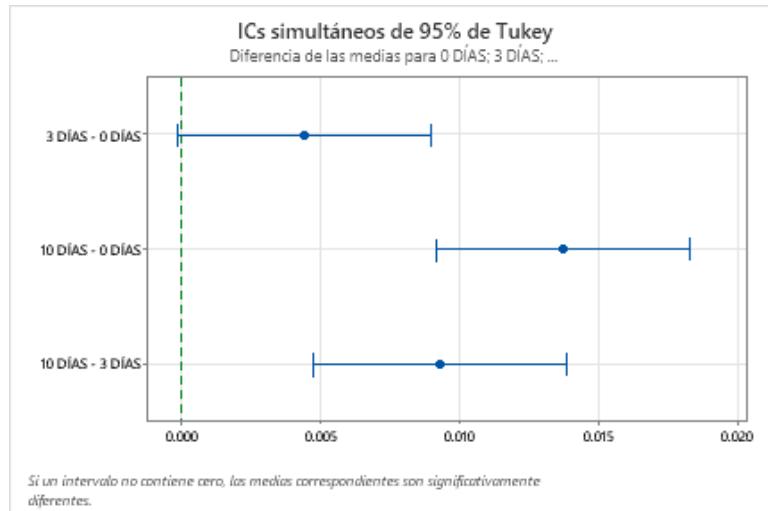
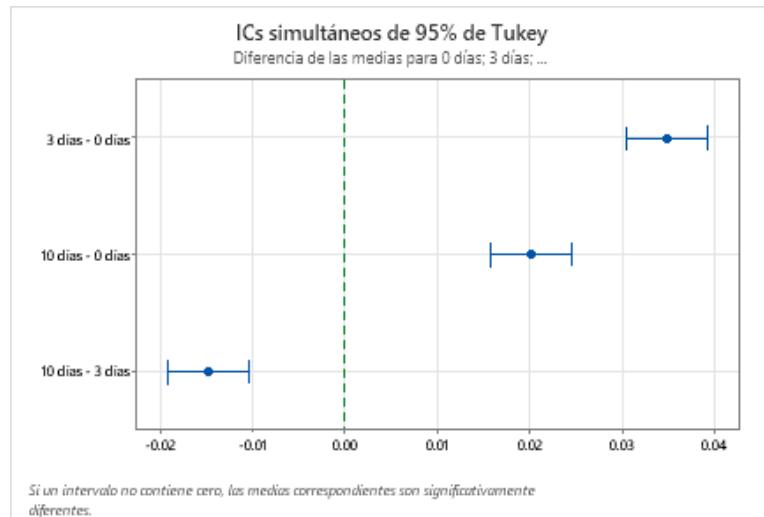


Gráfico 11

Gráfico de Tukey para porcentaje de acidez en almidón de variedad cubana.



El gráfico 10, revela que el porcentaje de acidez del almidón extraído en el día 10 de postcosecha difiere del obtenido en el día 0 y 3 de almacenamiento para la variedad

INTA-Tololar. En cambio, para la variedad cubana, el gráfico 11 muestra que los porcentajes de acidez en los diferentes días difieren todos entre sí.

El aumento del porcentaje de acidez y disminución del pH en el almidón es otro indicativo de los avances de los procesos de deterioro fisiológico y microbiano en las raíces. Esto pone en evidencia que cuando se procesan raíces con algún tipo de deterioro fisiológico o microbiano no es posible garantizar que durante la extracción del almidón se eliminen completamente los problemas asociados a este deterioro, ya que los efectos de la descomposición previa como la producción de ácidos pueden reflejarse en el almidón extraído aumentando la acidez titulable, incluso si los microorganismos no están presentes en el producto final. Adicionado a esto, el almacenamiento de algunos almidones con porcentaje de humedad superior al 13 %, puede que haya favorecido la formación de hongos y levaduras y a la vez su susceptibilidad a generar reacciones de fermentación las cuales aumentan la acidez titulable y disminuyen el pH del almidón.

Para disminuir la carga microbiana, las empresas suelen agregar antimicrobianos durante la extracción del almidón. Aunque, los microorganismos que queden pueden seguir generando ácidos que estarán presentes en el almidón extraído.

El análisis de comparación de medias para el porcentaje de acidez de ambas variedades según el día se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21

Resultados de comparación de medias para porcentaje de acidez en almidón de INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	0	-0.00	16	0.999	Se acepta H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	3	-18.08	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	10	-3.41	16	0.004	Se rechaza H_0

Las diferencias en el porcentaje de acidez de ambas variedades en los diferentes días pueden atribuirse a factores genéticos y bioquímicos que determinan la composición del almidón y su susceptibilidad a la fermentación microbiana.

Temperatura de gelatinización

En la tabla 3, se observa que la temperatura de gelatinización para el almidón de la variedad INTA-Tololar en los diferentes días de almacenamiento es de aproximadamente 70 °C, mientras que en la variedad cubana las temperaturas oscilan entre 70-73 °C. Las temperaturas documentadas están dentro del rango (58.5-70 °C) determinado por Aristizábal & Sánchez (2007), exceptuando el almidón de 10 días de la variedad cubana.

En las siguientes tablas se presentan los resultados de ANOVA donde se la hipótesis nula (H_0) plantea que no existen diferencias significativas en la temperatura de gelatinización del almidón extraído en los días de postcosecha estudiados.

Tabla 22

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de Temperatura de gelatinización de almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza					
	Fuente	GL	SC	Ajust.	MC
				Ajust.	Valor F
Factor	2	0.2963		0.1481	0.73
Error	24	4.8889		0.2037	
Total	26	5.1852			

Tabla 23

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de Temperatura de gelatinización de almidón de variedad cubana.

Análisis de Varianza					
	Fuente	GL	SC	Ajust.	MC
				Ajust.	Valor F
Factor	2	58.074		29.0370	125.44
Error	24	5.556		0.2315	
Total	26	63.630			

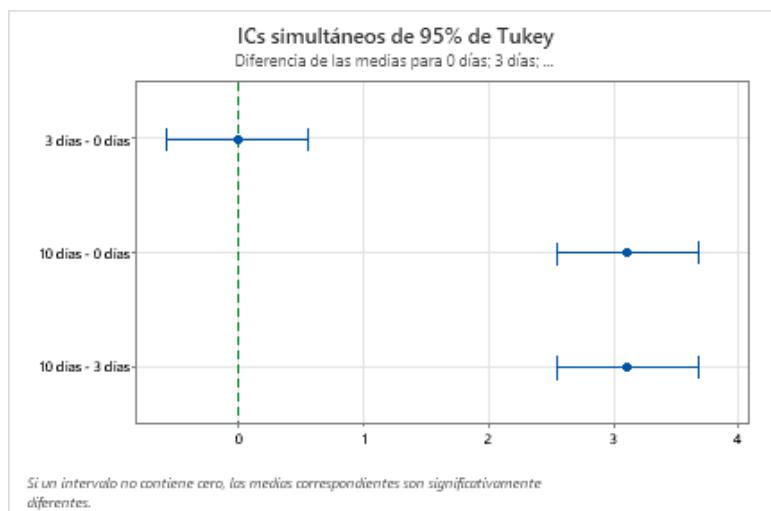
El análisis ANOVA para la variedad INTA-Tololar (tabla 22), acepta la hipótesis nula, es decir, no existen diferencias significativas en las medias de temperatura de los almidones en los tres tiempos estudiados, dado que valor $p > 0.05$. Por otro lado, el ANOVA para la

variedad cubana (tabla 23) muestra que si existen diferencias significativas (valor $p < 0.05$).

Para identificar las diferencias entre las temperaturas de gelatinización de los distintos tiempos de almacenamiento en la variedad cubana, se presenta el gráfico de Tukey.

Gráfico 12

Gráfico de Tukey para temperatura de gelatinización de almidón de variedad cubana



En la gráfica 12 de Tukey se revela que las diferencias significativas del análisis ANOVA para el almidón de la variedad cubana son proporcionadas por el almidón de 10 días. Se ha reportado que la presencia de componentes fibrosos en el almidón incrementa la temperatura de gelatinización (Moorthy et al., 1993; Abera & Rakshit, 2004) esto podría explicar las diferencias encontradas para el almidón de yuca cubana, también podría deberse a factores como la proporción de amilosa y amilopectina, fermentación, contenidos de proteínas y lípidos, pH y azúcares (Chisenga et al, 2019).

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la prueba t para comparación de las medias de temperaturas de gelatinización del almidón de la variedad INTA-Tololar y cubana en cada día de almacenamiento.

Tabla 24

Resultados de comparación de medias para Temperatura de gelatinización en almidón de yuca INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	0	1.11	16	0.284	Se acepta H_0
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	3	0.00	16	1.000	Se acepta H_0
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	10	-14.00	16	0.000	Se rechaza H_0

En la tabla 24 se observa que el almidón extraído de ambas variedades desde el día 0 hasta el día 3 de almacenamiento tienen igual temperatura de gelatinización. Sin embargo, a los 10 días se presentan diferencias, ya que el almidón de la variedad cubana mostró una temperatura más alta (alrededor de 73 °C) en comparación con el almidón de la variedad INTA-Tololar (aproximadamente 70 °C).

En general, las temperaturas de gelatinización del almidón de las variedades estudiadas son similares y no se ven afectadas por el almacenamiento. Esto es consistente con los resultados de estudios previos (Huang, 2001; Oyeyinka et al., 2020; Abera & Rakshit, 2004), en los que tampoco se registraron cambios drásticos en la temperatura de gelatinización del almidón extraído de materia prima almacenada.

Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento (IAA, ISA y PH)

Aristizábal & Sánchez (2007) establece que el rango permitido para el índice de absorción de agua (IAA) es 0.82-15.52 g gel/ g muestra, para el índice de solubilidad en agua (ISA) 0.27-12.32 % y 0.79-15.45 % para el poder de hinchamiento (PH). Además, resalta que un almidón de buena calidad debe presentar un bajo índice de solubilidad, un alto índice de absorción de agua y alto poder de hinchamiento. En este estudio se evaluaron estos tres parámetros (IAA, ISA y PH) en almidones extraídos a 0, 3 y 10 días de postcosecha de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*): INTA-Tololar y cubana (véase Tabla 25).

Tabla 25

Resultados de análisis de índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento para almidones de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) extraídos en diferentes días postcosecha.

Análisis	INTA-TOLOLAR			CUBANA		
	0 días	3 días	10 días	0 días	3 días	10 días
Índice de absorción de agua	2.83 ^c ± 0.17 (IC: ± 0.13)	3.44 ^b ± 0.14 (IC: ± 0.11)	3.89 ^a ± 0.07 (IC: ± 0.05)	2.56 ^c ± 0.01 (IC: ± 0.01)	3.65 ^b ± 0.01 (IC: ± 0.01)	3.92 ^a ± 0.01 (IC: ± 0.01)
Índice de solubilidad en agua	0.55 ^c ± 0.03 (IC: ± 0.02)	0.78 ^b ± 0.07 (IC: ± 0.06)	0.95 ^a ± 0.06 (IC: ± 0.05)	1.23 ^a ± 0.06 (IC: ± 0.05)	0.52 ^c ± 0.12 (IC: ± 0.12)	1.00 ^b ± 0.14 (IC: ± 0.11)
Poder de hinchamiento	2.84 ^c ± 0.17 (IC: ± 0.13)	3.46 ^b ± 0.14 (IC: ± 0.11)	3.90 ^a ± 0.07 (IC: ± 0.05)	2.57 ^c ± 0.01 (IC: ± 0.01)	3.66 ^b ± 0.01 (IC: ± 0.01)	3.93 ^a ± 0.01 (IC: ± 0.01)

En el índice de absorción de agua, tanto para los almidones de la variedad INTA-Tololar como los de la variedad cubana, se observa un incremento progresivo con el avance de los días de postcosecha de las raíces de yuca, siendo este aumento estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en ambos casos (veáse tablas 26 y 27). Estos resultados se encuentran dentro del rango establecido por Aristizábal & Sánchez (2007), aunque son levemente inferiores a los reportados por Alvis et al. (2008), quienes obtuvieron un valor promedio de 4.73 g/gel para almidones de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*).

Tabla 26

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de índice de absorción de almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Factor	2	5.0629	2.53144	138.57	0.000	
Error	24	0.4384	0.01827			
Total	26	5.5013				

Tabla 27

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de índice de absorción de almidón de variedad cubana.

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Factor	2	9.34026	4.67013	32827.30	0.000	
Error	24	0.00341	0.00014			
Total	26	9.34367				

El test de Tukey permitió identificar que, en ambas variedades, los tres tiempos postcosecha evaluados mostraron diferencias significativas entre sí, lo que confirma una tendencia ascendente del IAA conforme se prolonga el almacenamiento de la materia prima (gráficos 13 y 14). Según (Kayode et al., (2021) estas variaciones se deben a factores como el contenido de almidón dañado y cambios estructurales en los gránulos de almidón inducidos por el deterioro.

Gráfico 13

Gráfico de Tukey para índice de absorción de agua de almidón de variedad INTA-Tololar.

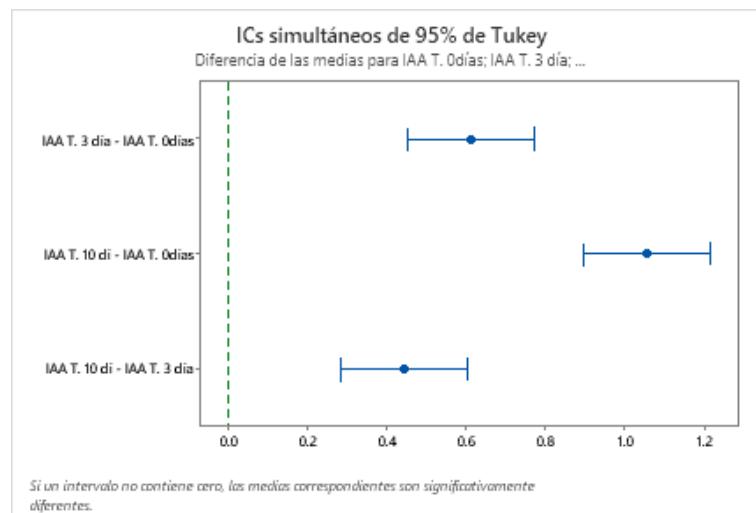
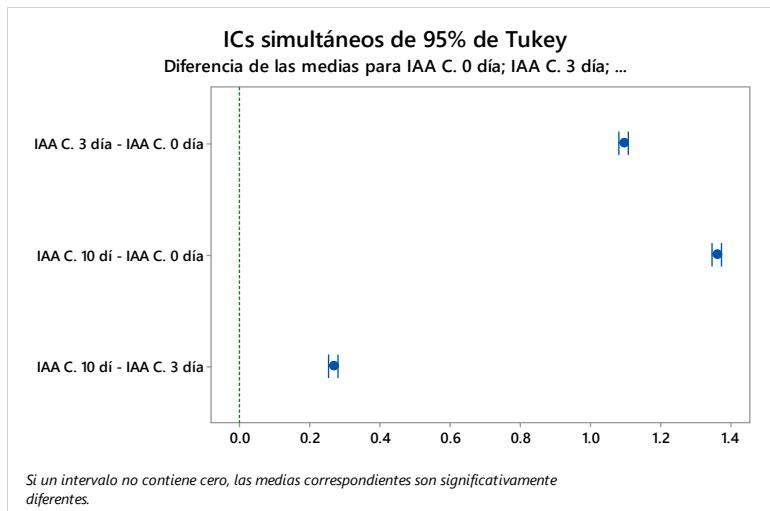


Gráfico 14

Gráfico de Tukey para índice de absorción de agua de almidón de variedad cubana



Posteriormente, se procedió a comparar los valores obtenidos entre las dos variedades en cada uno de los tiempos evaluados para registrar diferencias atribuibles a la variedad, lo cual es clave para determinar cuál de ellas presenta mejores características funcionales bajo condiciones similares de extracción.

Tabla 28

Resultados de comparación de medias para índice de absorción de agua de almidón de INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	0	4.67	8	0.002	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	3	4.39	8	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	10	1.45	8	0.184	Se acepta H_0

En el análisis de comparación de medias de los diferentes días de post cosecha para la variedad cubana e INTA-Tololar (tabla 28) se determina que existen diferencias estadísticas significativas entre los índices de absorción de los días 0 y 3 de ambas

variedades ($p < 0.05$), pero para los almidones extraídos de raíces con 10 días de almacenamiento no se muestran diferencias significativas. El almidón de la variedad INTA-Tololar presenta un mayor índice de absorción de agua en el día 0, lo que indica que la igualación de los valores en el día 10 se debe a la cantidad de fibra presente en el almidón de la variedad cubana. La fibra insoluble interviene en el proceso de absorción de agua ya que tienden a hidratarse, lo que también provoca una menor lixiviación de amilosa de los gránulos de almidón y esto conlleva a una disminución de la viscosidad (Adamczyk, Krystyan & Witczak, 2021).

Para el **índice de solubilidad en agua** (ISA) los resultados variaron de 0.55 % a 0.95 % para el almidón de la variedad INTA-Tololar y de 1.23% a 1.00% para el de la variedad cubana. Estos resultados están dentro del rango establecido por Aristizábal & Sánchez (2007).

En las tablas 29 y 30 se presentan los resultados del análisis ANOVA para el índice de solubilidad de los almidones extraídos de la variedad INTA-Tololar y cubana, respectivamente. El cual revela que existen diferencias significativas en el ISA para el almidón de las dos variedades en los días de postcosecha evaluados. Al igual que en el índice de absorción de agua, el tiempo de postcosecha tiene efecto en la solubilidad del almidón, debido a que el valor P es menor que 0.05.

Tabla 29

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de índice de solubilidad de almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Factor	2	0.73383	0.366913	112.31	0.000	
Error	24	0.07841	0.003267			
Total	26	0.81223				

Tabla 30

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de índice de solubilidad de almidón de variedad cubana.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	2.4032	1.20162	90.87	0.000
Error	24	0.3174	0.01322		
Total	26	2.7206			

Para profundizar cuales días presentaron diferencias significativas se presentan los gráficos de Tukey.

Gráfico 15

Gráfico de Tukey para índice de solubilidad en agua de almidón de variedad INTA-Tololar.

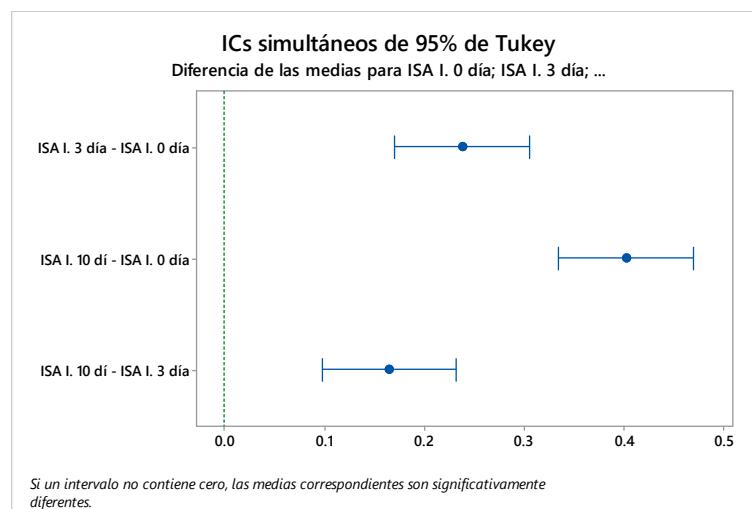
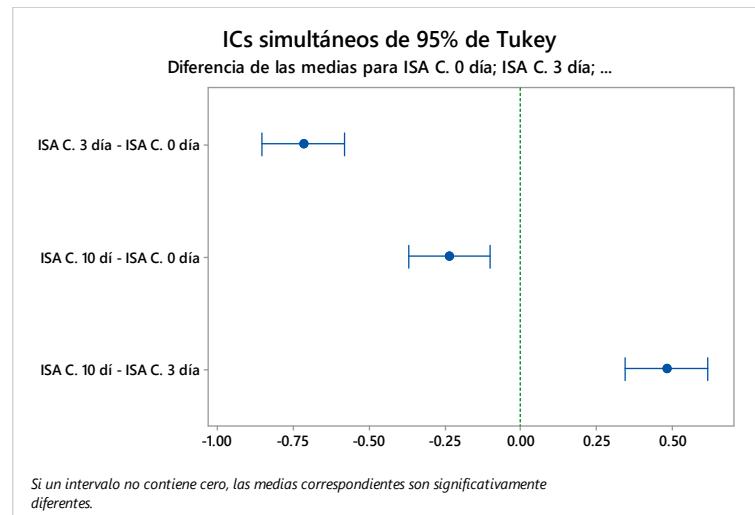


Gráfico 16

Gráfico de Tukey para índice de solubilidad en agua de almidón de variedad cubana.



En el gráfico 15 para almidones de yuca INTA-Tololar y en el gráfico 16 para almidones de yuca cubana se puede observar que hay diferencias significativas en las 3 agrupaciones de almidones, ya que ninguno contiene 0 en su intervalo. En el caso de la variedad INTA-Tololar el avance del tiempo de almacenamiento incrementa la solubilidad del almidón, pero para la variedad cubana hay una tendencia a la disminución del ISA, aunque esta no se presentó de manera uniforme según el avance de los días postcosecha.

Tabla 31

Resultados de comparación de medias para índice de solubilidad en agua de almidón de INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	0	30.15	10	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	3	5.60	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	10	0.97	10	0.357	Se acepta H_0

Se determinaron diferencias significativas en los en los días 0 y 3, ya que el valor p es menor a 0.05. Sin embargo, para el día 10 no se observó diferencias significativas. A los 0 días, el almidón de la variedad INTA-Tololar presentó un ISA significativamente menor (0.55 %) en comparación con la variedad cubana (1.23 %). Esta diferencia indica que, desde el momento de la cosecha, la variedad INTA-Tololar posee una menor proporción de compuestos solubles, lo cual es deseable desde el punto de vista funcional ya que una menor solubilidad esta asociada a una mayor estabilidad de los productos a base de almidón durante el enfriamiento. La mayor solubilidad observada en el almidón de la variedad cubana puede atribuirse a un mayor contenido de amilosa, ya que una vez que los gránulos se hinchan, ésta fracción exuda con facilidad al medio, incrementando la solubilidad del almidón.

Finalmente, los resultados del **poder de hinchamiento** fueron 2.84, 3.14 y 3.90 g/g para almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) variedad INTA-Tololar, los cuales son superiores a los reportados para los almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) cubana 2.57, 3.66 y 2.93 g/g (en 0, 3 y 10 días de almacenamiento de las raíces de yuca, respectivamente). Todos estos valores cumplen con los requisitos establecidos por Aristizábal & Sánchez (2007) para almidones de calidad.

Tabla 32

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de poder de hinchamiento de almidón variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	9.33904	4.66952	30358.52	0.000
Error	24	0.00369	0.00015		
Total	26	9.34273			

Tabla 33

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de poder de hinchamiento de almidón variedad cubana.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	5.1503	2.57514	139.80	0.000
Error	24	0.4421	0.01842		
Total	26	5.5924			

El análisis de varianza para el índice de poder de hinchamiento tanto para el almidón de variedad INTA-Tololar (tabla 32) como el de variedad cubana (tabla 33), muestran que existen diferencias significativas en sus respectivos días de postcosecha ($p < 0.05$). Esto permite deducir que el almacenamiento tiene efecto sobre el poder de hinchamiento del almidón.

Gráfico 17

Gráfico de Tukey para poder de hinchamiento de almidón de variedad INTA-Tololar.

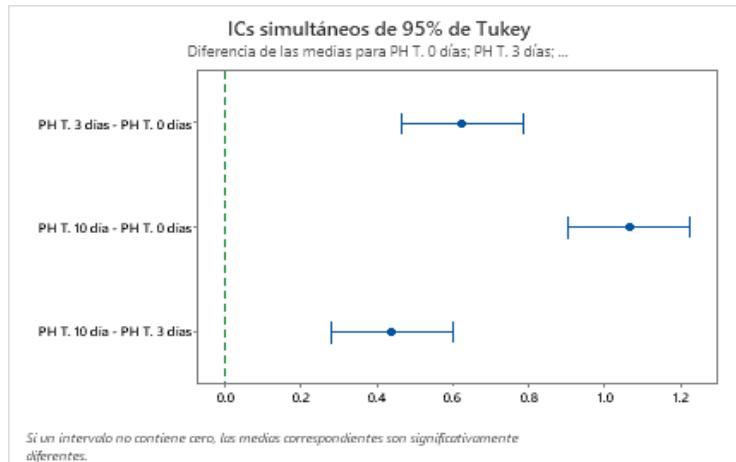
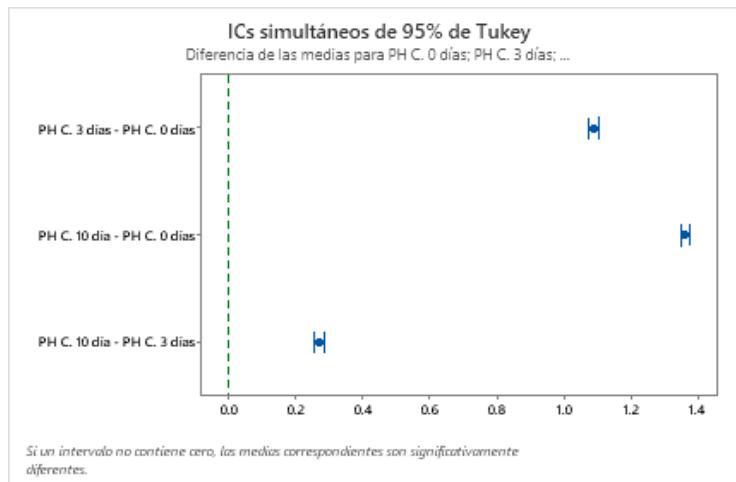


Gráfico 18

Gráfico de Tukey para poder de hinchamiento de almidón de variedad cubana.



En el **gráfico 17** del análisis de Tukey para el poder hinchamiento del almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) INTA-Tololar a los 0, 3 y 10 días de postcosecha, se muestran diferencias significativas entre las medias de las tres agrupaciones de días, ya que ningún intervalo incluye el valor cero. Del mismo modo, el **gráfico 18** para almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) cubana de 0, 3 y 10 días de postcosecha refleja que existen diferencias significativas entre los tres días evaluados. Se encontró que el almidón de extraído de raíces con 0 días de almacenamiento, es decir, raíces frescas, presenta un grado de hinchamiento inferior con relación a los días restantes, en ambas variedades (ver tabla 25). El incremento de los días provoca una mayor porosidad en los gránulos de almidón, lo cual permite una mayor absorción y reacción del agua caliente de la suspensión con los enlaces de hidrógeno de las moléculas, así mismo por consecuencia una mayor elasticidad de los enlaces de asociación molecular, lo cual le confiere al gránulo mayor hidratación y por ende un poder de hinchamiento mayor (Castroni & Schulz, 1985)

Tabla 34

Resultados de comparación de medias para poder de hinchamiento de almidón de yuca INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	0	4.55	8	0.002	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	3	4.17	8	0.003	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{Tololar} = \mu_{cubana}$	10	1.47	8	0.179	Se acepta H_0

La tabla 34 indica que en el décimo día de postcosecha el poder de hinchamiento de ambas variedades no presenta diferencias significativas, pero si las hay en día 0 y 3, ya que los valores de p son menores a 0.05.

En resumen, las variaciones reportadas en los valores de IAA, ISA y PH muestran la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas, estas interacciones a su vez son afectadas por la relación amilosa/amilopectina y por las características de ambos componentes como la

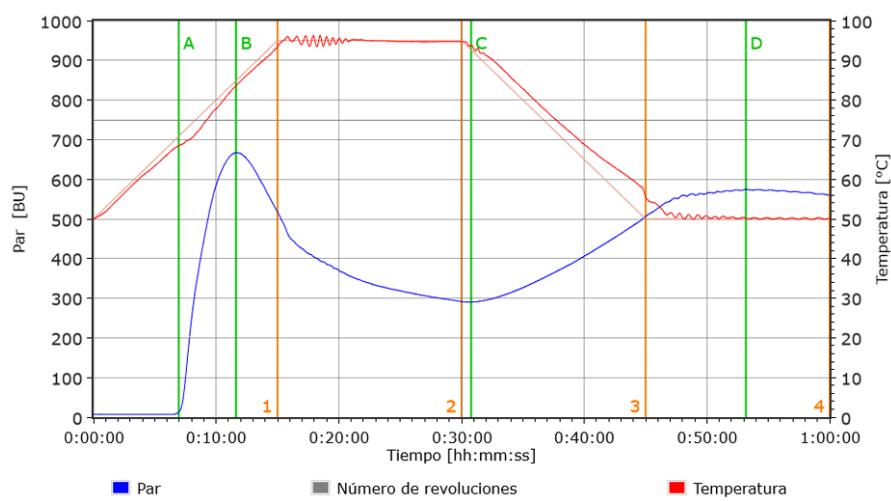
distribución del peso molecular de la amilopectina, grado y longitud de ramificación y conformación de la cadena de amilosa (Oyeyinka, 2020). También el daño del gránulo con avance del almacenamiento facilita la hinchazón debido a la destrucción de las fuerzas que impiden que los gránulos se hinchen en el agua, confiriéndole la capacidad de absorber más agua y por ende mayor poder de hinchamiento, lo que a su vez puede afectar la viscosidad (Barrera et al., 2013).

Análisis de viscoamilógrafo Brabender

El viscoamilograma Brabender permite observar el comportamiento viscoso de una suspensión de almidón durante un ciclo térmico controlado. En la figura 7, presentada a modo de ejemplo, la línea roja tenue indica la programación de la temperatura, mientras que la línea roja sobrepuerta representa la temperatura real registrada al momento de la medición. Por su parte, la línea azul refleja la viscosidad en unidades Brabender (BU) de la pasta formada en función de la temperatura. El viscoamilograma está dividido por letras (A, B, C y D) que representan el comportamiento del almidón, y números (1, 2, 3 y 4) que indican las etapas del perfil térmico (figura 7).

Figura 7

*Ejemplo de viscoamilograma de una suspensión al 5 % de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) INTA-Tololar en 10 días de postcosecha.*



La interpretación del viscoamilograma se realizó con base en los criterios propuestos por Aristizábal & Sánchez (2007), siendo considerados temperatura de gelatinización (58.5 °C – 70 °C), facilidad de cocción (1 min – 5 min), inestabilidad del gel (a mayor valor, mayor inestabilidad en la pasta), índice de gelificación y viscosidad máxima (400 BU – 900 BU). Donde el mayor enfoque está en la viscosidad máxima.

Tabla 35

Resultados de viscosidad Brabender de los análisis de almidón extraídos de variedades INTA-Tololar y cubana almacenadas durante diferentes días.

Análisis	Análisis de Brabender					
	INTA-Tololar			Cubana		
	0 días	3 días	10 días	0 días	3 días	10 días
Facilidad de cocción (min)	03:29 ^b ± 00:11 (IC: ± 00:09)	03:44 ^b ± 00:15 (IC: ± 00:12)	04:34 ^a ± 00:10 (IC: ± 00:07)	03:15 ^b ± 00:05 (IC: ± 00:04)	04:05 ^a ± 00:03 (IC: ± 00:02)	00:02:20 ^c ± 00:06 (IC: ± 00:04)
Temperatura de gelatinización	69.11 ^b ± 0.15 (IC: ± 0.11)	70.26 ^a ± 0.10 (IC: ± 0.07)	68.30 ^c ± 0.09 (IC: ± 0.07)	68.86 ^c ± 0.09 (IC: ± 0.07)	69.01 ^b ± 0.09 (IC: ± 0.07)	69.35 ^a ± 0.07 (IC: ± 0.06)
Viscosidad máxima	496.56 ^b ± 17.49 (IC: 13.44)	456.00 ^c ± 22.06 (IC: ± 16.95)	721.33 ^a ± 26.95 (IC: ± 20.72)	616.00 ^a ± 17.83 (IC: ± 13.71)	508.33 ^b ± 25.18 (IC: ± 19.35)	509.11 ^b ± 16.06 (IC: ± 12.34)

La temperatura de gelatinización reportada en este análisis difiere ligeramente de la obtenida mediante la técnica de Grace (1977), debido a que el viscoamilograma permite identificar con mayor precisión el inicio de la gelatinización, mientras que la técnica de Grace considera el punto en que la temperatura se mantiene estable durante unos segundos. No obstante, en ambos casos los valores se encuentran alrededor de los 70 °C, por lo que no se profundiza en esta diferencia.

La facilidad de cocción se calculó como la diferencia entre el tiempo en que se alcanza la viscosidad máxima y el tiempo de inicio de la gelatinización, es decir, el intervalo entre los puntos B y A del viscoamilograma (figura 7). El análisis de ANOVA mostró que el tiempo de almacenamiento de las raíces tuvo un efecto significativo sobre este parámetro en ambas variedades ($p < 0.05$). El análisis de Tukey permitió identificar que la facilidad de cocción de los almidones en la variedad INTA-Tololar se ve afectada por el

almacenamiento hasta en el día 10, donde muestra un incremento significativo, por otro lado, para la variedad cubana hay más variabilidad en los resultados por lo que no se logró dilucidar claramente la relación con el incremento de los días de almacenamiento de las raíces. Los resultados para todos los almidones son ligeramente inferiores a los reportados por Alvis et al. (2008) para almidones de yuca, siendo este de 4:00 minutos.

Finalmente, en la viscosidad máxima, la cual es la capacidad de los almidones para hincharse. Todos los almidones producidos presentan una viscosidad máxima que está dentro del rango aceptable de trabajo. Estudios previos encontraron que la viscosidad máxima del almidón aumenta con el incremento del periodo de almacenamiento de las raíces de yuca refrigeradas durante varias semanas (Oyeyinka, 2020). Sin embargo, también se ha registrado que la viscosidad máxima en el almidón disminuye con el almacenamiento de chips secos de yuca (Abera y Rashit, 2004). La variación de la viscosidad del almidón informada en los estudios respectivos sugiere que tanto la duración del almacenamiento como el método de procesamiento pueden afectar la viscosidad del almidón de yuca.

El almidón de las raíces de yuca almacenadas de la variedad INTA-Tololar mostró un incremento estadísticamente significativo de la viscosidad ($p < 0.05$) (ver tabla 36), pasando de 497 BU en el día 0 a 721 BU en el día 10. En cambio, las viscosidades del almidón de la variedad cubana disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) (ver tabla 37) con el tiempo de almacenamiento donde en el día 0 se reportó 616 BU y a partir del día 3 la viscosidad fue de 509, la cual se mantuvo hasta el día 10.

Tabla 36

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de viscosidad máxima en almidón de variedad INTA-Tololar.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	367715	183857	349.20	0.000
Error	24	12636	527		
Total	26	380351			

Tabla 37

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) de viscosidad máxima de almidón de variedad cubana.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	69054	34526.9	85.61	0.000
Error	24	9679	403.3		
Total	26	78733			

En el gráfico 19 de Tukey se observa que los almidones de la variedad INTA-Tololar difieren estadísticamente en todos los días evaluados, mientras que en los almidones de la variedad cubana la viscosidad decrece del día 0 al día 3 y se mantiene hasta el día 10 (gráfico 20).

Gráfico 19

Gráfico de Tukey para viscosidad máxima de almidón de variedad INTA-Tololar.

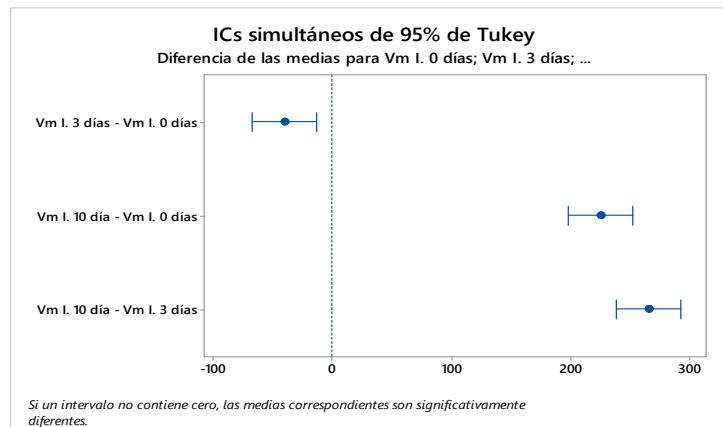


Gráfico 20

Gráfico de Tukey para viscosidad máxima de almidón de variedad cubana.

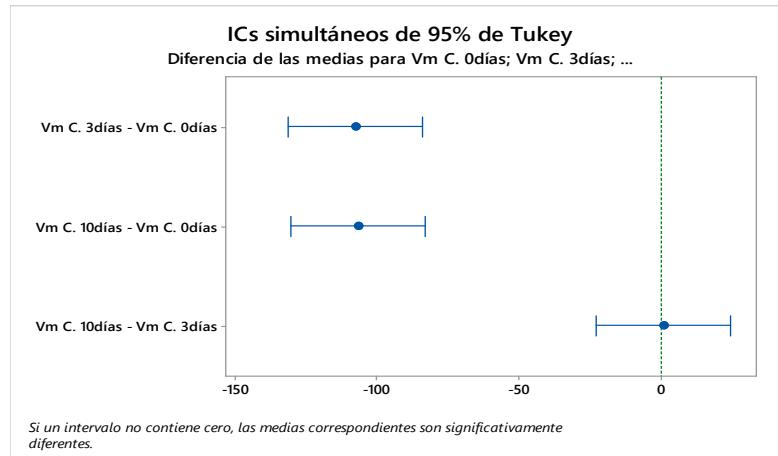


Tabla 38

Resultados de comparación de medias para viscosidad máxima en almidón de yuca INTA-Tololar y cubana en cada día postcosecha.

Hipótesis	Día	Valor T	GL	Valor p	Resultado
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	0	14.35	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	3	4.57	16	0.000	Se rechaza H_0
$H_0: \mu_{\text{Tololar}} = \mu_{\text{cubana}}$	10	20.29	16	0.000	Se rechaza H_0

El análisis t para la viscosidad máxima determina que los almidones de ambas variedades en 0, 3 y 10 días de post cosecha difieren, ya que los resultados de p son menores a 0.05. La diferencia en la viscosidad de los almidones extraídos de raíces frescas se debe a la variación en el contenido de amilosa, donde los altos contenidos de ésta forman una barrera que restringe la hinchazón del gránulo. Esto a su vez concuerda con las tendencias en el poder de hinchamiento, ya que a fin de cuentas la viscosidad de la pasta de almidón es en gran medida una función de la hinchazón de los gránulos de almidón, en otras palabras, entre más poder de hinchamiento y absorción se reporta, entonces más viscosidad habrá.

CONCLUSIONES

- La extracción de almidón de *Manihot esculenta Crantz* a nivel de laboratorio, bajo condiciones que simulan un proceso industrial, permitió obtener almidón de ambas variedades evaluadas en diferentes tiempos de almacenamiento postcosecha. Esta estrategia facilitó la determinación del rendimiento de extracción, evidenciando la influencia del tiempo de almacenamiento en la cantidad de almidón recuperado, lo que resulta relevante para optimizar procesos de aprovechamiento industrial del cultivo.
- Se extrajo y determinó el rendimiento del almidón de yuca a nivel de laboratorio, encontrándose que la variedad INTA-Tololar tiene rendimiento de 23.89 % en raíces frescas y 21.85 % en raíces almacenadas durante tres días, el cual es aún mayor que el de las raíces frescas de la variedad cubana (20.99 %). Esta diferencia se atribuye tanto a las características genéticas de las variedades como a la susceptibilidad al deterioro, ya que el rendimiento se ve afectado severamente en la variedad cubana de 10 días, en cambio en la de la INTA-Tololar no hay diferencias drásticas en los tres tiempos estudiados.
- Los análisis realizados a los almidones extraídos de ambas variedades de *Manihot esculenta Crantz* en los distintos días postcosecha evidencian que la variedad INTA-Tololar presentan un mejor comportamiento frente al almacenamiento, en comparación con la variedad cubana. Los almidones provenientes de INTA-Tololar (0, 3 y 10 días) y de la variedad cubana (0 días) podrían ser utilizados para fines alimenticios, siempre que los análisis microbiológicos confirmen su inocuidad. En contraste, los almidones de la variedad cubana con 3 y 10 días de almacenamiento mostraron parámetros fuera de los rangos aceptables para consumo, por lo que, dependiendo de las condiciones específicas, podrían destinarse a aplicaciones industriales como la fabricación de papel, productos textiles, almidones modificados, entre otros.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el muestreo de la materia prima el mismo día para ambas variedades, con el fin de mantener un mejor control sobre las condiciones ambientales a las que las raíces están expuestas simultáneamente. Asimismo, se sugiere efectuar análisis fisicoquímicos a la materia prima para contar con información precisa sobre sus características iniciales.
- Mejorar el proceso de extracción e incluir más etapas. Se recomienda incluir una etapa de desinfección de raíces con una solución de hipoclorito de sodio y realizar lavados a la lechada aumentando el número de filtraciones para eliminar la mayor cantidad de pulpa o impurezas que pudieron atravesar el tamiz.
- Realizar análisis de la integridad estructural del almidón para determinar el tamaño y apariencia de los gránulos y otros análisis fisicoquímicos como el de grasa, amilosa.
- Realizar análisis microbiológicos a las muestras de almidón.

REFERENCIAS

- Abera, S., & Rakshit, S. K. (2004). Effect of Dry Cassava Chip Storage on Yield and Functional Properties of Extracted Starch. *Starch - Stärke*, 56(6), 232–240. doi:10.1002/star.200300247
- Adamczyk G, Krystyjan M, Witczak M. (2021). The Impact of Fiber from Buckwheat Hulls Waste on the Pasting, Rheological and Textural Properties of Normal and Waxy Potato Starch Gels. *Polymers (Basel)*, 13(23):4148. doi: 10.3390/polym13234148
- Alvis et al. (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).
- AOAC INTERNATIONAL. (1995). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (16 ed., Vol. I y II). USA.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (Boletín de servicios agrícolas de la FAO N° 163)*. Roma: Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. (4ta ed). México: Pearson
- Balaguer, F. (1894). *Almidones y sus derivados* (2 ed.). Madrid: Hijos de D. J Cuesta.
- Barrera, G., Bustos, M., Iturriaga, L., Flores, S., León, A. & Ribotta, P. (2013). Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions. *Journal of Food Engineering*, 116, 233–239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.11.020>
- Barrera, V., Tapia, C., & Monteros, A. (2004). Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y usos en el ecuador. Perú: INIAP.
- Bello, J. (2000). *Ciencia Bromatológica: principios generales de los alimentos*. Madrid: Diaz de Santos.
- Bokanga, M. (1999). *CASSAVA: Post-harvest Operations*. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture (IITA).

- Booth, R. H. (1976). Storage of Fresh Cassava (*Manihot esculenta*). I. Post-Harvest Deterioration and its Control. *Experimental Agriculture*, 12 (2), 103–111. <http://dx.doi.org/10.1017/S001447970000716X>
- Breuninger, W., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2009). *Tapioca/cassava starch: Production and use*. En J. BeMiller & R. Whistler, *Starch* (3ra ed.). (pp. 541-548). The Netherlands: Academic press.
- Castroni, S., & Schulz, E. (1985). EFECTOS DEL "RAYADO MARRON" DE LA YUCA SOBRE EL RENDIMIENTO Y ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DEL ALMIDON NATIVO. *The Caribbean Food Crops Society*, 106-117.
- Ceballos, H., & De la Cruz, G. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En B. Ospina, & H. Ceballos, *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de produccion, procesamiento, utilización* (pp. 16-31). Cali, Colombia: CIAT.
- Chisenga, S., Workneh, T., Bultosa, G., & Laing, M. (2019). Characterization of physicochemical properties of starches from improved cassava varieties grown in Zambia. *AIMS Agriculture and Food*, 4(4): 939–966. DOI: 10.3934/agrfood.2019.4.939
- Cock, J. (1989). *La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Curiosoando. (2017). *Estructura de la amilosa y amilopectina que forman el almidón [imagen]*. Curiosoando. <https://curiosoando.com/que-es-el-almidon-resistente>
- Domínguez, C. (1981). *Guia de estudio. Morfología de la planta de yuca*. Cali: CIAT.
- Domínguez, C. (1983). *Yuca: investigación, producción y utilización*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Flores, L. (2022). *Nueva variedad de yuca "INTA princesa Tololar" con potencial agroindustrial*. Managua: Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- García, C. y Salmerón, L. (2016). Estudio comparativo de la producción a escala de laboratorio de jarabe de glucosa por medio de la hidrólisis acida de almidón de

yuca y almidón de papa. [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/1929>

González, C. (2022). CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE ALMIDÓN DE RESIDUOS Y ESPECIES VEGETALES PRODUCIDOS EN AMAZONAS – PERÚ. [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3276>

Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Ciencia y tecnología de alimentos , 718 - 726.

Hirose, S., Data, E., Quevedo, M., & Uritani, I. (1984). Relation between Respiration and Post-Harvest Deterioration in Cassava Roots. *Japanese Journal of Crop Science*, 53(2), 187-196.

Huang, J. (2001). *Analysis of post-harvest deterioration in tuberous roots of cassava (Manihot esculenta Gratz)*. <https://edepot.wur.nl/197171>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua (MAGFOR). (2004). *Analisis de estudio de cadena de la yuca de Nicaragua*. Managua: IICA.

INTA NICARAGUA. (2021). Cooperativa que transforma yuca en almidón/Masaya [Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=jWZF-LpNYc4>

Iturbe, F., & Sandoval, J. (2011). Análisis de alimentos fundamentos y técnicas. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Jiménez, E., & Martínez, S. (2016). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE YUCA (Manihot esculentum) VARIEDAD GUAYAPE* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/865>

Kayode et al. (2021). Morphology and physicochemical properties of starch isolated from frozen cassava root. *Food Science and Technology*.147 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111546>

- Mahmod, N., & Beeching, J. (2018). Correlation of scopoletin-induced fluorescence with visible PPD symptoms in greenhouse cassava. *Postharvest Biology and Technology*, 145, 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.05.019>
- Montagnac, J., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Nutritional Value of Cassava for Use as a Staple Food and Recent Advances for Improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(3), 181-194. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>
- Montaldo, A. (1985). *La yuca o mandioca*. San José, Costa Rica: IICA.
- Moorthy, S., George, M., & Padmaja, G. (1993). Functional properties of the starchy flour extracted from cassava on fermentation with a mixed culture inoculum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61(4), 443-447. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610411>
- Muñoz Chilito, A. M. (s.f.). Manual técnico de la yuca . Manual técnico de la yuca. Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias.
- Nielsen, S. (2010). *Food Analysis*. (4ta ed.). USA: Springer.
- Nilsson, L. (2024). Starch in food: structure, function and applications. (3ra ed.). India: Manisha Rana.
- Nuwamanya, E., Baguma, Y., Atwijkire, E., Acheng, S. & Alicai, T. (2015). Effect of cassava brown streak disease (CBSD) on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root storage components, starch quantities and starch quality properties. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*. 7(2). doi.org/10.5897/IJPPB2015.0227
- Osunsami, A., Akingbala, J. & Oguntiemein, I. (1989). Effect of Storage on Starch Content and Modification of Cassava Starch. *Starch - Stärke*, 41, 54-57 doi.org/10.1002/star.19890410205
- Oyeyinka S., et al. (2020). Structural, functional, and pasting properties of starch from refrigerated cassava root. *J Food Process Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14476>

- Pagán, J. (2015). *Almidones: guía de material comparativo moderno del Ecuador para los estudios*. Ciudad autónoma de buenos Aires: ASPHA.
- Parmar, A., Sturm, B., & Hensel, O. (2017). Crops that feed the world: Production and improvement of cassava for food, feed, and industrial uses. *Food Security*, 9(5), 907–927. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0717-8>
- Pushpalatha, R., & Gangadharan, B. (2020). Is Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) a Climate “Smart” Crop? A Review in the Context of Bridging Future Food Demand Gap. *Tropical Plant Biology*, 13(3), 201-211. <https://doi.org/10.1007/s12042-020-09255-2>
- Quinto, D., Huamán, K., Quispe, M., & Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(1), 44-54.
- Rembado, M & Sceni, P (2009). *La química en los alimentos*. (1era. ed). Buenos Aires: Ministerio de Educacion de la Nación.
- Sánchez, T., & Alonso, L. (2002). Conservación y acondicionamiento de las raíces frescas. En B. Ospina, & H. Ceballos, *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 503-526). Colombia: CIAT.
- Siddiqui, S., & Ahmed, N. & Phogat, N. (2022). Potato Starch as Affected by Varieties, Storage Treatments and Conditions of Tubers. IntechOpen. DOI:10.5772/intechopen.101831.
- Suárez , L., & Mederos, V. (2011). Revisión bibliográfica. APUNTES SOBRE EL CULTIVO DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz). TENDENCIAS ACTUALES. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 27-35.
- Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151-165. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>

University of California, Davis Analytical, Davis Analytical Laboratory (2017). Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), method 315. Recuperado de: <https://anlaborders.ucdavis.edu/analysis/Soils/315>

Vargas, P., & Hernandez, D. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampi: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología en marcha*, 39.u

Vela, B. (2020). *Producción industrial de productos de panificación a base de queso* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia]. https://www.researchgate.net/publication/341580718_Produccion_industrial_productos_de_panificacion_a_base_de_queso

Wenham, J. E. (1995). *Post-harvest deterioration of cassava: A biotechnology perspective*. Rome: FAO.

Wheatley, C. (1983). *Guia de estudio. Almacenamiento de raíces frescas de yuca*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Wheatley, C. (1991). *Conservación de raíces de yuca en bolsas de polietileno*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Wurzburg, O. (1986). *Modified starches, properties and uses*. Florida: CRC-Press.

Zhu, F. (2014). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 456–480. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.063>

ANEXOS

Anexo 1. Materia prima.



a. YUCA CUBANA



b. YUCA INTA-TOLALAR

Anexo 2. Estado de las raíces en los tres tiempos de postcosecha estudiados.



0 días



3 días



10 días

a. YUCA INTA-TOLALAR



0 días



3 días



10 días

b. YUCA CUBANA

Anexo 3. Etapas de extracción de almidón.



a. Recepción de materia prima



b. Limpieza



c. Descascarillado



d. Pesaje



e. Rallado



f. Molienda



g. Filtrado de la lechada



h. Sedimentación



i. Filtrado



j. Torta



k. Secado



l. Pulverizado



m. Pesado almidón

Anexo 4. Análisis de color.



Anexo 5. Análisis de humedad.



Anexo 6. Análisis de cenizas.



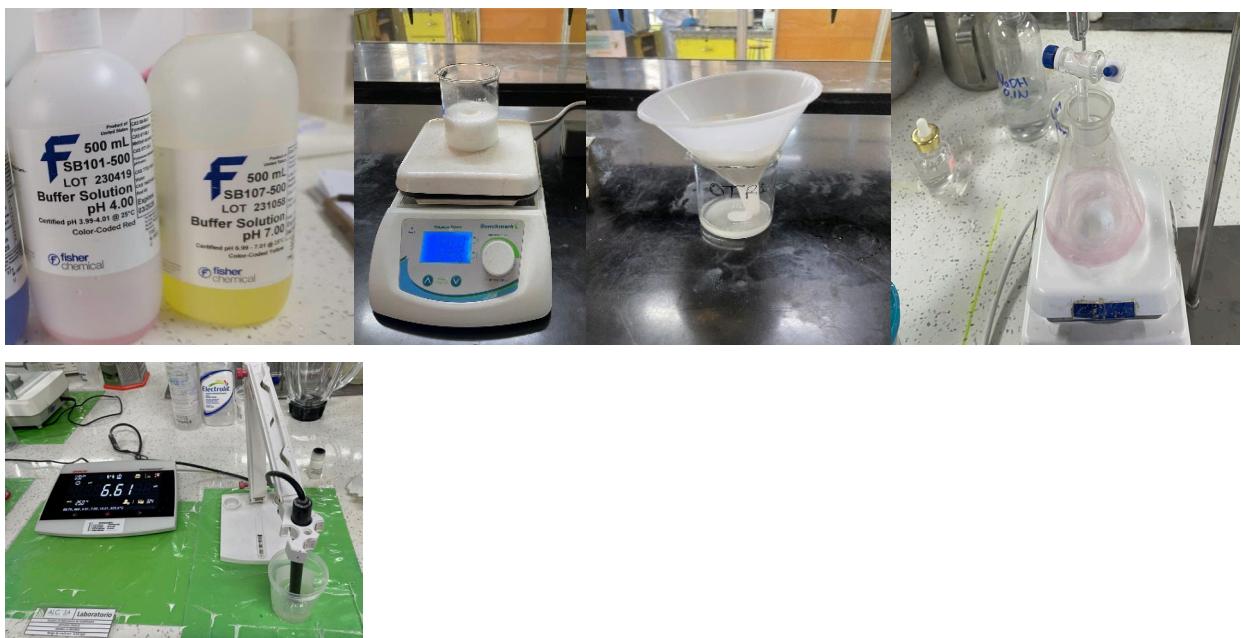
Anexo 7. Análisis de nitrógeno total.



Anexo 8. Análisis de Pulpa.



Anexo 9. pH y acidez titulable.



Anexo 10. Análisis de temperatura de gelatinización.



Anexo 11. Análisis de Índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento.



Anexo 12. Análisis de viscosidad Brabender.

