

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**Propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidón de fuente
convencional (*Zea mays* L., *Manihot esculenta* y *Solanum tuberosum* L.)
y no convencional (*Cucurbita foetidissima* Kunth)**

POR

KARLA RENDÓN BARRANCO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de fuente convencional (*Zea mays* L., *Manihot esculenta* y *Solanum tuberosum* L.) y no convencional (*Cucurbita foetidissima* Kunth)

POR

KARLA RENDÓN BARRANCO

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de fuente convencional (*Zea mays* L., *Manihot esculenta* y *Solanum tuberosum* L.) y no convencional (*Cucurbita foetidissima* Kunth)

T E S I S

Presentada por

KARLA RENDÓN BARRANCO

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

A P R O B A D A

Dr. Francisco Hernández Centeno
Presidente

Dra. María Hernández González
Vocal

Dra. Haydeé Yajaira López De la Peña
Vocal

Dr. Paul Baruk Zamudio Flores
Vocal suplente

M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de fuente convencional (*Zea mays* L., *Manihot esculenta* y *Solanum tuberosum* L.) y no convencional (*Cucurbita foetidissima* Kunth)

T E S I S

Presentada por

KARLA RENDÓN BARRANCO

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

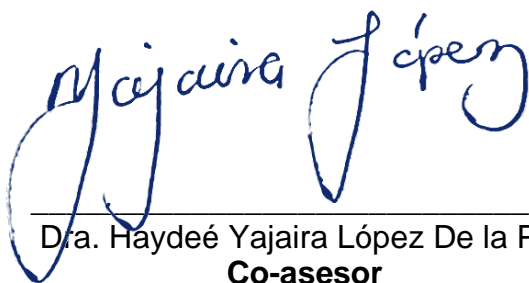
Fue dirigida por el siguiente comité:



Dr. Francisco Hernández Centeno
Asesor principal



Dr. Paul Baruk Zamudio Flores
Asesor principal externo



Dra. Haydeé Yajaira López De la Peña
Co-asesor



Dra. María Hernández González
Co-asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor, quien es responsable directo, declara bajo protesta de decir verdad, que este trabajo es original y que en el mismo no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o el autor original (copado y pegado); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al texto original (autoplagio); comprar, robar o pedir prestados datos o la tesis para presentarla como copia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas y/o utilizar material digital (imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos) sin citar al autor original y/o la fuente.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, siendo consciente de que, en caso de comprobarse plagio en el texto, no respetar los derechos de autor, o realizar edición o modificación intencionales sin declarar las correspondientes referencias, será sancionado(a) por las autoridades competentes.

Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias que pudieran generarse en caso de existir cualquier tipo de plagio.

A T E N T A M E N T E.-



C. KARLA RENDÓN BARRANCO

DEDICATORIAS

A Dios, por bendecir cada uno de mis esfuerzos, regalarme la paciencia y perseverancia necesarias para llegar hasta aquí..

A mi Abue y familia por su amor, sacrificio y por enseñarme a nunca rendirme.

A ti, Johana, por tu amor, paciencia y apoyo constante.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, al Dr. Francisco Hernández Centeno, por su valiosa guía, paciencia y apoyo constante a lo largo de todo este proceso, como de mi vida universitaria. Sus consejos y observaciones fueron fundamentales para el desarrollo este trabajo y como de mi persona.

A mi abue Elvira, por enseñarme el valor del esfuerzo y por ser siempre mi mayor fuente de inspiración. A mi hermana Jessica por su constante apoyo, por estar siempre dispuesta a escucharme y darme el ánimo necesario cuando más lo necesitaba. A mi familia, por su amor incondicional, por comprender mis ausencias y apoyarme durante todo el proceso. Este logro es tan suyo como mío.

A Johana, por ser mi apoyo constante, por su paciencia y por entender que, durante este tiempo, los días y las noches no siempre fueron fáciles. Gracias por tu amor y por ser mi fuente de motivación diaria.

A mis amigos, por su apoyo emocional y por estar siempre disponibles para escuchar mis dudas y preocupaciones. Gracias por su paciencia y por recordarme, en los momentos de estrés, la importancia de mantener el equilibrio.

Agradezco profundamente a la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” por haber sido el espacio donde pude desarrollar mi formación académica y profesional. Gracias a todos por hacer posible este momento.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
CONTENIDO	viii
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
1. INTRODUCCIÓN	13
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. HIPÓTESIS	16
4. OBJETIVOS	17
4.1. General.	17
4.2. Específicos.	17
5. REVISIÓN DE LITERATURA	18
5.1. ¿Qué es el almidón?	18
5.2. Importancia biológica	18
5.2.1. Estructura molecular/composición	18
5.2.1.1. Amilosa	20
5.2.1.2. Amilopectina	21
5.2.2. Tipos de almidón por su estructura cristalina	21
5.2.3. Cromaticidad del almidón	22
5.3. Propiedades funcionales de los almidones	22
5.3.1. Gelatinización	22
5.3.2. Propiedad de solubilidad	23
5.3.3. Propiedad de absorción de agua	24
5.3.4. Poder de hinchamiento	24

5.4.	Aplicaciones industriales de los almidones	25
5.4.1.	Industria alimenticia	25
5.4.2.	Industria no alimenticia	26
5.5.	Fuentes convencionales de almidón	27
5.5.1.	Cereales	27
5.5.2.	Tubérculos	27
5.6.	Fuentes no convencionales de almidón	28
5.7.	La calabacilla loca (<i>Cucubita foetidissima</i> Kunth) como fuente no convencional de almidón.	29
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1.	ETAPA 1: Obtención y purificación de almidón de raíz de calabacilla loca (<i>C. foetidissima</i> Kunth).....	31
6.2.	ETAPA 2: Estudio de propiedades fisicoquímicas.....	32
6.2.1.	Estudio comparativo a partir de la determinación de color CIE L*a*b.....	32
6.2.2.	Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)	32
6.2.3.	Difracción de Rayos X (DRX)	32
6.3.	ETAPA 3: Estudio de propiedades funcionales.....	33
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
7.1.	Obtención de almidón de raíz de calabacilla loca	36
7.2.	Estudio de diferencia de color	37
7.3.	Espectrometría infrarroja (FTIR)	39
7.4.	Difracción de rayos X	40
7.5.	Transparencia del gel.....	43
7.6.	Propiedades funcionales	44
7.6.1.	Índice de solubilidad en agua	44
7.6.3.	Poder de hinchamiento.....	46
7.6.4.	Sinéresis.....	47

7.7. Posibles usos del ARCL.....	49
7.7.1. Industria alimenticia.....	50
7.7.2. Industria no alimenticia.....	50
8. CONCLUSIONES.....	52
9. LITERATURA CITADA	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura y arreglo molecular del almidón en los gránulos.	19
Figura 2. Estructura helicoidal de la amilosa.	20
Figura 3. Estructura de la amilopectina	21
Figura 4. <i>Cucurbita foetidissima</i>	29
Figura 5. Procesamiento y aislamiento de polvo de almidón de las raíces de <i>C. foetidissima</i>	36
Figura 6. Variables cromáticas en espacio CIELab de los almidones.	37
Figura 7. Diferencia de color entre almidones a partir de difractogramas de rayos X..	38
Figura 8. Espectrogramas IR obtenidos para cada tipo de almidón	39
Figura 9. Difractogramas de rayos X de almidones.....	41
Figura 10. Porcentajes calculados de cristalinidad aparente de almidones a partir de difractogramas de rayos X.....	42
Figura 11. Transparencia de los geles de los distintos almidones al paso del tiempo...43	
Figura 12. Índice de solubilidad de los diferentes almidones estudiados.	44
Figura 13. Índice de absorción de agua de los diferentes almidones estudiados.....	45
Figura 14. Valores del poder de hinchamiento de los diferentes almidones estudiados.	46
Figura 15. Comportamiento de la sinéresis para los diferentes almidones estudiados.	47
Figura 16. Sinéresis total a las 216 h para los diferentes almidones estudiados.....	48

RESUMEN

Cucurbita foetidissima Kunth es una especie arvense que prospera en el semidesierto mexicano. En sus raíces alberga una considerable proporción de almidón que podría ser utilizado como una materia prima alternativa a los de fuente convencional. El objetivo fue estudiar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth) (ARCL) respecto a tres almidones de origen convencional: maíz, yuca y papa. La diferencia de color entre almidones resulta de los componentes residuales en el material obtenido de las raíces de calabacilla loca, indicando un almidón de pureza aceptable. La firma química en el espectrograma IR denunció al material como almidón, al ser similar en las bandas encontradas en los almidones convencionales, el difractograma de rayos X indicó un almidón tipo B, correspondiente a los obtenidos de raíces y tubérculos, con un % de cristalinidad aparente menor al de almidón de maíz, pero mayor a los de la yuca y papa. Esto impacta directamente en las propiedades funcionales, dando un gel parecido en transparencia al del almidón de maíz, siendo los de papa y yuca más opacos. El índice de solubilidad en agua del ARCL resultó ser menor que el del maíz, pero mayor a los otros dos evaluados, con una absorción de agua mayor que la del resto de materiales amiláceos y su poder de hinchamiento igualmente superior. Por último, el % de sinéresis resultó mayor (90%) para el ARCL, lo que coloca a este material como no apto para productos que requieran ser congelados. Basados en los resultados obtenidos, el almidón de calabacilla loca podría ser útil en aplicaciones en la industria alimentaria y otras, representando una alternativa interesante frente a los almidones convencionales.

Palabras clave: Almidón, calabacilla loca, propiedades funcionales, amilosa, amilopectina.

1. INTRODUCCIÓN

El almidón es la mayor fuente de hidratos de carbono en la dieta del ser humano y el polisacárido de almacenamiento más abundante en las plantas. Se presenta naturalmente en forma de gránulos en los cloroplastos de hojas verdes y amiloplastos de semillas, legumbres y tubérculos. A nivel molecular, el almidón nativo está formado por dos componentes distintos, amilosa y amilopectina, que se pueden aislar por fraccionamiento y ser estudiados de forma independiente. (Villarreal, Gómez, Vera, & Torres, 2018)

Las fuentes principales de obtención de almidones son los cereales, raíces, tubérculos y leguminosas. En nuestro país los almidones más utilizados son de maíz, papa, yuca y arroz; sin embargo, existe otras fuentes menos conocidas (Araujo de Vizcarrondo, Rincón, & Padilla, 2004)

La alta demanda de los almidones comerciales obtenidos de cereales, tubérculos y algunas leguminosas en la industria alimentaria y no alimentaria, plantea la necesidad de buscar nuevas fuentes de almidones (Torres Gallo, Chávez Salazar, & Castellanos Galeano, 2023).

La especie *Cucurbita foetidissima* Kunth, es una planta herbácea esencialmente rastrera, perenne, por lo general despidiendo un fuerte olor; raíces principales engrosadas, tuberosas, fusiformes, napiformes o claviformes, frecuentemente alcanzando grandes dimensiones (hasta 2 m de profundidad y 25 cm de diámetro. La planta se emplea como medicinal, los frutos como sustituto de jabón, mientras que las semillas son comestibles. Esta es una de las especies silvestres que ha sido más estudiada, se sabe que sus semillas pueden contener 30.4 % de aceites y hasta 35.4 % de proteínas, mientras que

en sus raíces se han encontrado hasta 52 % de almidones (Saade, R, & Rodríguez Arévalo, 2006).

Por lo tanto, el propósito de este estudio es describir las propiedades funcionales del almidón de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth) y su posible uso como materia prima en la industria alimenticia y no alimenticia, comparándolo con almidón comercial de maíz (*Z. mays* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y de papa (*Solanum tuberosum* L.).

2. JUSTIFICACIÓN

Como se sabe el almidón tiene muchas aplicaciones tanto a nivel alimentario como también su aplicación en el área textil y farmacéuticos por mencionar algunos, las principales fuentes de obtención de este, es por medio de alimentos de consumo básico para el ser humano (maíz, papa, yuca, arroz, etc.), la alta demanda de estos productos puede llegar a perjudicar en algún punto el mercado de este, ya que no se contara con la cantidad necesaria de producción, para satisfacer las necesidades de consumo humano como de sus otras aplicaciones.

Por ello se están realizando nuevas investigaciones para poder obtener almidón de fuentes no convencionales, a lo largo de los años se han realizado estudios con diferentes frutos, raíces y tubérculos que cuentan con características similares a las fuentes normales para la obtención de este, una de las alternativas es estudiar el comportamiento de especies que se encuentran en una región, que cuenta con una alta producción y de ella se pueda obtener una fuente de almidón que con el paso del tiempo esta pueda ayudar a satisfacer las necesidades del mercado para uso alimentario.

La *Cucurbita foetidissima* Kunth también conocida como calabacilla loca, es una de las especies alternativas que se estudian actualmente como nueva fuente de obtención de almidón, ya que esta llega a contener un gran porcentaje de este almacenado en su raíz, aparte de que es una especie de gran producción de varios estados de la República Mexicana como en los Estados Unidos, teniendo en cuenta que se puede obtener en cualquier época del año.

3. HIPÓTESIS

H₀: El almidón de raíz de calabacilla loca posee características fisicoquímicas y propiedades funcionales similares al del almidón comercial de maíz, yuca y de papa.

H_a: Las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de raíz de calabacilla loca son diferentes a las del almidón comercial de maíz, yuca y de papa.

4. OBJETIVOS

4.1. General.

Describir las propiedades funcionales del almidón de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth) y su posible uso como materia prima en la industria alimenticia y no alimenticia, comparándolo con almidón comercial de maíz (*Z. mays* L.), de yuca (*Manihot esculenta*) y de papa (*Solanum tuberosum* L.).

4.2. Específicos.

4.2.1. Obtener y purificar almidón nativo aislado de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth) (ARCL).

4.2.2. Caracterizar al ARCL purificado a través de estudio de diferencia de color, espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y de difracción de rayos X (DRX) y realizar comparativo con almidón de maíz (*Z. mays* L.), yuca (*M. esculenta*) y de papa (*S. tuberosum* L.).

4.2.3. Determinar propiedades funcionales de los almidones:

- a) Transparencia/opacidad.
- b) Índice de solubilidad.
- c) Índice de absorción de agua.
- d) Poder de hinchamiento.
- e) Sinéresis.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. ¿Qué es el almidón?

El almidón es un polisacárido complejo, que se almacena en forma de gránulos, que difieren entre sí en el tamaño, composición química y características físicas, dependiendo de la fuente de la que provienen (Arias Jara, 2019). Es una estructura semicristalina compleja y altamente organizada, compuesta por polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina (Avellán, Díaz, & Mendoza, 2019). La influencia de este último constituyente es importante ya que cuanto mayor es el contenido de amilopectina el producto resulta más adhesivo, característica que se aprovecha extensamente como agente espesante, estabilizante y adhesivo tanto en la industria alimentaria como en otras industrias (M & R , 2007).

5.2. Importancia biológica

5.2.1. Estructura molecular/composición

Estructuralmente el almidón es un poliglicano (polímero de unidades de D-glucosa), compuesto por una mezcla de polisacáridos conformada por amilosa (20%), amilopectina (80%), y una fracción minoritaria (de 1% a 2%) de conformación no glucosídica como lípidos y minerales, aunque esto depende de su origen botánico (León Méndez, León Méndez, Monro Arellano, De La Espriella Angarita, & Herrera Barros , 2020). En la Figura 1 se muestra la estructura del almidón y su disposición en el gránulo.

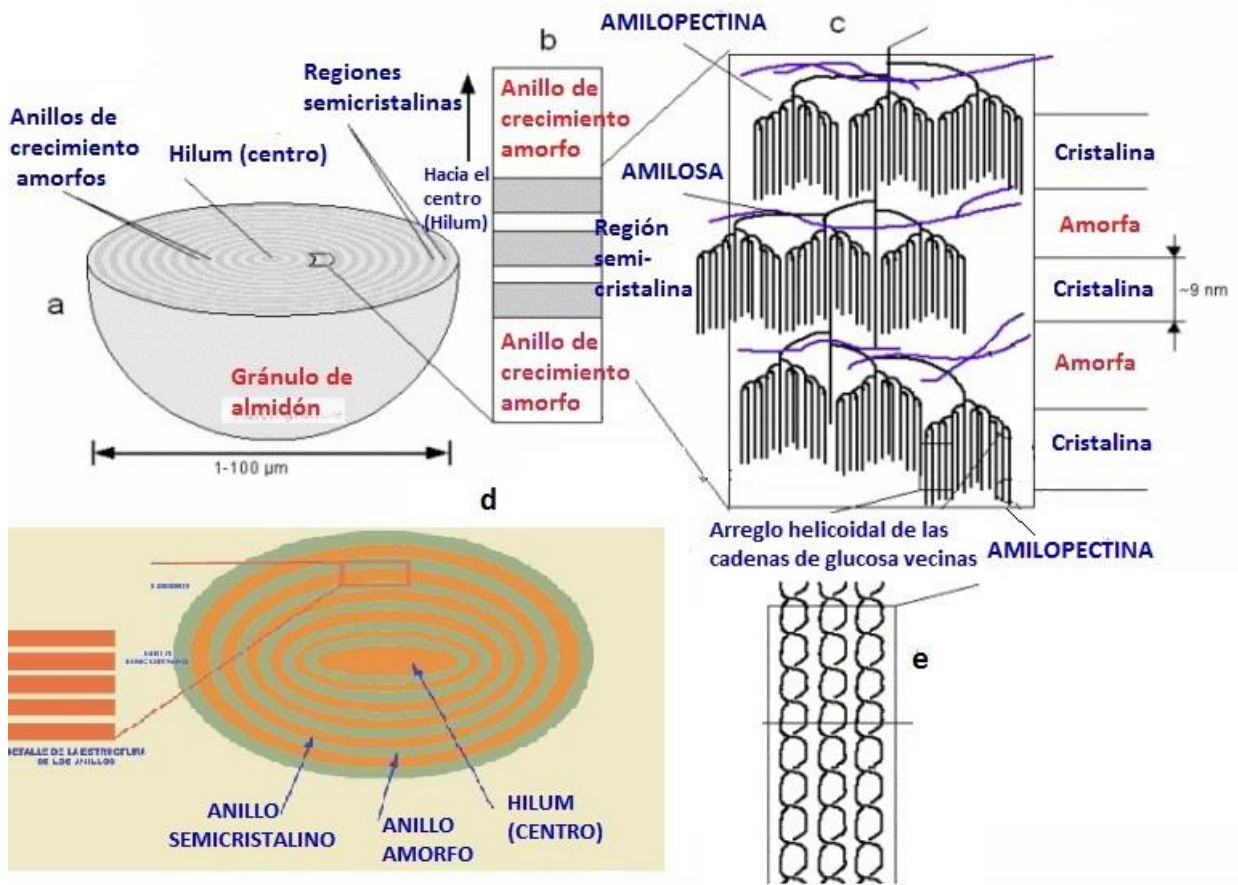


Figura 1. Estructura y arreglo molecular del almidón en los gránulos. (Fuente: <https://www.edualimentaria.com/hidratos-de-carbono-caracteristicas-propiedades/parte1>)

El gránulo de almidón comprende dos polisacáridos, amilosa y amilopectina, organizados en anillos de capas alternas amorfas y cristalinas (Martínez García, Pink, Bayarjagal, Winker, & Juárez-Arellano, 24).

La proporción de amilosa y amilopectina afecta las propiedades funcionales del almidón. Por lo tanto, basándose en las diferentes propiedades funcionales, el almidón puede actuar como estabilizador, emulsionante y espesante en la industria alimentaria (Zhang y col. 2024).

5.2.1.1. Amilosa

Es un polímero lineal formado por cadenas de glucosas unidas por enlaces α -1,4, que constituyen el 20-30% del gránulo de almidón en los órganos de almacenamiento y 4-20% en los gránulos provenientes de las hojas. Su peso molecular se encuentra en el orden de 10^5 - 10^6 . La localización exacta de la amilosa en el gránulo no ha sido determinada de manera concluyente, pero se ha sugerido que se encuentra principalmente en la región menos cristalina, la parte amorfa (Bernal , 2006).

La amilosa tiene una estructura helicoidal, en el interior de la hélice, contiene átomos de hidrógeno, mientras que los grupos hidroxilos permanecen en el exterior. La presencia de átomos de hidrógeno en el interior de la hélice confiere una característica hidrófoba a la amilosa y le permite formar complejos con ácidos grasos libres, con componentes glicéridos de ácidos grasos, yodo y algunos alcoholes (León Méndez, León Méndez, Monro Arellano, De La Espriella Angarita, & Herrera Barros , 2020). En la figura 2 se puede observar la estructura helicoidal de la amilosa.

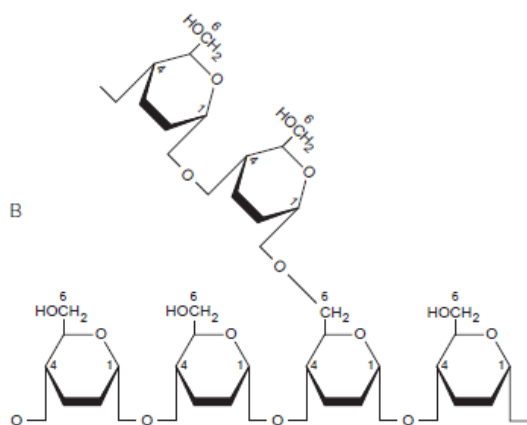


Figura 2. Estructura helicoidal de la amilosa. (Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-a-estructura-de-la-amilosa-b-estructura-de-la-amilopectina_fig1_332007658)

5.2.1.2. Amilopectina

En la figura 3 se muestra la amilopectina que es un polisacárido semicristalino, altamente ramificado, con un esqueleto de enlaces α -1,4 y 4-5% de puntos de ramificación α -1. La amilopectina es una molécula de mayor tamaño que la amilosa y su peso molecular se encuentra entre 10^7 - 10^8 . El peso molecular y el grado de ramificación de la amilopectina varía ampliamente y esta variedad estructural contribuye a las diferencias en las propiedades químicas y físicas del almidón proveniente de diferentes fuentes (Bernal, 2006).

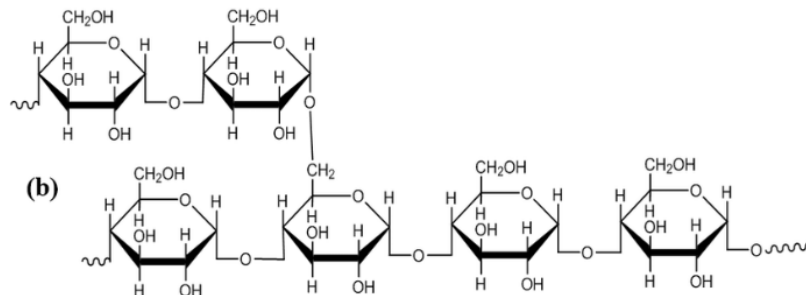


Figura 3. Estructura de la amilopectina. (Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-N-8-Estructura-del-almidon-A-Amilosa-que-muestra-estructura-en-espiral_fig1_334264280)

5.2.2. Tipos de almidón por su estructura cristalina

Los gránulos de almidón consisten en anillos concéntricos donde se encuentran regiones cristalinas y amorfas. La región cristalina está formada por cadenas de racimos de la amilopectina, mientras que la región amorfa está constituida por puntos ramificados de amilopectina y amilosa (Marín, 2016).

Los almidones nativos son parcialmente cristalinos (15-45 %) y presentan diferentes tipos de estructuras cristalinas: A (cereales), B (tubérculos y almidones ricos en amilosa) y C (legumbres y algunos tubérculos tropicales), los tipos A y B son modificaciones cristalinas

reales y el tipo C es una mezcla de ambas. El tipo de estructura cristalina depende en parte de la longitud de las cadenas que forman la estructura de la amilopectina, la densidad de empaque dentro del gránulo y la presencia de agua. Los almidones tipo B (redes hexagonales) retienen más agua que los almidones tipo A (redes monoclinicas) (Quiroga Ledezma, 2008).

5.2.3. Cromaticidad del almidón

Según Santana *y cols.* (2013), el color es una de las principales características de los alimentos y la principal característica perceptible por el consumidor. El color de los almidones puede variar debido a la presencia de otros componentes residuales durante el proceso de producción, y que pueden ser propios de las partes de las plantas utilizadas para su obtención, tales como restos de fibras, lípidos y/o proteínas, así como pigmentos solubles que pueden ser arrastrados aún después del proceso de purificación (Hernández-Centeno, *et al.*, 2020).

5.3. Propiedades funcionales de los almidones

5.3.1. Gelatinización

El almidón en presencia de agua y con el suministro adecuado de energía sufre un proceso de gelatinización en el cual se rompe su estructura cristalina pasando de gránulos insolubles hasta la obtención de una solución de sus moléculas, originando pastas viscosas. Las moléculas de amilosa durante este proceso se difunden en el agua formando un gel, mientras que la amilopectina pierde su orden cristalino (Salgado Ordosgoitia, Paternina Contreras, Cohen Manrique, & Rodríguez Manrique, 2019). La gelatinización es quizá la transición más importante del almidón. Es una transición de orden/desorden que sufren los polímeros de almidón sometidos a procesos de

calentamiento lo cual tiene gran impacto en el procesamiento, calidad y estabilidad de los productos basados en almidón.

Durante la gelatinización ocurren cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y disrupción del gránulo con una consecuente pérdida de cristalinidad. Los cambios que ocurren en la transición están influenciados por factores intrínsecos como tipo de almidón, tamaño de los gránulos, etcétera, y por factores extrínsecos, como la velocidad de calentamiento, el contenido de humedad, el daño mecánico de los gránulos, la historia térmica de la muestra y las condiciones de extracción del almidón, entre otras. Para la transición se requiere un porcentaje de agua mayor al 30% y una temperatura entre 60 y 75°C, valor que depende de la fuente de origen del almidón. Durante el proceso, las moléculas de almidón vibran rompiendo los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas de los gránulos, lo que provoca el hinchamiento por una absorción progresiva e irreversible de agua que finalmente se liga a la estructura. Se estima que un gránulo gelatinizado ha perdido tanto orden de corto alcance (a nivel molecular) como de largo alcance (cristalinidad). La evaluación de los cambios en la microestructura de los almidones durante la gelatinización se realiza mediante distintas técnicas que tratan de estimar el orden interno de los gránulos (Pineda Gómez, Coral, Arciniegas, Rorales Rivera, & Rodríguez García, 2010).

5.3.2. Propiedad de solubilidad

El índice de solubilidad en agua es una medida de la cantidad de amilosa que es liberada del interior del gránulo cuando el mismo comienza a perder su estructura por efecto de la absorción de agua (Meaño Correa , Ciarfella Pérez, & Dorta Villegas, 2014).

Investigadores plantearon la posibilidad de que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución; esto, desde luego, incide en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua y en la estabilidad de la viscosidad (Torres Rapelo, Montero Castillo, & Duran Lengua, 2013).

5.3.3. Propiedad de absorción de agua

Al aumentar la concentración de almidón en la solución aumenta la capacidad de absorción de agua por tanto se hincha el gránulo provocando un aumento en la viscosidad (Pérez Navarro, Ley Chong, González Suarez, & Valdés Valmaseda, 2017). Las diferencias en el IAA de almidones pueden estar relacionada con la fuente biológica, con el tamaño y la forma del gránulo (Alvis, Vélez, Villada, & Rada Mendoza, 2008).

5.3.4. Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento es una medida del aumento en masa del almidón, no solubilizado, como consecuencia de la absorción de agua por los grupos hidroxilo de los polímeros de amilosa y amilopectina (Meaño Correa , Ciarfella Pérez, & Dorta Villegas, 2014).

El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón en las células es a menudo un factor que incide en la ruptura de éstas, dicho parámetro permite observar el incremento del tamaño de gránulo por efecto de la expansión relacionándose con la capacidad de absorción de agua de cada gránulo (Robles Oñate , 2012).

Cuando estos gránulos son calentados progresivamente en agua a temperaturas más altas, se alcanza un punto donde comienza a hincharse irreversiblemente. Al hincharse estos gránulos de almidón aumentan la viscosidad de la pasta, permitiendo saber el poder de espesamiento de este compuesto (Prieto Méndez, y otros, 2009)

5.4. Aplicaciones industriales de los almidones

5.4.1. Industria alimenticia

El almidón es el carbohidrato de mayor importancia desde el punto de vista alimenticio después de la glucosa y otros azúcares. Por la amplia gama de posibilidades que ofrecen los almidones en los productos alimenticios modernos, se han convertido desde hace varios años en objeto de amplia investigación científica en el mundo. Los almidones se utilizan en la industria alimentaria para fabricar productos de panadería, postres, pudines, rellenos de tortas, bizcochos, caramelos, gomas dulces, chicles, etc. (S. Villada, A. Acosta, & J. Velasco, 2008).

El almidón también se utiliza en la industria de bebidas alcohólicas y como materia prima en la producción de bioetanol para energía limpia (Lichun Huang, Hongyan Tan , Changquan Zhang , & Li Qianfeng , 2021).

Es importante señalar que los almidones, suelen utilizarse para la elaboración de un amplio grupo de productos de repostería, como es el caso de la fabricación de galletas, panes, pudines, tortas entre otros. El papel de los almidones en estos productos figura fundamentalmente como estabilizante, emulsificante, espesante y adhesivo, con lo cual, se contribuye al mejoramiento de las propiedades texturales, por nombrar algunas funciones (Salgado Ordosgoitia, Paternina Contreras, Cohen Manrique, & Rodríguez Manrique, 2019).

5.4.2. Industria no alimenticia

El almidón es uno de los biopolímeros naturales más utilizados en la industria cosmética, debido a que es un producto amigable con el ambiente, abundante y de bajo costo. Sin embargo, su estructura debe ser modificada para un mayor aprovechamiento de sus características físicas, químicas y mecánicas. En la industria cosmética, existe gran variedad de agentes emulsificantes, pero pocos de estos productos tienen como característica adicional: humectar, suavizar, hidratar y relajar la piel; como es el caso del almidón (León Méndez, León Méndez, Monro Arellano, De La Espriella Angarita, & Herrera Barros , 2020).

En la industria textil, el almidón es un material importante para el encolado de urdimbre, la pasta de impresión y la pasta de impresión de seda. El almidón bajo en amilosa o sin amilosa es muy pegajoso y es un adhesivo industrial ideal. El almidón con una estructura molecular similar a la de la celulosa en la fibra para fabricar papel también se usa ampliamente en la industria papelera para mejorar la resistencia, rigidez, suavidad, brillo y blancura del papel. El plástico biodegradable a base de almidón se considera un reemplazo ideal para los plásticos tradicionales en los envases, también tiene un potencial notable para la preparación de nanofibras utilizando el proceso de electrohilado. Las nanofibras de almidón electrohiladas tienen aplicaciones en la administración de fármacos, la ingeniería de tejidos y la fabricación de apósitos para heridas, y se espera que su continuo desarrollo y aplicaciones expandan aún más el uso y el valor comercial del almidón (Lichun Huang, Hongyan Tan , Changquan Zhang , & Li Qianfeng , 2021).

5.5. Fuentes convencionales de almidón

5.5.1. Cereales

Los cereales son fuentes dietéticas importantes de nutrición y calorías para los seres humanos, en particular en las naciones de bajos ingresos. Además de ser una fuente de calorías. (Xueling Zheng, Qingfa Wang, Limin Li a, Chong Liu una, & Xiaoyan Ma, 2024).

El endospermo de los cereales (por ejemplo, arroz, maíz, trigo y cebada) es el sitio más importante para la síntesis de almidón de almacenamiento, los granos de cereales también son ingredientes cruciales para los alimentos para animales.

El almidón de los endospermos de cereales se utiliza principalmente como alimento, proporcionando alrededor del 50% de la energía diaria que necesita el cuerpo humano. Las preferencias de los consumidores y los hábitos alimentarios en diferentes regiones del mundo dan lugar a diversas necesidades de alimentos ricos en almidón y requieren almidones de cereales con diversas propiedades fisicoquímicas (Lichun Huang, Hongyan Tan , Changquan Zhang , & Li Qianfeng , 2021).

5.5.2. Tubérculos

El almidón se produce a partir de raíces y tubérculos, se produce en mayores cantidades que los cereales. Los cultivos de raíces y tubérculos desempeñan funciones multipropósito en el sistema alimentario mundial como fuente de almidón, cultivo de seguridad alimentaria, fuente de ingresos en efectivo, materia prima para piensos y productos procesados, y como componentes clave en el desarrollo de agroempresas en pequeña escala (Aseguramiento Dereje, 2021).

Los cultivos de tubérculos se encuentran ampliamente distribuidos en el planeta, de los cuales cinco especies proporcionan casi un 99% de la producción mundial, estas son;

papa (*Solanum tuberosum*, 46%), yuca (*Manihot esculenta*, 28%), papa dulce (*Ipomea batatas*, 18%), ñame (*Dioscorea* spp. 6%) (Guízar Miranda, Montañéz Soto, & García Ruiz, 2008).

5.6. Fuentes no convencionales de almidón

La alta demanda de los almidones comerciales (almidones convencionales, obtenidos de maíz, trigo, arroz, papa y yuca), que dominan los mercados actuales, con altas incidencias en los costes y la sostenibilidad medioambiental, en toda la cadena de producción y distribución agroindustrial, ha despertado un creciente interés en las investigación de almidones de fuentes no convencionales (almidones no comerciales, como por ejemplo los provenientes de frutas) los cuales están además relacionado con la producción sostenible, el uso de subproductos, su disponibilidad regional, la importancia cultural y social de las fuentes de almidón, así como las posibles ventajas tecnológicas sobre los almidones comerciales (Torres Gallo, Chávez Salazar, & Castellanos Galeano, 2023).

Los carbohidratos simples (glucosa, fructosa, sacarosa, etc.) son muy escasos. Se buscan fuentes alternas para aislar el almidón por dos razones: 1) satisfacer la demanda de las industrias que emplean el almidón como materia prima o ingrediente; 2) buscar almidones con propiedades funcionales diferentes o mejores a lo convencional (Bello Pérez, González Soto, Sánchez Rivero, Gutiérrez Meraz, & Vargas Torres, 2006).

Esto plantea la necesidad de conocer el estado y evolución de las metodologías, técnicas, y tecnologías que puedan potenciar la utilización de almidones no convencionales como material pared en aplicaciones tecnológicas como la microencapsulación de compuestos bioactivos, sabores, colores entre otros, y como ingredientes en el desarrollo de nuevos

productos con propiedades novedosas en la agroindustria, como alternativa para suplir la alta demanda de almidones comerciales (Torres Gallo, Chávez Salazar, & Castellanos Galeano, 2023).

5.7. La calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* Kunth) como fuente no convencional de almidón.

La especie *Cucurbita foetidissima* (figura 4), es originaria de praderas y desiertos en el suroeste de los Estados Unidos y el norte de México. En México, se distribuye en Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Veracruz y Zacatecas. (Rangel Guerrero, Flores Benítez, Cadena Iñiguez , Morales Flores, & Trejo Téllez, 2018).



Figura 4. *Cucurbita foetidissima*. (Fuente: https://www.picturethisai.com/es/wiki/Cucurbita_foetidissima.html)

Cucurbita foetidissima es una planta herbácea conocida comúnmente como calabaza de búfalo, fétida, apestosa, silvestre, de coyote, de Missouri o de pradera, además de

“calabacilla de burro” y “chilicote”. Sus raíces, frutos y/o semillas se emplean diversamente para el tratamiento de erupciones, inflamaciones, afecciones estomacales, parásitos intestinales, infecciones del tracto urinario y reumatismo, entre otros. También se consumen como papilla o bebida, y pueden utilizarse para lavar la lana de cordero antes de la pigmentación (Mejía Morales, y otros, 2019).

Sin embargo, existen otras especies silvestres que registran algunos nuevos productos de caracterización morfo-bioquímica, como el caso de la *Cucubita foetidissima* Kunth, la cual es una especie distribuida en las áreas rurales de la naturaleza tuberosa y se considera una verdadera planta xerófila, conocida coloquialmente como Calabacilla loca (Rangel Guerrero, Flores Benítez, Cadena Iñiguez , Morales Flores, & Trejo Téllez, 2018). Su importancia económica radica en que sus semillas pueden contener 30.4 % de aceites y hasta 35.4 % de proteínas, mientras que en sus raíces se han encontrado hasta 52 % de almidones, los cuales se convierten en una opción variable con fines alimenticios (Saade, R, & Rodríguez Arévalo, 2006).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se planteó con un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos: almidón comercial de maíz (*Z. mays* L.), de la marca Maizena®, almidón de yuca (*M. esculenta*) y de papa (*S. tuberosum* L.), de la marca JR Foods®, y almidón de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth), obtenido en laboratorio, y tres repeticiones por tratamiento. El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando un análisis ANOVA de una sola vía y las pruebas de diferencias de medias se realizaron según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se utilizó para ello el software estadístico JMP™ versión 5.0.1.

El estudio se dividió en las etapas que a continuación se describen:

6.1. ETAPA 1: Obtención y purificación de almidón de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* Kunth)

Este proceso se realizó en el laboratorio de inocuidad y empaques del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UAAAN a partir de raíces recolectadas de predios baldíos del mismo campus, donde se localizó la especie. Las coordenadas geográficas del Campus Buenavista de la UAAAN son: 25° 2" N y 101° 02" O, a una altura de 1,742 msnm.

El aislamiento comercial de almidón incluye operaciones como la reducción de partícula, separación de fibras, suspensión en agua, centrifugación, purificación, deshidratación y secado (Chierigato Maniglia & Tapia Blácido, 2016). La extracción y aislamiento del almidón se realizó de acuerdo con la metodología reportada por (Amador Llanas, 2018), hasta la obtención de un polvo fino de color blanquecino con las características del almidón. Este producto se conservó en bolsa de cierre hermético y se almacenó en un lugar fresco y seco para utilizarlo en posteriores análisis.

6.2. ETAPA 2: Estudio de propiedades fisicoquímicas

6.2.1. Estudio comparativo a partir de la determinación de color CIE L*a*b

Para este estudio, se utilizó un colorímetro Konica-Minolta modelo CR-300 (Konica Minolta Holding, Inc., Tokyo, Japan), disponible en el laboratorio de procesamiento y conservación de alimentos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Se tomaron 5 lecturas en puntos aleatorios para cada almidón (maíz, papa y calabacilla loca). El equipo se calibró previamente con el estándar blanco y los resultados se reportaron en escala CIE L* a* b* (Hunter, 1958)

6.2.2. Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

Este estudio se realizó con la finalidad de determinar la estructura química de cada uno de los almidones, para ello se usó un espectrómetro FTIR-ATR de diamante Perkin Elmer modelo SPECTRUM TWO (Perkin Elmer Inc., Waltham, USA) y de acuerdo con la metodología reportada por (Mano, Koniarova, & Reyes , 2003).

6.2.3. Difracción de Rayos X (DRX)

Este estudio se realizó con la finalidad de determinar la estructura cristalina de cada uno de los almidones, la cual está relacionada con las proporciones de amilosa y amilopectina en sus gránulos. Los difractogramas para las 3 muestras se obtuvieron según lo reportado por (Tirado Gallegos, y otros, 2016) con modificaciones, en un difractómetro de rayos X modelo PANalytical Empyrean (Malvern PANalytical Inc., Malvern, Reino Unido), con radiación $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$) en el rango de $2\theta = 10\text{--}80^\circ$ a una velocidad de exploración de $0.02^\circ / \text{s}$, y 40 kV y 30 mA, a temperatura ambiente.

El porcentaje de cristalinidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de cristalinidad} = (\text{área cristalina} / \text{área total}) \times 100$$

Los picos de los difractogramas se integraron con el software Origin-Pro® 8.0 (Origin Lab Co., Massachusetts, EE. UU.), tomando el intervalo de 2θ en donde los materiales presentaron los picos principales.

6.3. ETAPA 3: Estudio de propiedades funcionales

Transparencia del gel

Esta determinación se realizó por triplicado utilizando la metodología referida por Muñiz-Acuña y cols. (2023). Se depositó en un tubo de ensaye 1 g de almidón y 9 mL de agua destilada, se llevó a cabo la gelificación en baño María a temperatura de ebullición. Se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente y se leyó la transmitancia cada 20 minutos hasta los 120 minutos a 650 nm en un espectrofotómetro UV/Vis Labomed®, utilizando agua destilada como blanco. Los resultados se expresaron en % de transmitancia.

Conocer las propiedades funcionales de los almidones ayudaría a prospectar las posibles diferentes aplicaciones de estos, tanto en la industria alimenticia como en la no alimenticia. Los índices de solubilidad (ISA), de absorción de agua (IAA) y el poder de hinchamiento (PHi) de los tres almidones se determinaron según lo referido por (Munive Ledesma, 2009) ,con modificaciones.

Se prepararon suspensiones en 15 mL de agua destilada para cada almidón, utilizando 2.5 g de cada uno, y por triplicado. Posteriormente, las suspensiones se incubaron a 30 °C durante 30 min; luego se llevaron a centrifugación a 5000 rpm por 20 min y se separó

el sobrenadante, del cual se transfirieron 5 mL en tubos de ensayo de vidrio previamente puestos a peso constante, con ayuda de una micropipeta de 1000 µL y se sometieron a 130 °C durante 1 h en una estufa de secado.

Utilizando una balanza analítica, se determinó el peso de los geles después de la centrifugación y decantado del sobrenadante, y el peso de los solubles luego del secado en estufa.

Los índices de las propiedades funcionales determinadas se calcularon de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

Determinación de índice de solubilidad

$$IAA = \frac{\text{peso_del_gel_}(g)}{\text{peso_de_la_muestra_}(g)}$$

Determinación de índice de absorción de agua

$$ISA = \frac{\text{peso_de_solubles_}(g)}{\text{peso_de_la_muestra_}(g)} * 100$$

Determinación de poder de hinchamiento

$$PHI = \frac{\text{peso_del_gel_}(g)}{\text{peso_de_la_muestra_}(g) - \text{peso_de_solubles_}(g)}$$

Sinéresis

Para esta determinación se realizaron 3 repeticiones de cada tratamiento, gelatinizando el almidón en agua a 85 °C por 15 minutos para luego enfriar a temperatura ambiente. Se sometió a congelación (-18 °C) a los geles obtenidos por 24 h, posterior a ello, se

descongelaron los geles a temperatura ambiente por 2 h, se centrifugaron y se descartó el sobrenadante, registrando el peso del gel residual y se calculó el % de sinéresis por regla de 3 simple. Esta operación se llevó a cabo cada 24 h por un periodo de 9 días (Vargas, Martínez, & Velezmoro, 2016) y (Sulbarán, Matiz, & Baena, 2018).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Obtención de almidón de raíz de calabacilla loca

Derivado del procesamiento en el laboratorio de las raíces frescas de *C. foetidissima* recolectadas, se obtuvo un polvo blanco con las características del almidón, el cual se muestra en la Figura 5. Se obtuvo un rendimiento de 2.6% de almidón aislado a partir de una muestra compuesta por raíces recolectadas en diferentes sitios del campus.



Figura 5. Procesamiento y aislamiento de polvo de almidón de las raíces de *C. foetidissima*. (Fotografías obtenidas por los autores).

Según (Hernández Centeno, y otros, 2020), las raíces de calabacilla loca poseen 52% de almidón, aunque (Rivera Andrade, Hernández Centeno, Hernández González, & López De la Peña, 2017) reportan que dicho rendimiento varía en las diferentes estaciones del año debido a los procesos metabólicos de la planta en cada estación, siendo en verano

cuando se puede presentar una mayor proporción de almidón en las raíces de *C. foetidissima*, por lo que el mejor momento para su recolección o cosecha sería en los meses de agosto a octubre. .

7.2. Estudio de diferencia de color

Referente al estudio de variables cromáticas entre los distintos tipos de almidón, la diferencia en luminosidad (L^*) y coordenadas de color a^* y b^* de cada uno se muestran en la figura 6.

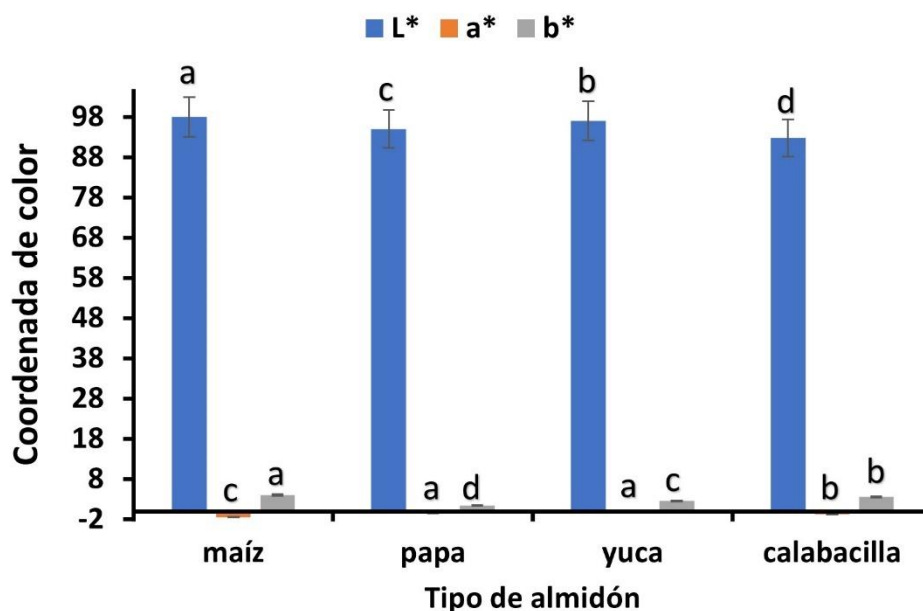


Figura 6. Variables cromáticas en espacio CIELab de los almidones utilizados en este estudio. Diferente letra en cada barra alude a una diferencia significativa entre los tipos de almidón de cada fuente para cada una de las variables, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Fuente: elaboración propia).

De acuerdo con (Martínez, Peña, Gómez, Vargas, & Velezmoro, 2019). El color blanco es una propiedad física primordial de los almidones y en muchas aplicaciones industriales esta característica es muy significativa, como parámetro de calidad; en general, se busca que los almidones puedan ser utilizados en las formulaciones de productos sin

impartir un color adverso. La diferencia de luminosidad entre cada tipo de almidón podría deberse a la técnica de extracción según lo reportado por (Chieragato Maniglia & Tapia Blácido, 2015).

Por otro lado, la diferencia de color entre estos materiales (Fig. 6 y 7) reafirma lo descrito anteriormente, pues dentro de la matriz de cada uno de los materiales utilizados podrían existir componentes que dan como resultado una diferencia sutil, aunque identificable, en su coloración. Ejemplo de dichos componentes podrían ser que son susceptibles a sufrir reacciones de oscurecimiento enzimático, las cuales ocurren al cortar o pelar, exponiendo las enzimas como la polifenoloxidasa, a la presencia del oxígeno, esto desencadena las reacciones de oscurecimiento enzimático (Zamudio Flores, Vargas Torres, Gutiérrez Meraz, & Bello Pérez, 2010).

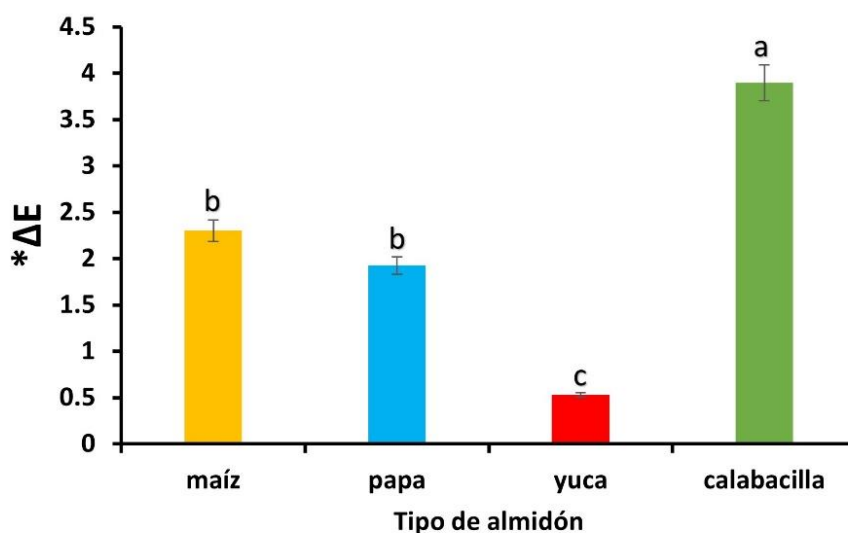


Figura 7. Diferencia de color entre almidones de raíz de calabacilla, maíz, yuca y papa a partir de difractogramas de rayos X. Letras diferentes indican diferencia significativa entre muestras, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

7.3. Espectrometría infrarroja (FTIR)

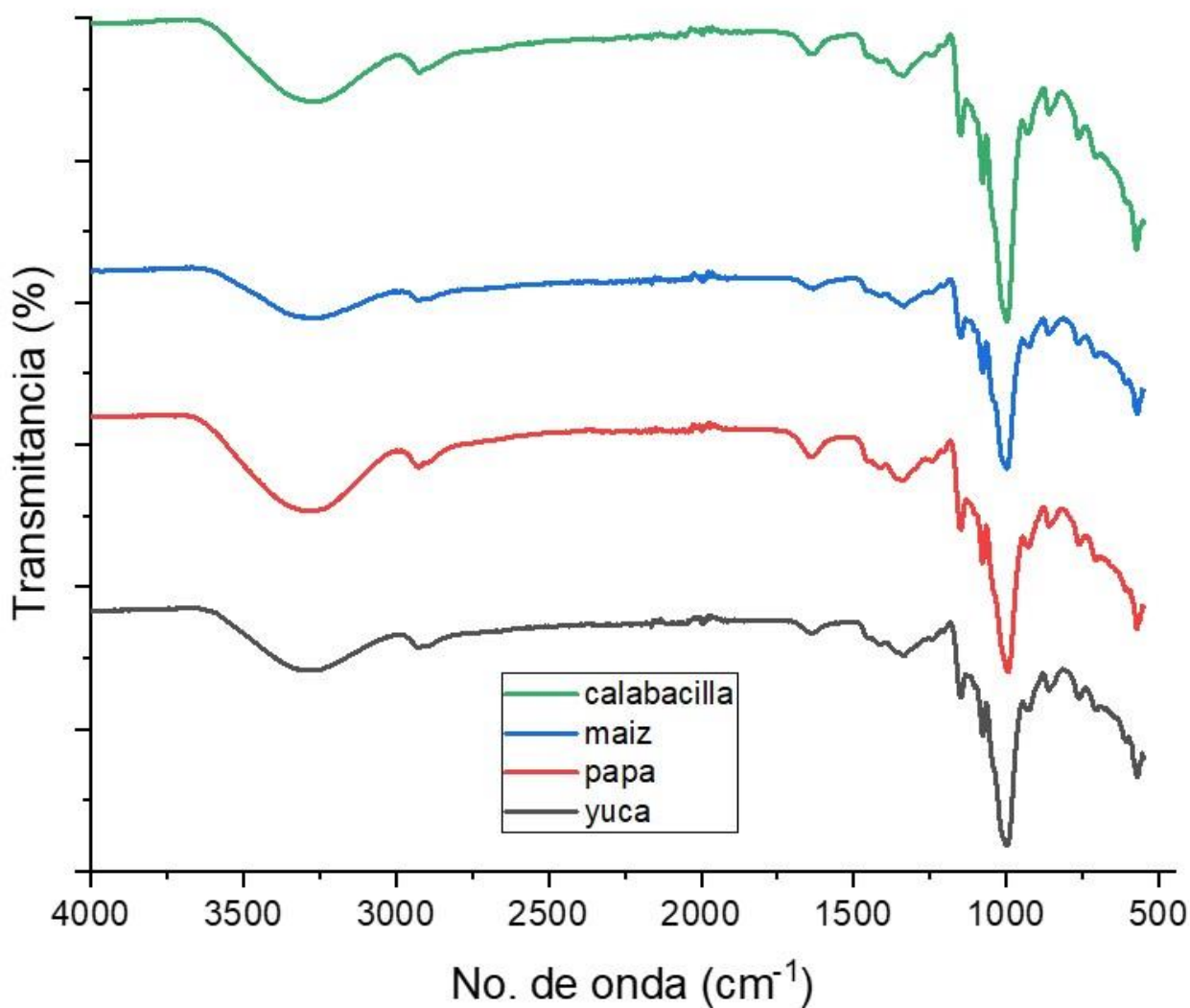


Figura 8. Espectrogramas IR obtenidos para cada tipo de almidón. (Elaboración propia).

En la Figura 8 se muestran los espectrogramas IR obtenidos para cada uno de los almidones estudiados. Se pudo comprobar que corresponden al biopolímero almidón debido a que se encuentran en cada uno de dichos espectrogramas las bandas correspondientes a la presencia de los enlaces -OH en la región de los 3500 cm⁻¹, así como grupos -CH₂ en la región de los 2900 cm⁻¹, agua ligada en la región de los 1600 cm⁻¹, los picos característicos del enlace C – O – C de la glucosa en la región de los 1000

cm^{-1} , y en la región correspondiente a la “huella dactilar” se identificaron picos alrededor de los 900, 800, 700 y 500 cm^{-1} , correspondientes al anillo piranósico, según o referido por (Chi, y otros, 2007) y (García Tejeda, Zamudio Flores, Bello Pérez, Romero Bastida, & Solorza Feria, 2011)

No se detectó en ninguna de las muestras componentes o enlaces ajenos a la estructura de un almidón, por lo que se consideraron muestras puras pertenecientes a este biopolímero.

7.4. Difracción de rayos X

Los patrones en los difractogramas de rayos X (Fig. 9) fueron distintivos de material orgánico, con una parte amorfa y otra cristalina. Los picos se presentaron a diferente valor de ángulo, dependiendo de la fuente de procedencia del biopolímero, distinguiéndose el perteneciente a un cereal, en este caso maíz, de aquellos pertenecientes a raíz y tubérculos. La distribución de los picos de cristalinidad a los valores de ángulo de 10°, 13°, 18° y 24° corresponden a almidón de tipo A, característica de cereales, y lo que corresponde al resultado muy similar al obtenido por (Rodríguez, San Martín, & González de la Cruz, 2001) para almidón de maíz; mientras que los picos a los valores de ángulo q de 15°, 17°, 21° y 25° corresponden a un almidón de tipo B, que es el caso de aquellos cuya fuente son tubérculos y raíces tuberosas, como corresponde a la papa y la raíz de calabacilla loca, lo que es congruente con los resultados obtenidos por (Pardo C, Castañeda, & Ortiz, 2013), quienes obtuvieron difractogramas con un patrón similar para almidones de diferentes variedades de papa. (López Rubio, Flanagan, Gilbert, & Gidley, 2008) también obtuvieron difractogramas similares para almidones de maíz y papa.

A partir del trazo de una línea base en arco, siguiendo la base de origen de los picos de cristalinidad, se pudo cuantificar de forma aproximada el porcentaje de cristalinidad aparente (Fig.9), utilizando la ecuación que se indicó en el apartado de materiales y métodos.

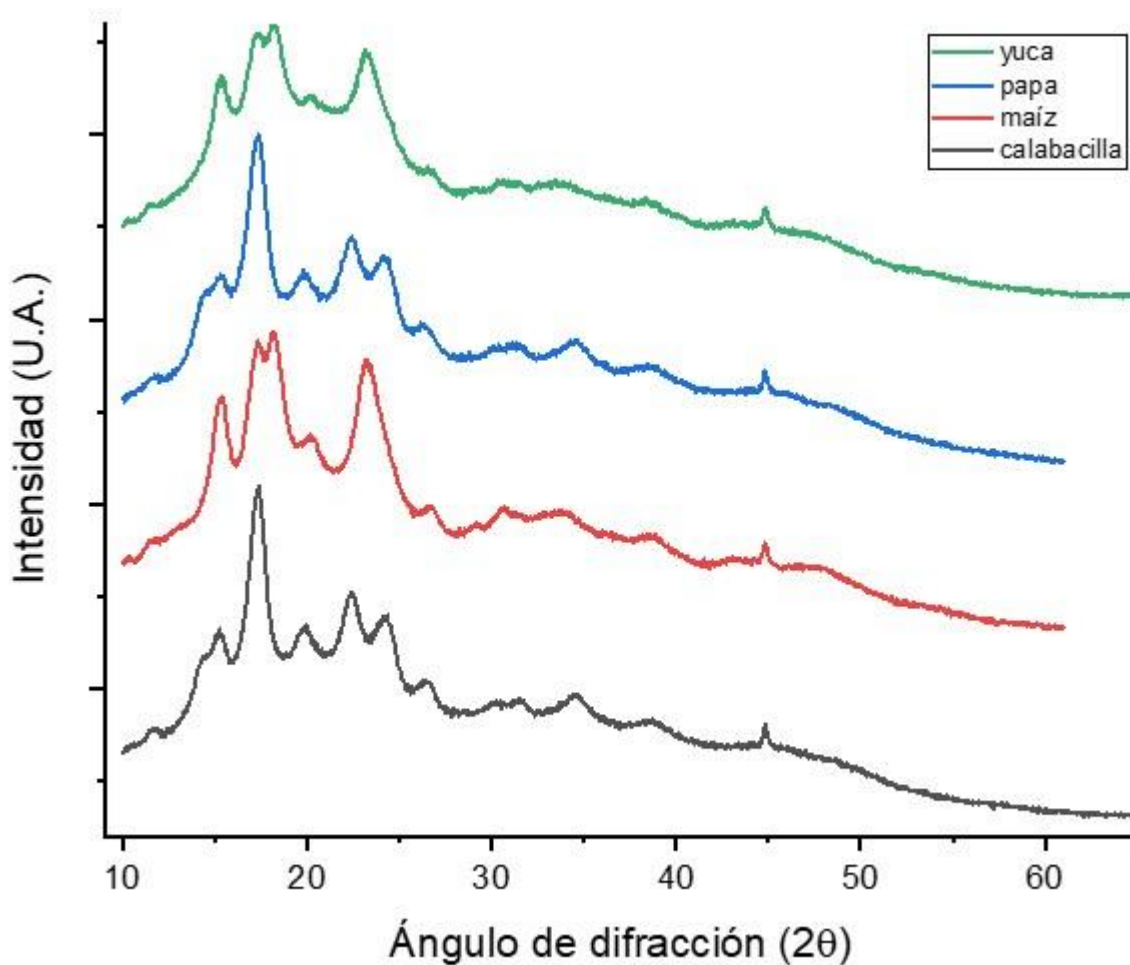


Figura 9. Diffractogramas de rayos X de almidones de raíz de calabacilla, maíz, papa y yuca. (Elaboración propia).

El % de cristalinidad aparente Figura 10 fue mayor para el almidón de maíz que para aquel obtenido de la raíz de calabacilla loca, y este a su vez, resultó mayor que el que presentó el almidón de papa. El % de cristalinidad aparente está directamente relacionado con la proporción amilosa/amilopectina en los almidones, ya que la parte

cristalina de los almidones está dada por las cadenas cortas lineales de amilopectina (Hernández Medina, Torruco Uco, & Chel Guerrero, 2008), por lo que, basándose en los resultados obtenidos para este parámetro, se podría conjeturar que el almidón de raíz de calabacilla loca posee más amilopectina que el almidón de papa, pero menos que el almidón de maíz. Esto corresponde con los resultados obtenidos por (Rodríguez, San Martín, & González de la Cruz, 2001), quienes obtuvieron patrones de rayos X para amilosa y amilopectina, correspondiendo el difractograma de amilopectina más semejante al obtenido para el maíz en este estudio, evidenciando que éste posee un valor mayor de % de cristalinidad respecto a los almidones de calabacilla loca y papa, más ricos en amilopectina.

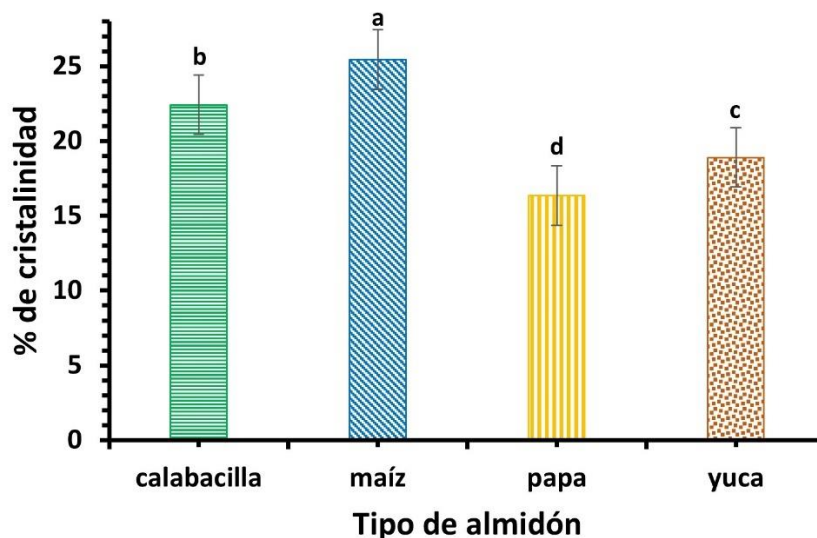


Figura 10. Porcentajes calculados de cristalinidad aparente de almidones de raíz de calabacilla, maíz y papa a partir de difractogramas de rayos X. Letras diferentes indican diferencia significativa entre muestras, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

7.5. Transparencia del gel

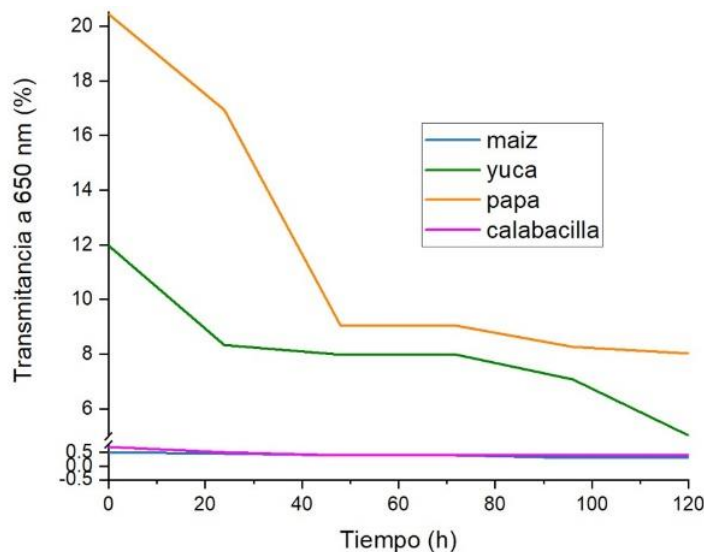


Figura 11. Transparencia de los geles de los distintos almidones al paso del tiempo, medida en % de transmitancia a 650 nm. (Elaboración propia).

Como se expone en la figura 11, los valores de transmitancia de la papa estuvieron en un rango de 20.43% a cero horas y 8.03 % a 120 horas siendo este el almidón con mayor claridad mismos resultados que se encuentran por encima de lo reportado por (Pozo Chamorro & Lechón Quilumbaquin, 2022). Mientras que yuca esta entre 11.97% y 5.03%, maíz 0.5% y 0.3% datos que son inferiores obtenidos por (Hernández Medina, Torruco Uco, & Chel Guerrero, 2008).

Un alto porcentaje de transmitancia, se ha relacionado con muchos factores, como la concentración del almidón, la estructura de los gránulos y tamaño de los mismos. La claridad del gel es uno de los atributos importantes para el aprovechamiento del almidón como materia prima; la transparencia u opacidad presentada por las pastas de almidón influyen directamente sobre las características de brillantez y opacidad del color de los productos en los que se empleen como espesantes (Yaruro Cáceres , 2018).

7.6. Propiedades funcionales

En la determinación de las propiedades funcionales correspondientes a los índices de solubilidad y absorción de agua y al indicador de poder de hinchamiento, es donde se evidenciaron diferencias entre los tres tipos de almidón, y esto, por tanto, da pistas sobre cuáles pueden ser las posibles aplicaciones prácticas del almidón de raíz de calabacilla loca, dando así valor agregado a esta potencial materia prima, ya sea en el ámbito alimenticio o industrial.

7.6.1. Índice de solubilidad en agua

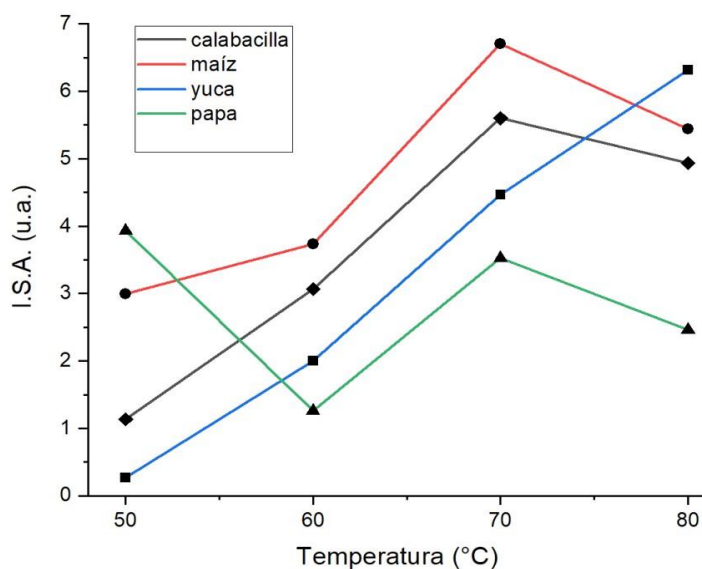


Figura 12. Índice de solubilidad en agua de los diferentes almidones estudiados. Letras diferentes indican diferencia significativa entre muestras, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Elaboración propia)

El índice de solubilidad en agua del almidón (ISA) es la capacidad de reaccionar con agua y disolverse en ella; igualmente indica el grado de asociación existente (enlace intragranular) entre los polímeros del almidón amilosa/amilopectina (Torres, Durán, & Montero, 2013). Como observa en la figura 12 la solubilidad aumenta conforme se

incrementa la temperatura a la que fue sometida los almidones, este incremento se puede observar a partir de los 70°C tal como lo indican (Hernández Medina, Torruco Uco, & Chel Guerrero, 2008)

Mientras que (Ríos Romero , Ochoa Martínez, & Juliana, 2016) señala que el aumento en el área superficial de los gránulos es debido a la existencia de poros y canales, lleva a una mayor difusión de las moléculas de agua dentro del gránulo, aumentando así la solubilidad.

7.6.2 Índice de absorción de agua

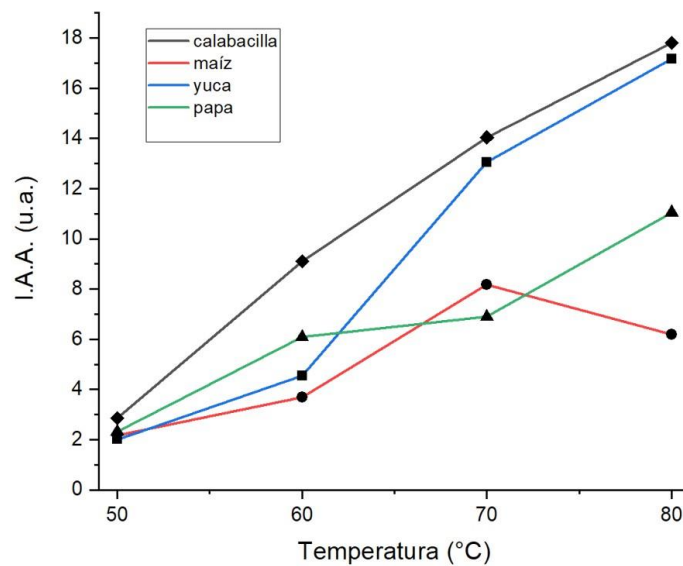


Figura 13. Índice de absorción de agua de los diferentes almidones estudiados. Letras diferentes indican diferencia significativa entre muestras, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 13, dentro del rango de 70 y 80 °C los almidones de yuca y calabacilla tuvieron una mejor absorción de agua, posteriormente sigue el maíz a 70°C y la papa en 60°C dichos datos son similares a los reportados (Hernández Medina, Torruco Uco, & Chel Guerrero, 2008). Estas diferencias en el IAA de almidones pueden

estar relacionada con la fuente biológica, con el tamaño y la forma del gránulo (Torres, Durán, & Montero, 2013).

El incremento de la temperatura causó un aumento del índice de absorción de agua, pues además de producir un rompimiento de las fuerzas intragranulares de la región amorfa, también conduce al inicio del desdoblamiento de las regiones con doble hélice y al rompimiento de las estructuras de amilopectina con lo cual se va generando una desorganización de la estructura del gránulo explico (Rincón, Rached, Aragoza, & Padilla, 2007).

7.6.3 Poder de hinchamiento

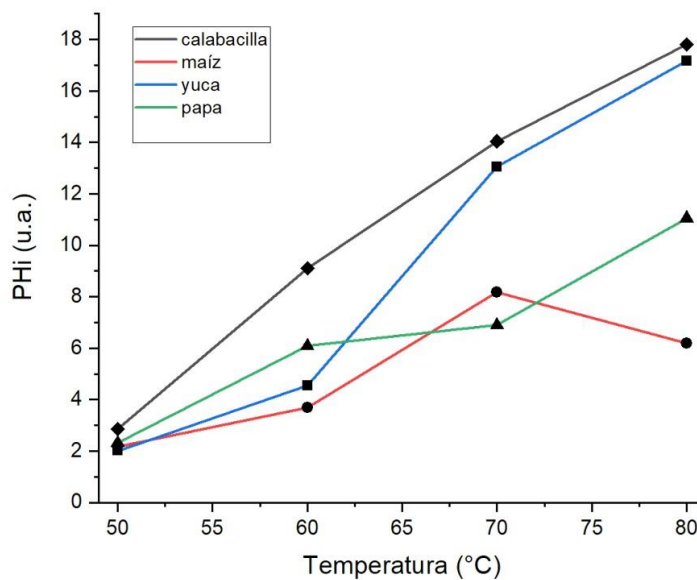


Figura 14. Valores del poder de hinchamiento de los diferentes almidones estudiados. Letras diferentes indican diferencia significativa entre muestras, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Elaboración propia)

El poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de absorción de agua de cada almidón. El poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido

de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Granados, Guzman, Acevedo, Diaz, & Herrera, 2014).

Debido a lo anterior como se muestra en la figura 14 los valores de yuca 17.16 u.a y calabacilla 17.80 u.a presentaron mayor poder de hinchamiento a los 80°C. El maíz presento 8.18 u.a y papa 11.05 u.a con una temperatura de 70°C. Los valores encontrados para los almidones en este estudio se encuentran dentro de los intervalos reportados por (Pozo Chamorro & Lechón Quilumbaquin, 2022), (Hernández Medina, Torruco Uco, & Chel Guerrero, 2008).

(Ríos Romero , Ochoa Martínez, & Juliana, 2016) señalaron que la capacidad de hinchamiento a ciertas temperaturas es debido al rompimiento de enlaces de hidrógeno intermoleculares en la región amorfa, lo que conduce a la absorción de agua.

7.6.4 Sinéresis

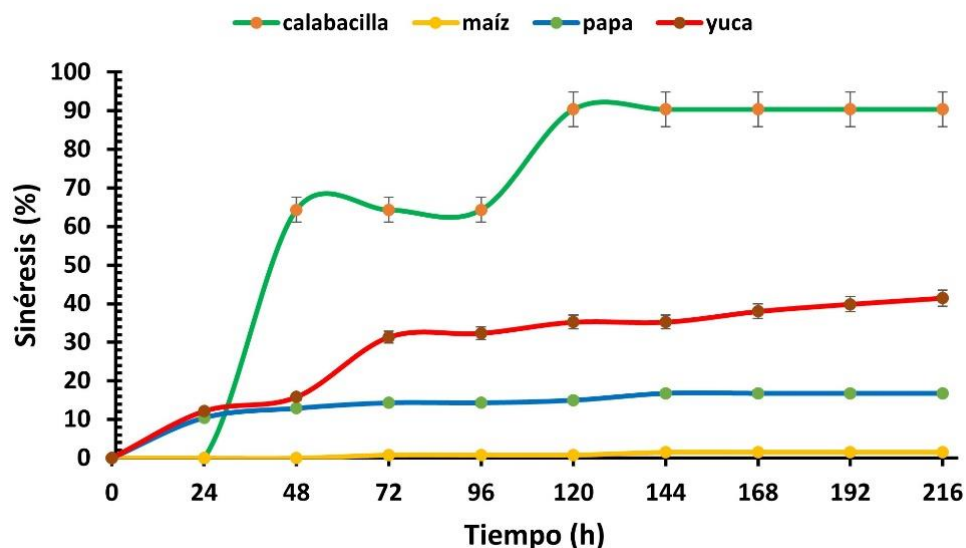


Figura 15. Comportamiento de la sinéresis para los diferentes almidones estudiados. Letras diferentes indican diferencia significativa entre muestras, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Elaboración propia)

La sinéresis puede entenderse como una indicación de cambios intensivos en la estructura de gel. Con respecto a las preparaciones alimenticias, tales cambios son altamente indeseables en productos que requieren estabilidad congelación-descongelación (Solarte Montúfar, Díaz Murangal, Osorio Mora , & Mejía España, 2019).

En la figura 15 podemos apreciar de manera progresiva el comportamiento de los almidones conforme a las horas de su almacenamiento. El almidón de calabacilla presentó mayor sinéresis con un 90%, en el caso de la de yuca presento una sinéresis del 41% siendo superior a los valores reportados por (Hernández Medina, Torruco Uco, & Chel Guerrero, 2008). Mientras que la papa con 13% siendo el maíz con un 0% convirtiéndolo con la mejor estabilidad a los procesos de refrigeración y congelación.

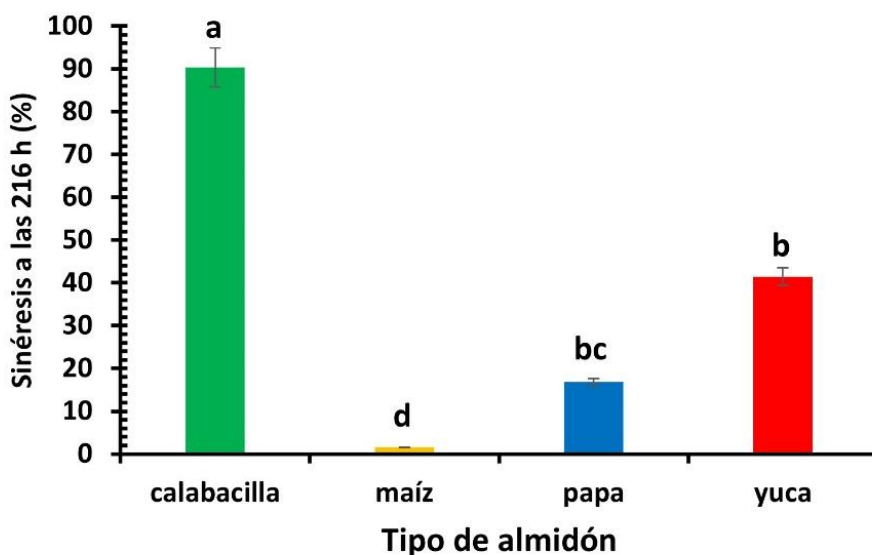


Figura 16. Sinéresis total a las 216 h para los diferentes almidones estudiados. Letras diferentes indican diferencia significativa entre muestras, según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Elaboración propia)

En la figura 16 podemos apreciar de manera general La sinéresis de los almidones después de 216 h, viéndose en esta de manera más precisa el comportamiento total de los almidones durante todo su estudio y notándose así de manera muy significativa la

diferencia de cada uno de estos. De acuerdo con (Solarte Montúfar, Díaz Murangal, Osorio Mora , & Mejía España, 2019) uno de los factores que determina el porcentaje de sinéresis son las altas concentraciones de amilosa implican formación de geles fuertes, opacos y que sufren sinéresis. De lo anterior puede inferirse que siendo la calabacilla con un porcentaje alto en sinéresis está relacionado con su contenido de amilosa.

7.7. Posibles usos del ARCL

Por los resultados obtenidos en el estudio de las propiedades funcionales, el almidón de raíz de calabacilla loca pudiera encontrar aplicación tanto en la industria alimenticia como en la no alimenticia. Sin embargo, faltaría ampliar el estudio respecto a los requisitos legales de calidad para su aceptabilidad en el mercado, dichos requisitos o parámetros de calidad son los que se encuentran plasmados en la norma de referencia en México NMX-F-382-1986. (Aristizábal & Sánchez, 2007) especificaron parámetros deseables para almidón de otra raíz, la yuca, necesarios para estandarizar la calidad necesaria en el producto para dirigirlo hacia la aplicación en la industria, aunque advierten que dicha calidad dependerá de cada aplicación en específico, lo que aplicaría igualmente para cualquier almidón. Así mismo, (García Tejeda , Zamudio Flores, Bello Pérez, Romero Bastida, & Solorza Feria, 2011) refieren que los almidones son susceptibles de modificaciones inducidas, como la oxidación, con el fin de modular las propiedades funcionales de los almidones y sea posible utilizarlos para aplicaciones en las que no son útiles en su forma nativa.

Algunos ejemplos de la probable aplicación del almidón de raíz de calabacilla loca, previo cumplimiento de los parámetros de calidad correspondientes, podrían ser los siguientes:

7.7.1. Industria alimenticia

De acuerdo con lo reportado por (Segura Campos, López Sánchez, Castellanos Ruelas, Betancur, & Chel Guerrero, 2015) Su alta solubilidad y absorción de agua, es ventajoso para su uso en salchichas, productos horneados, productos enlatados, salsas, condimentos, jaleas, caramelos comprimidos, productos gomosos, etc.

Por el poder de hinchamiento que presentó podría ser utilizado en productos que requieran retener agua, como los productos cárnicos, como son los embutidos, jaleas, etc. Expuso (Hernández Medina, Torruco Uco, & Chel Guerrero, 2008).

Con base al porcentaje de sinéresis obtenido no es recomendable la utilización del almidón de calabacilla para productos alimenticios que experimentan sinéresis durante el almacenamiento, aunque puede ser adecuado para conservar la frescura de productos de panificación o embutidos (Argel Pérez, y otros, 2023) .

7.7.2. Industria no alimenticia

Gracias al poder de hinchamiento que presento el almidón de calabacilla éste puede ser aplicado en la industria de la cosmetiquera en las emulsiones tipo pinkering, ya que puede originar una temperatura de gelatinización baja, permitiendo un poder de hinchamiento rápido expuso (Páez Álvarez, Bernal Bustos, Hernadéz, & Muñoz, 2018).

Por el nivel de absorción de agua que presento el almidón (Torrenegra Alarcón, León Méndez, Matiz Melo, & Sastoque Gomez, 2015) expone que los almidones nativos tienden a atrapar y absorber cantidades similares de agua y aceite y con ello son útiles como agentes emulsificantes en la industria cosmetiquera.

En la industria farmacéutica el almidón de calabacilla podría ser utilizado en la elaboración de tabletas por compresión directa, debido a su alta capacidad de hinchamiento con base a lo reportado por (Garzón Serra, 2006)

Por su nivel de absorción de agua que presento este almidón también puede ser considerado como agente para aumentar las propiedades mecánicas y de permeabilidad del textil de algodón según lo reportado por (Carvajal Marín, Hoyos Mejia, & Henao Soto, 2023).

8. CONCLUSIONES

Respecto a la obtención de almidón los resultados obtenidos indican que las raíces de *C. foetidissima* Kunth tiene un buen potencial para producir este carbohidrato. Además, las propiedades y características del almidón de esta fuente son similares a las de otras fuentes de obtención, como el maíz y la yuca.

Los espectogramas IR demostraron que ninguna de las muestras contenía componentes o enlaces ajenos a la estructura de un almidón, por lo cual se consideraron muestras puras; y de acuerdo con los difractogramas de rayos X, el almidón de raíz de calabacilla loca se encontró clasificado tipo B, ya que sus ángulos corresponden a las fuentes de tubérculos y raíces tuberosas.

El resultado positivo de sus propiedades funcionales se atribuye a su buen comportamiento en los parámetros de ISA, IAA y poder de hinchamiento. Siendo estos los mejores atributos para la adición de este almidón en productos como salsas, embutidos, jaleas, productos de panificación. Además de que pueden ser involucrados en otro tipo de industrias por la versatilidad que este presenta.

Los resultados para el estudio de sinéresis mostraron que el almidón de raíz de calabacilla loca no es apto para productos que se vayan a someter a procesos de congelación-descongelación.

Debido a lo anterior, la incorporación del este almidón en la elaboración de alimentos pudiera ser viable, ya que presentó características similares o mejores en comparación con los almidones convencionales utilizados para este estudio.

9. LITERATURA CITADA

- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., & Rada Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Revista Información Tecnológica*, 23.
- Amador Llanas, C. Y. (2018). Obtención, purificación y caracterización de almidón de raíz de calabacilla loca (*cucurbita foetidissima* HBK) y sus potenciales aplicaciones. *Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A. M., & Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutricion*.
- Argel Pérez, S., Felisinda Gañán, P., Cuartas Marulanda, D., Gómez, C., Velázquez Cock, J., Vélez, L., . . . Serpa Guerra, A. M. (2023). Caracterización de un nuevo almidón aislado del rizoma de cultivares colombianos de cúrcuma (*Curcuma longa* L.). *Revista Foods*.
- Arias Jara, M. Á. (2019). Obtención Del Almidón De La Alocacia Macrorrhiza Y Cuantificación Del Oxalato De Calcio. *Revista TSE'DE*, 1.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Revista Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación*.
- Aseguramiento Dereje. (2021). Composición, morfología y propiedades fisicoquímicas de almidones derivados de tubérculos autóctonos de Etiopía: una revisión. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 912.
- Avellán, A., Díaz, D., & Mendoza, A. (2019). Obtención De Bioplástico A Partir De Almidón De Maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 2.
- Bello Pérez, L., González Soto, R., Sánchez Rivero, M., Gutiérrez Meraz, F., & Vargas Torres, A. (2006). Extracción de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente. *Revista Agrociencia*, 442.

- Bernal , L. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista del Centro de Investigación*, 78-80.
- Carvajal Marín, M. J., Hoyos Mejía, M. C., & Henao Soto, J. S. (2023). Modificación Superficial De Un Textil De Algodón Reciclado A Partir Del Uso De Almidón De Yuca O Papa. *Revista Programa De Diseño Industrial*.
- Chi, C., Xu, K., Xue, D., Song , C., Zhang, W., & Wang, P. (2007). Síntesis de almidón de maíz anhídrido dodecenil succínico (DDSA). *Revista Investigación alimentaria internacional*.
- Chierogato Maniglia, B., & Tapia Blácido, D. (2015). Aislamiento y caracterización del almidón del mesocarpio de babasú. *Revista Hidrocoloides alimentarios*.
- Chierogato Maniglia, B., & Tapia Blácido, D. (2016). Aislamiento y caracterización del almidón del mesocarpio de babasú. *Revista Food Hydrocolloids*.
- García Tejeda , Y. V., Zamudio Flores, P. B., Bello Pérez, L. A., Romero Bastida, C. A., & Solorza Feria, J. (2011). Oxidación Del Almidón Nativo De Plátano Para Su Uso Potencial En La Fabricación De Materiales De Empaque Biodegradables: Caracterización Física, Química, Térmica Y Morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*.
- Garzón Serra, M. L. (2006). Almidón retrogradado para uso en compresión directa. II. Compactación de almidón de chayote retrogradado. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*.
- Granados, C., Guzman, L. E., Acevedo, D., Diaz, M., & Herrera, A. (2014). Propiedades Funcionales Del Almidon De Sagu (Maranta arundinacea). *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.
- Guízar Miranda, A., Montañéz Soto, J. L., & García Ruiz, I. (2008). Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tuberculo de camote del cerro((Dioscorea spp)). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 81.
- Hernández Centeno, F., López De la Peña, H. Y., Hernández González, M., Rodríguez González, C. A., Tirado Gallegos, J. M., Ríos Velasco, C., & Zamudio Flores, P. B. (2020). Características fisicoquímicas, térmicas, reológicas y morfológicas de

harinas y almidones de origen no convencional: Cucurbita foetidissima Raíces de Kunth. *Revista Medición y caracterización de alimentos*.

Hernández Medina, M., Torruco Uco, J. G., & Chel Guerrero, L. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 722-724.

Hunter, R. (1958). Medidor de diferencia de color fotoeléctrico. *Revista de la Sociedad Óptica de América*, 985-995.

Jorrín Novo, J., Abril Díaz, N., & Bárcena Ruiz, J. (2009). Separación de aminoácidos por cromatografía en capa fina y detección mediante reacción con ninhidrina. 1.

León Méndez, G., León Méndez, D., Monro Arellano, M. R., De La Espriella Angarita, S., & Herrera Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Revista Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 620-621.

Lichun Huang, Hongyan Tan, Changquan Zhang, & Li Qianfeng. (2021). Biosíntesis de almidón en endospermos de cereales: una revisión actualizada durante la última década. *Revista Plant Communications*, 1-3.

López Rubio, A., Flanagan, B., Gilbert, E., & Gidley, M. (2008). Un nuevo enfoque para calcular la cristalinidad del almidón y su correlación con el contenido de doble hélice: un estudio combinado de XRD y RMN. *Revista Biopolímeros: investigación original sobre biomoléculas*.

M, C., & R, A. (2007). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Revista Boliviana de química*, 77.

Mano, J., Koniarova, D., & Reyes, R. (2003). Propiedades térmicas de mezclas termoplásticas de almidón y polímeros sintéticos con potencial aplicación biomédica. *Revista de ciencia de materiales: materiales en medicina*.

Marín, J. (2016). Química del almidón. 1-3.

Martínez García, A., Pink, L., Bayarjagal, L., Winker, B., & Juárez-Arellano, E. (24). Análisis estructural de la transformación del almidón de patata durante la molienda

de bolas de alta energía: efectos del contenido de oxígeno y humedad. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*.

- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades Físicoquímicas, Funcionales Y Estructurales De Almidones Nativos Y Acetilados Obtenidos A Partir De La Papa (*Solanum tuberosum*) var. 'Única'. *Revista Soc Quim Perú*, 344.
- Meaño Correa , N., Ciarfella Pérez, A. T., & Dorta Villegas, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 5.
- Mejía Morales, C., Rodríguez Macías, R., Salcedo Pérez, E., Zamora Natera, J. F., Rodríguez Zaragoza, F. A., Molina Torres, J., . . . Zañudo Hernández, J. (2019). Huellas metabólicas contrastantes y perfiles proteínicos de semillas de frutos de *Cucurbita foetidissima* y *C. radicans* de plantas silvestres muestreadas en el centro de México. *Revista ciencias aplicadas*, 2-3.
- Munive Ledesma, P. A. (2009). Elaboración de un suplemento alimenticio en polvo para consumo humano a partir de una mezcla de hidrolizado de soya y almidón de maíz. *Tesis Profesional. Escuela Politécnica Nacional*.
- Muñiz-Acuña, N. ., Báez-González, J. ., Castillo-Hernández, S. ., García-Márquez, E. ., & Bautista-Villarreal, M. . (2023). Evaluación de las propiedades tecno-funcionales del almidón de camote (*Ipomoea batatas*). *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología De Alimentos*, 8(1), 759–767. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.98>
- Páez Álvarez, A. M., Bernal Bustos, C. R., Hernadéz, L., & Muñoz, L. (2018). Emulsiones tipo pickering a base de almidones modificados como agentes emulsionantes. *Revista de Investigación*.
- Pardo C, O. H., Castañeda , J. C., & Ortiz, C. A. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Revista Acta Agronómica*.

- Pérez Navarro, O., Ley Chong, N., González Suarez, E., & Valdés Valmaseda, C. (2017). Modificación hidrotérmica del almidón de yuca para su empleo como estabilizador de helados. *Revista Afinidad*, 280.
- Pineda Gómez, P., Coral, D., Arciniegas, M., Rorales Rivera, A., & Rodríguez García, M. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 132.
- Pozo Chamorro, F. A., & Lechón Quilumbaquin, B. A. (2022). Caracterización Físicoquímica Y Funcional De Almidón De Papa Superchola Y Su Utilización En La Formulación De Salchicha Tipo Frankfurt. *Revista Sathiri Sembrador*.
- Prieto Méndez, J., Rubio Hinojosa, C., Román Gutiérrez, A., Méndez Marzo, M., González Ramírez, C., & Prieto García, F. (2009). Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativum* Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos. *Revista Multiciencias*, 118.
- Quiroga Ledezma, C. C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. *Revista Investigacion & Desarrollo*, 132.
- Rangel Guerrero, J., Flores Benítez, S., Cadena Iñiguez, J., Morales Flores, F., & Trejo Téllez, B. (2018). Extracto de frutos de Cucurbita foetidissima (Kunth) inhibe el crecimiento. *Revista Agroproductividad*, 108-109.
- Rincón, A. M., Rached, L. B., Aragoza, L., & Padilla, F. (2007). Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.
- Ríos Romero, E. A., Ochoa Martínez, L. A., & Juliana, M. (2016). Efecto Del Tratamiento Con Ultrasonido Sobre Las Propiedades Funcionales Y Estructurales De Almidón Procedente De Diversas Fuentes: Una Revisión. *Revista Ciencias Biológicas y de la Salud*, 17-19.
- Rivera Andrade, E., Hernández Centeno, F., Hernández González, M., & López De la Peña, H. Y. (2017). Extracción y caracterización parcial de almidón de una fuente no convencional: raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* HBK).

- Robles Oñate , M. d. (2012). Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. *Tesis*, 5.
- Rodríguez , P., San Martín, M., & González de la Cruz, G. (2001). Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Revista Superficies y vacío*.
- S. Villada, H., A. Acosta, H., & J. Velasco, R. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *Revista Información Tecnológica*, 5-6.
- Saade, L., R., & Rodríguez Arévalo, I. (2006). Catálogo de la familia Cucurbitaceae de México. Universidad Nacional Autónoma de México. *Informe final SNIB-CONABIO proyecto DS002. México D. F.* , 63-64.
- Salgado Ordosgoitia, R. D., Paternina Contreras, A. L., Cohen Manrique, C. S., & Rodríguez Manrique, J. A. (2019). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Revista Información tecnológica*, 95-99.
- Santanna, V., Gurak, Poliana D.; Marczak, D. & Tessaro, C. (2013) Tracking bioactive compounds with colour changes in foods - A review. *Dyes and Pigments* 98(3).
- Segura Campos, M. R., López Sánchez, S. M., Castellanos Ruelas, A., Betancur, D., & Chel Guerrero, L. (2015). Caracterización fisicoquímica y funcional del almidón despigmentado de *Mucuna pruriens* para posibles aplicaciones industriales. *Revista internacional de química orgánica*.
- Solarte Montúfar, J., Díaz Murangal, A., Osorio Mora , O., & Mejía España, D. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla . *Revista Información Tecnológica*.
- Sulbarán, A., Matiz, G. E., & Baena, Y. (2018). Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*.

- Tirado Gallegos, J., Zamudio Flores, P., Ornelas Paz, J., Rios Velasco, C., Acosta Muñiz, C., Gutiérrez Meraz, F., & Salgado Delgado, R. (2016). Efecto del método de aislamiento y el estado de madurez de las propiedades fisicoquímicas, estructurales y reológicas de almidón de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Torrenegra Alarcón, M. E., León Méndez, G., Matiz Melo, G. E., & Sastoque Gomez, J. D. (2015). Lipofilización del almidón de *Dioscorea rotundata* P. y su posible uso como agente emulsificante. *Revista Cubana de Farmacia*.
- Torres Gallo, R., Chávez Salazar, A., & Castellanos Galeano, F. J. (2023). Patentes relacionadas con el uso de almidones de fuentes no convencionales para microencapsulación y desarrollo de productos en industria alimentaria y farmacéutica: una revisión. *Revista Tecnológicas*, 3-4.
- Torres Rapelo, A., Montero Castillo, P., & Duran Lengua, M. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales. *Revista Lasallista De Investigación*, 57-59.
- Torres, A., Durán, M., & Montero, P. (2013). Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 34-35.
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Revista Scientia Agropecuaria*.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de nutrición*, 271-272.
- Xueling Zheng, Qingfa Wang, Limin Li a, Chong Liu una, & Xiaoyan Ma. (2024). Avances recientes en almidón germinado de cereales y pseudocereales: propiedades y desafíos en su modulación sobre la calidad de alimentos ricos en almidón. *Revista Química de Alimentos*, 1.

Yaruro Cáceres , N. C. (2018). Evaluación De Las Propiedades Fisicoquímicas, Térmicas Y Microestructurales Del Almidón De Achira (*Canna edulis*). *Universidad Nacional de Colombia* .

Zamudio Flores, P., Vargas Torres, A., Gutiérrez Meraz, F., & Bello Pérez, L. (2010). Caracterización Fisicoquímica De Almidones Doblemente Modificados De Plátano. *Revista Agrociencia*.