

## Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

**Propiedades tecno-funcionales y actividad biológica de almidones de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.)**

**Techno-functional properties and biological activity of starches of soursop fruits (*Annona muricata* L.)**

Authors/Autores: De los Santos Santos, M.A., Bello Lara, J.E., Balois Morales, R., León Fernández, A.E., Jiménez Zurita, J.O., Bautista Rosales, P.U., Martínez Ortiz, M.A.

ID: e1948

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1948>

Received/Fecha de recepción: March 31<sup>th</sup> 2025

Accepted /Fecha de aceptación: January 19<sup>th</sup> 2026

Available online/Fecha de publicación: February 09<sup>th</sup> 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: De los Santos Santos, M.A., Bello Lara, J.E., Balois Morales, R., León Fernández, A.E., Jiménez Zurita, J.O., Bautista Rosales, P.U., Martínez Ortiz, M.A. (2026). Techno-functional properties and biological activity of starches of soursop fruits (*Annona muricata* L.). *Revista Bio Ciencias*, 13, e1948. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1948>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.








Artículo original

## Propiedades tecno-funcionales y actividad biológica de almidones de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.)

### Techno-functional properties and biological activity of starches of soursop fruits (*Annona muricata* L.)

Propiedades tecno-funcionales y actividad biológica de almidones/

Techno-functional properties and biological activity of starches

De los Santos Santos, M.A.<sup>1</sup> () , Bello Lara, J.E.<sup>2\*</sup> () , Balois Morales, R.<sup>1,3</sup> ()  
León Fernández, A.E.<sup>2</sup> () , Jiménez Zurita, J.O.<sup>1,3</sup> () , Bautista Rosales, P.U.<sup>1</sup> () ,  
Martínez Ortiz, M.A.<sup>4</sup> ()

<sup>1</sup>Programa de Doctorado en Ciencias Biológico-Agropecuarias; Universidad Autónoma de Nayarit; Carretera Tepic-Compostela km 9, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

<sup>2</sup>Estancias Posdoctorales-Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Coordinación de Apoyos.

<sup>3</sup>Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit; Carretera Tepic-Compostela km 9, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Programa de Maíz. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México. C.P. 47600.

#### \*Corresponding Author:

Juan Esteban Bello-Lara. Estancias Posdoctorales-Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Coordinación de Apoyos. Teléfono: 311 740 9008 E-mail: [juan.bello@uan.edu.mx](mailto:juan.bello@uan.edu.mx)

## RESUMEN

Los almidones de frutos de guanábana contienen fitoquímicos, siendo una alternativa para la industria alimentaria y farmacéutica. El objetivo fue determinar las propiedades tecno-funcionales y actividad biológica de almidones de frutos de guanábana extraídos por método convencional y asistido por ultrasonido. Se evaluaron temperatura de gelatinización, índice de absorción, solubilidad, poder de hinchamiento, toxicidad aguda y capacidad antioxidante. Las extracciones fueron: CSP1 (Almidón convencional fase 1), USP1 (almidón ultrasonido fase 1), USP2 (Almidón ultrasonido fase 2), CSP2 (almidón convencional fase 2). Los almidones CSP1 y USP1 gelatinizaron a 72.3 y 72.8 °C, los almidones CSP2 y USP2 gelatinizaron a 71.1 y 71.4 °C. Los almidones de CSP2 y USP2 presentaron alto índice de absorción de agua (9.3 y 7.6 g de gel/g de muestra), solubilidad en agua (4.5 y 3.2

%) y poder de hinchamiento (9.5 y 7.7 g de gel/g de muestra). La toxicidad ( $DL_{50}$ ) de los extractos de los almidones CSP1 y USP1 fue de 12.88 y 6.83 en USP1  $\mu\text{g/mL}$ , en CSP2 y USP2 fue de 23.58 y 21.18  $\mu\text{g/mL}$ . Los almidones CSP1 y USP1 mostraron alta capacidad antioxidante (mg AAE/g of d.s.) ABTS (10.4 y 11.4), DPPH (59.1 y 69.6) y FRAP (22.2 y 23).

### **PALABRAS CLAVE:**

Anonáceas, antioxidante, polisacárido, toxicidad.

### **ABSTRACT**

Soursop fruit starches contain phytochemicals, making them a potential alternative for the food and pharmaceutical industries. The objective was to determine the techno-functional properties and biological activity of soursop fruit starches extracted by conventional and ultrasound-assisted methods. Gelatinization temperature, absorption index, solubility, swelling power, acute toxicity, and antioxidant capacity were evaluated. The extractions were: CSP1 (Conventional Starch Phase 1), USP1 (Ultrasound Starch Phase 1), USP2 (Ultrasonic Starch Phase 2), CSP2 (Conventional Starch Phase 2). CSP1 and USP1 starches gelatinized at 72.3 and 72.8 °C, CSP2 and USP2 starches gelatinized at 71.1 and 71.4 °C. CSP2 and USP2 starches had a high water absorption index (9.3 and 7.6 g gel/g sample), water solubility (4.5 and 3.2 %), and swelling power (9.5 and 7.7 g gel/g sample). The toxicity ( $LD_{50}$ ) of the extracts from CSP1 and USP1 starches was 12.88 and 6.83  $\mu\text{g/mL}$ , respectively. In CSP2 and USP2, the toxicity was 23.58 and 21.18  $\mu\text{g/mL}$ , respectively. CSP1 and USP1 starches showed high antioxidant capacity (mg AAE/g of d.s.) ABTS (10.4 and 11.4), DPPH (59.1 and 69.6), and FRAP (22.2 and 23).

### **KEY WORDS**

Annonaceae, antioxidant, polysaccharide, toxicity.

### **Introducción**

La guanábana (*Annona muricata* L.) se cultiva en México, con un rendimiento anual de 30,000 t (SIAP, 2024), sus frutos se consumen en fresco, así como sus subproductos derivados (hojas, raíces, corteza y ramas) los que se usan en aplicaciones etnomedicinales como actividad antiparasitaria, antipirética, antiinflamatoria, antihipertensiva, antioxidante, antidiabética, anticancerígena, analgésica y antiviral (Aguilar-Hernández *et al.*, 2024). La pulpa de los frutos de guanábana se ha utilizado para elaborar productos funcionales, por su contenido de compuestos bioactivos y fitoquímicos (Nolasco-González *et al.*, 2023). También se ha reportado la extracción de polisacáridos de estos frutos, principalmente almidón, se debe considerar que también contiene otros polímeros como celulosa y pectinas (Martínez-Ortiz *et al.*, 2022). Ramírez-Balboa *et al.* (2021) y Martínez-Ortiz *et al.* (2022) han reportado rendimientos de hasta un 7 % de almidón aislado de frutos de guanábana en madurez fisiológica. A su vez, se ha reportado que para evaluar los

almidones de frutos de guanábana se realiza una extracción húmeda y separación mediante centrifugación (Flores-Gorosquera *et al.*, 2004; Ramírez-Balboa *et al.*, 2021), sin embargo, durante este proceso, se obtiene un almidón que se separa en dos fases, los cuales se diferencian mediante el color (blanco y café), estos almidones presentan diferentes propiedades fisicoquímicas como contenido de amilosa y lípidos, así como contenido de compuestos fitoquímicos (De los Santos-Santos *et al.*, 2023). Estos almidones al igual que los extraídos de frutos de chirimoya tienen un contenido de amilopectina más alto considerando a los mismos dentro de la clasificación de cerosos, con un comportamiento tecno-funcional como capacidad de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento similar a los almidones de maíz (Martínez-Ortiz *et al.*, 2022). Estas características permiten su uso en la elaboración de productos alimentarios como agentes espesantes, estabilizantes y emulsionantes, farmacéutica como acarreador de fármacos, además por sus propiedades termoplásticas y agente de encolado (pulido, brillo y firmeza) es posible su uso en la industria textil (Nwokocha & Williams, 2009; Martínez-Ortiz *et al.*, 2022; Tesfaye *et al.*, 2018; Schmiele, 2019; Yongfeng & Jay-lin, 2015; Solarte-Montúfar *et al.*, 2019).

Por otro lado, los compuestos fitoquímicos reportados que se encuentran presentes en estos almidones son fenoles, taninos, flavonoides, fitoesteroles, alcaloides y acetogeninas (De los Santos-Santos *et al.*, 2023), así mismo, se ha investigado que estos compuestos presentan capacidad antioxidante y citotóxica, debido a su habilidad de inhibir radicales libres y detener el crecimiento de células tumorales (Koev *et al.*, 2020; Md-Roduan *et al.*, 2019). La capacidad antioxidante se evalúa por inhibición o equivalencia (mg/ de ácido ascórbico) de radicales libres sintéticos como en el método DPPH, el cual utiliza el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil que cambia de color morado a amarillo al reaccionar con antioxidantes y el método ABTS [ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenztiazolin-6-sulfónico)] en el cual el radical cambia de color verde a incoloro al reaccionar con antioxidantes (Donoso-Bustamante *et al.*, 2025), otro método efectivo para determinar la capacidad antioxidante de los compuestos es el ensayo de capacidad antioxidante reductora férrica "FRAP" (por sus siglas en inglés) el cual mide la reducción del complejo ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ )-ligando a un complejo ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) por acción de los antioxidantes en medio ácido (Da Silva *et al.*, 2024). Por otro lado, la toxicidad se puede evaluar por diferentes ensayos, el más utilizado es con organismos acuáticos (*Artemia salina*), debido a que es una técnica rápida y sencilla (Okumu *et al.*, 2021), este ensayo permite determinar el grado de toxicidad de los compuestos en una escala de muy tóxico, tóxico, perjudicial y no tóxico (Villamil, 2015). En este sentido, los almidones provenientes de frutos de guanábana han sido objeto de estudio en la formulación de materiales bioactivos como recubrimientos y empaques comestibles (De los Santos-Santos *et al.*, 2020), sin embargo, existe poca información en relación con sus propiedades tecno-funcionales y biológicas, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades tecno-funcionales y actividad biológica de almidones de frutos de guanábana.

## Material y Métodos

### Material vegetal

Los almidones fueron extraídos de frutos de guanábana (madurez fisiológica), con un índice de cosecha de 160 d después de la antesis (Balois-Morales *et al.*, 2019). Los frutos fueron cosechados en el ejido de Venustiano Carranza, Tepic, Nayarit (21° 32' 2.77" N, 104° 58' 37.73" O, 893 masl). Los almidones se extrajeron mediante dos métodos: convencional y asistido por ultrasonido, posteriormente se sometieron a una centrifugación para la obtención de almidones y separación del excedente de agua.

### Extracción por método convencional

Para la molienda se utilizó una solución de ácido cítrico (1 %) en una relación 1:4 (w/v) en una licuadora industrial (International LI-5a, México) durante 3 min. Se realizó un filtrado de la molienda obtenida con tamices con poros de 150, 75 y 53 micrómetros separando la fibra de la fase líquida, a esta fibra se le hizo una molienda con agua destilada en una relación 1:2 (w/v) durante 3 min y se filtró (150, 75 y 53  $\mu$ m). La fase líquida resultante se dejó reposar por 24 h a 7 °C, posteriormente se recuperó el precipitado el cual contenía almidón y se eliminó el líquido sobrenadante por decantación (Martínez-Ortiz, 2024).

### Extracción asistida por ultrasonido

Se molieron frutos de guanábana durante 3 min con una solución de ácido cítrico (1 %) en una relación 1:4 (w/v). El material molido se almacenó durante 10 min a  $15 \pm 2$  °C, posteriormente se sonicó en un procesador ultrasónico (Modelo CPX750 Cole-Parmer Instruments Vernon Hills, Illinois U.S.A.) de 750 W al 40 % de potencia, equipado con una sonda de 20 kHz durante 10 min a 25 °C. A continuación, el material resultante se filtró con tamices (150, 75 y 53  $\mu$ m), separando la fase líquida de la fibra. Posteriormente, la fibra se molió con agua destilada en una relación 1:2 (w/v) durante 3 min y se filtró (150, 75 y 53  $\mu$ m). La fase líquida se dejó reposar por 24 h y después se recuperó el precipitado que contenía almidón, y se descartó el sobrenadante por decantación (Martínez-Ortiz, 2024; Ramírez-Balboa *et al.*, 2021).

### Centrifugado del almidón

El precipitado (obtenido por método convencional y asistido por ultrasonido) con excedente de líquido se centrifugó a 1537 xg durante 5 min/25 °C en una centrífuga (Hermle Z326K, Wehingen, Alemania) equipada con un rotor angular número 221.18 de 11.2 cm de radio. Posterior al centrifugado, el precipitado se separó en dos fases, al precipitado que presentó un color verde/marrón se le denominó FASE 1 (P1), y el precipitado de color blanco FASE 2 (P2). El producto de la P1 se retiró utilizando una espátula, quedando el producto de la P2 en el fondo del tubo. Al almidón resultante, se le añadieron 10 mL de agua destilada y se agitó por 30 s en un vórtex, después, se centrifugó a 1537 xg durante 5 min a 25 °C (Primer lavado). Se realizaron tres lavados separando las fases resultantes. Los almidones obtenidos se secaron en un horno de recirculación (LSIS-B2V/VC 55, Alemania) durante 24 h a 35 °C, posteriormente se pulverizaron en un mortero y se tamizaron (150  $\mu$ m). Finalmente

se pesaron para su cuantificación y se almacenaron en frascos herméticos. La interpretación de los resultados de los polisacáridos se realizó mediante la siguiente nomenclatura: CSP1, USP1, CSP2 y USP2, donde la letra A corresponde a almidón, las letras C y U (extracción convencional y extracción asistida por ultrasonido, respectivamente), F (fases).

### Temperatura de gelatinización

En un vaso de precipitados con 50 mL de agua, se agregó 1 g de almidón, más 10 mL de agua destilada a 60°C, y se llevó a baño maría (85 °C). Se tomaron lecturas de la temperatura hasta la formación de una pasta o gel (Sánchez & Aristizabal, 2007).

### Índice de absorción, solubilidad de agua y poder de hinchamiento

Se utilizaron tubos eppendorf (50 mL) a peso constante, se les agregó a cada tubo 1.25 g de almidón más 30 mL de agua destilada (60 °C), se agitaron en un vórtex y se colocaron en baño maría (70 °C/30 min); la suspensión se agitó cada 10 min hasta el final del calentamiento. Después se centrifugó a 3012 xg/30 min/25 °C. Se registró el volumen del sobrenadante (fase líquida) y el peso de los tubos con el gel (fase sólida). Posteriormente, se tomaron 10 mL del sobrenadante y se colocaron en un vaso de precipitado de 50 mL, previamente pesado. Posteriormente, se colocaron en una estufa de recirculación por 24 h a 70 °C; después, se pesó el vaso de precipitado con los insolubles (Sánchez & Aristizabal, 2007).

Cálculos e interpretación de los resultados:

1. Índice de absorción de agua:  $WAI = \text{peso del gel (g)} / \text{peso de la muestra (g) de almidón en base seca (g/1.25 g de s.d.b.)}$ .
2. Índice de solubilidad en agua:  $WSI = \text{peso del gel (g)} \times \text{volumen} \times 10 / \text{g de almidón d.b.}$  Se expresa en porcentaje (%).
3. Poder de hinchamiento.  $SP = [\text{peso del gel (g)/g de almidón (g)}] - \text{peso soluble (g)}$ . Se expresa en g de gel/g de almidón.

### Obtención de extractos

Los almidones (CSP1, USP1, CSP2 y USP2) se dispersaron en metanol a una concentración de 1:5 (w/v), posteriormente la mezcla heterogénea se sonicó en un equipo baño ultrasónico (KYMEN© Digital Ultrasonic Cleaner modelo JP-4820, Shenzhen, China) a 35 kHz durante 64 min, posteriormente se centrifugó a 1537 xg/5 min/4°C en una centrífuga refrigerada (Hermle Z326K, Wehingen, Alemania) y se recuperó la fase líquida, la cual se centrifugó nuevamente a 6147 g/10 min/4°C. La fase líquida se filtró utilizando papel filtro de poro cerrado (1 µm) y se concentró a presión reducida en un rotavapor (IKA© modelo C-MAG HS7, North Carolina, USA) a 40 °C/80 rpm/65 cmHg. Posteriormente, los extractos se llevaron a sequedad en un horno de recirculación (LSIS-B2V/VC 55, Alemania) durante 24 h a 35 °C. Los extractos secos se reconstituyeron en dimetilsulfóxido (DMSO) a una concentración de 20 mg/mL y se colocaron en frascos ámbar.

## Determinación de toxicidad aguda de extractos de almidones

Los extractos de CSP1, USP1, CSP2 y USP2 reconstituidos en DMSO (20 mg/mL) se utilizaron para preparar suspensiones a diferentes concentraciones (5, 25, 50, 100 y 150 µg/mL) de cada uno con agua destilada. Posteriormente, en tubos de prueba se colocaron 9 mL de agua salina (25 mg/L), 1 mL de suspensión y 10 organismos con 3 semanas de crecimiento. Como control negativo se utilizó 1 mL de DMSO (1 %), 9 mL de agua salina y 10 organismos. La toxicidad aguda se determinó después de 24 h de exposición. Se cuantificó el número de sobrevivientes y se consideró *Artemia* muerta si no presentaron movimientos internos o externos durante 1 min de observación (León-Fernández *et al.*, 2019). El ensayo se realizó por triplicado. La dosis letal media (LD<sub>50</sub>) se calculó utilizando una regresión PROBIT (LD-Probit V.1.0 Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola) y se utilizó la escala de toxicidad para organismos acuáticos [muy tóxico (LD<sub>50</sub> < 1 µg/mL), tóxico (LD<sub>50</sub> 1-10 µg/mL), perjudicial (LD<sub>50</sub> 10-100 µg/mL) y no tóxico (LD<sub>50</sub> > 100 µg/mL)] (Villamil, 2015).

## Capacidad antioxidante

### Ensayo DPPH

Se preparó una solución del radical DPPH• (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) a una concentración de 7.4 mg/100 mL en etanol al 80 %, la solución se agitó (IKA®, Alemania) durante 60 min en ausencia de luz, posteriormente, se diluyó con metanol al 80 % hasta obtener un valor de absorbancia de  $0.70 \pm 0.02$  nm a una longitud de onda de 520 nm. Se agregaron 50 µL de extracto en tubos Eppendorf de 1.5 mL y se añadieron 250 µL de la solución de DPPH ( $0.70 \pm 0.02$  nm), ésta se agitó en un vórtex y se dejó reposar durante 30 min en ausencia de luz, posteriormente, se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro (Biotek, PowerWave XS, EUA) a una longitud de onda de 520 nm (Morales & Jiménez-Pérez, 2001). Se elaboró una curva estándar de 80 mg equivalentes de ácido ascórbico (mg AAE). La capacidad antioxidante se expresó en mg equivalentes de ácido ascórbico por g de muestra seca (mg AAE/g de d.s.).

### Ensayo ABTS

La determinación de la capacidad inhibidora del catión radical 2,2'-azino-bis-(ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS •+) se cuantificó según la metodología de Re *et al.* (1999). Se prepararon soluciones de ABTS (7 mM) y persulfato de potasio (2.45 mM) con agua destilada. Las soluciones se mezclaron en una proporción 1:1 (v/v), luego se incubaron durante 16 h en la oscuridad a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  y se mantuvieron en agitación constante para formar el radical ABTS •+. La solución se diluyó inicialmente a una concentración 1:20 (v/v) con etanol (20 %) hasta alcanzar una absorbancia de  $0.70 \pm 0.02$  nm a 730 nm. Se tomaron 10 µL de la muestra y se hicieron reaccionar con 490 µL de ABTS •+ durante siete min. La absorbancia se leyó a 730 nm. Se elaboró una curva estándar de 400 mg equivalentes de ácido ascórbico (mg AAE). La capacidad antioxidante se expresó en mg equivalentes de ácido ascórbico por g de muestra seca (mg AAE/g de d.s.)

## Poder antioxidante reductor férrico (FRAP)

Se determinó de acuerdo con la técnica de Benzie & Strain (1996). El reactivo FRAP se preparó mezclando tres soluciones, primeramente, se preparó un amortiguador de acetatos disolviendo 1.36 g de acetato de sodio, 8 mL de ácido acético, en 400 mL de agua destilada, posteriormente la solución se sonicó en un baño ultrasónico (KYMEN® Digital Ultrasonic Cleaner modelo JP-4820, Shenzhen, China) durante 8 min, después se ajustó el pH a 3.6 y se aforó a 50 mL (solución 1), la solución de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) se preparó disolviendo 1.351 g aforado a 250 mL (solución 2). El reactivo TPTZ (Tris (2-pyridyl)-s-triazina) se preparó disolviendo 2.3 mg de TPTZ con 33  $\mu\text{L}$  de ácido clorhídrico (HCl), la solución se aforó a 10 mL con agua destilada (37 °C/15 min) (solución 3). Las soluciones se mezclaron en una proporción 10:1:1 y se almacenaron en ausencia de luz. Se agregaron 30  $\mu\text{L}$  de muestra y 250 mL del reactivo FRAP en viales de prueba, la muestra se agitó y se dejó reposar por 30 min. Se midió la absorbancia a 695 nm. Se elaboró una curva estándar de 50 mg equivalentes de ácido ascórbico (mg AAE). La capacidad antioxidante se expresó en mg equivalentes de ácido ascórbico por g de muestra seca (mg AAE/g de d.s.)

## Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completo al azar con arreglo factorial 2 x 2 (métodos de extracción y fases). Se establecieron cuatro tratamientos donde se evaluaron los almidones (fase 1 y fase 2) obtenidos de la extracción convencional y asistida por ultrasonido. Los resultados se analizaron con un ANOVA de dos vías y una comparación de medias por prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) utilizando el software Statistical Analysis System (SAS® V. 9.2).

## Resultados y Discusión

### Propiedades tecno-funcionales de los almidones

#### Temperatura de gelatinización (°C)

La temperatura de gelatinización en los almidones de CSP2 fue de 71.1 °C, mientras que en USP2 fue 71.4 °C; así mismo los almidones CSP1 fue de 72.3 °C y USP1 de 72.8 °C (Tabla 1). Xu *et al.* (2020) reportaron que, estos almidones gelatinizan cuando se calientan en sistemas acuosos, lo cual resulta en una transición irreversible por hidratación, hinchamiento y solubilización, lo que provoca un desorden por la interrupción de los múltiples niveles de organización de los gránulos de almidón. En esta investigación, con respecto a la extracción asistida por ultrasonido de los almidones, bajo estas condiciones la temperatura de gelatinización se incrementó, al respecto, Park & Han (2016) reportaron que el ultrasonido aumenta la temperatura de gelatinización, asociado a la fusión de los cristales más débiles, y se incrementa la presencia de los cristales más fuertes, que presentan largas cadenas de amilopectina, mismas que requieren mayor temperatura para lograr la disrupción granular y absorber agua. Otro factor que

influye en la temperatura de gelatinización es el tamaño del gránulo (Oliveira-Bernardo *et al.*, 2018); en el caso de los almidones extraídos de frutos de guanábana se ha reportado un tamaño de 6-9 micras, lo que conlleva a una rápida gelatinización (Nwokocha & Williams, 2009). Por otro lado, se ha reportado que la gelatinización ocurre inicialmente en las regiones amorfas, debido a que los enlaces de hidrógeno son más débiles en estas áreas, en este sentido, las temperaturas de gelatinización y entalpías asociadas con endotermas de gelatinización varían entre los almidones de diferentes fuentes, lo cual puede ser atribuido a las diferencias en el grado de cristalinidad, contenido de amilosa, presencia de lípidos y proteínas, además del tamaño granular (Amini *et al.* 2015).

### Índice de absorción de agua (WAI)

WAI indica el volumen de agua que el almidón gelificado es capaz de absorber y retener durante su hidratación (Huamani *et al.*, 2020). Los WAI (g de gel/1.25 g de s.d.b.) en esta investigación fueron de CSP2 (9.3), USP2 (7.6), CSP1 (5.08) y USP1 (4.62) (Tabla 1). Los almidones de la P2 presentaron alto WAI, esto puede ser por la alta disponibilidad de grupos hidrofílicos de los almidones que interactúan con moléculas de agua (Dun *et al.*, 2020), así como a las diferencias en la relación amilosa/amilopectina y a la distribución de longitud de cadena de los almidones (Ikegwu *et al.*, 2010). En contraste, se ha reportado que los almidones con alto contenido de compuestos fitoquímicos tales como los fenoles, alcaloides y acetogeninas presentan una reducción en su capacidad de absorber moléculas de agua (Humérez-Flores *et al.* 2022; De los Santos-Santos *et al.*, 2023). Por lo que estos compuestos al interactuar con los almidones reducen la disponibilidad de los grupos funcionales que forman enlaces con los fitoquímicos, tal y como lo reportaron Méndez *et al.* (2023) quienes observaron que la adición de compuestos bioactivos como vainillina a polisacáridos afecta las propiedades tecno-funcionales de estos.

### Índice de Solubilidad en agua (WSI)

WSI es un indicador de la solubilización de los componentes granulares, mide la cantidad de componentes solubles (amilosa) liberados particularmente por el almidón después del calentamiento (Ekielski *et al.*, 2020). Los resultados obtenidos en esta investigación sobre WSI de los almidones, arrojó valores de CSP2 (4.5 %), USP2 (3.2 %), CSP1 (4.6 %) y USP1 (3.5 %) (Tabla 1), esto nos indica que WSI es bajo para estos almidones. Yousf *et al.* (2017) reportaron que un alto WSI se relaciona con una buena digestibilidad, lo que implica el grado de gelatinización y dextrinización. Algunas investigaciones refieren que la temperatura de calentamiento influye en el índice de solubilidad de los almidones, tal y como lo reportaron Ramírez-Balboa *et al.* (2021) y López-Flores *et al.* (2020), quienes observaron que a 60 °C el índice de solubilidad es más bajo (1.25 y 1.43 %), indicando que este parámetro es proporcional a la temperatura de calentamiento del almidón. Este comportamiento se debe a que la amilosa se libera al medio acuoso a medida que incrementa el área superficial de los gránulos (debido a la gelatinización), esta lixiviación de lleva

inicialmente a través de los poros y canales granulares, con una mayor difusión de moléculas de agua dentro del gránulo, lo cual incrementa la solubilidad (Amini *et al.*, 2015).

### Poder de hinchamiento (SP)

El almidón no es soluble en agua, sin embargo, a medida que aumenta la temperatura, los gránulos se hidratan aumentando su masa en almidón no solubilizado (antes de liberar amilosa), como consecuencia de la absorción de agua por los grupos OH de la amilosa y amilopectina (Nwokocha & Williams, 2009); en esta investigación se evaluó el SP (g gel/g de almidón) de los almidones extraídos del fruto de guanábana, y cuyos resultados son CSP2 (9.5), USP2 (7.7), CSP1(6.1) y USP1 (4.68) (Tabla 1). Los almidones P2 presentaron alto SP y bajo índice de solubilidad en agua, esta condición podría estar relacionada con el bajo contenido de amilosa presente en estos almidones (De los Santos-Santos *et al.*, 2023), lo cual restringe el hinchamiento de los gránulos al reforzar la red interna. Meaño-Correa *et al.* (2014) en almidón nativo de ñame, reportaron que la temperatura de calentamiento influye en el poder de hinchamiento de los almidones, y aumenta a medida que incrementa la temperatura, alcanzando hasta un máximo de 49.05 g gel/g de almidón, a 95 °C. Esto podría ser atribuido a la ruptura de los enlaces intermoleculares, al rompimiento de la estructura molecular cristalina y a la unión de moléculas de agua a grupos hidroxilo libre de amilosa y amilopectina y a cambios morfológicos y de permeabilidad en los gránulos de almidón (Amini *et al.*, 2015). No obstante, cuando el poder de hinchamiento es bajo, se puede relacionar con un bajo contenido de amilosa, presencia de lípidos y/o compuestos fitoquímicos. Xu *et al.* (2020) reportaron que las proteínas y compuestos fitoquímicos lipídicos pueden interactuar con la amilosa y restringir el poder de hinchamiento.

**Tabla 1. Análisis tecno-funcional de almidones de frutos de guanábana**

Polisacárido	Método de extracción	Temperatura de gelatinización (°C)	WAI (g/1.25 g de s.d.b.)	WSI (%)	SP (g gel/g de almidón)
CSP2	Convencional	71.1 ± 0.05 <sup>c</sup>	9.3 ± 1.8 <sup>a</sup>	4.5 ± 0.8 <sup>a</sup>	9.5 ± 1.9 <sup>a</sup>
USP2	Ultrasonido	71.4 ± 0.5 <sup>b</sup>	7.6 ± 1.08 <sup>ab</sup>	3.2 ± 0.5 <sup>a</sup>	7.7 ± 1.1 <sup>ab</sup>
CSP1	Convencional	72.3 ± 0.05 <sup>ab</sup>	5.08 ± 0.1 <sup>bc</sup>	4.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	5.1 ± 0.1 <sup>bc</sup>
USP1	Ultrasonido	72.8 ± 0.11 <sup>a</sup>	4.62 ± 0.06 <sup>c</sup>	3.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	4.68 ± 0.06 <sup>c</sup>
	MSD	0.71	2.75	1.41	2.9
	CV	0.38	15.79	13.5	16.35

Índice de absorción de agua (WAI), solubilidad de agua (WSI) e poder de hinchamiento (SP) a 70 °C. Los valores son las medidas de tres repeticiones ± desviación estándar, letras diferentes por columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). MSD: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

## Toxicidad aguda de extractos de almidones de frutos de guanábana

La LD<sub>50</sub> de los extractos de los almidones fue de 12.88 µg/mL en CSP1, así mismo en USP1 (6.83), CSP2 (23.58) y USP2 (21.18) (Tabla 2). Se ha reportado que un extracto se considera activo en ensayos con *Artemia* cuando presentan LD<sub>50</sub> < 1000 µg/mL (Rupprecht *et al.*, 1990), coincidiendo con los resultados obtenidos en esta investigación. Villamil (2015) ha reportado que los niveles de toxicidad, de los químicos para los organismos acuáticos, como *Artemia salina*, se clasifican en muy tóxico (LD<sub>50</sub> < 1 µg/mL), tóxico (LD<sub>50</sub> 1-10 µg/mL), perjudicial (LD<sub>50</sub> 10-100 µg/mL) y no tóxico (LD<sub>50</sub> > 100 µg/mL). En este sentido, los resultados obtenidos con los extractos de los almidones se clasifican como perjudiciales (CSP2, USP2 y CSP1) y tóxicos (USP1), lo cual puede estar relacionado con la parte estructural del fruto (semilla, pulpa, cáscara) de la cual provienen los almidones, para el caso de esta investigación los almidones de la P1 provienen principalmente de cáscara y semilla, los cuales presentan alto contenido de compuestos citotóxicos como alcaloides y acetogeninas (De los Santos-Santos *et al.*, 2023; Riley-Saldaña *et al.*, 2017). Aguilar-Hernández *et al.* (2020) realizaron una investigación en cáscara y semillas de frutos de guanábana y reportaron alto contenido de alcaloides y acetogeninas; estos compuestos presentan sinergismo (Galvis-García *et al.*, 2012), tal como se ha reportado LD<sub>50</sub> de fracciones acetogénicas de hasta 2.60-3.18 µg/mL en pulpa de guanábana y 21.97 µg/mL en corteza de *Annona cherimolioides* (León-Fernández *et al.*, 2019; Galvis-García *et al.*, 2012), al respecto, también se ha documentado que las acetogeninas aisladas poseen mayor actividad citotóxica que los extractos, no obstante, se han investigado ampliamente que las acetogeninas anonáceas que ejercen actividad citotóxica no dañan las células sanas (Vila-Nova *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2014). Los almidones de frutos de guanábana son una alternativa en la elaboración de materiales bioactivos (Martínez-Ortiz *et al.*, 2022), por lo que, estos resultados podrían servir como base en investigaciones futuras donde se evalúe la actividad antifúngica de estos almidones, ya que, las *Artemias* son organismos bio control con los cuales se predice la habilidad de los compuestos para inhibir el crecimiento de hongos, matar insectos y/o ejercer un amplio rango de efectos farmacológicos.

**Tabla 2. Determinación de toxicidad de extractos de almidones de frutos de guanábana**

Polisacárido	Dosis letal µg/mL (LD <sub>50</sub> )
CSP2	23.58 ± 2.14 <sup>a</sup>
USP2	21.18 ± 3.48 <sup>a</sup>
CSP1	12.88 ± 2.49 <sup>b</sup>
USP1	6.83 ± 0.9 <sup>b</sup>
MSD	6.37
CV	15.13

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). CSP1: almidón convencional fase 1, USP1: almidón ultrasonido fase 1, CSP2: almidón convencional fase 2, USP2: almidón ultrasonido fase 2. CV: Coeficiente de Variación, DMS: Diferencia Mínima Significativa.

## Capacidad antioxidante

### Ensayo ABTS

El ensayo ABTS mide la capacidad de los antioxidantes para eliminar el radical catión  $ABTS^{\bullet+}$ , el cual es un cromóforo azul-verde con absorción máxima a 734 nm que disminuye su intensidad en presencia de antioxidantes como compuestos fitoquímicos (López-Martínez *et al.*, 2022). La capacidad antioxidante (mg AAE/g de d.s) por ABTS de los almidones en esta investigación fue de CSP2 (0.693), USP2 (0.644), CSP1 (10.44) y USP1(11.4) (Tabla 3). Al respecto, los extractos de los almidones CSP1 y USP1 tiene alta capacidad para atrapar el radical  $ABTS^{\bullet+}$  en comparación con los almidones CSP2 y USP2; de acuerdo con lo reportado por Prior *et al.* (2005) estos resultados pueden ser por la alta presencia de compuestos fenólicos. Novaes *et al.* (2019) reportaron que la presencia de compuestos fenólicos como flavonoides, aumenta la capacidad antioxidante de un extracto debido a la estructura de 3 anillos de benceno. Los resultados obtenidos en esta investigación son menores a lo reportado por Balois-Morales *et al.* (2019) y Jiménez-Zurita *et al.* (2017) quienes realizaron investigaciones en pulpa de frutos de guanábana, este comportamiento podría atribuirse a que la extracción de almidón se lleva a cabo en condiciones acuosas, medio en el que se solubilizan los compuestos como los fenoles. En este sentido, la menor capacidad antioxidante por el método ABTS podría deberse a que los almidones de frutos de guanábana al ser extraídos con agua disminuyen su concentración de compuestos antioxidantes polares como los fenoles, taninos y flavonoides principalmente (Rodrigues *et al.*, 2021), ya que estos se solubilizan en el medio de extracción (agua) y se eliminan cuando se descarta el sobrenadante de las fases del almidón.

### Ensayo DPPH

El método DPPH detecta componentes solubles en solventes orgánicos, especialmente alcoholes (etanol y metanol) a diferencia de algunos otros métodos (ABTS y FRAP), los cuales miden la capacidad inhibitoria de las moléculas hidrofílicas (Álvarez-Gómez *et al.*, 2016). La capacidad antioxidante por DPPH (mg AAE/g de d.s) de los almidones fue de CSP2 (1.75), USP2 (1.76), CSP1 (59.1) y USP1 (69.6) (Tabla 3). Los almidones extraídos de frutos de guanábana contienen compuestos con capacidad antioxidante, como las acetogeninas (De los Santos-Santos *et al.*, 2023), ya que, al ser obtenidos a partir de extracciones con metanol, las acetogeninas se solubilizan y están biodisponibles para inhibir el radical DPPH. Estudios han reportado que las acetogeninas tienen alta capacidad antioxidante frente al radical DPPH, similar al ácido ascórbico (AA), esto se debe principalmente al anillo de lactona  $\alpha,\beta$ -insaturado que también está presente en el ácido ascórbico (Lima *et al.*, 2010). Los almidones de frutos de guanábana al contener compuestos fitoquímicos con actividad biológica podrían utilizarse en la elaboración de biopolímeros como recubrimientos, empaques y películas con una actividad extra de protección (Martínez-Ortiz *et al.*, 2022).

### Poder antioxidante reductor férrico (FRAP)

El ensayo FRAP evalúa el efecto combinado de las defensas antioxidantes no enzimáticas que se encuentran presentes en muestras biológicas, como un índice de la capacidad de resistir el daño oxidante (Benítez-Estrada *et al.*, 2021). La capacidad antioxidante FRAP para los almidones CSP2 y USP2 fue de 1.26 y 1.33 mg AAE/g de d.s respectivamente, mientras que los almidones CSP1 USP1 presentaron 22.2 y 23 mg AAE/g de d.s respectivamente. Los resultados mostraron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ). Los almidones de frutos de guanábana presentan alto contenido de polifenoles (De los Santos-Santos *et al.*, 2023), estos compuestos poseen alta capacidad antioxidante por su capacidad de donar un electrón y reducir algunos compuestos como los lípidos que causan rancidez (Benzie & Devaki, 2017). En semillas de frutos de guanábana se ha reportado presencia de lípidos Estigmasterol y  $\beta$ -Sitosterol (España *et al.*, 2023), estos lípidos podrían estar presentes en los almidones principalmente en P1, ya que, al ser obtenidos por molienda de frutos completos, es posible su interacción durante la extracción. En este sentido, estos compuestos lipídicos podrían evitar su oxidación debido a la presencia de compuestos con alta capacidad antioxidante como flavonoides y acetogeninas (León-Fernández *et al.*, 2019; De los Santos-Santos *et al.*, 2023).

**Tabla 3. Determinación de capacidad antioxidante de extractos de almidones de frutos de guanábana**

Polisacárido	ABTS	DPPH	FRAP
	mg AAE/g de d.s.	mg AAE/g de d.s.	mg AAE/g de d.s.
CSP2	0.693 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	1.75 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>	1.26 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
USP2	0.644 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	1.76 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	1.33 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
CSP1	10.446 $\pm$ 0.59 <sup>b</sup>	59.1 $\pm$ 2.9 <sup>c</sup>	22.2 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>
USP1	11.4 $\pm$ 0.79 <sup>b</sup>	69.6 $\pm$ 1.5 <sup>c</sup>	23 $\pm$ 0.5 <sup>b</sup>
MSD	1.3	4.4	0.85
CV	8.5	5.1	2.74

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). CSP1: almidón convencional fase 1, USP1: almidón ultrasonido fase 1, CSP2: almidón convencional fase 2, USP2: almidón ultrasonido fase 2. CV: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa.

### Conclusiones

Los almidones puros extraídos de los frutos de guanábana (fase 2) presentaron propiedades tecno-funcionales de alto índice de absorción, solubilidad e hinchamiento y una temperatura intermedia de gelatinización, en esta misma fase de extracción se presentó toxicidad en organismos de *Artemia salina*, lo que los clasifica como almidones perjudiciales. Los almidones (fase 1) presentaron alta capacidad

antioxidante y presentaron toxicidad perjudicial en altas concentraciones en organismos de *Artemia salina*. Los resultados obtenidos sugieren que los almidones de frutos de guanábana podrían ser aprovechados como ingredientes funcionales en la industria alimentaria y farmacéutica debido a su capacidad de absorción, solubilidad y capacidad antioxidante; sin embargo, debido a la toxicidad presentada en los organismos de *Artemia salina* (altas concentraciones), se recomienda realizar estudios de citotoxicidad con modelos celulares, así como en su estabilidad y comportamiento en matrices complejas como recubrimientos y biopelículas. Además, nuevas investigaciones podrían centrarse en la modificación química y/o física los almidones para reducir su toxicidad sin comprometer sus propiedades tecno funcionales.

### Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo (DSMA, BLJE, BMR). Desarrollo de la metodología (DSMA). Manejo de software (DSMA, BLJE). Validación experimental (DSMA, BLJE, LFAE, BMR). Análisis de resultados (DSMA, BLJE, BMR, BRPU, JZJO). Manejo de datos (DSMA, BLJE, BMR, BRPU, JZJO, LFAE). Escritura y preparación del manuscrito (DSMA, BLJE). Redacción, revisión y edición (DSMA, BLJE, BMRL, LFAE, JZJO, BRPU). Administrador de proyectos (BMR). Adquisición de fondos (BMR). "Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo."

### Financiamiento

El proyecto contó con el apoyo del Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SADER-SECIHTI) Número 266891; y del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación (SEP-SECIHTI) Número 242718.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca proporcionada a Miguel Angel De los Santos Santos (No. de becario 790552).

### Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

### Referencias

- Aguilar-Hernández, G., López-Romero, B. A., Huerta-Castellanos, I., Tellez-Isaias, G., & Montalvo-González, E. (2024). Acetogenins from *Annona muricata* as Antimicrobial Agents. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.115064>
- Aguilar-Hernández, G., Vivar-Vera, M., García-Magaña, M., González-Silva, N., Pérez-Larios, A., & Montalvo-González, E. (2020). Ultrasound-Assisted extraction of total acetogenins from the soursop fruit by response surface methodology. *Molecules*, 25(5), 1139. <https://doi.org/10.3390/molecules25051139>

- Álvarez-Gómez, F., Korb, N., & Figueroa, F. (2016). Análisis de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en extractos macroalgales y líquénicos mediante la aplicación de diferentes solventes y métodos de evaluación. *Ciencias marinas*, 42(4), 271-288. <https://doi.org/10.7773/cm.v42i4.267>
- Amini, A., Razavi, S., & Mortazavi, S. (2015). Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 282-292. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.020>
- Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejagal, I., López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., & Sánchez-Herrera, L. M. (2019). Antioxidant enzymes and antioxidant activity in two sour sop selections (*Annona muricata* L.) from Nayarit, México stored at 15 °C. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 41(1), e-083. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019083>
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R. & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2021). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP. Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, e20200244. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>
- Benzie, I. F., & Devaki, M. (2017). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for nonenzymatic antioxidant capacity: Concepts, procedures, limitations, and applications. *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity* (eds R. Apak, E. Capanoglu and F. Shahidi). <https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch5>
- Benzie, I. F., & Strain, J.J (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Da Silva, M. de A. S., Bridi, R., Arias-Santé, M. F., Rincón-Cervera, M. A., Meisel, L. A., Rhein, S., Porras, O., Márquez Calvo, K., Carrasco, B., & de Camargo, A. C. (2024). Soluble and insoluble-bound phenolic bioactive compounds of Tortola bean leaf and their antioxidant properties in chemical-based assays and Caco-2 cells. *Food Bioscience*, 57, 103616. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103616>
- De los Santos-Santos, M. A., Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejagal, I., Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., & Alia-Tejagal, I. (2020). Evaluación de almidón como recubrimiento comestible sobre los compuestos fenólicos y actividad antioxidante en frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista fitotecnica mexicana*, 43(4), 443-452. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.443>
- De los Santos-Santos, M. A., Balois-Morales, R., Bello-Lara, J. E., León-Fernández, A. E., Jiménez-Zurita, J. O., Bautista-Rosales, P. U., Ramírez-Balboa, G., Casas-Junco, P. P., & Montalvo-González, E. (2023). Compuestos fitoquímicos en almidones de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista BioCiencias*, 10,e1502. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1502>
- Donoso-Bustamante, V., Osorio, E., Arias-Santé, M. F., De Camargo, A. C., Rincón-Cervera, M. Á., Amalraj, J., Carrasco, B., Palomo, I., & Araya-Maturana, R. (2025). Antioxidant activity of sinapic acid anilides: DPPH, ABTS, FRAP, electrochemical and theoretical analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 222, 117656. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117656>
- Dun, H., Liang, H., Zhan, F., Wei, X., Chen, Y., Wan, J., Ren, Y., Hu, L., & Li, B. (2020). Influence of O/W emulsion on gelatinization and retrogradation properties of rice starch. *Food Hydrocolloids*, 103, 105652. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105652>
- Ekielski, A., Żelaziński, T., Siwek, A., Sharma, V., & Kumar Mishra, P. (2020). Formulation and Characterization of Corn Grits- Propylene Glycol Extrudates. *Materials Today: Proceedings*, 21(4), 1772-1780. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.230>
- España, O. A., Ortiz, A. F., Eraso, S., Hurtado, A. M., & Mena, J. (2023). Actividad biológica de los aceites de semillas de *Annona muricata* y *A. cherimola*. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe De Plantas Medicinales y Aromáticas*, 22(3), 360-376. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.3.27>
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F.J., Flores-Huicochea, E., Nuñez-Santiago, M.C., González-Soto, R.A., & Bello-Pérez, L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*) estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55(1),86-90.

- Galvis-García, J., Ocampo, D., Ocampo, R., & Gutiérrez-Cárdenas, P. (2012). Actividad tóxica de los extractos de la corteza de tallo de *Annona cherimolioides* (annonaceae) sobre *Artemia salina*. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16(2), 17-22.
- Huamani-H, A. L., Ponce-Ramírez, J. C., Málaga-Juárez, J., Huamani-H, A. L., Ponce-Ramírez, J. C., & Málaga-Juárez, J. (2020). Optimization of the quinoa cooking process using the 3k design and the desirability function: Degree of gelatinization, water absorption index, solubility index and cotyledon detachment. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381-390. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>
- Humérez-Flores, J. N., Verkempinck, S. H., De-Bie, M., Kyomugasho, C., Van-Loey, A. M., Moldenaers, P., & Hendrickx, M. E. (2022). Understanding the impact of diverse structural properties of homogalacturonan rich citrus pectin-derived compounds on their emulsifying and emulsion stabilizing potential. *Food Hydrocolloids*, 125, 107343. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107343>
- Ikegwu, O. J., Okechukwu, P. E. & Ekumankana, E. O. (2010). Physico-chemical and pasting charactersitics of flour and starch from achi *Brachystegia eurycoma* seed. *Journal of Food Technology*, 8(2), 58-66.
- Jiménez, V. M., Gruschwitz, M., Schweiggert, R. M., Carle, R., & Esquivel, P. (2014). Identification of phenolic compounds in soursop (*Annona muricata*) pulp by high-performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization mass spectrometric detection. *Food Research International*, 65, 42-46. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.051>
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Sánchez Herrera, L. M., Jiménez-Ruiz, E. I., Bello-Lara, J. E., García-Paredes, J. D., & Juárez-López, P. (2017). Cold storage of two selections of soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Journal of Food Quality*, 2017(1), 4517469. <https://doi.org/10.1155/2017/4517469>
- Koev, T. T., Muñoz-García, J. C., Iuga, D., Khimyak, Y. Z., & Warren, F. J. (2020). Structural heterogeneities in starch hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 249, 116834. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116834>
- León-Fernández, A. E., Martínez-Cárdenas, L., Zepeda-Vallejo, L. G., Arteaga-Garibay, R. I., Gutiérrez-Martínez, P. & Montalvo-González, E. (2019). Antibacterial, antifungal, antioxidant and toxic effect of fractioned extracts from Soursop pulp. *Revista Biociencias*, 6. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e400>
- Lima, L., Pimenta, L. P., & Boaventura, M. (2010). Acetogenins from *Annona cornifolia* and their antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 122(4), 1129-1138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.100>
- López-Flores, Y. A., Ramírez-Balboa, G., Bautista-Rosales, P. U., López-Guzmán, G. G. & Bello-Lara, J. E. (2020). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón extraídos de frutos de mango 'Tommy atkins' del estado de Nayarit. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 694-699.
- López-Martínez, C. R., García-Mateos, M. D. R., Martínez-Damián, M. T., & Sánchez-Sánchez, L. (2022). Calidad nutricional y nutracéutica del fruto de tres especies de Annonaceae: Guanábana, chirimoya y chincuya. *Nova Scientia*, 14(28). <https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.2925>
- Martínez-Ortiz, M.A. (2024). Caracterización de almidones de fuentes no convencionales y su uso potencial en la industria. [Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nayarit]
- Martínez-Ortiz, M. A., León-Fernández, A. E., Bello-Lara, J. E., Berumen-Varela, G., Bautista-Rosales, P. U., Jiménez-Zurita, J. O., Juárez-López, P. & Balois-Morales, R. (2022). Almidones de frutos tropicales y su aplicación en la industria alimentaria: mango, plátano, chirimoya y guanábana. Una revisión. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 10(56), 1-13.
- Md-Roduan, M. R., Abd Hamid, R., & Mohtarrudin, N. (2019). Modulation of cancer signalling pathway(s) in two-stage mouse skin tumorigenesis by annonacin. *BMC complementary and alternative medicine*, 19(1), 238. <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2650-1>
- Meaño-Correa, N., Ciarfella-Pérez, A., & Dorta-Villegas, A. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y tecnofuncionales 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*, 26(2), 182-187.

- Méndez, D., Schroeter, B., Martínez-Abad, A., Fabra, M., Gurikov, P., & López-Rubio, A. (2023). Pectin-based aerogel particles for drug delivery: Effect of pectin composition on aerogel structure and release properties. *Carbohydrate Polymers*, 306, 120604. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120604>
- Morales, F. J., & Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72, 119-125. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00239-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00239-9)
- Nolasco-González, Y., García-Magaña, M. de L., León-Fernández, A. E., Monribot-Villanueva, J. L., Guerrero-Analco, J. A., & Montalvo González, E. (2023). Formulación y análisis fitoquímico de una bebida potencialmente funcional obtenida de la combinación de un extracto de hojas y pulpa de *Annona muricata* (Annonaceae). *Acta Botanica Mexicana*, (130). <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2185>
- Novaes, P., Torres, P., Cornú, T., Lopes, J.D.C., & Ferreira, M. (2019). Comparing antioxidant activities of flavonols from *Annona coriacea* by four approaches. *Revista Sudafricana de Botánica*, 123, 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.03.011>
- Nwokocho, L., & Williams, P. (2009). New starches: Physicochemical properties of sweetsop (*Annona squamosa*) and soursop (*Annona muricata*) starches. *Carbohydrate Polymers*, 78(3): 462-468. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.05.003>
- Okumu, M. O., Mbaria, J. M., Gikunju, J. K., Mbuthia, P. G., Madadi, V. O., Ochola, F. O., & Jepkorir, M. S. (2021). *Artemia salina* as an animal model for the preliminary evaluation of snake venom-induced toxicity. *Toxicon*: X, 12, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2021.100082>
- Oliveira-Bernardo, C., Ascheri, J., Chávez, D., & Piler, C. (2018). Ultrasound assisted extraction of yam (*Dioscorea bulbifera*) starch: effect on morphology and functional properties. *Starch-Stärke*, 170018. <https://doi.org/10.1002/star.201700185>
- Park, D., & Han, J. (2016). Quality controlling of brown rice by ultrasound treatment and its effect on isolated starch. *Carbohydrate Polymers*, 137, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.045>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agriculture and Food chemistry*, 53 (10), 4290-4302. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0502698>
- Ramírez-Balboa, G., Balois-Morales, R., Bello-Lara, J. E., Bautista-Rosales, P. U., León-Fernández, A. E., López-Guzmán, G. G., & Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Flores, Y. A. (2021). Ultrasound-assisted extraction and characterization of the functional properties of starch from soursop fruits (*Annona muricata* L.). *Acta Scientiarum Technology*, 43(1), e49052. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v43i1.49052>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, M., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Riley-Saldaña, C. A., Cruz-Ortega, M. D. R., Martínez-Vázquez, M., De-la-Cruz-Chacón, I., Castro-Moreno, M., & González-Esquinca, A. R. (2017). Acetogenins and alkaloids during the initial development of *Annona muricata* L. (Annonaceae). *Zeitschrift für Naturforschung. C, Journal of biosciences*, 72(11-12), 497-506. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0060>
- Rodrigues, L. G. G., Mazzutib, S., Da, M., Vitali, L., & Lanza, M. (2021). Intensified green-based extraction process as a circular economy approach to recover bioactive compounds from soursop seeds (*Annona muricata* L.). *Food Chemistry*: X, 12, 100164. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100164>
- Rupprecht, J. K., Hui, Y. H., & McLaughlin, J. L. (1990). Annonaceous acetogenins: a review. *Journal of natural products*, 53(2), 237-278. <https://doi.org/10.1021/np50068a001>
- Sánchez, T., & Aristizabal, J. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO Nº 163. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma, Italia, pp. 134

- Schmiele, M., Marques-Sampaio, U., & Pedrosa-Silva, C. M. (2019). Chapter 1 - Basic Principles: Composition and Properties of Starch. In *Starches for Food Application*, Sawston, Reino Unido, Academic Press.
- SIAP. (2024). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México, México.
- Solarte-Montúfar, Juan G., Díaz-Murangal, Anderson E., Osorio-Mora, Oswaldo, & Mejía-España, Diego F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30(6), 35-44. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Tesfaye, T., Gibril, M., Sithole, B., Ramjugernath, D., Chavan, R., Chunilall, V., & Gounden, N., (2018). Valorisation of avocado seeds: extraction and characterization of starch for textile applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20, 2135-2154. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1597-0>
- Vila-Nova, N. S., De Moraes, S. M., Falcão, M. J. C., Alcantara, T. T. N., Ferreira, P. A. T., Cavalcanti, E. S. B., Vieira, I. G. P., Campello, C. C., & Wilson, M. (2013). Different susceptibilities of *Leishmania* spp. promastigotes to the *Annona muricata* acetogenins annonacinone and corossolone, and the *Platymiscium floribundum* coumarin scoparone. *Experimental Parasitology*, 133(3), 334-338. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2012.11.025>
- Villamil, M. M., Gavilá, J. T., & Varó, I. (2015). Evaluación de la toxicidad de metilparabeno en *Artemia franciscana*: efectos sobre crecimiento, supervivencia y biomarcadores. Nereis. *Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, 8, 113-118.
- Xu, J., Blennow, A., Li, X., Chen., L., & Liu, X. (2020). Gelatinization dynamics of starch in dependence of its lamellar structure, crystalline polymorphs and amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 229, 115-181. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115481>
- Yongfeng, A., & Jay-lin, J. (2015). Gelatinization 3-4, and rheological properties of starch. *Starch-Stärke*, 67, 213-224. <https://doi.org/10.1002/star.201400201>
- Yousf, N., Nazir, F., Salim, R., Ahsan, H., y Sirwal, A. (2017). Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 2165-2168