

## Compuestos fitoquímicos en almidones de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.)

### Phytochemical compounds in soursop fruit starches (*Annona muricata* L.)

De los Santos-Santos, M.A.<sup>1</sup> , Balois-Morales, R.<sup>1,2\*</sup> , Bello-Lara, J.E.<sup>2</sup> ,  
León-Fernández, A.E.<sup>2</sup> , Jiménez-Zurita, J.O.<sup>1, 2</sup> , Bautista-Rosales, P.U.<sup>1,2</sup> ,  
Ramírez-Balboa, G.<sup>1</sup> , Casas-Junco, P. P.<sup>2</sup> , Montalvo-González E.<sup>3</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> Unidad de Tecnología de Alimentos, Secretaría de Investigación y Posgrado; Universidad Autónoma de Nayarit; Ciudad de la Cultura S/N, C. P. 63000, Tepic, Nayarit, México.

<sup>3</sup> Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Instituto Tecnológico de Tepic, Avenida Insurgentes #2595, Colonia Lagos del Country, Tepic, Nayarit. Código Postal 63175, Nayarit, México.



**Please cite this article as/Como citar este artículo:** 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). Phytochemical compounds in soursop fruit starches (*Annona muricata* L.). *Revista Bio Ciencias*, 10, e1502. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1502>

#### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: April 23<sup>th</sup> 2023.

Accepted/Aceptado: August 16<sup>th</sup> 2023.

Available on line/Publicado: August 27<sup>th</sup> 2023.

#### RESUMEN

Las investigaciones en almidones que contengan compuestos fitoquímicos son nuevas oportunidades en la producción de alimentos funcionales y suplementos dietéticos. Los almidones que contienen estos compuestos pueden tener efectos benéficos para la salud, como propiedades antioxidantes. Los almidones se encuentran en una variedad de fuentes no convencionales, dentro de los cuales se encuentran los frutos de guanábana. El objetivo de este estudio fue determinar el contenido de compuestos fitoquímicos en almidones extraídos de frutos de guanábana mediante método convencional y ultrasonido. Se extrajo almidón de frutos de guanábana mediante método convencional y ultrasonido obteniéndose dos fases por cada método; se determinó el contenido de amilosa y lípidos, así como el contenido de compuestos fitoquímicos en los almidones (fenoles solubles totales, taninos solubles totales, flavonoides solubles totales, fitoesteroles, alcaloides y acetogeninas). Las extracciones fueron: ACF1 (Almidón convencional fase 1), AUF1 (almidón ultrasonido fase 1), AUF2 (Almidón ultrasonido fase 2), ACF2 (almidón convencional fase 2). Los almidones de AUF1 presentaron alto contenido de fenoles solubles totales (2.26 mg GAE/g de d.b.s), taninos solubles (0.99 mg GAE/g de d.b.s), flavonoides solubles totales (1.55 mg QE/g de d.b.s), fitoesteroles (3.55 mg CE/g de d.b.s), alcaloides (8.42 mg AE/g de d.b.s) y acetogeninas (1.81 mg ANE/g de d.b.s). La extracción de almidones asistida por ultrasonido incrementa el contenido de almidones de frutos de guanábana y compuestos fitoquímicos. Los compuestos fitoquímicos presentes en los almidones de frutos de guanábana son fenoles, flavonoides, taninos, alcaloides, fitoesteroles y acetogeninas.

**PALABRAS CLAVE:** Acetogeninas, alcaloides, anonácea, polisacárido.

#### \*Corresponding Author:

Rosendo Balois-Morales. Unidad de Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura S/N. C. Postal 63000, Tepic, Nayarit, México. Teléfono 311 103 52 59 E-mail: [mbalois@uan.edu.mx](mailto:mbalois@uan.edu.mx)

*Revista Bio Ciencias* 10, e1502.

---

## ABSTRACT

---

Researches on starches containing phytochemical compounds are new opportunities in the production of functional foods and dietary supplements. Starches containing these compounds may have beneficial health effects, such as antioxidant properties. Starches are found in a variety of unconventional sources, including soursop fruits. This study aimed to determine the content of phytochemical compounds in starches extracted from soursop fruits by conventional method and ultrasound. Starch was extracted from soursop fruits by conventional method and ultrasound, obtaining two phases for each method. The amylose and lipid content were determined, as well as the content of phytochemical compounds in the starches (phenols, tannins, flavonoids, phytosterols, alkaloids, and acetogenins). The extractions were: ACF1 (conventional starch phase 1), AUF1 (ultrasonic starch phase 1), AUF2 (Ultrasonic starch phase 2), and ACF2 (conventional starch phase 2). The AUF1 starches presented high content of total soluble phenols (2.26 mg GAE/g of d.b.s), total soluble tannins (0.99 mg GAE/g of d.b.s), total soluble flavonoids (1.55 mg QE/g of d.b.s), phytosterols (3.55 mg CE/g of d.b.s), alkaloids (8.42 mg AE/g of d.b.s) and acetogenins (1.81 mg ANE/g of d.b.s). Ultrasound-assisted starch extraction increases the starch content of soursop fruits and phytochemical compounds. The phytochemical compounds present in the starches of soursop fruits are phenols, flavonoids, tannins, alkaloids, phytosterols, and acetogenins.

---

**KEY WORDS:** Acetogenins, alkaloids, anonacea, polysaccharides.

---

## Introducción

El almidón es un polisacárido ampliamente utilizado en la industria debido a su alta disponibilidad, bajo costo y gran versatilidad en sus aplicaciones, destacando su uso como agente espesante, estabilizante y emulsionante en la industria alimentaria y el papel (Schmiele *et al.*, 2019; Koev *et al.*, 2020). Industrialmente, los almidones son extraídos de papa (*Solanum tuberosum* L.), maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), catalogados como fuentes convencionales (Carvalho, 2013). Ante la creciente demanda de productos alimenticios alternativos e innovadores con características nutraceuticas benéficas para la salud y el incremento en el consumo de alimentos ultra procesados, se han realizado investigaciones para evaluar el uso de almidones de plátano (*Musa paradisiaca* L.), mango (*Mangifera indica* L.), chirimoya (*Annona cherimola* L.) y guanábana (*Annona muricata* L.) debido a que estos almidones presentan resistencia a hidrólisis enzimática y una baja tendencia a la sinéresis, así como contenido de compuestos fitoquímicos (Martínez-Ortiz *et al.*, 2022; Espinosa-Solís *et al.*, 2009). Los compuestos fitoquímicos son metabolitos secundarios producidos por

las plantas, estos presentan actividades antioxidantes principalmente (Zubaidi *et al.*, 2023). Los frutos de guanábana presentan fenoles, flavonoides, taninos, alcaloides, fitoesteroles y acetogeninas (Correa-Gordillo *et al.* 2012; Terán-Eraza *et al.*, 2019; Aguilar-Hernández *et al.*, 2020a), estos últimos han sido identificados de manera cualitativa en almidones de frutos de guanábana (Ramírez-Balboa *et al.*, 2021) y han sido objeto de estudio determinando el contenido de este compuesto en semillas y pulpa, así como su actividad biológica (Grba *et al.*, 2022; Prasad *et al.*, 2021; Mutakin *et al.*, 2022). Los compuestos fitoquímicos están presentes en almidones de frutos de guanábana formando interacciones binarias (amilosa-lípido), terciarias (amilosa-lípido-proteína) y cuaternarias (amilosa-lípido-proteína-fenol) (Wang *et al.*, 2019; Krishnan *et al.*, 2021), en este sentido, el contenido de compuestos fitoquímicos de los almidones es directamente proporcional al porcentaje de amilosa de los almidones y lípidos (Krishnan *et al.*, 2021). Estos compuestos presentes en los almidones pueden ejercer efectos benéficos para la salud en forma directa, principalmente en el tubo digestivo, o en forma indirecta a través de sus actividades prebióticas sobre el microbiota intestinal y de la formación de metabolitos bacterianos bioactivos que actúan tanto a nivel local como sistémico (Gasaly *et al.*, 2020). En este sentido, el objetivo de este estudio fue determinar el contenido de compuestos fitoquímicos en almidones extraídos de frutos de guanábana mediante método convencional y ultrasonido.

## Material y Métodos

### Material biológico

Se cosecharon frutos de guanábana, tomando en cuenta el índice de cosecha (160 días después de anthesis) reportado por Balois-Morales *et al.* (2019), la cosecha fue en el ejido de Venustiano Carranza, Tepic, Nayarit (21° 32' 2.77" N, 104° 58'37.73" O, 893 masl). Los frutos se transportaron a la Unidad de Tecnología de Alimentos, seleccionando los que no presentaron daños mecánicos y microbiológicos visuales, se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio 1 % (v/v).

### Extracción de almidones

La investigación consistió en extraer almidones de frutos completos de guanábana sin separar sus estructuras (epicarpio, mesocarpio y endocarpio) utilizando dos métodos de extracción (convencional y ultrasonido):

### Extracción convencional de almidón

Se realizó de acuerdo con la técnica de Flores-Gorosquera *et al.* (2004). Los frutos se molieron en una licuadora industrial (International LI-5a, México) durante 3 min con una solución de ácido cítrico (1%) en una relación 1:4 (w/v), la pasta resultante se filtró con un tamiz No. 100 (150 mics) después en un tamiz del No. 200 (75 mics) y 270 (53 mics), respectivamente. Posteriormente, se realizó una segunda molienda con agua destilada en una relación 1:2 (w/v) por 3 min y un segundo filtrado.

## Extracción de almidón asistida por ultrasonido

Se utilizó la técnica descrita por Flores-Gorosquera *et al.* (2004) y Ramírez-Balboa *et al.* (2021). Se molieron frutos durante 3 min con una solución de ácido cítrico (1%) en una relación 1:4 (p/v). Posteriormente, la pasta resultante se sonicó a 300 W de potencia en un procesador ultrasónico (Modelo CPX750 Cole-Parmer Instruments Vernon Hills, U.S.A.) de 750 W con sonda de 20 kHz durante 10 min a 25 °C monitoreado mediante un termómetro manual de mercurio (Ramírez-Balboa *et al.*, 2021). La pasta sonicada se filtró utilizando tamices de los números 100, 200 y 270. Posteriormente, se realizó una segunda molienda utilizando agua destilada en una relación 1:2 (w/v) y después se recuperó el precipitado (almidón).

Para eliminar el exceso de agua en los almidones, se utilizó una centrifuga Hermle Z326K, Wehingen, Alemania. Durante este proceso se observó que los almidones al ser centrifugados se separaron en dos fases (fase 1 y fase 2), por lo que se decidió evaluar ambas fases para determinar sus características fisicoquímicas y fitoquímicas.

El almidón extraído por método convencional y ultrasonido se centrifugó a 1537 g por 5 min a 25 °C para precipitar y separar las fases que se identificaron como fase 1 (color café) y fase 2 (color blanco). La fase 1 se separó con una espátula, dejando la fase 2 al fondo del tubo. Posteriormente se agregaron 10 mL de agua al tubo y se agitó (Primer lavado), después se centrifugó a 1537 g por 5 min a 25 °C repitiendo el proceso de separación de fases. Este proceso se realizó por triplicado. Los almidones (fase 1 y fase 2) se secaron en un horno de recirculación (LSIS-B2V/VC 55, Alemania) durante 24 h a 35 °C, se pulverizaron y se tamizaron (No.100). Finalmente se pesaron para su cuantificación y se almacenaron. Para una mejor interpretación de los resultados se utilizó la siguiente nomenclatura: ACF1, ACF2, AUF1 y AUF2. La letra A (almidón), C (extracción convencional, U (extracción asistida por ultrasonido), F (fases); ejemplo, extracción de almidón por método convencional fase 1 (ACF1).

## Variables evaluadas

### Evaluación de lípidos y amilosa

#### Contenido de lípidos (%)

Se determinó mediante la técnica de la AOAC (2005). Se agregaron 4 g de almidón en cartuchos de celulosa y se colocaron en un extractor de grasa. Se agregó 130 mL de éter de petróleo en matraz a peso constante. Se dejó a ebullición por 4 h. El cálculo se determinó por diferencia de peso en el matraz.

## **Contenido de amilosa (%)**

Se realizó mediante la técnica de Hoover & Ratnayake (2001), se dispersaron 100 mg de almidón seco y desgrasado en 10 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) (90% p/v) y se calentaron en baño maría (Thermo Scientific, TSGP10, Canadá) a 85 °C/15 min en agitación (solución 1). Posteriormente se aforó a 100 mL con agua destilada (solución 2) y se tomaron 20 mL de la muestra aforando a 25 mL (solución 3). Después se tomó 1 mL de la solución 3 y se agregaron 5 mL de yodo aforando la solución a 50 mL. Se dejó reposar 15 min en obscuridad y se leyó la absorbancia a 600 nm. Se utilizó una curva estándar de amilosa y amilopectina de papa.

## **Análisis de compuestos fitoquímicos**

### **Obtención de extracto metanólico de almidón**

En 100 mL de metanol se agregaron 20 g de almidón (ACF1, AUF1, ACF2, AUF2). La solución resultante se sonicó en baño ultrasónico (Luzerner CD-4820, China) a 35 kHz y 160 W durante ocho ciclos de 8 min cada uno, ésta se agitó al término de cada ciclo, posteriormente se centrifugó a 6147 g/10 min y se recuperó la fase líquida, los extractos fueron filtrados con bomba de vacío (EVAR modelo EV-40, México) en un embudo de porcelana, usando papel filtro de poro cerrado y concentrándose posteriormente en un rotavapor (IKA® modelo RV-10 Digital V, North Carolina, USA) a 40 °C a presión reducida (65 cmHg), los extractos concentrados se sometieron a 35 ± 2 °C en un horno (LSIS-B2V/VC 55, Alemania) durante 48 h para evaporar los residuos del solvente (León-Fernández *et al.*, 2021).

### **Análisis cualitativo de compuestos fitoquímicos de extracto de almidón**

Los extractos se diluyeron a una concentración de 4 mg/mL en metanol y posteriormente se utilizaron los procedimientos de Sofowara (1993), Harborne (1998) & Evans (2009) para determinar la presencia de los siguientes compuestos:

#### **Fitoesteroles**

En un tubo de ensayo se añadieron 100 µL de extracto, 1 mL de cloroformo y 100 µL ácido sulfúrico concentrado. El precipitado de color café-rojizo en el fondo del tubo indicó la presencia (Trease & Evans 1989; Evans, 2002).

#### **Fenoles y taninos**

En un tubo de ensayo se colocaron 300 µL de extracto y 300 µL de cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) (10%). El precipitado azul o verde indicó la presencia (Trease & Evans 1989; Evans, 2002).

## Alcaloides

En un tubo de ensayo se colocaron 300  $\mu\text{L}$  de extracto y 300  $\mu\text{L}$  de ácido clorhídrico (HCl) al 2 N y 300  $\mu\text{L}$  de reactivo de Mayer's, la presencia de un precipitado pálido en el fondo del tubo, indica la presencia de alcaloides (Trease & Evans 1989; Evans, 2002).

## Flavonoides

En un tubo de ensayo se colocaron 300  $\mu\text{L}$  de extracto, se adicionaron 333  $\mu\text{L}$  de amoniaco al 10% ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) y 333  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Al desaparecer el color amarillo en la muestra se indica la presencia (Trease & Evans 1989; Evans, 2002).

## Acetogeninas

Se agregó 1 mL de extracto en un tubo y se adicionó reactivo de Kedde (Gu *et al.*, 1995) el cual se preparó con la mezcla de la solución A (Ácido 3-5 dinitrobenzoico) y la solución B (Hidróxido de potasio KOH al 5.7%), 2 mL cada uno. La coloración rosa determinó presencia de acetogeninas (León-Fernández *et al.*, 2021).

Los resultados fueron expresados con presencia (+) o ausencia (-) del compuesto fitoquímico evaluado.

## Análisis cuantitativo de compuestos fitoquímicos

### Fenoles solubles totales

Se determinaron de acuerdo con la metodología de Stintzing *et al.* (2005). Se agregaron 50  $\mu\text{L}$  de muestra en viales eppendorf, posteriormente se les agregó 250  $\mu\text{L}$  de solución de Folin-Ciocalteu (v/v 1:10 en agua desionizada) y 200  $\mu\text{L}$  de solución de carbonato de sodio (7.5%), la solución se agitó en un vórtex (Genie® G650, U.S.A) y se incubó a 23 °C durante 30 min en ausencia de luz. Se midió la absorbancia en un lector de microplacas (Power Wave XS, Biotek, U.S.A) a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de almidón base seca (mg GAE/g de d.b.s).

### Taninos solubles totales

Se determinó mediante la técnica de Folin-Ciocalteu + PVPP (polivinilpolipidorrilona) de acuerdo con el método de Makkar (2003), se diluyeron 100 mg de PVPP en 1 mL de agua destilada y se dejó reposar durante 2 h. Se agregaron 200  $\mu\text{L}$  de muestra y se almacenó a 4 °C durante 15 min, posteriormente se centrifugó a 6147 g durante 10 min y se recuperó el sobrenadante que contenía fenoles no taninos. Se tomaron 50  $\mu\text{L}$  de sobrenadante y se evaluó el contenido de fenoles totales mediante el método de Stintzing *et al.* (2005). Se midió la absorbancia en un

lector de microplacas (Power Wave XS, Biotek, U.S.A.) a una longitud de onda de 765 nm. El resultado obtenido se restó al contenido de fenoles solubles totales encontrados en la muestra sin PVPP. Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de almidón base seca (mg GAE/g de d.b.s).

El cálculo de taninos solubles totales se realizó mediante la siguiente ecuación (ecuación 1):

Ecuación 1:

$$T = FT - Fnt$$

Donde:

TT= taninos solubles totales.

Fn= fenoles solubles totales.

Fnt= fenoles solubles no taninos.

### **Flavonoides solubles totales**

Se realizó mediante la metodología desarrollada por Zhishen *et al.* (1999), se agregaron 50 µL de muestra en tubos eppendorf y 100 µL de agua desionizada. Posteriormente se adicionaron 10 µL de NaOH (15 %), se agitó en un vórtex (Genie G650, U.S.A.) y se reposó durante 6 min en obscuridad a 23 °C. Transcurrido el tiempo, se agregaron 15 µL de AlCl<sub>3</sub> (10 %) y se agitó en un vórtex (Genie G650, U.S.A.). La solución se reposó durante 6 min en obscuridad a 23 °C. Finalmente, se agregaron 200 µL de NaOH (4 %) y se agitó. La absorbancia se midió a 510 nm (Power Wave XS, Biotek, U.S.A.). Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de quercetina por gramo de almidón base seca (mg QE/g de d.b.s).

### **Fitoesteroles totales**

El contenido total de fitoesteroles se determinó utilizando el método de Lieberman-Buchard (Lobato *et al.*, 2008). En un tubo de reacción de cristal se agregaron 50 µL de muestra y 50 µL de cloroformo, la mezcla se agitó y se tomó una alícuota de 50 µL añadiendo 50 µL de cloroformo y 1 mL de reactivo de Lieberman-Buchard preparado con anhídrido acético y ácido sulfúrico (20:1 v/v) enfriado a 4 °C. La mezcla se sometió a baño maría (Thermo Scientific, TSGP10, U.S.A.) a 35 ± 2 °C durante 25 min. Pasado el tiempo, se tomaron 200 µL y se leyó la absorbancia a 550 (Power Wave XS, Biotek, U.S.A.). Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de colesterol por gramo de almidón base seca (mg CE/g de d.b.s).

## Alcaloides totales

Se realizó mediante la técnica de Fazel *et al.* (2010). Se disolvió 1 mL de extracto en 1 mL de HCl 2 N (1:1 v/v) y se agregaron 3 mL de cloroformo. Se recuperó el precipitado y se ajustó el pH a 7 con NaOH 0.1 N. La solución se depositó dentro de un embudo de separación y se añadieron 5 mL de solución de verde de bromocresol y 5 mL de buffer de fosfato a pH 4.7; se agitó la mezcla y se extrajo el complejo alcaloide-verde de bromocresol agregando 1 mL de cloroformo, posteriormente, se agregaron 7 mL recuperando el complejo por cada mL agregado. El complejo en color amarillo se aforó a 10 mL con cloroformo. Se tomaron 200  $\mu$ L y se midió la absorbancia a 416 nm en el lector de microplacas (Metash, UV-5100 UV/VIS, China). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de atropina por gramo de almidón base seca (mg AE/g de d.b.s).

## Acetogeninas totales

Se realizó mediante la metodología de Aguilar-Hernández *et al.* (2022). Se agregaron 250  $\mu$ L de muestra y 4 mL de reactivo de Kedde (Aguilar-Hernández *et al.*, 2020a) en celdas de cuarzo. Se realizó una cinética de absorbancia a 505 nm durante 30 s con lecturas cada 5 s y se registró el pico de absorbancia más alto en un espectrofotómetro (Metash, UV-5100 UV/VIS, China). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de annonacina por gramo de almidón base seca (mg ANE/g de d.b.s).

## Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completo al azar con arreglo factorial 2 x 2 (métodos de extracción y fases de almidón). 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 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

### Análisis fisicoquímico

#### Contenido de lípidos (%)

El contenido de lípidos (%) en las extracciones de los almidones fue de ACF2 (0.016), AUF2 (0.018), ACF1 (2.4) y AUF1 (4.03). Los resultados obtenidos mostraron diferencia estadística en las extracciones ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 1). Krishnan *et al.* (2021) mencionan que los almidones pueden interactuar con algunos compuestos de naturaleza lipídica mediante complejos amilosa-lípido. Con respecto a esta característica, los almidones pueden formar interacciones binarias

con algunos compuestos lipídicos de los frutos de guanábana como fitoesteroles y acetogeninas, dichos compuestos han sido reportados por Haykal *et al.* (2019) y Aguilar-Hernández *et al.* (2022), respectivamente. También, se ha reportado que los almidones con alto contenido de lípidos presentan menores propiedades hidrofílicas, debido a que los compuestos lipídicos forman complejos con la amilosa, limitando la disponibilidad de los grupos hidroxilos para interactuar con moléculas de agua (Henning *et al.*, 2021).

### Contenido de amilosa (%)

El contenido de amilosa (%) en las extracciones de los almidones fue de ACF2 (24.48), AUF2 (23.14), ACF1 (11.95) y AUF1 (11.05), observándose diferencia en los resultados ( $p \leq 0.05$ ). Para la estimación de amilosa se desgrasaron los almidones, eliminando el complejo amilosa-lípido para formar un complejo yodo-amilosa, el cual se usa para la estimación de la amilosa (Hoover & Ratnayake, 2001); en esta investigación, el alto contenido de amilosa en los almidones de las extracciones ACF1 y AUF1 podría estar relacionado con la formación de interacciones cuaternarias con otros componentes como proteínas y compuestos fenólicos (Krishnan *et al.*, 2021). De acuerdo con lo reportado por Oliveira-Bernardo *et al.* (2018), este resultado disminuye la capacidad de absorción de agua de los gránulos de almidón. Estudios en almidones de frutos de guanábana han reportado 24.2 y 35.1 % de amilosa en almidones extraídos por método convencional y asistido por ultrasonido (Ramírez-Balboa *et al.*, 2021). Nwokocha & Williams (2009) reportaron 19 % de amilosa en almidones de *Annona squamosa* L. y *Annona muricata* L. utilizando extracción convencional; así mismo estos investigadores reportaron que el rango ideal de amilosa es de 18-30 % en almidones nativos. Los almidones de frutos de guanábana presentan bajo contenido de amilosa (cerosos) y baja sinéresis (lenta retrogradación), por lo que pueden ser usados en la elaboración de productos horneados y congelados (Martínez-Ortiz *et al.*, 2022), además por su contenido de compuestos fitoquímicos pueden considerarse benéficos para la salud (Cereceres-Aragón *et al.*, 2019; Gasaly *et al.*, 2020).

**Tabla 1. Análisis fisicoquímico de almidón de frutos de guanábana.**

Extracción	Lípidos (%)	Amilosa (%)
ACF2	0.016 ± 01 <sup>c</sup>	24.48 ± 0. 56 <sup>a</sup>
AUF2	0.018±0.01 <sup>c</sup>	23.14 ± 1.67 <sup>a</sup>
ACF1	2.4 ± 0.8 <sup>b</sup>	11.95 ± 0.64 <sup>b</sup>
AUF1	4.03 ± 0.4 <sup>a</sup>	11.05 ± 0.3 <sup>b</sup>
DMS	1.24	2.49
CV	29.25	5.39

Letras iguales por columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $p \geq 0.05$ ). Los valores son las medias de tres repeticiones ± desviación estándar. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

## Análisis cualitativo de compuestos fitoquímicos

En los almidones extraídos por el método convencional y ultrasonido se observó presencia (+) de fitoesteroles, fenoles, taninos, alcaloides, flavonoides y acetogeninas (Tabla 2). Los compuestos fitoquímicos encontrados en el almidón de frutos de guanábana han sido reportados por León-Fernández *et al.* (2021) y Aguilar-Hernández *et al.* (2020a), quienes realizaron un estudio donde evaluaron el perfil fitoquímico de epicarpio, mesocarpio y endocarpio, sin embargo, solo existe un indicio de acetogeninas presentes en almidones de frutos de guanábana (Ramírez-Balboa *et al.* 2021). Los compuestos lipídicos como las acetogeninas tienen la capacidad de unirse a los almidones mediante enlaces covalentes con la amilosa, formando un complejo amilosa-lípido (Krishnan *et al.*, 2021; León-Fernández *et al.*, 2021); además, un alto contenido de amilosa aumenta la capacidad de formar interacciones con otros compuestos como polifenoles (Dueñas *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020). Así mismo, existen reportes que indican que los almidones contienen fibra dietética, la cual presenta compuestos bioactivos (Bello-Pérez *et al.*, 2006), éstos se encuentran ligados a la fibra mediante interacciones hidrofóbicas y enlaces covalentes (Saura-Calixto, 2011; Agredano-De la Garza *et al.*, 2021).

**Tabla 2. Análisis cualitativo de extractos de almidones de frutos de guanábana.**

Compuestos fitoquímicos	Extracción			
	ACF2	ACF1	AUF2	AUF1
Fitoesteroles	+	+	+	+
Terpenos	-	-	-	-
Fenoles y taninos	+	+	+	+
Alcaloides	+	+	+	+
Flavonoides	+	+	+	+
Acetogeninas	+	+	+	+

ACF1: almidón convencional fase 1, ACF2: almidón convencional fase 2, AUF1: almidón ultrasonido fase 1, AUF2: almidón ultrasonido fase 2, Presencia (+), ausencia (-).

## **Análisis cuantitativo de compuestos fitoquímicos**

### **Fenoles solubles totales**

Los compuestos fenólicos se caracterizan por tener anillos aromáticos o bencénicos, con insaturaciones y grupos OH (Abarca-Vargas & Petricevich, 2021). Estos compuestos interactúan con el almidón formando puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas, electrostáticas e iónicas (Dueñas *et al.*, 2018), uniéndose a la amilosa mediante enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de los polifenoles y los átomos de oxígeno de los enlaces glucosídicos de los polisacáridos (Fernandes *et al.*, 2014). En esta investigación, el contenido de fenoles solubles totales (mg GAE/g de d.b.s) en los almidones de las extracciones fue de ACF2 (0.02), AUF2 (0.06), ACF1 (1.44) y AUF1 (2.26). Los resultados mostraron diferencia estadística ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 3). Los almidones provenientes de AUF1 presentaron alto contenido de fenoles con respecto al resto de las extracciones, este resultado podría deberse a que, en la extracción asistida por ultrasonido, el efecto de cavitación genera *microjets* (micro chorros) que rompen las paredes celulares permitiendo la liberación de los compuestos intracelulares (Aguilar-Hernández *et al.*, 2022). Zárate-Martínez *et al.* (2021) mencionan que la cáscara (epicarpio) y semillas (endocarpio) de los frutos presentan alto contenido de compuestos fenólicos, en este sentido, de acuerdo con los resultados obtenidos en AUF1, es posible que los compuestos de otras estructuras (cáscara y semillas) estén presentes.

### **Taninos totales**

Los taninos son compuestos hidrófobos que presentan en su estructura grupos hidroxilos próximos entre sí, lo que fortalece la interacción con los carbohidratos como el almidón a través de puentes de hidrógeno (Amoako & Awika, 2016). En la Tabla 3 se muestran los resultados del contenido de taninos totales obtenidos de las extracciones convencional y ultrasonido. Los almidones obtenidos en la fase 1 por ambos métodos de extracción presentaron diferencia estadística en el contenido de taninos totales con respecto a la fase 2 ( $p \leq 0.05$ ). En el caso de la fase 1 (ACF1 y AUF1), el resultado podría atribuirse a las ondas ultrasónicas que permiten la liberación y solubilización de compuestos en el solvente de extracción, permitiendo la interacción de estos con los almidones (Aguilar-Hernández *et al.*, 2019). En la presente investigación, se observó que los almidones extraídos por ACF1 y AUF1 presentaron menor contenido de amilosa y alto contenido de taninos; al respecto, Dueñas *et al.* (2018) mencionan que la formación del complejo amilosa-fenol es directamente proporcional a la cantidad de amilosa que lo compone. En este sentido, Barros *et al.* (2012) mencionan que este resultado podría deberse a la presencia de taninos con alto peso molecular como los elagitaninos (ej. Catequina-ácido gálico) (Olivas-Aguirre *et al.*, 2015), los cuales tienen mayor afinidad por la amilosa.

### **Flavonoides solubles totales**

Los flavonoides son polifenoles con carácter hidrofóbico y tienen la capacidad de unirse fuertemente al almidón mediante interacciones covalentes con la amilosa (Barros *et al.* 2012). Estos compuestos son hidrosolubles e interactúan con los almidones durante el proceso de

extracción (Sarria-Villa *et al.*, 2021). En esta investigación, el contenido de flavonoides totales (mg QE/g de d.b.s) en las extracciones fue de ACF2 (0.022), AUF2 (0.049), ACF1 (0.99) y AUF1 (1.55). Los resultados obtenidos mostraron diferencia estadística ( $p \leq 0.05$ ). Los almidones ACF1 y AUF1 presentaron alto contenido de flavonoides (Tabla 3), de acuerdo con lo reportado por Zárate-Martínez *et al.* (2021), estos compuestos están presentes en cáscara, semilla y pulpa de guanábana. Por lo que es posible que el alto contenido de flavonoides en estos almidones (ACF1 y AUF1) provenga de cáscara y semilla. Mientras que las bajas concentraciones de flavonoides en los almidones AUF2 y ACF2, podrían relacionarse con almidones provenientes de la pulpa, además al ser polares son altamente solubles en agua de acuerdo con lo reportado por Soto-García & Rosales-Castro (2016). Takahama & Hirota (2018), mencionan que los almidones con alto contenido de flavonoides pueden considerarse resistentes debido que al ser consumidos llegan al tracto intestinal íntegros y sirven como sustrato (prebiótico) para el microbiota intestinal.

### **Fitoesteroles totales**

Los fitoesteroles son metabolitos secundarios que producen las plantas, estos actúan como defensa frente al estrés biótico y abiótico (Silva *et al.*, 2016). Los fitoesteroles por su estructura lipídica pueden interactuar con la amilosa y amilopectina (Krishnan *et al.*, 2021; Takahama & Hirota, 2018). El contenido de fitoesteroles totales (mg CE/g de d.b.s) fue de ACF2 (0.86), AUF2 (1.6), ACF1 (2.09) y AUF1 (3.55), observándose diferencia estadística ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 3). En el presente estudio se observó que el método de extracción de los almidones influyó en el contenido de fitoesteroles, donde AUF1 presentó alto contenido de fitoesteroles (3.55 mg CE/g de d.b.s) con respecto al resto de las extracciones, cuyos resultados coinciden con el alto contenido de lípidos presentes (Tabla 1), estas características disminuyen su capacidad de absorción de agua (Henning *et al.*, 2021). De acuerdo con estos resultados obtenidos, los almidones provenientes de AUF1 podrían presentar rancidez debido a la oxidación lipídica (Villarroel *et al.*, 2018), no obstante, el consumo de almidones con alto contenido de fitoesteroles reduce la absorción de colesterol en el intestino por competencia, ya que poseen una estructura química similar al colesterol (Fernandes & Cabral, 2007). Una dieta rica en fitoesteroles puede reducir el colesterol total y el colesterol LDL (dañino para la salud) (Silva *et al.*, 2016). La ingesta diaria estimada de fitoesteroles varía entre 160 y 500 mg/día, sin embargo, su acción beneficiosa se logra con consumos de 1500 mg a 2400 mg diarios (Laitinen & Gylling, 2012). En las semillas de frutos de las anonáceas, se han reportado fitoesteroles ( $\beta$ -sitosteroles y  $\beta$ -estigmasteroles) con efectos anticancerígenos (Haykal *et al.*, 2019; Aguilar-Hernández *et al.*, 2022).

**Tabla 3. Compuestos bioactivos en almidones de frutos de guanábana.**

Extracción	TSP	TST	TSF	TPh	TA	TAc
	mg GAE / g de d.b.s		mg QE / g de d.b.s	mg CE / g de d.b.s	mg AE / g de d.b.s	mg ANE / g de d.b.s
ACF1	1.44 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.706 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.99 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.09 ± 0.04 <sup>b</sup>	3.580 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.527 ± 0.003 <sup>b</sup>
AUF1	2.26 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.993 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.55 ± 0.13 <sup>a</sup>	3.55 ± 0.07 <sup>a</sup>	8.429 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.818 ± 0.017 <sup>a</sup>
ACF2	0.023 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.007 ± 0.0002 <sup>c</sup>	0.022 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.86 ± 0.07 <sup>d</sup>	0.012 ± 0.002 <sup>c</sup>	0.034 ± 0.002 <sup>c</sup>
AUF2	0.060 ± 0.007 <sup>c</sup>	0.022 ± 0.002 <sup>c</sup>	0.049 ± 0.003 <sup>c</sup>	1.60 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.044 ± 0.005 <sup>c</sup>	0.039 ± 0.0005 <sup>c</sup>
CV	6.04	11.82	10.61	3.03	3.16	0.99
DMS	0.15	0.13	0.18	0.16	0.24	0.02

Letras iguales por columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $p \geq 0.05$ ). Los valores son las medias de tres repeticiones  $\pm$  desviación estándar. TSP: Fenoles solubles totales, TST: taninos solubles totales, TSF: flavonoides solubles totales, TPh: fitoesteroles totales, TA: alcaloides totales, TAc: acetogeninas totales. CV: coeficiente de variación, DMS: diferencia mínima significativa. ACF1: almidón convencional fase 1, AUF1: almidón ultrasonido fase 1, ACF2: almidón convencional fase 2, AUF2: almidón ultrasonido fase 2.

### Alcaloides totales

Los alcaloides son compuestos naturales que contienen átomos de nitrógeno básicos (Coria-Téllez *et al.*, 2018), se han reportado en *Annona muricata* L. principalmente de tipo isoquinolina, aporfina y protoberberina (Riley-Saldaña *et al.*, 2017), estos compuestos pueden poseer en su estructura una molécula preformada de un fitoesterol (Aguilar-Hernández *et al.*, 2020b; Xiang *et al.*, 2022), lo que permite la formación de interacciones binarias de tipo amilosa-lípido con los almidones (Krishnan *et al.*, 2021). De acuerdo con De la Cruz-Chacón *et al.* (2011), estos compuestos están presentes en endospermo de semilla, así como en cáscara, y en menor proporción en la pulpa de los frutos de guanábana. En esta investigación, el contenido de alcaloides totales (mg AE/g de d.b.s) fue de ACF2 (0.012), AUF2 (0.044), ACF1 (3.58) y AUF1 (8.42). Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 3). En este sentido, el alto contenido de alcaloides en los almidones AUF1 puede atribuirse a la extracción asistida por ultrasonido, debido a que el efecto de cavitación rompe las membranas celulares permitiendo la liberación de compuestos fitoquímicos (Aguilar-Hernández *et al.*, 2022). Los alcaloides provenientes de frutos de guanábana podrían coadyuvar a reducir la presión arterial, bloqueando los canales de iones de calcio en lugar de activar los mecanismos dependientes del endotelio y el óxido nítrico (Zubaidi *et al.*, 2023). Se ha demostrado que la isoquinolina, la coreximina y la anomurina, tienen un efecto depresivo transitorio sobre la presión arterial (Nwokocha *et al.*, 2012). Los almidones extraídos de frutos de guanábana de esta investigación podrían tener el mismo efecto de acuerdo con lo reportado por estos investigadores.

### Acetogeninas totales

Las acetogeninas son metabolitos secundarios que contienen en su estructura anillos tetrahidrofuranos y una cadena lateral lipofílica que permite la formación de complejos binarios con la amilosa (Bachan *et al.*, 2013; Krishnan *et al.*, 2021). En los almidones extraídos de frutos de guanábana, el contenido de acetogeninas totales (mg ANE/g de d.b.s) fue de ACF2 (0.034), AUF2 (0.039), ACF1 (1.527) y AUF1 (1.818). Los resultados obtenidos mostraron diferencia estadística ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 3). Al respecto, se observó alto contenido de ACG's en los almidones AUF1, esto podría deberse a la presencia de almidones de semilla y cáscara, así como al ultrasonido, cuyos resultados coinciden por lo reportado por Aguilar-Hernández *et al.* (2020a), quienes mencionan que las semillas y la cáscara de guanábana contienen alto contenido de ACG's y la extracción de estos compuestos asistida por ultrasonido incrementa el rendimiento. Por otro lado, los almidones ACF1 y ACF2 presentaron bajo contenido de ACG's, lo cual podría atribuirse a que, el método de extracción convencional posee menor eficiencia de extracción en comparación con el método asistido por ultrasonido (López-Romero *et al.*, 2022; Aguilar-Hernández *et al.*, 2022). Los almidones de frutos de guanábana, por su contenido de acetogeninas pueden utilizarse en la elaboración de nuevos productos innovadores con características nutracéuticas, de tal manera que sean saludables para el consumidor rediciendo los problemas causados por enfermedades degenerativas. Estudios indican que el consumo de acetogeninas tienen efectos anticancerígenos (Mutakin *et al.*, 2022), antidiabéticos (Son *et al.*, 2021), además se ha comprobado que estos compuestos presentan actividad antimicrobiana contra *E. faecalis*, *S. paratyphi*, *E. coli* y *L. monocytogenes*, las cuales son bacterias dañinas más prevalentes que se encuentran en los alimentos (Siderakou *et al.*, 2021).

## Conclusiones

El método de extracción de almidones asistido por ultrasonido incrementa el contenido de almidones de frutos de guanábana y compuestos fitoquímicos. Los compuestos fitoquímicos presentes en los almidones de frutos de guanábana son fenoles, flavonoides, taninos, alcaloides, fitoesteroles y acetogeninas.

## Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo (DSMA, BMR, BLJE, LFAE). Desarrollo de la metodología (DSMA). Manejo de software (DSMA, BLJE). Validación experimental (DSMA, BLJE, LFAE, RBG). Análisis de resultados (DSMA, BMR, BLJE, BRPU, JZJO). Manejo de datos (DSMA, BMR, BLJE, BRPU, JZJO, RBG). Escritura y preparación del manuscrito (DSMA, BMR, BLJE, LFAE). Redacción, revisión y edición (DSMA, BMR, BLJE, BRPU, JZJO, PPCJ). 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-Conacyt) Número 266891; y del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación (SEP-Conacyt) Número 242718. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) a través de la beca No. 7905.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT 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

- Abarca-Vargas, R., & Petricevich, V. L. (2021). Importancia biológica de los compuestos fenólicos. *Inventio*, 14(34), 33-38. <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/111>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). Official Methods of Analysis. 18th 1USA.
- Agredano-De la Garza, C. S., Balois-Morales, R., Berumen-Varela, G., León-Fernández, A. E., Bautista-Rosales, P. U., López-Guzmán, G. G., & Pérez-Ramírez, I. F. (2021). Physicochemical characterization and dietary fiber of 15 Nance (*Byrsonima crassifolia* L.) fruits selections from Nayarit. *Scientia Horticulturae*, 289, 110460. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110460>
- Aguilar-Hernández, G., García-Magaña, M., Vivar-Vera, M., Sáyago-Ayerdi, S. G., Sánchez-Burgos, J.A., Morales-Castro, J., Anaya-Esparza, L. M., & Montalvo-González, E. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Annona muricata* By-Products and Pulp. *Molecules*, 24(5), 904. <https://doi.org/10.3390/molecules24050904>
- Aguilar-Hernández, G., Vivar-Vera, M., García-Magaña, M.L., González-Silva, N., Pérez-Larios, A., & Montalvo-González, E. (2020a). Ultrasound-assisted extraction of total acetogenins from the soursop fruit by response surface methodology. *Molecules*, 25(5), 1139. <https://doi.org/10.3390/molecules25051139>
- Aguilar-Hernández, G., Zepeda-Vallejo, L. G., García-Magaña, M. L., López-García, U. M., Aguilera-Aguirre, S., & Montalvo-González, E. (2022). Contenido de acetogeninas a partir de semillas del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.): Evaluación de diferentes condiciones de extracción. *Biocencia*, 24(2), 12-19. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v24i2.1453>
- Aguilar-Hernández, G., Zepeda-Vallejo, L. G., García-Magaña, M. L., Vivar-Vera, M. Á., Pérez-Larios, A., Girón-Pérez, M. I., Coria-Téllez, A. V., Rodríguez-Aguayo, C., & Montalvo-González, E. (2020b). Extraction of alkaloids using ultrasound from pulp and by-products of soursop fruit (*Annona muricata* L.). *Applied Sciences*, 10(14), 4869. <https://doi.org/10.3390/>

- [app10144869](#)
- Amoako, D., & Awika, J. (2016). Polyphenol interaction with food carbohydrates and consequences on availability of dietary glucose. *Current Opinion in Food Science*, 8, 18-14. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.01.010>
- Bachan, S., Tony, K. A., Kawamura, A., Montenegro, D., Joshi, A., Garg, H., & Mootoo, D. R. (2013). Synthesis and anti-tumor activity of carbohydrate analogues of the tetrahydrofuran containing acetogenins. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 21(21), 6554–6564. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2013.08.027>
- Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejacal, I., López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., & Sánchez-Herrera, L. M. (2019). Enzimas y actividad antioxidantes en dos selecciones de guanábana (*Annona muricata* L.) de Nayarit, México almacenado a 15 °C. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(1), e-083. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019083>
- Barros, F., Awika, J., & Rooney, L. (2012). Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(46), 11609-11617. <https://doi.org/10.1021/jf3034539>
- Bello-Pérez, L. A., González-Soto, R. A., Sánchez-Rivero, M. M., Gutiérrez-Meraz, F., & Vargas-Torres, A. (2006). Extrusión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente. *Agrociencia*, 40, 441-448. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/477/477>
- Carvalho, A. J. (2013). Chapter 15 - Starch: Major Sources, Properties and Applications as Thermoplastic Materials. *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, 321-342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00015-6>
- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E., & Rodríguez-Tadeo, A. (2019). Consumption of phenolic compounds in the elderly population. *Nutrición Hospitalaria*, 36(2), 470-478. <https://doi.org/10.20960/nh.2171>
- Coria-Téllez, A. V., Montalvo-González, E., Yahia, E., & Obledo-Vázquez, E. N. (2018). *Annona muricata*: A comprehensive review on its traditional medicinal uses, phytochemicals, pharmacological activities, mechanisms of action and toxicity. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(5), 662-691. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.01.004>
- Correa-Gordillo, J., Ortiz, D., Larrahondo, J. E., Sánchez-Mejía, M., & Pachon, H. (2012). Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.): una revisión bibliográfica. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11(2), 111-126. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85622734002>
- De la Cruz-Chacón, I., González-Esquínca, A. R., Guevara-Fefer, P., & Jiménez-García, L. F. (2011). Liriodenine, early antimicrobial defense in *Annona diversifolia*. *Zeitschrift fur Naturforschung C, Journal of biosciences*, 66(7-8), 377–384. <https://doi.org/10.1515/znc-2011-7-809>
- Dueñas, M., Iriando-DeHond, A. & Del Castillo, M. (2018). Efecto de los compuestos fenólicos en el metabolismo de los carbohidratos. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 24(1), 1-12. <https://digital.csic.es/handle/10261/192497>
- Espinosa-Solís, V., Jay-Lin, J., & Bello-Pérez, L. A. (2009). Physicochemical characteristics of starches from unripe fruits of mango and banana. *Starch-Stärke*, 61(5), 291-299. <https://doi.org/10.1002/star.200800103>
- Evans, W. C. (2002). Trease and Evan's Pharmacognosy. 15th edition. Haarcourt Brace and

- Company. Reino Unido.
- Evans, W. C. (2009). Trease and Evan's Pharmacognosy. 16th edition. Elsevier Health Sciences. Reino Unido.
- Fazel, S., Hamidreza, M., Rouhollah, G., & Verdian Rizi, M. (2010). Spectrophotometric determination of total alkaloids in some Iranian medicinal plants. *Journal of Applied Horticulture*, 12(1), 69-70. <https://doi.org/10.37855/JAH.2010.V12I01.15>
- Fernandes, A., Ivanova, G., Bras, N., Mateus, N., Ramos, M., Rangel, M., & De Freitas, V. (2014). Structural characterization of inclusion complexes between cyanidin-3-O-glucoside and  $\beta$ -cyclodextrin. *Carbohydrate Polymers*, 102, 269-277. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.11.037>
- Fernandes, P., & Cabral, J. (2007). Phytosterols: applications and recovery methods. *Bioresource Technol*, 98(12), 2335-2350. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.006>
- 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. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-401805>
- Gasaly, N., Riveros, K., & Gotteland, M. (2020). Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(2), 317-327. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000200317>
- Grba, D., Blaza, J., Bridges, Noor, A., Yin, Z., Murai, M., Miyoshi, H., & Hirts, J. (2022). Cryo-electron microscopy reveals how acetogenins inhibit mitochondrial respiratory complex I. *Journal of Biological Chemistry*, 298(3), 101602. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2022.101602>
- Gu, Z. M., Zhao, G. X., Oberlies, N. H., Zeng, L., & McLaughlin, J. L. (1995). Annonaceous acetogenins. *Phytochemistry of Medicinal Plants*. Boston, Springer Press. 249-310. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1778-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1778-2_11)
- Harborne, J. B. (1998). Photochemical methods: a guide to modern techniques of plant analysis. Third edition. Chapman y Hall. Reino Unido.
- Haykal, T., Nasr, P., Hodroj, M. H., Taleb, R. I., Sarkis, R., Moujabber, M. N., & Rizk, S. (2019). *Annona cherimola* seed extract activates extrinsic and intrinsic apoptotic pathways in leukemic cells. *Toxins*, 11(9), 506. <https://doi.org/10.3390/toxins11090506>
- Henning, F., Ito, V., Mottin, I., & Lacerda, L. (2021). Non-conventional starches for biodegradable films: A review focussing on characterisation and recent applications in food. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 4, 100157. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100157>
- Hoover, R., & Ratnayake, W. (2001). Determination of total amylose content of starch. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, (1), E2.3.1-E2.3.5. <https://doi.org/10.1002/0471142913.fae0203s00>
- Koev, T. T., Muñoz-García, J. C., Luga, D., Khimiyak, Y. Z., & Warren, F. J. (2020). Structural heterogeneities in starch hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 249, 116834. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116834>
- Krishnan, V., Mondal, D., Thomas, B., Singh, A., & Praveen, S. (2021). Starch-lipid interaction alters the molecular structure and ultimate starch bioavailability: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 626–638. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.088>

- [ijbiomac.2021.04.030](https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-140)
- Laitinen, K., & Gylling, H. (2012). Dose-dependent LDL-cholesterol lowering effect by plant stanol ester consumption: clinical evidence. *Lipids in Health and Disease*, 11, 140. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-140>
- León-Fernández, A. E., Balois-Morales, R., Bautista-Rosales, P. U., Palomino-Hermosillo, Y. A., Bello-Lara, J. E., & López-Rivas, C. E. (2021). Extracción de compuestos fitoquímicos de inflorescencia y frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Acta agrícola y pecuaria*, 7, E007102. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071021>
- Lobato, C., Gómez, R., Alor, M., Badal, J., Hernández, C., & Díaz, V. (2008). Cuantificación de flavonoides, taninos y fitoesteroles en plantas medicinales de uso tradicional en Tabasco. Semana de Divulgación y Video Científico. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México.
- López-Romero, B. A., Luna-Bárceñas, G., García-Magaña, M., Anaya-Esparza, L. M., Zepeda-Vallejo, L. G., López-García, U. M., Ortiz-Basurto, R. I., Aguilar-Hernández, G., Pérez-Larios, A. & Montalvo-González, E. (2022). Extraction of acetogenins using thermosonication-assisted extraction from *Annona muricata* seeds and their antifungal activity. *Molecules*, 27(18), 6045. <https://doi.org/10.3390/molecules27186045>
- Makkar, H. (2003). Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage: A Laboratory Manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 43-54.
- 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. [https://riiit.com.mx/apps/site/files\\_v2450/almidon\\_nay.1\\_riiit\\_div\\_may-jun\\_2022\\_v1.pdf](https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/almidon_nay.1_riiit_div_may-jun_2022_v1.pdf)
- Mutakin, M., Fauziati, R., Fadhilah, F. N., Zuhrotun, A., Amalia, R., & Hadisaputri, Y. E. (2022). Pharmacological Activities of Soursop (*Annona muricata* Lin.). *Molecules*, 27(4), 1201. <https://doi.org/10.3390/molecules27041201>
- 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>
- Nwokocho, C. R., Owu, D. U., Gordon, A., Thaxter, K., McCalla, G., Ozolua, R. I., & Young, L. (2012). Possible mechanisms of action of the hypotensive effect of *Annona muricata* (soursop) in normotensive Sprague-Dawley rats. *Pharmaceutical biology*, 50(11), 1436–1441. <https://doi.org/10.3109/13880209.2012.684690>
- Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A. López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., De la Rosa, L. & Ramos-Jiménez, A. (2015). Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 55-66. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699>
- Oliveira-Bernardo, C., Ascheri, J., Chávez, D., & Carvalho, C. (2018). Ultrasound assisted extraction of yam (*Dioscorea bulbifera*) starch: effect on morphology and functional properties. *Starch–Stärke*, 70(5-6), 170018. <https://doi.org/10.1002/star.201700185>
- Prasad, S. K., Pradeep, S., Shimavallu, C., Kollur, S. P., Syed, A., Marraiki, N., Egbuna, C., Gaman, M. A., Kosakowska, O., Cho, W. C., Patrick-Iwuanyanwu, K. C., Ortega Castro, J.,

- Frau, J., Flores, N., & Glossman, D. (2021). Evaluation of *Annona muricata* acetogenins as potential Anti-SARS-CoV-2 agents through computational approaches. *Frontiers in chemistry*, 8, 624716. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.624716>
- 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>
- Riley-Saldaña, C. A., Cruz-Ortega, M., 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*, 72(11-12), 497-506. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0060>
- Saura-Calixto F. (2011). Dietary fiber as a carrier of dietary antioxidants: an essential physiological function. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(1), 43–49. <https://doi.org/10.1021/jf1036596>
- Sarria-Villa, R. A., Gallo, J. A., & Benítez, R. (2021). Extracción de compuestos fenólicos y contenido de catequina en cortezas de tres especies forestales del Cauca-Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(29), 19-27. <https://doi.org/10.31908/19098367.2622>
- 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.
- Silva, P., Pinheiro, A., Rodríguez, L., Figueroa, V., & Baginsky, C. (2016). Fuentes naturales de fitoesteroles y factores de producción que lo modifican. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(1), 17-25. <https://www.amaranto.uchile.cl/wp-content/uploads/2019/05/2016-Fuentes-naturalesdefitosterolesSilvaetal2016.pdf>
- Siderakou, D., Zilelidou, E., Poimenidou, S., Tsipra, I., Ouranou, E., Papadimitriou, K., & Skandamis, P. (2021). Assessing the survival and sublethal injury kinetics of *Listeria monocytogenes* under different food processing-related stresses. *International Journal of Food Microbiology*, 346, 109159. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109159>
- Sofowara, E.A. (1993). *Medicinal Plants and Traditional Medicine in Africa*. Spectrum Books Ltd. Nigeria.
- Son, Y., Lee, H., Son, S.Y., Lee, C.H., Kim, S.Y., & Lim, Y. (2021). Ameliorative Effect of *A. Muricata* (Graviola) extract on hyperglycemia induced hepatic damage in type 2 diabetic mice. *Antioxidants*, 10(10), 1546. <https://doi.org/10.3390/antiox10101546>
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M. (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente, sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis* y *Quercus sideroxylla*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(4), 701-714. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5669829>
- Stintzing, F C., Herbach, K.M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., & Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* ssp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442-451. <https://doi.org/10.1021/jf048751y>
- Takahama, U., & Hirota, S. (2018). Interactions of flavonoids with  $\alpha$ -amylase and starch slowing down its digestion. *Food & function*, 9(2), 677–687. <https://doi.org/10.1039/c7fo01539a>

- Terán-Erao, B., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., López-Guzmán, G. G. Pérez-Arias, G. A., & Núñez-Colín, C.A. (2019). Caracterización Física, Química y Morfológica de Frutos de Guanábana (*Annona Muricata* L.). *Agrociencia*, 53(7), 1013-1027. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1860>
- Trease, G.E, y Evans, W.C. (1989). *Pharmacognosy*. 13th edition. Bailliere Tindall. Reino Unido.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 271-278. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Wang, S., Zheng, M., & Chao, C. (2019). Interactions between starch, proteins and lipids and the formation of ternary complexes with distinct properties. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 487-493. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21482-0>
- Wang, S., Chao, C., Cai, J., Niu, B., Copeland, L., & Wang, S. (2020). Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(3), 1056-1079. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12550>
- Xiang, M., Hu, B., Qi, Z., Wang, X, Xie, T., Wang, Z., Ma, D., Zeng, Q., & Luo, X. (2022). Chemistry and bioactivities of natural steroidal alkaloids. *Natural Products and Bioprospecting*, 12(1),23. <https://doi.org/10.1007/s13659-022-00345-0>
- Zárate-Martínez, W., González-Morales, S., Ramírez-Godina, F., Robledo-Olivo, A., & Juárez-Maldonado, A. (2021). Effect of phenolic acids on the antioxidant system of tomato plants (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 854-868. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v32i3.45101>.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64 (4), 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)
- Zubaidi, S. N., Mohd, H., Ahmad, M. S., Abdul, T., Maarof, S., Afzan, A., Mohmad, N., Hamezah, H. S., & Baharum, S. N. (2023). *Annona muricata*: comprehensive review on the ethnomedicinal, phytochemistry, and pharmacological aspects focusing on antidiabetic properties. *Life*, 13(2), 353. <https://doi.org/10.3390/life13020353>