



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para
el Desarrollo

Caracterización y estudios de bioaccesibilidad de un nuevo
alimento desarrollado a partir de pitaya amarilla

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos

AUTOR/A: Gómez Ibáñez, Julia

Tutor/a: Larrea Santos, Virginia

Cotutor/a: Quiles Chuliá, María Desamparados

Director/a Experimental: LLORCA MARTINEZ, M^a EMPAR

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN Y ESTUDIOS DE BIOACCESIBILIDAD DE UN NUEVO ALIMENTO DESARROLLADO A PARTIR DE PITAYA AMARILLA

Julia Gómez Ibáñez, Virginia Larrea Santos, María Desamparados Quiles Chuliá, María Empar Llorca Martínez ¹

RESUMEN

La compota desarrollada en el presente trabajo se elaboró con zumo de pitaya amarilla (*Selenecereus megalanthus*) y pulpa de mango como los ingredientes principales. Esta, mostró grandes contenidos en compuestos fenólicos ($215,5 \pm 13,6$ mg de ácido gálico/100 g de muestra seca) y una alta capacidad antioxidante ($433,2 \pm 8,2$ μ moles trolox/100 g de muestra seca).

El propósito de este estudio fue caracterizar la compota a nivel fisicoquímico y microestructural. Asimismo, se quiso demostrar la bioaccesibilidad de sus compuesto bioactivos, por lo que fue sometida a un proceso de digestión *in vitro*.

Los resultados obtenidos en dicha caracterización revelan que en cuanto a parámetros físicos (textura, humedad, °Brix y color), esta compota presenta valores similares en algunos casos a otras compotas estudiadas.

PALABRAS CLAVE: compota, digestión *in vitro*, DPPH, compuestos fenólicos, textura, estructura, microscopía

RESUM

La compota desenvolupada en el present treball es va elaborar amb suc de *pitaya groga (**Selenecereus *megalanthus*) i polpa de mànec com els ingredients principals. Aquesta, va mostrar grans continguts en compostos fenòlics ($215,5 \pm 13,6$ mg d'àcid gàl·lic/100 g de mostra seca) i una alta capacitat antioxidant ($433,2 \pm 8,2$ * μ moles *trolox/100 g de mostra seca).

El propòsit d'aquest estudi va ser caracteritzar la compota a nivell fisicoquímic i microestructural. Així mateix, es va voler demostrar la *bioaccesibilidad dels seus compost *bioactivos, per la qual cosa va ser sotmesa a un procés de digestió *in vitro*.

Els resultats obtinguts en aquesta caracterització revelen que quant a paràmetres físics (textura, humitat, *°Brix i color), aquesta compota presenta valors similars en alguns casos a altres compotes estudiades.

PARAULES CLAU: compota, digestió *in vitro*, DPPH, compostos fenòlics, textura, estructura, microscòpia

¹ Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia.

ABSTRACT

The compote developed in this work was made with yellow pitaya juice (*Selenicereus megalanthus*) and mango pulp as the main ingredients. This showed high contents of phenolic compounds (215.5 ± 13.6 mg of gallic acid/100 g of dry sample) and a high antioxidant capacity (433.2 ± 8.2 μ mol trolox/100 g of dry sample).

The purpose of this study was to characterize the compote at the physicochemical and microstructural level. Likewise, it was wanted to demonstrate the bioaccessibility of its bioactive compounds, for which it was subjected to an in vitro digestion process.

The results obtained in said characterization reveal that in terms of physical parameters (texture, humidity, °Brix and color), this compote presents similar values in some cases to other studied compotes.

KEYWORDS: compote, in vitro digestion, DPPH, phenolic compounds, texture, structure, microscopy

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Procedencia, taxonomía y propiedades de la pitaya

La pitaya o pitahaya es una fruta exótica originaria de Mesoamérica y es cultivada en varias regiones del mundo. Concretamente, se pueden encontrar cultivos en Colombia, sobre todo en zonas áridas y semiáridas ya que no requiere mucha cantidad de agua para su desarrollo. Asimismo, los lugares de cultivo han de poseer una gran cantidad de luz (Vásquez-Castillo *et al.*, 2016). Su cultivo empezó en Colombia con fines de exportación. Según Datasur (2020), se considera a la pitaya una de las 10 frutas exóticas con mayor número de exportaciones siendo Francia, Hong Kong y Brasil los principales importadores.

En cuanto, a las especies existentes de pitaya, se conocen alrededor de 35 especies cultivables para la obtención de frutos, hortaliza fresca o forraje (Mizrahi *et al.*, 2004), pertenecientes principalmente a los géneros *Hylocereus*, *Selenicereus*, *Cereus*, *Leptocereus*, *Escontria*, *Myrtilloactos*, *Stenocereus* y *Opuntia*. Las especies *H. undatus*, *H. polyrhizus*, *H. costaricensis*, *H. triangularis* y *H. purpusii*, tradicionalmente se conocen como pitahaya roja, mientras que la pitaya amarilla, *Selenicereus* spp., cuenta con 20 especies (Tel *et al.*, 2004).

Concretamente, la pitaya amarilla tiene una morfología característica basada en el fuerte color amarillo de su cáscara cuando alcanza la madurez. En su interior, se puede apreciar que la pulpa posee un color blanquecino con abundantes semillas de color negro. En cuanto a su tamaño, cuenta con unas dimensiones de entre 8-15 cm de largo y de 6-10 cm de ancho (Medina *et al.*, 2013).

Su taxonomía se puede ver reflejada en la tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía de la pitaya amarilla. Fuente: Medina *et al.*, 2013.

Nombre común	Pitaya amarilla, pitahaya.
Clase	Equisetopsida.
Subclase	Magnoliidae
Superorden	Caryophyllanae
Orden	Caryophyllales Juss.
Familia	Cactaceae
Género	<i>Selenicereus</i>
Especie	<i>S. megalanthus</i>

A esta fruta exótica se le atribuyen numerosas propiedades distintas tanto de capacidad antioxidante como nutraceuticas. Debido a su composición fitoquímica, la pitaya puede ser una buena fuente de compuestos antioxidantes (García-Cruz *et al.*, 2017). En cuanto a las propiedades nutraceuticas, Verona-Ruiz *et al.* (2020) indica que reduce el riesgo de contraer enfermedades crónicas, así como otro tipo de propiedades beneficiosas para el organismo tales como el mantenimiento del sistema estomacal e intestinal, reducción de la presión arterial o ayuda al sistema inmunológico.

Por otra parte, su producción es de carácter estacional. Esta se divide en dos partes del año. Primeramente, se produce entre febrero y marzo, y seguidamente entre julio y agosto (Medina *et al.*, 2013). Esto ocasiona épocas de sobreoferta y otras de escasez. Esto puede ser interesante de cara al desarrollo y elaboración de nuevos alimentos que contengan como ingrediente la pitaya y/o sus subproductos, de cara a aprovechar los numerosos beneficios nutricionales, funcionales y organolépticos que presenta esta fruta, al mismo tiempo que se da salida al producto en épocas de sobreoferta.

1.2 Compuestos bioactivos

1.2.1 COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos son un grupo de sustancias químicas no energéticas que se encuentran presentes en los alimentos de origen vegetal (Quiñones *et al.*, 2012). Son metabolitos secundarios de las plantas que en su estructura poseen al menos un grupo aromático al que se encuentran unidos uno o más grupos hidroxilo y, por tanto, es una estructura química adecuada para captar radicales libres y neutralizarlos. Además, estos han cobrado relativo interés ya que se les atribuyen diferentes propiedades tales como poder antiinflamatorio, antibacteriano, antioxidante, antitrombótico, con efectos vasodilatadores y cardioprotectores (Manach, 2004)

Según mencionan García-Cruz *et al.*, (2013) y Cervantes-Arista *et al.*, (2020), los compuestos fenólicos que tienen las pitayas son: feniletanoides (tirosol), estilbeno (cumarina), ácidos fenólicos (cafeoil hexósido), feruloil dihexósido y ácido p-cumaroilquínico), flavonoides (quercetina 3-O-rutinósido, kaempferol hexósido, isorhamentina hexósido, isorhamnetina 3-O-glucósido, eriodictiol hexósido, eriodictiol acetilhexósido, naringenina acetilhexósido y taxifolin acetilhexósido) y taninos.

1.2.3 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

El estrés oxidativo se genera por un desequilibrio entre radicales libres y la disminución de la capacidad antioxidante del organismo (Daenen *et al.*, 2019). Este desequilibrio puede suponer el desarrollo de enfermedades como

cataratas, Alzheimer, Parkinson, problemas cardiovasculares, arterioesclerosis, anemia y algunas formas de diabetes (Coronado *et al.*, 2015; Tapia *et al.*, 2004).

Por este motivo, se están investigando sustancias capaces de frenar y proteger frente a este proceso. Estas sustancias son los antioxidantes, que según Gülçin (2012) son aquellas que, estando presentes en bajas concentraciones, retrasan o previenen de forma importante la oxidación de dichos sustratos. Estos compuestos antioxidantes se suelen encontrar de forma natural presentes en los alimentos de origen vegetal.

En la pitaya amarilla se pueden encontrar gran cantidad de compuestos fenólicos que son capaces de proteger al consumidor del daño oxidativo por su alta capacidad antioxidante (Ferrerres *et al.*, 2017).

1.3 Digestión *in vitro*

La digestión *in vitro* se define como los procesos experimentales que se llevan a cabo para reproducir las condiciones fisiológicas y reacciones que se producen durante la digestión de los alimentos en el tracto gastrointestinal. Esto se realiza poniendo en contacto una matriz alimentaria con una serie de fluidos gastrointestinales simulados bajo unas condiciones controladas (Guerra *et al.*, 2012).

Los modelos *in vitro* son métodos analíticos que permiten analizar detalladamente la influencia de la digestión sobre la matriz alimentaria dotando de información acerca de la digestibilidad de los alimentos, la liberación de nutrientes encapsulados o de la efectividad de un fármaco tras la modificación por la acción de jugos gastrointestinales (Bornhorst y Singh, 2014).

Es relevante destacar que, pese a sus limitaciones, las digestiones *in vitro* son capaces de aportar resultados precisos en poco tiempo de un modo más económico de las simulaciones *in vivo*, cuyo procedimiento es más complejo ya que al tratarse de animales vivos entran en juego muchas más variables (Coles *et al.*, 2005). A través de las digestiones *in vitro* se puede determinar la bioaccesibilidad de los macro y micronutrientes y componentes bioactivos de los alimentos, entre otras aplicaciones. Entendiéndose como bioaccesibilidad la cantidad de un componente alimentario que está presente en el intestino, como consecuencia de la liberación de la matriz alimentaria, y que por tanto será susceptible de atravesar la barrera intestinal o de pasar a la fase colónica. (Saura-Calixto *et al.*, 2007)

1.4 Elaboración de nuevos alimentos con pitaya amarilla

La pitaya amarilla tiene una vida útil relativamente corta para su consumo en fresco, por lo que se han de desarrollar investigaciones que ofrezcan alternativas para su conservación (Dueñas *et al.*, 2009). Asimismo, este fruto

no tiene la aceptación y el consumo esperado en el mercado colombiano, por lo que se agrava la necesidad de investigar para aumentar su ingesta. Cabe destacar que, actualmente se está comenzando a cultivar este tipo de fruta exótica en España debido a sus escasos requerimientos de agua entre otros factores y puesto que, además, los consumidores de toda la Unión Europea cada vez muestran más interés ante este tipo de productos. Su aspecto exótico, sus colores llamativos en piel y pulpa y la oferta en los supermercados ha captado la atención cada vez más de los consumidores europeos.

Cierta parte de los consumidores de hoy en día se han cansado de comer siempre los mismos productos monótonos y se han aventurado a probar productos nuevos y exóticos que antes no se encontraban en el mercado, todo esto gracias a la globalización. Por la parte de los supermercados, cada vez apuestan por una mayor gama de productos, siendo los alimentos tropicales o exóticos el nicho de mercado perfecto para cumplir con esta estrategia competitiva.

Por otra parte, es importante conocer que uno de los principales motivos por los que este fruto no es tan consumido es porque se desconocen todos sus beneficios y las propiedades nutricionales mencionadas anteriormente.

Con la finalidad de aprovechar los excedentes y de incrementar el consumo, se pretende elaborar nuevos alimentos a base de pitaya amarilla que aporten nuevas opciones de consumo. Un caso concreto es el de Garzón *et al.*, (2021), en el que se preparó una compota destinada a la población infantil con ingredientes tales como el zumo extraído de la pitaya amarilla, parte de su cáscara, mango, zumo de limón y azúcar.

Este trabajo es fruto de una colaboración con la universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, a través de un proyecto ADSIDEO. El objetivo del proyecto persigue revalorizar la fruta pitaya amarilla, cuyo cultivo está muy extendido por América latina. Aunque se consume en fresco, se desperdicia una gran parte del cultivo. El mercado de esta fruta no se ha podido desarrollar de forma óptima en parte debido a la falta de conocimiento sobre sus propiedades nutricionales y funcionales. El objetivo de este trabajo fue caracterizar, a nivel fisicoquímico y microestructural, una nueva formulación de compota elaborada a partir de pitaya amarilla. Además, se realizaron estudios de digestibilidad *in vitro* de algunos de los compuestos bioactivos presentes en la compota con el fin de conocer su valor nutricional. La formulación de compota estudiada procede de un trabajo de investigación previo llevado a cabo en la universidad de los Andes en el que se evaluaron diferentes formulaciones y se seleccionó la que tuvo una mejor aceptación sensorial. El desarrollo de la compota intenta disminuir los porcentajes de pérdida de esta fruta y ampliar las posibilidades de consumo de la pitaya amarilla.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materia prima

Para elaborar la compota objeto de este trabajo se utilizó zumo y corteza de pitayas amarillas (*Selenicereus*, especie *megalanthus*) procedentes de Colombia que fueron adquiridas en un comercio local especializado en venta de fruta de importación (Mercado Central de Valencia). Los demás ingredientes de la compota, mango, azúcar y zumo de limón fueron comprados en un supermercado nacional.

2.1.1. FORMULACIÓN Y PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA COMPOTA

Para formular la compota se siguieron las proporciones de ingredientes empleadas por Garzón *et al.*, (2021). La pitaya y el mango representaron el 92,95% de la formulación, de esta proporción, el zumo de pitaya representó un 60% y la pulpa de mango un 40%. La corteza de pitaya representó el 0,05% de la formulación, el zumo de limón el 2% y el azúcar el 5%.

Para la elaboración de la compota, en primer lugar, se sumergieron las pitayas y mangos en una disolución desinfectante de hipoclorito de 5 ppm durante 5 min. A continuación, se licuó la pitaya para obtener el zumo y se obtuvo la cáscara de la pitaya de 9 mm de grosor empleando una mandolina. A continuación, se pelaron y se trocearon los mangos.

Posteriormente, se adicionaron la pulpa del mango y la cáscara de la pitaya en un procesador de alimentos y se trituraron a la máxima velocidad durante 30 s.

Después, se añadieron el resto de los ingredientes y se cocinó a 90°C durante 75 min, subiéndose la temperatura a 100°C durante los últimos 15 min.

La mezcla caliente fue vertida en envases limpios y secos que fueron cerrados para evitar filtraciones de agua en la etapa posterior ya que los frascos fueron sumergidos en agua durante 20 min a 80°C para evitar el crecimiento microbiano y asegurar la inocuidad del producto.

Finalmente, el producto envasado y cerrado se enfrió rápidamente para producir un choque térmico y asegurar la preservación e inocuidad del producto (Ashenafi, 2012).

2.2 Propiedades físicas de la compota

2.2.1 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX)

La determinación de sólidos solubles se realizó por refractometría. Los resultados se expresaron como °Brix. Se utilizó un refractómetro RFM330+ (Bellingham and Stanley Ltd, UK) termostatado a 20°C. Todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

2.2.2. TEXTURA

La textura se evaluó mediante un texturómetro TA-XT Plus Texture Analyzer (Stable Micro System, Ltd., Reino Unido) equipado con una célula de carga de 30kg. Se realizaron dos ensayos. El ensayo de doble compresión o análisis de perfil de textura (TPA). Para ello, la muestra fue introducida en un recipiente acrílico de 50 mm de diámetro y 75 mm de altura, se llenó el recipiente hasta un 75% de su capacidad. Se empleó una sonda cilíndrica metálica de 35 mm de diámetro con una velocidad de ensayo de 1 mm/s, hasta alcanzar una distancia de 15 mm. Se realizaron 12 repeticiones por cada muestra y a partir de las curvas fuerza vs. distancia, se obtuvieron los siguientes parámetros: dureza (N), adhesividad (g.s), cohesividad, elasticidad, gomosidad (N) y masticabilidad (N). Todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

2.2.3. COLOR

El color fue evaluado en la compota el mismo día de su elaboración. Las muestras fueron introducidas en recipientes de 38 mm de diámetro y 10 mm de altura. En todos los casos, para la realización de la medida, se empleó un vidrio óptico.

El equipo empleado fue un espectro-colorímetro Chroma Meter CR-400s. Se utilizó como referencia el iluminante D65 y el observador 10°. De este modo, se obtuvieron las coordenadas de color en el espacio CIEL*a*b*. En este espacio la coordenada L* representa la luminosidad en una escala del 0 al 100 desde el negro hasta el blanco; a* (+) rojo o (-) verde y b* (+) amarillo o (-) azul (McGuire, 1992). Con las coordenadas obtenidas se calculó el tono (h_{ab}^*) y el croma (C_{ab}^*) de las muestras empleando las ecuaciones 1 y 2, respectivamente. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

$$h_{ab}^* = \arctang \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

2.2.4. HUMEDAD

La humedad de la muestra se determinó mediante el método oficial 934.06 de la A.O.A.C. (2000) para alimentos ricos en azúcares. Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de la muestra mediante desecación de la misma en una estufa a vacío (Vacioterm, J.P. Selecta) a una temperatura no superior a 63°C y una presión de 100 mm Hg, dejando secar hasta que las muestras alcanzan un peso constante. Posteriormente y previo a cada pesada, las muestras fueron enfriadas en un desecador con una base de silica gel. La variación de peso se midió en una balanza analítica AE 100 (Mettler Toledo) de precisión 0.1 mg. La medida se realizó por triplicado.

2.3. Microestructura

En cuanto a los ingredientes, para estudiar el zumo de pitaya se empleó la microscopía óptica (LM), para estudiar la corteza de pitaya se empleó LM, a partir de cortes criostato y parafina y la microscopía láser confocal de barrido (CLSM) y, por último, para estudiar la microestructura de la pulpa de mango se empleó CLSM. La microestructura de la compota antes y después de la digestión *in vitro* se estudió por CLSM.

Las observaciones por LM se realizaron empleando un microscopio Nikon Eclipse 80i® (Nikon Co. Ltd., Tokio, Japón) con una cámara incorporada (Exwave HAD, nº DXC-19, Sony Electronics Inc., Park Ridge, Nueva Jersey, Estados Unidos). Las secciones criostato, de 15 µm de espesor, se obtuvieron con un criostato (LEICA CM 1950, Madrid, España) y se transfirieron a un portaobjetos de vidrio. Para obtener las secciones parafina, las muestras se cortaron en cubos de 3 mm³ de lado, se fijaron con FAE (formaldehído, acético y etanol), se deshidrataron con disoluciones de concentración creciente de etanol (50, 70, 85, 95 y 100 %) y se infiltraron con disoluciones de concentración creciente de histoclear:parafina hasta alcanzar una concentración del 100% de parafina. Los bloques de parafina obtenidos se cortaron con un micrótopo (HM325, Microm International GmbH,) para obtener secciones parafina de 8 µm de espesor. Las secciones, una vez desparafinadas, se tiñeron con azul de toluidina. Todas las imágenes fueron capturadas y almacenadas a 1280 x 1024 píxeles utilizando el software del microscopio (NIS-Element M, versión 4.0, Nikon, Tokio, Japón).

Las observaciones por CLSM se realizaron mediante un microscopio láser confocal ZEISS 780 acoplado a un microscopio invertido Axio Observer Z1 (Carl Zeiss, Germany). Para visualizar las muestras se utilizó el objetivo C-Apochromat 40X/1.2 W de inmersión en agua. Las imágenes se obtuvieron y almacenaron con una resolución de 1024x1024 píxeles utilizando el software del microscopio (ZEN). Las tinciones empleadas fueron Nile Red y Calcofluor

white (Fluka, Sigma-Aldrich, Missouri, USA). El Nile Red se empleó para detectar la grasa y se excitó con la línea de láser 561 y se detectó en el rango de 576-620 nm. El Calcofluor White se empleó para teñir polisacáridos y se excitó con la línea del diodo 405 y se detectó en el rango de 410-477 nm. Para observar y estudiar las diferentes muestras se colocó una pequeña cantidad sobre un portaobjetos, se le añadió 10 μ L de disolución de Nile Red y se dejó reposar durante 10 min. En segundo lugar, se realizó el mismo procedimiento con el Calcofluor white y se cubrió con un cubreobjetos de vidrio. También se detectó la autofluorescencia, para ello la muestra se excitó con la línea de láser 488 y se detectó en el rango de 499-525 nm. Para estudiar la compota, las tinciones empleadas fueron Nile Red, Fitc y Calcofluor white (Fluka, Sigma-Aldrich, Missouri, USA). El Fitc se empleó para teñir la proteína y se excitó con la línea de láser 488 y se detectó en el rango de 499-525 nm. Concretamente, se tomaron imágenes de dobles tinciones Nile red-Calcofluor, Fitc-Calcofluor y autofluorescencia-Calcofluor.

2.4. Determinación del contenido en compuestos bioactivos

Se determinó el contenido en compuestos fenólicos totales (CFT) y la capacidad antioxidante (CA) tanto en los principales ingredientes de la compota, zumo de pitaya y pulpa de mango, como en la compota antes y después de ser sometida a un proceso de digestión *in vitro*.

Para la determinación de los CFT y la CA las muestras se sometieron a un proceso de extracción. Para ello, se homogeneizaron 5 g de muestra con 25 mL de etanol 96 %. Esta mezcla se llevó al ultraturrax (KA-Ultraturrax T25 Basic) a 12000 rpm durante 1 min. El homogeneizado resultante se centrifugó a 14000 rpm durante 20 min a una temperatura de 4°C. Después, el sobrenadante se filtró con papel de filtro (Whatman 4, 20-25 μ m). Se repitió el procedimiento con el precipitado obtenido de la centrifugación anterior. Finalmente, todo el sobrenadante se mezcló y se aforó a 50 mL con etanol.

2.4.1. COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)

Para determinar el contenido en CFT, a 1 mL del extracto, obtenido según se explica en la sección anterior, se le añadieron 6 mL de agua bidestilada y 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu y se agitó brevemente. Transcurridos 3 min se añadió 1 mL de Na₂CO₃ saturado (20 %). Finalmente, se adicionó 1,5 mL de agua bidestilada y se dejó reposar en oscuridad durante 90 min. Transcurrido este tiempo se midió la absorbancia de la muestra a 765. La curva de calibrado se realizó utilizando diferentes concentraciones de ácido gálico en etanol al 96 %. La concentración se expresó como miligramos de ácido gálico por 100 gramos (en base húmeda y en base seca). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.4.2. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA)

La CA se determinó mediante el método DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) según el protocolo empleado por Shah et al. (2016). Para ello, se añadieron 1 mL de extracto y 4 mL de reactivo DPPH (40 µg/mL) en un tubo de ensayo y se agitó. A continuación, el tubo se guardó en oscuridad durante 30 min y finalmente se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en cubetas de 4,5 mL de capacidad. La curva de calibrado se realizó utilizando diferentes concentraciones de Trolox en etanol al 96%. Los resultados se expresaron como miligramos de Trolox por 100 gramos (en base húmeda y en base seca). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.5. Proceso simulado de digestión *in vitro*

Se utilizó un modelo de simulación según la metodología descrita por Minekus et al. (2014) y Brodkorb et al. (2019) con modificaciones (Eriksen et al., 2017; Gómez-Mascaraque, 2017). En el proceso de digestión se simularon tres fases, la oral, gástrica e intestinal. Para ello, se empleó en una estación de reacción "Carousel 6 Plus" (Radleys, Reino Unido). Para imitar las condiciones fisiológicas humanas, el análisis se realizó a temperatura controlada (37°C), agitación (150 rpm) y sin luz. Tanto la etapa gástrica como la etapa intestinal se realizaron en ausencia de oxígeno, empleando N₂ (Eriksen et al., 2017). Las disoluciones de fluido salival simulado (SSF), fluido gástrico simulado (SGF) y fluido intestinal simulado (SIF) se prepararon de acuerdo con las composiciones descritas por Minekus et al. (2014).

Para la etapa oral, se pesaron 5 g de la compota. A esta cantidad de muestra se le añadieron 4 mL de SSF + α-amilasa (75 U/mL en la mezcla de digestión) previamente ajustados a pH 7, 19 µL de CaCl₂ y 0.981 mL de agua bidestilada. La simulación de la digestión oral se hizo con agitación manual durante 2 min. Para la fase gástrica, al bolo procedente de la fase oral se le adicionaron 16 mL de SGF + pepsina (2000 U/mL en la mezcla de digestión) y 8 µL de CaCl₂. Después, se ajustó el pH entre 2,5 y 3,2 usando HCl 1 M y se ajustó el volumen a 20 mL con agua bidestilada. La mezcla se incubó a 37°C durante 1 h en agitación. Para la etapa intestinal, el pH se ajustó entre 6,5 y 7,0 usando HCl 1 M o NaOH 1 M. Se añadieron 12 mL de SIF + pancreatina (16,25 mg/mL), 45 µL de CaCl₂ y 12 mL de SIF + bilis (37,8 mg/mL). Tras esto, el pH se ajustó a 7 usando HCl 1 M o NaOH 1 M y se ajustó el volumen a 30 mL con agua bidestilada. La mezcla se incubó a 37°C durante 2 h en agitación en ausencia de oxígeno y en oscuridad.

Una vez finalizada la etapa intestinal, el digerido se centrifugó (14000 rpm, 20 min, 4 °C) y se filtró (Whatman® Grado 4). El residuo se consideró la fracción no digerida (OUT) y el sobrenadante la fracción soluble disponible para la absorción (IN). Las muestras se almacenaron a -80 °C hasta su posterior análisis. Las digestiones se llevaron cabo por duplicado cada vez junto con un blanco (Díez-Sánchez et al., 2021).

2.6. Bioaccesibilidad de compuestos bioactivos

La bioaccesibilidad de los CFT y de la CA se determinó usando el método descrito por Qian et al. (2012) y representado en la ecuación 3.

$$\text{Bioaccesibilidad (\%)} = \frac{CD}{C} \times 100 \quad (3)$$

Siendo CD, el contenido en compuestos bioactivos (CFT ó CA) en la totalidad de la compota después de la fase de digestión intestinal *in vitro* (IN y OUT), y C (compota sin digerir), el contenido en la muestra sin haber sido sometida a la digestión *in vitro*.

2.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico empleando el programa XLSTAT software 2014 (Addinsoft, Barcelona, España) para confirmar la reproducibilidad de los resultados. En este trabajo no se compara con otras formulaciones, se estudia una única formulación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades físicas de la compota

3.1.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX)

La compota presentó un contenido en sólidos solubles de $37 \pm 0,7^\circ\text{Brix}$. El contenido en sólidos solubles puede variar en función del estado de maduración de las frutas empleadas en el momento de la elaboración.

3.2.2 TEXTURA

Según González et al. (2015), la dureza se define como la fuerza máxima obtenida durante la primera parte de la compresión imitando el primer mordisco. Otro parámetro relacionado con la textura es la cohesividad, que es la razón entre el área de fuerza positiva durante la segunda compresión y el área durante la primera compresión. Esta representa cuanto aguanta el

alimento a la rotura durante la compresión. La elasticidad se relaciona con la altura que el alimento recupera durante la primera compresión, por lo que representa el lapso entre el final del primer mordisco y el principio del segundo. Asimismo, la gomosidad simula la energía necesaria para destruir un alimento para que este se pueda tragar. La masticabilidad es la medida de la energía que se requiere para masticar un sólido y desintegrarlo hasta que se pueda ingerir. Finalmente, la adhesividad es el área de fuerza negativa que representa el trabajo requerido para superar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimentos y otras superficies

Los resultados de las determinaciones texturales de la compota elaborada a base de zumo de pitaya se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la textura con el test TPA o de doble compresión para los parámetros dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad.

DOBLE COMPRESIÓN O TPA	
PARÁMETROS	RESULTADOS
Dureza (g)	52,6 ± 12,6
Cohesividad (g)	0,8 ± 0,1
Elasticidad	0,9 ± 0,0
Gomosidad	44,6 ± 13,2
Masticabilidad	40,6 ± 13,3
Adhesividad (g.s)	-184,4 ± 70,3

La compota de pitaya amarilla presentó unos valores de dureza de 52,6 ± 12,6 g. En sus estudios López *et al.* (2011) analizaron una formulación de mermelada elaborada a partir de pulpa y cáscara de tunas y obtuvieron valores de dureza de 63,1 g, los valores del parámetro gomosidad en esta mermelada fueron de 47,3, muy similar al valor obtenido para la compota de este estudio (44,6 ± 13,2). Besbes *et al.* (2009) estudiaron diferentes mermeladas elaboradas con dátiles turcos y obtuvieron valores de cohesividad de entre 0,74-0,77 g, valores muy similares a los obtenidos en la compota de pitaya (0,84 ± 0,05 g). Younis *et al.* (2015) evaluaron la influencia de la adición de polvo de cáscara de mosambi sobre la masticabilidad de mermeladas de papaya y concluyeron que la adición del polvo aumentaba la masticabilidad de la mermelada control lo que favorecía su aceptación sensorial, las mejor aceptadas fueron las que presentaron valores alrededor de 20. Los valores de masticabilidad de la compota estudiada en este trabajo son superiores (40,6 ± 13,3). Por otra parte, la adhesividad de la compota elaborada a base de pitaya amarilla fue de -184,4 ± 70,3 g.s. Según un estudio de Korus *et al.* (2017) en el que se evaluaban compotas de fresa, los sus valores para este parámetro fueron de entre -119,3-32,6 g.s, siendo estos valores diferentes a los de la compota de pitaya.

En general, la compota estudiada en este trabajo presentó unos valores de parámetros texturales que pueden englobarse dentro de los aceptados para las mermeladas y compotas.

3.2.3 COLOR

Los resultados de los parámetros de color estudiados en la compota de pitaya amarilla se encuentran reflejados en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de L^* , h_{ab}^* y C_{ab}^* en la compota de pitaya

Coordenada	Media
L^*	$41,8 \pm 0,7$
h_{ab}^*	$81,8 \pm 1,5$
C_{ab}^*	$20,6 \pm 3,2$

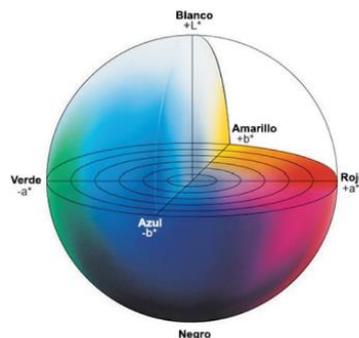


Figura 1. Espacio de color CIELAB

La compota se puede describir con una luminosidad (L^*) media, ya que presentó un valor de $41,8 \pm 0,7$, sobre un máximo de luminosidad de 100.

El tono (parámetro h^*) es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece similar a uno, o a proporciones de dos, de los colores percibidos rojo, naranja, amarillo, verde, azul y púrpura (Talens, 2017). Se define el origen 0° en la posición a^* positiva y $b^*=0$, que representa un color estrictamente rojo. Siguiendo el sentido contrario a las agujas del reloj en el ángulo 90° sería un color estrictamente amarillo, en 180° un verde estricto, y un azul estricto en 270° . Según los valores obtenidos ($81,8 \pm 1,5$), la compota presentó un tono amarillo anaranjado. Estos resultados son coherentes teniendo en cuenta que las materias primas de la compota son la pitaya amarilla y el mango.

El parámetro C^* mide la pureza, saturación o croma, de un color, siendo un valor de 0 para C^* un estímulo acromático, sin ninguna orientación hacia rojo, verde, azul o amarillo, y un valor alto de C^* un color altamente saturado (Talens, 2017). La compota presentó un valor de C^* de $20,6 \pm 3,2$, lo que indica una moderada saturación.

3.2.4 HUMEDAD

La humedad de la muestra de compota fue de $56,7 \pm 0,19$ %. Este valor es más elevado que el encontrado en otros trabajos como el de Guevara (2014) que estudió compota de pitaya roja y obtuvo unos valores de humedad de $34,32 \pm 11,7$ %. Esto puede deberse a que se emplearon otros ingredientes y a que, al tratarse de otro tipo de pitaya, la humedad de la misma sea distinta. Asimismo, las condiciones de elaboración de las compotas fueron diferentes.

3.2. Microestructura

En el zumo de pitaya se pueden observar restos de estructuras celulares y gotitas de aceite procedente de la pulpa (Figura 2). El zumo muestra coloración debido a los pigmentos procedentes de la pulpa.

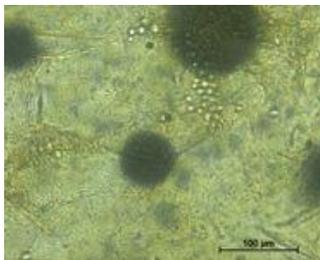


Figura 2. Zumo de pitaya. Microscopía óptica.

La corteza de pitaya amarilla o epicarpo coloreado (Figura 3) está formada por células alargadas, densas, de paredes gruesas que se mantienen íntimamente unidas y forman un tejido compacto, sin apenas espacios intercelulares (Figura 3). La epidermis o zona más externa está constituida por células de paredes gruesas (Figura 3B) y contienen una gran cantidad de cromoplastos, orgánulos donde se alojan los pigmentos carotenoides (Figura 3C). En estas células también se pueden observar gotitas de aceite (Figura 3A).

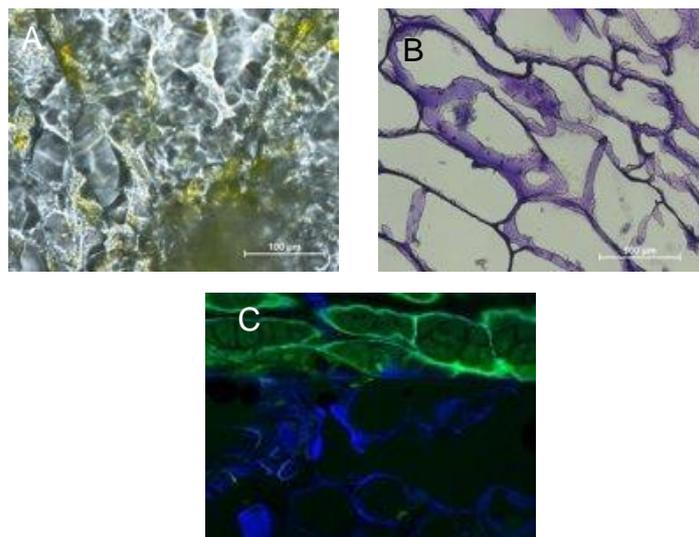


Figura 3. Corteza de pitaya amarilla. Microscopía óptica: A, secciones criostato y B, secciones parafina. Microscopía láser confocal de barrido: C.

La pulpa de mango está formada por células parenquimáticas alargadas que dejan un tejido más esponjoso que las de la corteza de pitaya y en el que se pueden apreciar espacios intercelulares. En las inmediaciones de las paredes celulares se observan cromoplastos con pigmentos carotenoides y agrupaciones de gotitas de aceite (Figura 4).

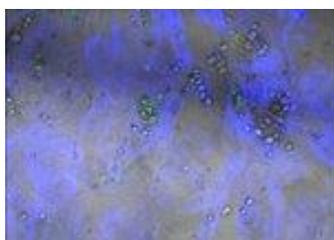


Figura 4. Pulpa de mango. Microscopía láser confocal de barrido.

La compota de pitaya amarilla está constituida por una fase continua acuosa y por una fase dispersa que se organiza en modo de red. La fase dispersa está formada por restos celulares (teñidos de azul por el Calcofluor White, Figuras 5A, B y C) procedentes tanto de la corteza y zumo de pitaya como de la pulpa de mango, por grasa (teñida de rojo por el Nile Red; en Figura 5A) y por proteína (teñida de verde por el FITC; en Figura 5B). En la figura 5C se puede apreciar la presencia de autofluorescencia (aglomerados de color verde), posiblemente debido a la presencia de pigmentos carotenoides y compuestos bioactivos que aparecen formando agrupaciones en las proximidades de restos de tejidos celulares.

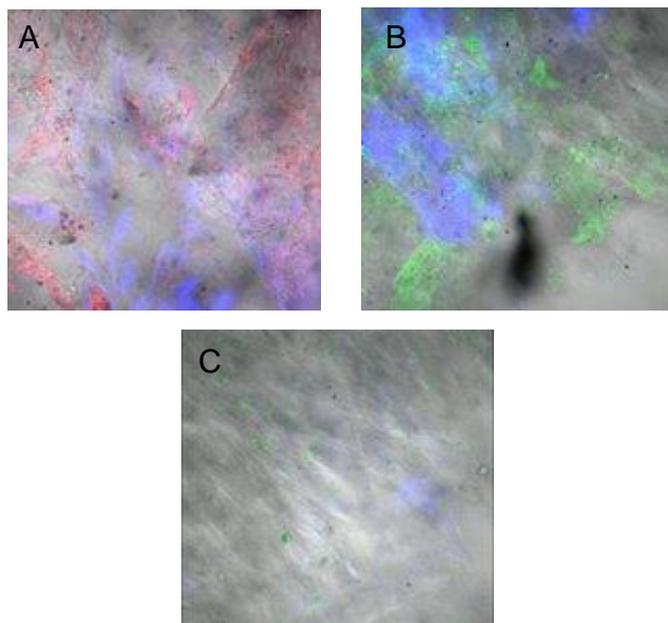


Figura 5. Compota de pitaya amarilla. CLSM. A: tinción con Nile Red y Calcofluor White. B: Tinción con Fitc y Calcofluor White. C: Tinción con Calcofluor y mango observada a partir de microscopía láser confocal de barrido

Después de someter la compota a un proceso de digestión oral, gástrica e intestinal *in vitro* se puede observar (Figura 6) que, en la fracción soluble (IN) de la digestión hay presencia de restos celulares (teñidos de color azul por el Calcofluor White), y posiblemente, de compuestos bioactivos, que aparecen en forma de agregados capaces de emitir autofluorescencia (Figura 6A). En la fracción no digerida de la digestión (OUT) también se aprecian estos compuestos e incluso compuestos lipídicos (teñidos de rojo por el Nile Red) (Figura 6B).

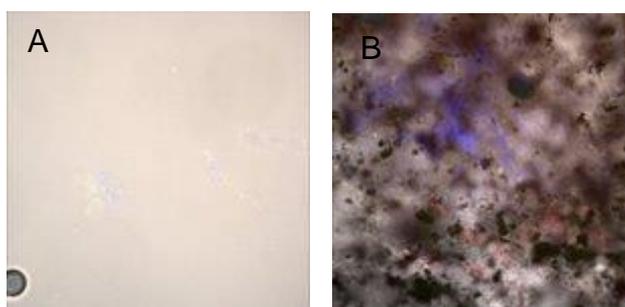


Figura 6. Fracción digerida de la compota obtenida tras la digestión *in vitro*. CLSM. A: fracción IN. B: fracción OUT.

3.3. Determinación del contenido en compuestos bioactivos y bioaccesibilidad

3.3.1. COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)

El contenido en CFT del zumo de pitaya, de la pulpa de mango y de la compota se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Contenido de compuestos fenólicos totales en el zumo de pitaya y en el mango, expresados en base húmeda y en base seca.

Compuestos fenólicos	
Muestra	mg de ácido gálico/100 g de muestra (base seca)
Zumo de pitaya	194,0 ± 16,6
Pulpa de Mango	476,9 ± 42,4
Compota	215,5 ± 13,6
Compota digerida parte soluble (IN)	122,3 ± 12,6
Compota digerida parte insoluble (OUT)	186,9 ± 14,8
Bioaccesibilidad	143%

El contenido en CFT fue superior en la pulpa de mango que, en el zumo de pitaya, esto se debe a que la pulpa tiene una mayor proporción de tejido celular. La compota, por lo tanto, al estar elaborada con estos ingredientes presentó un elevado contenido en CFT y se puede considerar un alimento de elevada calidad nutricional.

Por otro lado, en el caso de la compota, el resultado de CFT en base seca fue de 215,5 ± 13,6 mg ácido gálico/100g de muestra. Akinlolu-Ojo *et al.* (2022), estudiaron varias compotas de frutas, obteniendo resultados de CFT de entre 0,76 y 2,02 mg ácido gálico /g. Besbes *et al.* (2009) en sus estudios sobre mermeladas de dátiles obtuvieron valores de CFT que oscilaron entre 280,6 y 681,8 mg ácido gálico/100 g, valores todos ellos similares a los de la compota de pitaya.

El proceso de digestión oral, gástrica e intestinal *in vitro* preservó de forma notable el contenido en CFT tanto en la fracción soluble (IN) del digerido que presentó valores de 122,3 ± 12,6 mg ácido gálico/100g de muestra como en la fracción insoluble (OUT), con valores de 186,9 ± 14,8 mg ácido gálico/100g de muestra. La bioaccesibilidad de los CFT fue muy elevada, de 143% tomando los valores en base seca, lo que indica que los compuestos fenólicos no se degradan durante la digestión *in vitro*; están disponibles para su adsorción intestinal y llegan intactos a la fase colónica. El proceso de digestión

probablemente favorece la liberación de compuestos fenólicos que están atrapados en la matriz celular de los ingredientes de la compota, pitaya y mango. Esto se corresponde con los resultados obtenidos en el apartado de microestructura de la compota digerida; en las imágenes se puede apreciar presencia de componentes bioactivos en ambas fracciones de la digestión (Figura 6).

3.3.2. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA)

En la tabla 5, se muestran los valores de la capacidad antioxidante determinada mediante el método DPPH del zumo de pitaya amarilla, de la pulpa de mango y de la compota antes y después de ser sometida a un proceso de digestión *in vitro*.

Tabla 5. Resultados de la capacidad antioxidante por el método DPPH del mango y el zumo de pitaya, expresados en base húmeda y en base seca.

DPPH	
Muestra	$\mu\text{moles trolox}/100 \text{ g de muestra (base seca)}$
Zumo de pitaya	$309,2 \pm 23,1$
Pulpa de Mango	$1133,8 \pm 11,9$
Compota	$433,2 \pm 8,2$
Compota digerida (IN)	$1206,0 \pm 46,7$
Compota digerida (OUT)	$1433,0 \pm 148,1$
Bioaccesibilidad	609 %

La capacidad antioxidante fue superior en la pulpa de mango que en el zumo de pitaya. Estos resultados siguen la misma tendencia que los obtenidos en el estudio del contenido en CFT.

La capacidad antioxidante de la compota fue de $433,2 \pm 8,2 \mu\text{moles trolox}/100 \text{ g de muestra en base seca}$. Oksuz *et al.* (2015) estudiaron mermeladas elaboradas con caqui y remolacha roja y obtuvieron valores de entre $61,1 \pm 0,0$ y $217,6 \pm 0,1 \text{ mg trolox}/100\text{g de muestra seca}$. Los valores obtenidos para la compota de pitaya estudiada en este trabajo fueron muy superiores, lo que indica que la compota desarrollada es un producto que puede tener un alto interés nutritivo.

El proceso de digestión oral, gástrica e intestinal *in vitro* preservó de forma notable la CA tanto en la fracción soluble (IN) del digerido que presentó valores de $1206,0 \pm 46,7 \text{ mg trolox}/100\text{g de muestra}$ como en la fracción insoluble (OUT), con valores de $1433,0 \pm 148,1 \text{ mg trolox}/100\text{g de muestra}$.

La bioaccesibilidad de la CA fue muy elevada, de 609% tomando los valores en base seca, lo que indica que la CA no se degrada durante la digestión *in vitro*; los compuestos con capacidad antioxidante procedentes de la compota están disponibles para su adsorción intestinal y llegan intactos a la fase colónica. El proceso de digestión probablemente favorece la liberación de compuestos con actividad antioxidante que están atrapados en la matriz vegetal de la pitaya y mango, tal y como se observa en las imágenes obtenidas por microscopia de la compota digerida (Figura 6).

4. CONCLUSIONES

En general, los valores texturales y de color de la compota desarrollada en este estudio se corresponden con los de las compotas y mermeladas elaboradas con ingredientes tradicionales. Los ingredientes mayoritarios que forman parte de la compota, pitaya y mango, poseen un elevado contenido en compuestos bioactivos, concretamente, CFT y CA. El proceso de elaboración de la compota consigue preservar, de forma notable, el contenido en compuestos bioactivos de los ingredientes frescos. Además, estos compuestos bioactivos presentan valores de bioaccesibilidad elevada; una elevada proporción de CFT y de compuestos con CA consiguen pasar intactos por el proceso de la digestión *in vitro*. La formulación de compota estudiada tiene interés nutricional y, por lo tanto, se presenta como una buena opción a la hora de diversificar la comercialización y el consumo de pitaya.

5. REFERENCIAS

- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist.
- Akinlolu-Ojo, T.; Nwanna, E. E.; Badejo, A. A. 2022. Physicochemical constituents and anti-oxidative properties of ripening hog plum (*Spondias Mombin*) fruits and the quality attributes of jam produced from the fruits. *Measurement: Food* 7, 7.
- Ashenafi, M. 2012. Thermal Effects in Food Microbiology. En: Sun, D. (eds). Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues. CRC Press, Etiopía, 65-79.
- Besbes, S.; Drira, L.; Blecker, C.; Deroanne, C.; Attia, H. 2009. Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera L.*): Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chemistry*, 112(2): 406-411.
- Bornhorst, G.; Singh, R. 2014. Gastric Digestion In Vivo and In Vitro: How the Structural Aspects of Food Influence the Digestion Process. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 111-132.
- Brodkorb, A.; Egger, L.; Alminger, M.; Alvito, P.; Assunção, R.; Balance, S.; Bohn, T.; Courlieu-Lacanal, C.; Boutrou, R.; Carrière, F.; Clemente, A.; Corredq, M.; Dupont, D.; Dufour, C.; Edwards, C.; Golding, M.; Karakaya, S.; Kirkhus, B.; Le Feunteun, S.; Lesmes, U.; Macierzanka, A.; Macke, A.; Martins, C.; Marze, S.; McClements, D.J.; Ménard, O.; Minekus, R.; Santos, C.N.; Souchon, I.; Singh, R.P.; Vegarud, G.E.; Wickham, M.S.J.; Weitschies, W.; Recio, I. 2019. "INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion", [en línea]. *Natural Protocols*. Vol 14 (2019) Dirección URL: <<https://www.nature.com/articles/s41596-018-0119-1>> [Consulta: 30 de Jun. 2022]
- Cervantes-Arista, C.; Roman-Guerrero, A.; Oidor-Chan, V.H.; Díaz de León-Sánchez, F.; Álvares-Ramírez, E.L.; Pelayo-Zaldívar, C.; Sierra Palacios, E.C.; Mendoza-Espinoza, J.A. "Chemical characterization, antioxidant capacity, and anti-hyperglycemic effect of *Stenocereus stellatus* fruits from the arid Mixteca Baja region of Mexico", [en línea]. *Food Chemistry*. Vol 21 No 21 (2020) Dirección URL: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7664671/>> [Consultado 28 de Jun. 2022]
- Coles, L.; Moughan, P.; Darragh, A. 2005. In vitro digestion and fermentation methods, including gas production techniques, as applied to nutritive evaluation of foods in the hindgut of humans and other simple-stomached animals. *Animal Feed Science and Technology*, 123(124), 421-444.
- Coronado, M.; Gutiérrez, S.; Vázquez, M.; Radilla, C. 2015. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212.
- Daenen, K.; Andries, A., Mekahli, D. 2019. Oxidative stress in chronic kidney disease. *Pediatr Nephrol* 3:, 975–991
- DATASUR. Colombia: Piña, gulupa, uchuva, mango y granadilla fueron las frutas más exportadas durante 2019, [en línea]: 2020. Dirección URL: <<https://www.datasur.com/colombia-pina-gulupa-uchuva-mango-y-granadilla-fueron-las-frutas-masexportadas-durante-2019>>. [Consulta: 21 de Jun. 2022]
- Díez-Sánchez, E.; Quiles, A.; Hernando, I. 2021. Internations between Blackcrrant Polyhenolsand Food Macronutrients in Model Systems: In vitro Digestion Studies. *Foods*. 10(4), 847
- Dueñas, Y.; Narváez, C.; Restrepo, S. 2009. El choque térmico mejora la aptitud al almacenamiento refrigerado de pitaya amarilla. *Revista Agronomía Colombiana*. 27 (1): 105-110.
- Eriksen, J.N.; Luu, A.Y.; Dragsted, L.O.; Arrigoni, E. 2017. Adaption of an in vitro digestión method to screen carotenoid liberation in vitro accesibility from differently processed spinach preparation. *Food Chemistry*. 224: 407-413.
- EUA.
- Ferreres, F.; Grosso, C.; Gil-Izquierdo, A.; Valentão, P.; Mota, A. T.; Andrade, P. B. 2017. Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit byproducts using microwave-assisted extraction. *Food chemistry*, 230, 463–474.
- García-Cruz, L.; Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y. y Joaquín-Cruz. (2013) E. Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*. 68: 403-410.

- Garzón Serrano, S.N.; Hernández Carrión, M.; Álvarez Solano, O.A. 2021. Caracterización Físicoquímica y Funcional de la Pitaya Amarilla (*Selenicereus Megalanthus*). Bogotá: Universidad de Colombia.
- Gómez-Mascaraque, L.G.; Pérez-Masiá, R.; González-Barrio, R.; Periago, M.J.; López-Rubio, A. 2017. Potential of microencapsulation through emulsion-electrospraying to improve the bioaccessibility of β -carotene. *Food Hydrocoll.* 73, 1-12.
- González, A., Alvis, A. y Arrázola, G. 2015. Effect of Edible Coating on the Properties of Sweet Potato Slices (*Ipomoea Batatas Lam*) Cooked by Deep-Fat Frying: Part 1: Texture. *Información tecnológica*, 26(1): 95-102.
- Guerra, A.; Etienne-Mesmin, L.; Livrelli, V.; Denis, S.; Blanquet-Diot, S.; Alric, M. 2012. Relevance and challenges in modeling human gastric and small intestinal digestion. *Trends in Biotechnology*, 30(11): 591-600.
- Guevara, T. P. 2014. Elaboración y evaluación de las propiedades laxantes de mermelada de Pitahaya (*HYLOCEREUS UNDATUS*) y Maracuya (*PASSIFLORA EDULIS*). Tesis Doctoral. Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimbonazo.
- Gülçin, İ. 2012. Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345-391.
- Korus, A.; Banas, A.; Korus, J. 2017. Effects of plant ingredients with pro-health properties and storage conditions on texture, color and sensory attributes of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) jam. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(8): 610-619.
- López, M.; Mercado, J.; Martínez, G.; Magaña, J. 2011. Formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas (*Opuntia spp.*) elaborada a nivel planta piloto. *Acta Universitaria*, 21(2): 31-36.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., Jimenez, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5): 727-747.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255.
- Medina, J.A.; Rebolledo-Roa, A.; Kondo, T.; Cardozo-Burgos, C. "Tecnología para el manejo de pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K Schum. ex Vaupel)", [en línea] *Manual técnico, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. (2013) Dirección URL: <[10.21930/978-958-740-147-9](https://doi.org/10.21930/978-958-740-147-9)>
- Minekus, M.; Alminger, M.; Alvito, P.; Ballance, S.; Bohn, T.; Bourlieu, C.; Carrière, F.; Boutrou, R.; Corredig, M.; Dupont, D. 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. *Food*. 5: 1113–1124.
- Mizrahi, Y.; Mouyal, J.; Nerd, A.; Sitrit, Y. 2004. Metaxenia in the Vine Cacti *Hylocereus polyrhizus* and *Selenicereus* spp. *Annals of Botany*. 93(4), 469-472.
- Oksuz, T.; Surek, E.; Tacer-Caba, Z.; Nilufer-Erdil, D. 2015. Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Persimmon and Red Beet Jams Produced by Sucrose Impregnation. *Food Science and Technology*, 3(1): 1-8.
- Quiñones, M.; Miguel, M.; Aleixandre, A.. 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1).
- Saura-Calixto, F., Serrano, J., & Goñi, I. 2007. Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry*, 101(2), 492-501.
- Shah, B. R.; Zhang, C.; Li, Y.; Li, B. 2016. Bioaccessibility and antioxidant activity of curcumin after encapsulated by nano and Pickering emulsion based on chitosan-tripolyphosphate nanoparticles. *Food Research International*, 89: 399 – 407.
- Tapia, A.; Rodriguez, J.; Theoduloz, C. 2004. Free radical scavengers and antioxidants from *baccharis grisebachii*. *Journal of Ethno-pharmacology*, .95: 155- 161.
- Tel, Z. N.; Abbo, S.; Bar, Z. D.; Mizrahi, Y. 2004. Clone identification and genetic relationship among vine cacti from the genera *Hylocereus* and *Selenicereus* based on RAPD analysis. *Scientia Horticulturae*. 100(1-4), 279-289.
- Vásquez-Castillo, W.; Aguilar, K.; Vilaplana, R.; Viteri, P.; Viera, W.; Valencia-Chamorro, Y. S. 2016. Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Agronomía Colombiana*, 34(1), 1081–1083
- Verona-Ruiz, A.; Urcia-Cerna, J.; Paucar-Menacho, L.M. 2020. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características físicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3): 439-453.

- Younis, K.; Islam, R. U.; Jahan, K.; Yousuf, B.; Ray, A. 2015. Effect of addition of mosambi (*Citrus limetta*) peel powder on textural and sensory properties of papaya jam. *Food Science and Technology*, 1.
- Qian, C.; Decker, E. A.; Xiao, H.; McClements, D. J. 2012. Nanoemulsion delivery systems: Influence of carrier oil on β -carotene bioaccessibility. *Food Chemistry*, 135(3): 1440-1447.
- Talens, P. 2017. Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. Trabajo de Fin de Grado. Valencia: Tecnología de Alimentos.