

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del  
Medio Natural**

**Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos**

**CARACTERIZACIÓN DE ZUMO Y BAGAZO DE PITAYA Y  
BIOACCESIBILIDAD DE SUS PRINCIPALES COMPUESTOS  
BIOACTIVOS**

**PRESENTADO POR:**

Júlia Giménez Solano

**DIRIGIDO POR:**

Virginia Larrea Santos

Isabel Hernando Hernando

**DIRECTORA EXPERIMENTAL:**

Empar Llorca Martínez

Curso académico 2020/2021

Valencia, julio de 2021

# CARACTERIZACIÓN DE ZUMO Y BAGAZO DE PITAYA Y BIOACCESIBILIDAD DE SUS PRINCIPALES COMPUESTOS BIOACTIVOS

Valencia, julio de 2021

## **Resumen**

La pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se ha convertido en uno de los principales productos exóticos de exportación de Colombia. Se trata de una fruta exótica que es consumida principalmente en fresco, que contiene una gran cantidad de propiedades saludables para el cuerpo humano; es rica en polifenoles, lo que la convierte en una buena fuente de compuestos bioactivos antioxidantes; y presenta un alto contenido en fibra, sobre todo en las semillas. Sin embargo, el cultivo de la pitaya presenta un inconveniente: la gran cantidad de excedentes generados en los meses de alta producción. Es posible aprovechar estos desperdicios, pues las propiedades fisicoquímicas del fruto permiten su uso para la transformación industrial.

Este trabajo tiene como objetivo la caracterización del zumo de pitaya amarilla y del bagazo resultante de la extracción del mismo. Para ello se determina su contenido en compuestos funcionales (compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C y fibra dietética), y su capacidad antioxidante. Se realiza también una caracterización microestructural y se estudia la bioaccesibilidad de algunos compuestos bioactivos tras la digestión *in vitro*. Los resultados obtenidos muestran que tanto el zumo como el bagazo de la fruta contienen compuestos bioactivos en diferentes concentraciones. La concentración más alta de cenizas, acidez, fibra dietética total, vitamina C, polifenoles y capacidad antioxidante se encuentra en el bagazo, mientras que el zumo presenta una mayor bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos tras la digestión *in vitro*.

Palabras clave: subproductos, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, fibra dietética, microestructura, digestión *in vitro*.

AUTOR: JÚLIA GIMÉNEZ SOLANO

TUTORA: VIRGINIA LARREA SANTOS

COTUTORA: ISABEL HERNANDO HERNANDO

DIRECTOR EXPERIMENTAL: EMPAR LLORCA MARTÍNEZ

Curso académico 2020/2021

# CARACTERITZACIÓ DE SUC I BAGÀS DE PITAIA GROGA I BIOACCESIBILITAT DELS SEUS PRINCIPALS COMPOSTOS BIOACTIUS

València, juliol de 2021

## **Resum**

La pitaita groga (*Selenicereus megalanthus*) s'ha convertit en un dels principals productes exòtics d'exportació de Colòmbia. Creix en regions àrides i semiàrides de Colòmbia, la qual, juntament amb Israel, lidera el mercat mundial. Es tracta d'una fruita exòtica que és consumida principalment en fresc, perquè conté una gran quantitat de propietats saludables per al cos humà; és rica en polifenols, la qual cosa la converteix en una bona font de compostos bioactius antioxidants; i presenta un alt contingut en fibra, sobretot en les llavors. No obstant això, el cultiu de la pitaita presenta un inconvenient: la gran quantitat d'excedents generats en els mesos d'alta producció. És possible aprofitar aquests excedents, perquè les propietats fisicoquímiques del fruit permeten el seu ús per a la transformació industrial.

Este treball té com a objectiu la caracterització del suc de pitaita groga i del bagàs resultant de l'extracció del mateix. Per a això es determina el seu contingut en compostos funcionals (compostos fenòlics, carotenoides, vitamina C i fibra dietètica), i la seua capacitat antioxidant. Es realitza també una caracterització microestructural i s'estudia la bioaccessibilitat d'alguns compostos bioactius després de la digestió *in vitro*. Els resultats obtinguts mostren que tant el suc com el bagàs de la fruita contenen compostos bioactius en diferents concentracions. La concentració més alta de cendres, acidesa, fibra dietètica total, vitamina C, polifenols i capacitat antioxidant es troba en el bagàs, mentre que el suc presenta una major bioaccessibilitat dels compostos bioactius després de la digestió *in vitro*.

Paraules clau: subproductes, compostos fenòlics, capacitat antioxidant, fibra dietètica, microestructura, digestió *in vitro*.

AUTOR: JÚLIA GIMÉNEZ SOLANO

TUTORA: VIRGINIA LARREA SANTOS

COTUTORA: ISABEL HERNANDO HERNANDO

DIRECTORA EXPERIMENTAL: EMPAR LLORCA MARTÍNEZ

Curs acadèmic 2020/2021

# CHARACTERIZATION OF PITAYA JUICE AND POMACE AND BIOACCESSIBILITY OF ITS MAIN BIOACTIVE COMPOUNDS

Valencia, July 2021

## **Abstract**

The yellow dragon fruit (*Selenicereus megalanthus*) has become one of Colombia's main exotic export products. It is an exotic fruit that is mainly consumed fresh, containing a large number of healthy properties for the human body; it is rich in polyphenols, which makes it a good source of antioxidant bioactive compounds; and it has a high fibre content, especially in the seeds. However, the cultivation of pitaya dragon has a drawback: the large amount of surpluses wastes generated in the months of high production. It is possible to take advantage of this waste, as the physicochemical properties of the fruit allow its to be used for industrial processing.

The aim of this work is to characterize the yellow pitaya dragon fruit juice and the pomace resulting from its extraction. The content of functional compounds (phenolic compounds, carotenoids, vitamin C and dietary fibre) and their antioxidant capacity are determined. A microstructural characterization is also carried out and the bioaccessibility of some bioactive compounds after *in vitro* digestion is studied. The results obtained show that both fruit juice and pomace contain bioactive compounds in different concentrations. The highest concentration of ash, acidity, total dietary fibre, vitamin C, polyphenols and antioxidant capacity is found in pomace, while juice shows higher bioaccessibility of bioactive compounds and higher antioxidant capacity after *in vitro* digestion.

Key words: byproducts, phenolic compounds, antioxidant capacity, dietary fibre, microstructure, *in vitro* digestion.

AUTHOR: JÚLIA GIMÉNEZ SOLANO

TUTOR: VIRGINIA LARREA SANTOS

COTUTOR: ISABEL HERNANDO HERNANDO

EXPERIMENTAL DIRECTOR: EMPAR LLORCA MARTÍNEZ

Curso académico 2020/2021

Valencia, julio de 2021

## **Agradecimientos**

Quisiera agradecer en primer lugar a Virginia, Isabel y Empar, mis dos tutoras y mi directora experimental, por vuestra implicación e infinita paciencia. Ha sido un placer aprender de tres mujeres tan admirables como vosotras. Gracias por todo.

Agradezco a la Universitat Politècnica de València la financiación para desarrollar este trabajo a través del proyecto “Formulación de nuevos alimentos funcionales a partir de la pitaya (*Stenocereus* spp.) y sus subproductos como estrategia para mejorar la calidad de vida de los productores agrícolas colombianos” dentro del Programa ADSIDEO - COOPERACIÓN 2020.

Gràcies a la meua família i a Salva, sou la llum de la meua vida.

# ÍNDICE

1. Introducción .....	1
1.1. El fruto, características y producción .....	1
1.2. Compuestos bioactivos.....	5
1.2.1. Compuestos fenólicos.....	5
1.2.2. Carotenoides .....	6
1.2.3. Capacidad antioxidante.....	7
1.2.4. Fibra dietética .....	7
1.2.5. Vitamina C.....	8
1.2.6. Acidos orgánicos .....	8
1.3. Bioaccesibilidad .....	9
2. Objetivos y Plan de trabajo .....	10
2.1. Objetivos .....	10
2.2. Plan de Trabajo.....	10
3. Material y métodos .....	10
3.1. Materia prima .....	10
3.2. Obtención de las muestras.....	11
3.2.1 Zumo y bagazo fresco.....	11
3.2.2 Zumo y bagazo liofilizado .....	11
3.3. Determinaciones analíticas.....	11
3.3.1. Humedad.....	11
3.3.2. Determinación de sólidos solubles - Grados Brix.....	12
3.3.3. Acidez valorable .....	12
3.3.4. Cenizas.....	12
3.3.5. Fibra dietética total .....	12
3.3.6. Vitamina C.....	14
3.3.5. Carotenoides .....	14
3.3.8. Fenoles totales .....	14

3.3.9. Capacidad antioxidante.....	15
3.4. Simulación de un sistema de digestión <i>in vitro</i> .....	16
3.5. Cálculo de la bioaccesibilidad .....	17
3.6. Estudio de las propiedades microestructurales .....	17
4. Resultados y discusión.....	18
4.1. Determinaciones analíticas.....	18
4.1.1. Humedad, sólidos solubles, acidez valorable y cenizas.....	18
4.1.2. Contenido en fibra dietética total.....	19
4.1.3. Contenido en vitamina C .....	20
4.1.4. Contenido en carotenoides.....	22
4.1.5. Contenido de fenoles totales.....	22
4.1.6. Capacidad antioxidante.....	24
4.3. Estudio de la bioaccesibilidad .....	25
4.4. Estudio de la microestructura .....	25
5. Conclusiones.....	28
6. Bibliografía .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Partes del fruto de pitaya amarilla .....	3
<b>Figura 2.</b> Imagen del bagazo antes (2A) y después (2B) de pasar por la etapa de molienda .....	11
<b>Figura 3.</b> Pulpa de pitaya observada por microscopía óptica.....	26
<b>Figura 4.</b> Zumo de pitaya observada por microscopía óptica .....	26
<b>Figura 5.</b> Bagazo y detalle de semilla de pitaya observados por microscopía óptica .....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Nombres científicos usados para referirse a la pitaya amarilla.....	2
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía de la pitaya amarilla.....	4
<b>Tabla 3.</b> Resultados de humedad, sólidos solubles totales y cenizas en zumo y bagazo de pitaya amarilla.. .....	18
<b>Tabla 4.</b> Resultados de acidez valorable en zumo y bagazo expreseado en % de ácido málico .....	18
<b>Tabla 5.</b> Valores de Fibra Dietética Total (TDF) expresados en g por 100 g de muestra en base húmeda.....	20
<b>Tabla 6.</b> Resultados de Vitamina C en zumo y bagazo expresados en g por 100 g de muestra en base húmeda (b.h) y base seca (b.s).....	21
<b>Tabla 7.</b> Contenido de compuestos fenólicos en los extractos de las fracciones solubles e insolubles de compuestos fenólicos de zumo y bagazo de la pitaya amarilla, expresados en base húmeda (b.h) y base seca (b.s).. .....	23
<b>Tabla 8.</b> Valores de capacidad antioxidante en los extractos de las fracciones solubles e insolubles de compuestos fenólicos de zumo y bagazo de la pitaya amarilla, expresados en base húmeda (b.h) y base seca (b.s). .....	24



# 1. Introducción

## 1.1. El fruto, características y producción

La pitaya (*Selenicereus* spp.) ha sido consumida desde la antigüedad por las culturas pre-hispánicas (Quiroz-González *et al.*, 2018); de hecho, según los textos aztecas, esta fruta exótica ya se consumía desde el siglo XIII (OCATI, 2020). Fue observada por primera vez en forma silvestre por conquistadores españoles en Colombia, México, Centroamérica y las Antillas, quienes le pusieron su nombre, que significa *fruta escamosa*. Podemos encontrar informes de Cali de 1808 donde ya se hace referencia a la pitaya (Medina *et al.*, 2013):

“Hay silvestres en los montes las que llaman pitahayas, cuyo color rojo arrebató la vista, no así el gusto al paladar, porque no es muy grato. De contrario, la blanca cultivada, amarilla de color de caña, su corteza cubierta de espina rubia que con facilidad se desprende cuando está en sazón, es de suavísimo, delicado gusto, con la excelencia de que si sus pepitas, poco mayores que las del higo, se mastican cuidadosamente, purgan con benignidad (Arboleda, 1928)”.

Originaria de América Tropical, la pitaya es el fruto de una planta rústica xerofítica de la familia de las cactáceas, el pitayo. Este tipo de cactus requiere un bajo consumo de agua, en torno a la tercera parte de lo que necesitan otros cultivos como el tomate. Además, tiene una vida útil de hasta 25 años.

La pitaya, pitahaya o pitajaya es capaz de crecer en zonas áridas y semiáridas de América, distribuyéndose desde el sur de Arizona hasta el norte de Colombia y Venezuela. Se trata de una fruta no climatérica, lo que implica que su proceso de maduración se interrumpe en el momento de la cosecha.

Dentro de las cactáceas, existen alrededor de 35 especies que tienen potencial como cultivo 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 pitahaya amarilla, *Selenicereus* spp., cuenta con 20 especies (Tel *et al.*, 2004). De hecho, Patiño-Rodríguez (2002) en su libro “Historia y dispersión de los frutales nativos del neotrópico” recoge historias donde hace alusión a 18 especies de ambos géneros. Hoy en día, algunas especies de estos dos géneros se comercializan internacionalmente.

La variedad roja se cultiva en México, Nicaragua, y Vietnam, entre otros (Ortega-Hernández, 2018); la amarilla en cambio, se encuentra distribuida en zonas tropicales y tropicales altas (Colombia, Bolivia, Ecuador, Perú y Venezuela). Habitualmente, los autores utilizan diferentes nombres para referirse a la pitaya amarilla. En la tabla 1 quedan recogidos algunos de los nombres científicos que se utilizan para describir la pitaya amarilla.

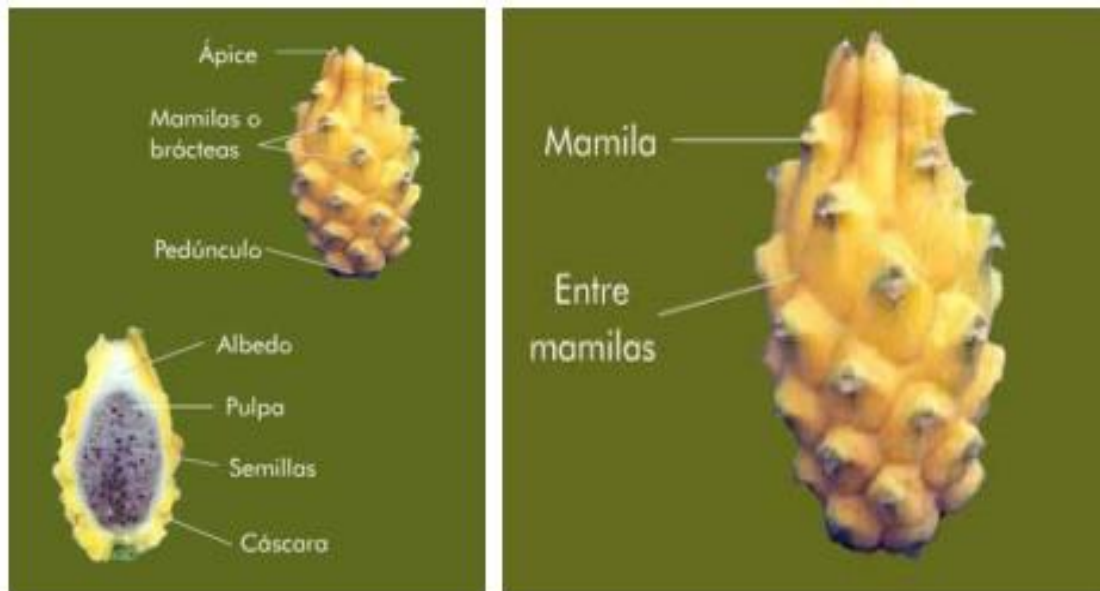
**Tabla 1.** Nombres científicos usados para referirse a la pitaya amarilla. Fuente: Medina *et al.* (2013).

<i>Acanthocereus pitajaya</i> (Jack) Dugand.
<i>Acanthocereus colombianus</i> Britt. & Rose.
<i>Acanthocereus pitahaya</i> D.C.
<i>Cactus triangularis</i> L.
<i>Cereus compresus</i> Mill.
<i>Cereus megalanthus</i> K. Schumann ex Vaupel.
<i>Cereus triangularis</i> Haworth.
<i>Cereus pitahaya</i> D.C.
<i>Cereus undatus</i> Haworth.
<i>Cereus variabilis</i> Pfeiff.
<i>Hylocereus triangularis</i> Britt. & Rose.
<i>Hylocereus trigonus</i> (según Balme, horticultor mejicano).
<i>Mediocactus megalanthus</i> (K. Schumann ex Vaupel) Britton & Rose.
<i>Melocactus coccineus</i> (Salm-Dyck) Britton & Rose.
<i>Selenicereus grandiflorus</i> (L.) Britton & Rose.
<i>Selenicereus megalanthus</i> .
<i>Selenicereus megalanthus</i> Haw.
<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.

La pitaya amarilla (Figura 1) (*Selenicereus megalanthus* Haw.), es una baya indehiscente, se diferencia del resto de las variedades por tener una piel amarilla al madurar y una pulpa blanca, jugosa y aromática. Su corteza cuenta con protuberancias llamadas mamilas o brácteas, y una mamila más grande que sale de su extremo superior. De su base nacen espinas, normalmente entre cuatro y ocho, y su color morado

inicial evoluciona a marrón a medida que avanza la maduración (Medina *et al.*, 2013). En la pulpa podemos encontrar un gran número de pequeñas semillas de color negro o café, brillantes y cubiertas por un arilo, las cuales son ricas en proteínas y ácidos grasos esenciales (Chemah *et al.*, 2010; Rivera *et al.*, 2010).

**Figura 1.** Partes del fruto de pitaya amarilla. Fuente: Rojas *et al.*, 2004.



La pitaya es una fruta que se consume principalmente en fresco y no es muy ácida ( $\text{pH} > 4.5$ ). Se reconoce por su color, aroma, textura, y valor nutricional, con un promedio de 9,9 % de azúcares totales (Chuck-Hernández *et al.*, 2016), destacando la glucosa y fructosa como los principales sólidos solubles totales (Esquivel & Araya-Quesada, 2012). Es rica en minerales (Fe y Ca), su contenido en vitamina C es el doble que el de la manzana (3,5 -20.00 mg por 100 g de pulpa) (Báez-Velásquez & Pablo-Paredes, 2020; Verona-Ruiz *et al.*, 2020) y además contiene trazas de otras vitaminas (A, B1, B2) (Pérez *et al.*, 2005). Debido a su composición fitoquímica, la pitaya puede ser una buena fuente de compuestos antioxidantes (García-Cruz *et al.*, 2017). Entre éstos destaca su alto contenido fenólico, una importante actividad antioxidante y un alto contenido de betalaínas en el caso de las variedades rojas, un pigmento natural que podría emplearse en la industria alimentaria (Chuck-Hernández *et al.*, 2016; Quiroz-González *et al.*, 2018).

En la tabla 2 podemos encontrar la taxonomía de la pitaya amarilla. Además, cabe mencionar que las especies de la subfamilia *Cactoideae*, que es a la que pertenece la pitaya amarilla, presentan una gran variabilidad de hábitats y de tipos de crecimiento (Medina *et al.*, 2013).

**Tabla 2.** Taxonomía de la pitaya amarilla. Fuente: Medina *et al*, 2013.

Nombre común	Pitaya amarilla, pitahaya.
Clase	Equisetopsida C. Agardh.
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden	Caryophyllanae Takht.
Orden	Caryophyllales Juss. ex Bercht & J. Presl.
Familia	Cactaceae Juss.
Género	<i>Selenicereus</i> (A. Berger) Britton & Rose.
Especie	<i>S. megalanthus</i> (K. Schum. ex Vaupel) Moran 1953

Sobre la producción de pitaya cabe mencionar que es estacional. Tiene dos cosechas principales anuales, la primera comprendida de febrero a marzo y la otra de julio a agosto, por lo que la fruta se asocia a épocas de sobreoferta y otras de escasez. Esta particularidad, que más bien es un problema, se ha tratado de resolver cultivando la fruta en diferentes zonas altitudinales, para garantizar que el período de producción de pitaya sea más largo dentro de un mismo año.

Siendo Colombia el país que abarca la mayor parte de este mercado, los cultivos de Tolima son los que primeramente entran en cosecha, después los de Valle del Cauca y Cundinamarca y, por último, por los de Boyacá. Se sabe que esta fruta exótica tiene cierta presencia en el mercado asiático, donde China importa el 16 % del total de las exportaciones; y países como Francia y Canadá, importan hasta el 10 %. Entre 1991 y 1998, Holanda llegó a ser el principal importador, tras Alemania, Francia y Reino Unido.

Los consumidores de la Unión Europea cada vez están más interesados en productos nuevos y exóticos; ya sea debido a viajes que realizan al extranjero donde prueban estos alimentos o por estrategias competitivas de los supermercados, que apuestan por una diversificación de sus productos en su sección de frutas y verduras. Estos alimentos presentan una gran variedad de colores, sabores y aromas y propiedades funcionales. La pitaya es una de las muchas frutas andino-tropicales que poseen estos rasgos, y está caracterizada además por su exquisito sabor y delicada textura. Su consumo ha experimentado cierta tendencia creciente, aunque sigue siendo una fruta con un consumo bajo. Si prestamos atención al mercado español en los últimos años, si bien es cierto que ha aumentado el interés por las frutas exóticas, la demanda por parte de los consumidores sigue siendo baja, al igual que ocurre a nivel internacional. Cinco hechos dan sentido a este fenómeno: el poco conocimiento del producto y de sus propiedades por parte de los consumidores, su alto precio, su disponibilidad de manera esporádica en el mercado, el hecho de encontrarse solo en tiendas especializadas, y la imposibilidad de contar con una oferta de calidad homogénea en volúmenes importantes a lo largo del año. Para favorecer el desarrollo de este mercado, es necesario comenzar a promocionar la pitaya de una manera efectiva,

empezando por educar e informar a los consumidores sobre sus excelentes propiedades; y además asegurando un abastecimiento permanente a lo largo del año a precios competitivos.

En América Latina se pierden y desaprovechan anualmente más de 127 millones de toneladas de alimentos, lo que representa aproximadamente 223 kg/persona. En el caso de las frutas y hortalizas, los niveles de pérdida superan el 50 % y este fenómeno se da en todas las fases de la cadena (Portafolio, 2019). A pesar de las grandes oportunidades que ofrece el sector agrícola en países como Colombia, este sector económico se encuentra en peligro a causa de su alta pobreza, pues alrededor del 50 % de la población rural en Latinoamérica vive por debajo de ese umbral, y por la alta informalidad, que frena en gran medida su productividad (Portafolio, 2019).

Con la finalidad de reforzar el tejido industrial en zonas colombianas con alto grado de pobreza, es necesario promocionar esta fruta para su consumo en fresco y además iniciar una investigación en el desarrollo y elaboración de nuevos alimentos que contengan como ingrediente pitaya y sus subproductos (semilla y cáscara) en su formulación y su transferencia a la empresa. Se busca aprovechar los numerosos beneficios nutricionales, funcionales y organolépticos que presenta la pitaya, al mismo tiempo que los desperdicios de su cultivo. De modo que, ya que la fruta presenta un buen potencial para ser industrializada (Cordeiro *et al.*, 2015; Chuck-Hernández *et al.*, 2016), algunas de las posibilidades que podría ofrecer la industrialización de la pitaya son la elaboración de zumos, cócteles, postres, helados, snacks deshidratados, yogures y mermeladas; de hecho, la exótica flor de la pitaya ya se consume hoy en día para hacer infusiones.

## 1.2. Compuestos bioactivos

### 1.2.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son el grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal (Quiñones *et al.*, 2012). Son metabolitos secundarios de las plantas cuya estructura presenta al menos un anillo aromático al que está unido uno más grupos hidroxilo (Hernández-Carrión, 2014). Se trata de una estructura química especialmente adecuada para captar radicales libres y así neutralizar peligrosas especies reactivas de oxígeno e iones metálicos quelantes. Es por ello que se ha reportado cierto potencial antimutagénico en los compuestos lipídicos, pues sus propiedades antioxidantes protegen del daño oxidativo celular incluyendo la peroxidación lipídica (Royer *et al.*, 2011). Dicha acción antioxidante convierte a los compuestos fenólicos en sustancias esenciales en la dieta y de gran interés (Tapsell *et al.*, 2006), ya que no sólo conserva la calidad de los alimentos, sino que también reduce el riesgo de desarrollar algunas enfermedades (Otavio-Minatel *et al.* 2017).

Al tratarse de sustancias biológicamente activas, presentan además propiedades antialérgicas, antiinflamatorias, antiaterogénicas, antimicrobianas, antitrombóticas, cardioprotectoras y con efectos vasodilatadores (Middleton *et al.*, 2000; Manach *et al.*, 2004). La mayor fuente de estos antioxidantes naturales son las frutas y las verduras. De hecho, numerosos estudios han demostrado que una dieta rica en estos alimentos contribuye al retraso del envejecimiento y a la disminución del riesgo de inflamación y estrés relacionados con enfermedades crónicas (enfermedades cardiovasculares, aterosclerosis, cáncer, diabetes, cataratas, trastornos de la función cognitiva y enfermedades neurológicas) (Eliassen *et al.*, 2012; Tanaka *et al.*, 2012).

Según reportan García-Cruz *et al.* (2013) y Cervantes-Arista *et al.* (2020), el perfil fenólico de las pitayas está compuesto por feniletanoides (tirosoles), estilbeno (cumarina), ácidos fenólicos (cafeoil hexósido), feruloil dihexósido y ácido p-cumaroilquínico), flavonoides (quercetina 3-O-rutinósido, kaempferol hexósido, isorhamnetina hexósido, isorhamnetina 3-O-glucósido, eriodictiol hexósido, eriodictiol acetilhexósido, naringenina acetilhexósido y taxifolin acetilhexósido) y taninos.

### 1.2.2. Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos fotosintéticos que sintetizan las plantas. Son compuestos que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, llegando a aislarse y caracterizarse más de 600 carotenoides de fuentes naturales. Hasta el momento, solamente 40 de ellos se han hallado en los alimentos, pero están presentes en cantidades significativas en una dieta estándar. Ejemplos de ellos son el  $\beta$ -caroteno, licopeno, luteína, zeaxantina y  $\beta$ -criptoxantina (Khachik *et al.*, 1992); los cuales son responsables del color amarillo, naranja y rojo de la mayoría de frutas y hortalizas. También los carotenoides se consumen en menor medida a partir de fuentes animales y en forma de aditivos alimentarios, como los colorantes.

Los carotenoides son en general compuestos lipídicos, de modo que son insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos como la acetona, metanol, éter dietílico, hexano, cloroformo y piridina, entre otros. Su carácter hidrofóbico hace que estén presentes en ambientes lipófilos, como son las membranas celulares, aunque es posible encontrarlos también en medios acuosos debido a que se pueden asociar con proteínas o con azúcares mediante reacciones de glicosilación. (Britton, 1983; Britton 1995)

Estos compuestos destacan no sólo por su gran distribución en la naturaleza y su diversidad estructural, sino también por las funciones que desempeñan en el organismo. Aproximadamente el 10 % de los carotenoides identificados en la naturaleza son precursores de la vitamina A. Además, existe una asociación directa entre elevados niveles de carotenoides en la dieta o en sangre y menor riesgo de desarrollo de enfermedades crónicas (Krinsky *et al.*, 2004; Krinsky & Johnson, 2005), como cáncer, enfermedades cardiovasculares, aterogénesis, calcificación de los huesos, degeneración ocular y daño

neuronal (Cantuti-Castelvetri *et al.*, 2000; Yamaguchi & Uchiyama, 2003; Rao & Rao, 2007; Xu *et al.*, 2013). También refuerzan el sistema inmunitario y tienen un papel importante en la remisión de lesiones malignas e inhibición de la mutagénesis (Rao & Rao, 2007). Sin embargo, la actividad biológica más destacable de los carotenoides es su acción antioxidante, pues son capaces de neutralizar los radicales libres que se encuentran presentes en el organismo (Fernández-García *et al.*, 2012).

### 1.2.3. Capacidad antioxidante

El fenómeno del estrés oxidativo surge después de una prolongada exposición a oxidantes o a la disminución de la capacidad antioxidante de nuestro organismo. Este fenómeno también es generado por un desequilibrio entre prooxidantes y antioxidantes en el organismo, el cual está implicado en el desarrollo de enfermedades crónicas tales como cáncer, artritis reumatoidea, arteriosclerosis, algunas formas de diabetes, anemia, entre otras (Tapia *et al.*, 2004). Por ello, la búsqueda de agentes capaces de proteger frente a la acción de los radicales libres (compuestos antioxidantes) ha sido el objetivo de muchas investigaciones. Se conoce como antioxidante a aquella molécula que es capaz de inhibir la oxidación de otras moléculas. En términos alimentarios, se denomina antioxidante a cualquier sustancia que, estando presente en bajas concentraciones en comparación con los sustratos oxidables, retrasa o previene de forma importante la oxidación de dichos sustratos. El término “sustrato oxidable” hace referencia a diferentes componentes como proteínas, lípidos, hidratos de carbono y ADN, entre otros (Halliwell *et al.*, 1995; Gülçin, 2012).

Existen estudios que demuestran que ciertos fitonutrientes presentes en frutas y verduras son beneficiosos para la salud ya que protegen al cuerpo humano frente a los daños producidos por especies de oxígeno reactivo (Fernández-García *et al.*, 2012). Existe, por tanto, una relación entre el consumo de alimentos con elevada capacidad antioxidante y sus beneficios para la salud y se ha demostrado que cuanto mayor es su consumo menor es la incidencia de enfermedades (Ramarathnam *et al.*, 1995; Chang & Liu, 2009).

Los principales compuestos antioxidantes presentes en los alimentos son la vitamina C, la vitamina E, los carotenoides y los compuestos fenólicos, que protegen a las células del estrés oxidativo (Podsędek, 2007). La pitaya destaca por su alto contenido en vitamina C y compuestos fenólicos.

### 1.2.4. Fibra dietética

La *American Association for Clinical Chemistry* (AACC, 2001) definió la fibra dietética como la parte comestible de la planta, principalmente hidratos de carbono, resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, betaglucanos, pectinas, mucílagos y gomas) oligosacáridos,

lignina y otras sustancias asociadas a estos componentes de los tejidos vegetales (Selvendran & MacDougall, 1995). Las diferencias estructurales de cada uno de ellos determinan propiedades físicoquímicas diferentes y como consecuencia, comportamientos fisiológicos diversos (Segundo *et al.*, 2011). La fibra dietética promueve efectos fisiológicos beneficiosos en el organismo, como el laxante, y/o la atenuación de niveles de colesterol y de glucosa en sangre. Al respecto, Carvalho *et al.* (2019), Staffolo *et al.* (2004) y Ajila *et al.* (2008) señalan que la fibra dietética favorece un mejor control de la glicemia, diabetes, y colesterol; además, previene el cáncer de colon y los desórdenes gastrointestinales.

En función de su solubilidad en agua, la fibra se divide en insoluble y soluble; la fracción insoluble de la fibra parece estar relacionada con la regulación del tracto intestinal, mientras que la fibra soluble está relacionada con la disminución en los niveles de colesterol en sangre y de absorción de glucosa intestinal (Ramulu & Udayasekhara, 2003).

#### 1.2.5. Vitamina C

La vitamina C o ácido L-ascórbico, es una vitamina hidrosoluble que actúa como cofactor en diversas reacciones enzimáticas del organismo. Es sintetizada internamente por casi todos los organismos de los animales y plantas, excepto el hombre. El hombre carece de la enzima L-gulonolactona oxidasa, la cual cataliza la etapa terminal de la síntesis de ácido ascórbico a partir de la glucosa, por lo que es necesario adquirir esta vitamina a través de la alimentación. La vitamina C se encuentra principalmente en alimentos frescos de origen vegetal (frutas y hortalizas) y, en menor medida, en alimentos de origen animal. Se trata de un compuesto que interviene en la formación de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes, además, favorece en la resistencia a las infecciones, absorción del hierro de los alimentos y tiene acción antioxidante (Verona-Ruiz *et al.*, 2020).

En la composición de la pitaya destaca su alto contenido en vitamina C (Vilaplana *et al.*, 2017), por lo que ha sido recomendada para aliviar problemas estomacales e intestinales, ayudar en la reducción de los niveles de presión arterial e incluso para contrarrestar enfermedades como el cáncer y la diabetes (Zorrilla *et al.*, 2004).

#### 1.2.6. Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos también tienen efectos dietéticos esenciales, pueden afectar al sabor de la fruta y, en algunos casos, a su idoneidad para su procesamiento en diversos productos. Algunos de los ácidos más recurrentes en las frutas son el cítrico, málico, tartárico, oxálico y ascórbico y están directamente relacionados con la palatabilidad de la fruta y la aceptación de los productos derivados (Walker & Famiani, 2018).



En la composición nutricional de la pitaya, también destaca su contenido en ácidos orgánicos (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). El sabor de su pulpa guarda relación con el valor del pH que va de 4,3 a 4,7 y con la acidez titulable entre 2,4 a 3,0 (% de ácido málico) en variedades agridulces y entre 0,5 y 0,62 (% de ácido málico) en variedades dulces (Mercado-Silva, 2018). El principal ácido orgánico de la pitaya es el ácido málico (Esquivel *et al.*, 2007).

### 1.3. Bioaccesibilidad

En los últimos años se han desarrollado y puesto a punto bastantes modelos de digestión *in vitro*, como alternativa a los experimentos de simulación *in vivo* que se realizan sobre seres vivos. El concepto de digestión *in vitro* hace referencia a los procesos experimentales que reproducen las condiciones fisiológicas y eventos que suceden durante la digestión de los alimentos en el tracto intestinal humano de un modo flexible, exacto y reproducible (Guerra *et al.*, 2012); poniendo en contacto el alimento en cuestión con una serie de fluidos gastrointestinales simulados. En definitiva, comprende un conjunto de técnicas de ensayo que tienen lugar en un laboratorio, bajo un entorno y condiciones de ambiente controlado, fuera del organismo vivo (Rivas, 2014).

Las simulaciones *in vitro* de la digestión son capaces de proporcionar información precisa de un modo más rápido y económico (Coles *et al.*, 2005) en comparación con los experimentos de simulación *in vivo*. Si bien es cierto que estos últimos ofrecen datos bastante exactos del proceso de digestión (Boisen & Eggum, 1991), se trata de una técnica muy compleja y difícil de estandarizar, cuyas pruebas requieren mucho tiempo, con lo que el coste económico es mayor.

Los modelos *in vitro* constituyen un método analítico que permite establecer la significación y alcance de diferentes factores que afectan a la eficiencia de la digestibilidad de compuestos bioactivos y analizar en detalle la influencia de la composición de la matriz alimentaria en el proceso digestivo.

La utilización de simuladores gastrointestinales permite determinar la bioaccesibilidad de los macro y micronutrientes y componentes bioactivos de los alimentos, entre otras aplicaciones. La bioaccesibilidad a menudo se confunde con otros términos, pero debemos entender este concepto como la cantidad de un componente alimentario que está presente en el intestino, como consecuencia de la liberación de la matriz alimentaria, y que es susceptible de atravesar la barrera intestinal (Saura-Calixto *et al.*, 2007). Otras definiciones que podemos encontrar en la bibliografía igualmente válidas son las siguientes:

- Cantidad de nutriente disponible para absorberse en una forma fisiológicamente útil (Van Campen & Glahn, 1999).

- Cantidad de un nutriente ingerido que está disponible para ser absorbido por el intestino tras la digestión (Hedrén *et al.*, 2002).
- Tendencia del compuesto a ser extraído de la matriz alimentaria, para posteriormente ser absorbido por las células intestinales (Dinnella *et al.*, 2007).
- Fracción de alimento ingerido que ha sido liberado de la matriz alimentaria y que está disponible para la absorción intestinal (Guerra *et al.*, 2012).

## 2. Objetivos y Plan de trabajo

### 2.1. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es caracterizar el zumo y el bagazo de la pitaya obtenidos tras el licuado de la pulpa como primera aproximación al conocimiento de sus propiedades y potencialidades.

### 2.2. Plan de Trabajo

Para alcanzar este objetivo, se plantea el siguiente plan de trabajo:

- Determinación de humedad, °Brix, acidez valorable, cenizas, vitamina C, fibra, carotenoides, fenoles totales y capacidad antioxidante en el zumo y el bagazo procedente de la pitaya.
- Determinación de los fenoles totales tras la digestión del zumo y el bagazo de la pitaya. Estudio de la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos.
- Estudio microestructural del zumo y bagazo procedente de la pitaya.

## 3. Material y métodos

### 3.1. Materia prima

Para desarrollar el estudio se utilizaron pitayas amarillas procedentes de Colombia del género *Selenicereus*, especie *megalanthus*. Las pitayas se adquirieron en un comercio local especializado en venta de fruta de importación.

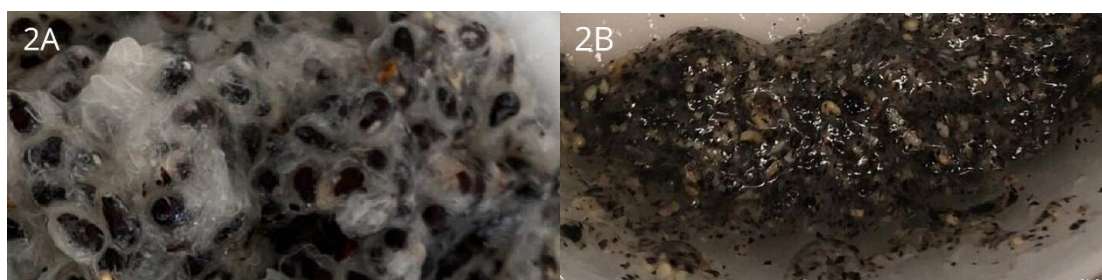
Las pitayas se adquirirían cada semana de modo que no se producía ninguna pérdida de calidad de la materia prima antes de análisis. Las frutas fueron seleccionadas con una coloración uniforme, sin daños físicos y microbiológicos visibles.

## 3.2. Obtención de las muestras

### 3.2.1 Zumo y bagazo fresco

Se licuó la pulpa (incluidas las semillas contenidas) de varias pitayas con una licuadora de uso casero (Jata LI585N). De este proceso se obtuvieron dos fases: una parte líquida (zumo) y una parte sólida (bagazo).

En el bagazo de pitaya obtenido tras este proceso de licuado, las semillas se mantuvieron prácticamente intactas, envueltas por una capa de mucílago constituida por una parte de pulpa que no se licuó, como se aprecia en la figura 2A. Con el objetivo de tener una muestra de bagazo lo más homogénea posible para las determinaciones que así lo requirieran, se incluyó una etapa de molienda, pasando el bagazo por una picadora (Moulinex A320 R1). El bagazo final es el que se observa en la figura 2B.



**Figura 2.** Imagen del bagazo antes (2A) y después (2B) de pasar por la etapa de molienda.

### 3.2.2 Zumo y bagazo liofilizado

Para la preparación de las muestras que se iban a destinar a la determinación de fibra dietética total, el zumo y bagazo frescos obtenidos con la licuadora mencionada en el apartado anterior, se ultracongelaron a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se liofilizaron (Telstar Lioalfa-6 Lyophiliser) a una temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una presión de  $10^{-2}\text{ Pa}$  durante 48 horas. Las muestras liofilizadas se molieron (Moulinex A320 R1) y se envasaron a vacío para su correcta conservación hasta la determinación de fibra dietética total.

## 3.3. Determinaciones analíticas

### 3.3.1. Humedad

Para determinar el contenido en humedad de cada muestra, se utilizó el método gravimétrico indirecto por desecación descrito según García-Martínez & Segovia-Fernández (2012). Las muestras fueron introducidas en una cápsula de porcelana, y secadas en estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas hasta obtener un peso constante. El contenido en humedad se expresó como % de humedad (g de agua en 100 g muestra). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

### 3.3.2. Determinación de 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) termostataado a 20°C. Las medidas se realizaron por triplicado.

### 3.3.3. Acidez valorable

La acidez total valorable tanto del zumo como del bagazo se determinó con un valorador automático (Metrohm 905) con un electrodo de pH combinado con sensor de temperatura Pt1000 integrado para la titulación/medida de pH.

Se añadieron 10 g de bagazo triturado a 90 mL de agua destilada y se llevaron a ebullición. Tras enfriarse, la mezcla se valoró con una disolución de NaOH (0.1 mol/L) hasta que alcanzó pH = 8.5. En el caso del zumo, se añadieron 10 mL de zumo a 40 mL de agua, y se procedió de la misma forma.

El resultado en bagazo se expresó como % de ácido málico (mg ácido málico/100 g de muestra en bagazo y mg ácido málico/100 mL de muestra en zumo). Para ello se empleó la ecuación 1.

$$\% \text{ ácido málico} = \frac{V \times 0.067 \times T}{M} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

V = volumen de NaOH gastados en la valoración (pH = 8.5) en mL.

T = Título de NaOH.

M = peso de la muestra en g o volumen de la muestra en mL.

Las determinaciones se realizaron por triplicado.

### 3.3.4. Cenizas

La determinación del contenido de cenizas se realizó según el método 920.153 de AOAC (1997). Se pesó 1,5 g de muestra en crisoles de porcelana y la muestra se carbonizó en placa calefactora. Los crisoles de porcelana se llevaron a 550 °C en horno (mufla) durante 6 h. Después se atemperaron en un desecador y se pesaron en una balanza analítica. El contenido en cenizas se expresó como % de cenizas (g de cenizas en 100 g muestra). Las medidas se realizaron por triplicado.

### 3.3.5. Fibra dietética total

La fibra dietética total (TDF) se determinó de acuerdo con el método oficial AOAC 991.43 (AOAC, 1992) utilizando el equipo Fibertec E system® (model TM1023, Foss Analytical AB, Höganäs, Suecia).

En una primera etapa, las muestras fueron digeridas enzimáticamente. Para ello, se pesó 1 g de muestra liofilizada en polvo por duplicado en los frascos originales del equipo. Se ajustó el pH con tampón MES-TRIS a 8.2 y se incubaron con 50 µL de α-amilasa a 95-100 °C durante 20 min. Se ajustó el pH a 4-4,7 y se incubaron con 200 µL de amiloglucosidasa durante 30 min a 60 °C. Pasado este tiempo se añadieron 225 mL de etanol 96 % a 60 °C a cada frasco. Después, las muestras se dejaron 1 h en reposo a temperatura ambiente antes de proceder al filtrado de las mismas.

Se pesaron 0.5 g de Celite® 545 en cada uno de los crisoles de filtrado, y se procedió a filtrar las muestras con el Fibertec E system®. Durante esta etapa, se lavaron las paredes de los frascos con 15 mL de etanol 96 % y 15 mL de etanol 78 % dos veces.

Los residuos obtenidos tras el filtrado se llevaron a 105 °C durante una noche. De cada muestra, se realizó el proceso en dos crisoles simultáneamente junto con dos crisoles destinados al blanco. Uno de los crisoles se utilizó para determinar el contenido en cenizas (5 h a 525 °C) y el otro crisol se utilizó para determinar el contenido en nitrógeno (método Kjeldahl) utilizando el factor de conversión de 6,25 para expresar el resultado en cantidad de proteínas.

Para el cálculo de la fibra dietética total, se emplearon las ecuaciones 2 y 3.

$$B = \frac{B1+B2}{2} - B(P) - B(C) \quad \text{Ec. 2}$$

$$TDF \left( \frac{g}{100} \right) = \left( \frac{\frac{R1+R2}{2} - R(P) - R(C) - B}{\frac{M1+M2}{2}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

B1 = Peso del residuo seco de blanco 1 en mg.

B2 = Peso del residuo seco de blanco 2 en mg.

B(P) = Cantidad de proteínas en blanco1 en mg.

B(C) = Cantidad de cenizas en blanco 2 en mg.

R1 = Peso del residuo seco del crisol de muestra 1 en mg.

R2 = Peso del residuo seco del crisol de muestra 2 en mg.

R(P) = Cantidad de proteínas en el crisol de muestra 1 en mg.

R(C) = Cantidad de cenizas en el crisol de muestra 2 en mg.

M1 = Peso del crisol de muestra 1 en mg.

M2 = Peso del crisol de muestra 2 en mg.

### 3.3.6. Vitamina C

El contenido en vitamina C tanto del zumo como del bagazo se realizó mediante una valoración potenciométrica. Para ello se utilizó un titulador automático (Metrohm 905) con un electrodo de plata. A 50 mL de agua destilada se añadieron 2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2 mol/L) y una cantidad de muestra que contuviera aproximadamente de 1 a 5 mg de vitamina C. Se añadieron 100 mg de yoduro potásico y la mezcla se valoró con cloramina T (0.005 mol/L).

Para el cálculo de los miligramos de vitamina C, se tuvo en cuenta que cada mL de cloramina T (0.005 mol/L) correspondía a 0.88 mg de vitamina C. Varios patrones de ácido ascórbico fueron determinados para comprobar dicha correlación. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

### 3.3.5. Carotenoides

El contenido en carotenoides se determinó en el zumo y el bagazo, siguiendo el método descrito por Hornero-Méndez & Minguéz-Mosquera (2001) con alguna modificación. Para ello, 5 g de muestra (previamente triturada en el caso del bagazo) se sometieron a 5 extracciones consecutivas, en cada extracción se adicionaron 25 mL de acetona fría. La mezcla se homogeneizó con ayuda de un ultraturrax (IKA-Ultraturrax T25 Basic) y se filtró a vacío con kitsatos, embudo Buchner y un filtro Whatman 40 de 8 micras de tamaño de poro. Con estas 5 extracciones se consiguió la completa desaparición de color en el residuo. Este extracto se fue añadiendo poco a poco sobre 50 mL de dietiléter contenidos en un embudo de decantación para asegurar la máxima eliminación de la fase acuosa. Con cada adición de extracto se añadió la cantidad necesaria de NaCl al 10 % para separar las fases, y transferir los pigmentos al éter. Además, se realizaron lavados con agua destilada para eliminar la acetona residual. La fase acuosa se eliminó. A la fase orgánica (éter) obtenida se le añadió 1,6 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en masa para asegurar la eliminación del agua residual. Se filtró para eliminar el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se rotavaporó en un evaporador rotatorio (RII, Buchi, Labortechnik, Flawil, Suiza) a una temperatura inferior a 35 °C. Para finalizar, el extracto obtenido se diluyó en 30 mL de acetona (Hernández-Carrión., 2014) y se midió la absorbancia a 450 nm con un espectrofotómetro Helios Zeta UV- Visible (Thermo Fisher Scientific Inc, Cambridge, Reino Unido). Para la determinación del contenido en carotenoides, la curva de calibrado se elaboró utilizando diferentes concentraciones de β-caroteno por 100 g en base seca. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

### 3.3.8. Fenoles totales

El contenido en compuestos fenólicos totales se determinó tanto en el zumo como en el bagazo frescos, así como en las muestras digeridas tras la simulación de la digestión *in vitro*. Primero se realizó la extracción de los compuestos fenólicos solubles y posteriormente se extrajo la fracción insoluble. La extracción de compuestos fenólicos solubles se realizó homogeneizando 5 g de muestra con 25 mL de

etanol 96 % con ayuda de un ultraturrax ((KA-Ultraturrax T25 Basic). El homogeneizado obtenido se centrifugó a 14000 rpm durante 20 min a una temperatura de 20 °C. Después, el sobrenadante se filtró con filtro de papel. Se repitió la operación de homogeneización, centrifugado y filtrado con el precipitado obtenido; 2 veces para el zumo y 3 veces para el bagazo. Los sobrenadantes obtenidos en cada ciclo se mezclaron y las mezclas se aforaron a 100 mL con el etanol empleado anteriormente. De este proceso se obtuvo una disolución que se usará para la detección de compuestos fenólicos solubles y su capacidad antioxidante.

Una vez obtenido el pellet de la extracción de compuestos solubles, se utilizó HCl para conseguir hidrolizar y solubilizar los compuestos insolubles. De modo que se añadió a dicho pellet 25 mL de una disolución de etanol 96 %: HCl 37% (2,7: 97,3) y después se homogeneizó con el ultraturrax. A continuación, se llevó a agitación constante durante 30 min a 100 rpm utilizando un agitador orbital. Pasados estos 30 min, las muestras se centrifugaron a 14000 rpm durante 20 min, a temperatura ambiente. El sobrenadante obtenido se filtró con filtro de papel como en el proceso anterior. Se añadió de nuevo 25 mL de la disolución etanol 96 %: HCl y se repitió la operación de homogeneización, centrifugado y filtrado con el precipitado obtenido. El nuevo sobrenadante se mezcló con el previamente reservado y dicha mezcla se aforó a 100 mL con el etanol 96 %. La disolución obtenida en este punto del proceso fue la que sirvió para la detectar los compuestos fenólicos insolubles y su capacidad antioxidante.

A partir de 1 mL de cada extracto (1 y 2) se realizó una dilución 1:7 en agua bidestilada, se añadió 0.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y se agitó brevemente. Transcurridos 3 min se añadió 1 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> saturado (20 %). Finalmente, se adicionó 1,5 mL de agua bidestilada y se dejó reposar en oscuridad 90 min. Transcurrido este tiempo se midió la absorbancia de la muestra a 765 nm. La curva de calibrado se realizó utilizando diferentes concentraciones de ácido gálico en etanol al 96 %. La concentración se expresó como gramos de ácido gálico por 100 g en base húmeda y en base seca. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Para determinar los compuestos fenólicos en las muestras digeridas de zumo y bagazo, se partió de 1 mL de la fracción digerida bioaccesible después de la fase de digestión intestinal obtenida de acuerdo con el apartado 3.4. Los pasos siguientes del procedimiento coinciden con los mencionados en este apartado.

### 3.3.9. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se midió en la fracción soluble e insoluble, preparadas según el apartado anterior, mediante el método FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica). Se siguió el método descrito por Hernández-Carrión (2014). En cada cubeta se colocaron 30 µL de agua destilada, 30 µL

del extracto (etanol 96 % para el blanco) y 900  $\mu\text{L}$  de reactivo FRAP. Se incubaron las cubetas durante 30 min en un baño a 37 °C y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 595 nm empleando un espectrofotómetro Helios Zeta UV Visible (Thermo Fisher Scientific Inc, Cambridge, Reino Unido). La curva de calibrado se realizó utilizando diferentes concentraciones de Trolox en etanol al 96 %. Los resultados se expresaron como mg de Trolox por g en base húmeda y en base seca. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

### 3.4. Simulación de un sistema de digestión *in vitro*

Para simular la digestión *in vitro* de los compuestos bioactivos se utilizó un modelo que simulación siguiendo la metodología descrita por Minekus *et al.*, (2014) y Brodkorb *et al.* (2019) con modificaciones (Eriksen *et al.*, 2017; Gómez-Mascaraque, 2017). Se simularon tres fases: oral, gástrica e intestinal. El proceso de digestión se realizó en una estación de reacción “Carousel 6 Plus” (Radleys, Reino Unido). Para imitar las condiciones fisiológicas humanas, el análisis se realizó con temperatura controlada (37 °C) y agitación (150 rpm), y sin luz. Tanto la etapa gástrica como la etapa intestinal se realizaron en una atmósfera de  $\text{N}_2$  para imitar la fisiología humana y reducir así los niveles de oxígeno durante la digestión (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 utilizaron 5 g de la muestra en el caso del bagazo y 5 mL en el caso del zumo. A esta cantidad de muestra se le añadieron 4 mL de SSF +  $\alpha$ -amilasa (75 U/mL en la mezcla de digestión) previamente ajustados a pH 7, 19  $\mu\text{L}$  de  $\text{CaCl}_2$  y 0.981 mL de agua destilada. La simulación de la digestión oral se hizo con agitación manual durante 2 min a 37 °C. Para la fase gástrica, se utilizaron los balones de digestión del equipo mencionado, y al bolo proveniente de la fase oral se le adicionaron 16 mL de SGF + pepsina (2000 U/mL en la mezcla de digestión) y 8  $\mu\text{L}$  de  $\text{CaCl}_2$  para el bagazo, y la mitad de estos volúmenes para el zumo. El pH se ajustó entre 2,5 y 3 usando HCl 1 M, y al volumen de digerido se añadió el agua necesaria para alcanzar un volumen total de 20 mL en el caso del bagazo y 10 mL en el caso del zumo. La mezcla se incubó a 37 °C durante 1 h en agitación en ausencia de oxígeno. Para la etapa intestinal, el pH se ajustó entre 6,5 y 7,5 usando HCl 1M o NaOH 1M. Se añadieron 12 mL de SIF + pancreatina (16,25 mg/mL), 45  $\mu\text{L}$  de  $\text{CaCl}_2$  y 12 mL de SIF + bilis (37,8 mg/mL) para el balón que contiene la muestra de bagazo. En el zumo, se utilizaron en cambio 8 mL de SIF + pancreatina (16,25 mg/mL), 30  $\mu\text{L}$  de  $\text{CaCl}_2$  y 8 mL de SIF + bilis (37,8 mg/mL). El pH se ajustó a 7 usando HCl 1 M o NaOH 1 M. Una vez reajustado el pH, se añadió el volumen de agua destilada necesario para un volumen total de 30 mL en el caso de la muestra de bagazo, y 20 mL en la de zumo. La mezcla se incubó a 37 °C durante 2 h en agitación, con ausencia de oxígeno y en oscuridad. Las diferencias en los



volumenes de la digestión del zumo y del bagazo se hicieron siguiendo las recomendaciones de Minekus *et al.*, (2014) para mejorar la simulación en matrices sólidas. Finalmente, para el proceso de filtración, la mezcla de digestión final se centrifugó (20 min, 4 °C) y se filtró (Whatman® Grado 4). El residuo se consideró la fracción no digerida (OUT) y la solución filtrada se consideró 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).

De este procedimiento se obtuvo la fracción digerida después de la fase de digestión intestinal, de la cual se partió para realizar las determinaciones de bioaccesibilidad de compuestos fenólicos.

### 3.5. Cálculo de la bioaccesibilidad

Para analizar el efecto de la digestión *in vitro* sobre el contenido fenólico total del zumo y del bagazo se determinó el porcentaje de bioaccesibilidad, siguiendo la ecuación 4 (Briones-Labarsca *et al.*, 2011; Rodríguez-Roque *et al.*, 2013; Stinco *et al.*, 2013).

$$\text{Bioaccesibilidad (\%)} = \frac{IN}{UDF} \times 100 \quad \text{Ec. 4}$$

Siendo IN el contenido en compuestos bioactivos en la fracción digerida bioaccesible después de la fase de digestión intestinal y UDF (fracción no digerida) el contenido en la muestra fresca, no digerida.

### 3.6. Estudio de las propiedades microestructurales

La microscopía de la pulpa de pitaya, y del zumo y bagazo se estudió por microscopía óptica de campo claro. Para ello se utilizó un microscopio Nikon E800 (Japón).

Para estudiar las muestras de pulpa de pitaya y bagazo por microscopía óptica de campo claro, se depositó una porción de la muestra sobre un portaobjetos de vidrio. Esta muestra, sin teñir, se cubrió con un cubreobjetos y se observó en el microscopio. En el caso del zumo se depositó una gota de este zumo sobre un portaobjetos y se cubrió con un cubreobjetos para su observación directa.

Todas las muestras se visualizaron utilizando lentes de objetivo 20x, 10x y 4x. Las imágenes se capturaron y almacenaron a 1024 x 1024 píxeles utilizando el programa para la captación de imágenes propio del equipo.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Determinaciones analíticas

#### 4.1.1. Humedad, sólidos solubles, acidez valorable y cenizas

En la tabla 3 y 4 se presentan los resultados de humedad, sólidos solubles totales, acidez valorable y cenizas para el zumo y el bagazo obtenido a partir de pitaya.

**Tabla 3.** Resultados de humedad, sólidos solubles totales y cenizas en zumo y bagazo de pitaya amarilla.

b.h: Base húmeda. N.V: No valorado.

	Zumo	Bagazo
Humedad (g/100g, b.h)	82 ± 0.2	9 ± 1
Cenizas (g/100g, b.h)	0,19 ± 0,02	1,1 ± 0,3
Sólidos solubles (°Brix)	16 ± 1	N.V

**Tabla 4.** Resultados de acidez valorable en zumo y bagazo expresado en % de ácido málico. b.h: base húmeda.

	Zumo	Bagazo
% ácido málico	mg ácido málico/100 mL	mg ácido málico/100 g (b.h)
	0,12 ± 0,01	0,21 ± 0,02

El zumo presentó un contenido en humedad de 82 ± 0.2 %, valor muy similar a los reportados para pulpa de pitaya amarilla (*Hylocereus megalanthus*) por Mercado-Silva (2018), ICBF (2018), Morales de León et al. (2015) de 85, 85,5 y 85,9, respectivamente. El contenido en humedad del bagazo fue de 9 ± 1 %. Este resultado es intermedio entre las humedades encontradas en estudios sobre semillas de pitaya, que varían desde 6,9 a 7,2 % (Chemah *et al.*, 2010) hasta 12,6 ± 0,6 % (Villalobos-Gutiérrez *et al.*, 2012). Hay que recordar que, en este caso, el bagazo está constituido no solo por las semillas, sino que le acompaña una capa nada despreciable de pulpa.

Los sólidos solubles totales del zumo presentaron una media de  $16 \pm 1$  °Brix. Solo se ha encontrado una referencia de sólidos solubles totales en el jugo de pitaya; Ochoa-Velasco (2012) reportó un contenido medio de  $10,3 \pm 0,3$  % en jugo de pitaya del género *Hylocereus* y la especie *undatus*, siendo estos inferiores a los encontrados en la presente investigación, que estudia la pitaya amarilla *Selenicereus Megalanthus*. En cuanto a la acidez valorable, se expresó como % de ácido málico (mg ácido málico por 100 g en bagazo; mg de ácido málico en 100 mL de zumo) por ser este el predominante en la pitaya amarilla y facilitar comparaciones con otros estudios. El zumo presentó una media de  $0,12 \pm 0,01$  % de ácido málico, valor similar al reportado por Sotomayor *et al.* (2017), con valores de  $0,14 \pm 0,01$ , aunque en este caso expresada en % de ácido cítrico. Se han informado valores de acidez valorable entre 2.4 a 3.0 % de ácido málico en variedades agridulces y de 0.62 a 0.5 de % de ácido málico en variedades dulces (Mercado-Silva, 2018). El bagazo presentó unos valores de acidez valorable más altos a los del zumo, con  $0,21 \pm 0,02$  % de ácido málico. Estos resultados de acidez son de rango bajo, por lo que se podría considerar que tanto el zumo como el bagazo de la pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) no son ácidos. El sabor presente en la pulpa guarda relación con el % de sólidos solubles totales y la acidez. Las características organolépticas de la pitaya amarilla son más apetecibles que la variedad roja (especies cercanas del género *Hylocereus*) porque tienden a ser más dulces y menos ácidas (Cañar *et al.*, 2014).

El contenido en ceniza para el zumo y el bagazo fue de  $0,19 \pm 0,02$  % y  $1,1 \pm 0,3$  %, respectivamente. Si se compara el zumo con los valores de pulpa encontrados en la bibliografía, se han informado de valores superiores en pulpa de pitaya amarilla *Hylocereus megalanthus*, concretamente de 0,4 % (Mercado-Silva, 2018; ICBF, 2018) y 0,6 % (Morales de León *et al.*, 2015). Esto puede ser debido a que en el proceso de extracción del zumo parte de los sólidos que constituyen las paredes celulares no aparecen en el zumo y, por tanto, el zumo no es comparable totalmente con la pulpa. El % de cenizas en bagazo fue de  $1,1 \pm 0,3$  %, menos de la tercera parte de lo reportado en semillas de pitaya amarilla por Chemah *et al.* (2010) ( $3,8 \pm 0,1$  %). En este caso, de nuevo, la determinación de bagazo no incluye solo las semillas, y contiene una cantidad de pulpa con su contenido en humedad nada despreciable que puede justificar estos valores inferiores en porcentaje de cenizas.

#### 4.1.2. Contenido en fibra dietética total

Uno de los componentes más importantes en la pitaya, desde el punto de vista nutricional, es la fibra. Poolsup *et al.* (2017) concluyeron que la fruta de dragón es una rica fuente de fibra, entre otros compuestos bioactivos. Estos autores estudiaron el efecto de la fruta del dragón sobre el control glucémico en prediabetes y diabetes tipo 2.

La tabla 5 presenta los contenidos promedios de fibra dietética total, que fueron  $0,3 \pm 0,1$  g y  $1,81 \pm 0,52$  en 100 g de muestra fresca en zumo y bagazo, respectivamente. El bagazo presentó los mayores resultados de fibra dietética total.

**Tabla 5.** Valores de Fibra Dietética Total (TDF) expresados en g por 100 g de muestra en base húmeda.

b.h: Base húmeda.

	Zumo	Bagazo
fibra dietética total (g /100 g, b.h)	$0.3 \pm 0.1$	$1.81 \pm 0.52$

Cabe destacar la variabilidad que presentan los resultados de distintos estudios que se han realizado sobre fibra en pitaya, al tratarse además de variedades distintas. Se reportaron valores desde 0,5 hasta 3,3 g de fibra dietética total por 100 g de pulpa con semillas en *Hylocereus megalanthus* (Mercado-Silva, 2018; ICBF, 2018). Nuestros resultados se consideran valores intermedios puesto que se encuentran dentro del rango de los valores encontrados en otras investigaciones. En otros estudios de composición de pitaya recientes, se observó que la fibra cruda en 100 g de pulpa con semillas alcanzaba valores desde  $0,3 \pm 0,2$  g en el caso de pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (Obregón-La Rosa *et al.*, 2021) hasta  $3 \pm 2$  g (Báez-Velásquez & Pablo-Paredes, 2020); siendo la fibra cruda el 20-50 % de la fibra dietética total (ECURED, 2021).

Estas diferencias ponen de manifiesto la variabilidad debida al clima, el suelo y las condiciones ambientales, que influyen directamente en los frutos sujetos a análisis (Báez-Velásquez & Pablo-Paredes, 2020). Otros autores señalan que en la composición nutricional de la pitaya destaca la fibra soluble dietética sobre la insoluble (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Para futuras investigaciones se recomienda también estudiar la el % de la fibra dietética soluble en la pitaya amarilla.

#### 4.1.3. Contenido en vitamina C

La pitaya posee propiedades medicinales y nutricionales altamente beneficiosas para el organismo asociadas a su alto contenido en vitamina C, entre otros compuestos. Aunque la variedad roja (*Hylocereus undatus* Haw.) contiene mayores cantidades de vitamina C que la variedad amarilla (*Selenicereus megalanthus*), está también se considera una buena fuente de vitamina C (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). En la tabla 6 se describen los resultados obtenidos para vitamina C en el zumo y el bagazo de pitaya amarilla. Los resultados están expresados en base húmeda y base seca para facilitar la comparación con otros trabajos. Estos valores pueden dar idea del grado de acidez del fruto y la actividad antioxidante que puede tener (Báez-Velásquez & Pablo-Paredes, 2020).

**Tabla 6.** Resultados de Vitamina C en zumo y bagazo expresados en g por 100 g de muestra en base húmeda (b.h) y base seca (b.s).

	Bagazo	Zumo
mg/100 g (b.h)	4,9 ± 0,8	9 ± 2
mg/100 g (b.s)	27 ± 5	11 ± 3

El contenido más alto de vitamina C se encontró en el bagazo (9 ± 2 mg por 100 g en base húmeda), ya que la mayor parte de la vitamina C del fruto se concentra en las semillas (Torres-Grisales *et al.* 2017) que forman parte de esta fracción tras la extracción del zumo. Torres-Grisales *et al.* (2017) reportaron valores muy superiores de ácido ascórbico en las semillas (22,09 mg por g de materia seca) de pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) con respecto a los resultados de bagazo de la presente investigación. Esta diferencia posiblemente sea debida a factores ambientales y genéticos (Castro-Gómez, 2013), y a la sensibilidad de la técnica empleada. En el caso de la determinación potenciométrica del bagazo, y debido a la sensibilidad del método utilizado, fue necesario utilizar un gran peso de muestra, lo que creaba algunas interferencias. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de utilizar otra técnica, como podría ser HPLC, en determinaciones futuras en este tipo de matriz.

En la literatura encontramos valores de vitamina C que han sido determinados en la parte comestible de la pitaya (pulpa con semillas). Han sido reportados valores desde 3,5 mg por 100 g de peso fresco de pulpa con semillas en *Selenicereus megalanthus* (Báez-Velásquez & Pablo-Paredes, 2020) hasta 20 mg por 100 g de pulpa con semillas (ICBF, 2018) en *Hylocereus megalanthus* (piel amarilla y pulpa blanca). El contenido de vitamina C de zumo de pitaya (4,9 ± 0,8 mg por 100 g de peso fresco de zumo) obtenido en el presente estudio es similar al encontrado por Mercado-Silva (2018) de 4 mg por 100 g de peso fresco de pulpa y semillas de *Hylocereus megalanthus*; pero inferior a los reportados por Obregón-La Rosa *et al.* (2021) y Morales de León *et al.* (2015), de 8 y 7,34 mg por 100 g en peso fresco de pulpa con semillas, respectivamente. Una ración del zumo de pitaya elaborado en este trabajo (100 mL) aportaría un 10 % de la vitamina C que tiene el zumo de naranja (50 mg por 100 mL).

Muñoz-de-Chavez *et al.* (2002) informó que 100 g de la parte comestible de la pitaya amarilla representa el 21 % del consumo diario recomendado de vitamina C para adultos. Según nuestros resultados, un vaso de zumo de la pitaya amarilla estudiada (100 mL), supondría un 5-6 % del aporte diario recomendado de Vitamina C; siendo las cantidades diarias recomendadas 90 y 75 mg para hombres y mujeres, respectivamente.

#### 4.1.4. Contenido en carotenoides

Recientes investigaciones encontraron en las cactáceas fuentes naturales de sustancias antioxidantes, como los carotenoides (Moo-Huchin, 2017). Aunque la pitaya amarilla no presenta coloraciones amarillas intensas en su pulpa, esta contiene  $\beta$ -caroteno y licopeno.

El contenido medio de carotenoides en el zumo fue de  $4.9 \pm 2.5$  mg de  $\beta$ -caroteno/100 g (b.h). La temperatura e intensidad de la luz durante la conservación de la muestra tienen una gran influencia en el contenido de los carotenoides (Carranco-Jáuregui *et al.*, 2011), lo cual daría sentido a la gran desviación de los resultados.

El contenido en carotenoides determinado en el zumo de pitaya es similar a la concentración de  $\beta$ -caroteno en zumo de pomelo rosado (3,4 mg /100 g (b.h)) (Laino, 2019), lo cual no guarda relación con el color que presenta inicialmente la pulpa de la pitaya, que es de un color blanquecino-amarillento. De hecho, la única referencia que se ha encontrado de carotenoides en pitaya es de  $0,86 \pm 0,01$  mg de  $\beta$ -caroteno /100 g de pulpa y semillas en *Hylocereus Undatus* Haw (Moo-Huchin, 2015), valor casi 6 veces inferior al resultado obtenido en el presente estudio. En algunos vegetales, los carotenoides se encuentran dentro de ciertos orgánulos celulares, y en algunos frutos pueden encontrarse agrupados en formas cristalinas unidos a las membranas celulares (Canene-Adams & Erdman, 2009). Como veremos posteriormente, la observación microestructural tanto del zumo como del bagazo muestran compuestos carotenoides agrupados. El método de obtención del zumo de pitaya podría haber alterado las estructuras celulares provocando la liberación de los carotenoides, los cuales podrían solubilizarse más fácilmente en el disolvente de extracción y aumentar el contenido de carotenoides disponibles.

#### 4.1.5. Contenido de fenoles totales

La identificación cuantitativa de compuestos fenólicos presentes en un material vegetal constituye uno de los primeros pasos para la determinación de la actividad antioxidante de estos (Becker *et al.*, 2004), y adicionalmente puede proveer algún indicio de otras actividades biológicas (Daza *et al.*, 2014). Cabe destacar que la recuperación de polifenoles de materiales vegetales está influenciada por la solubilidad de los compuestos fenólicos en el disolvente usado para el proceso de extracción (Alothman *et al.*, 2009). Además, la polaridad del disolvente jugará un papel clave en el aumento de la solubilidad fenólica (Naczki & Shahidi, 2006).

Los valores obtenidos en la cuantificación de compuestos fenólicos solubles e insolubles en el zumo y bagazo se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.** Contenido de compuestos fenólicos en los extractos de las fracciones solubles e insolubles de compuestos fenólicos de zumo y bagazo de la pitaya amarilla, expresados en base húmeda (b.h) y base seca (b.s).

	Zumo		Bagazo	
	Fracción soluble	Fracción insoluble	Fracción soluble	Fracción insoluble
mg de ácido gálico/100 g (b.h)	26 ± 3	4 ± 2	131 ± 44	45 ± 2
mg de ácido gálico/100 g (b.s)	142 ± 19	37 ± 12	144 ± 49	49 ± 2

El bagazo fue la parte de la pitaya que presentó mayores cantidades de fenoles, tanto solubles como insolubles. Existe cierta presencia de fenoles insolubles tanto en zumo como en bagazo, aunque en una concentración mucho menor que los fenoles solubles.

Estos resultados no son fácilmente comparables con los encontrados en la literatura, ya que habitualmente se estudia en pulpa y semillas los distintos compuestos bioactivos. Incluso estos estudios ofrecen resultados que difieren entre ellos. Los valores más altos reportados para semillas de *Selenicereus megalanthus* son del orden de 1580 mg de ácido gálico/100 g (b.s) en (Torres-Grisales *et al.*, 2017) y los más bajos, de 40.6 mg ácido gálico/por 100 g (b.s) (Chernah & Aminah, 2010). La pulpa por otro lado oscila entre valores de 77.6 mg de ácido gálico /100 g (b.s) en *Cereus triangularis* (Daza, 2014) hasta 700 mg ácido gálico /100 g de materia seca en *Selenicereus megalanthus* Haw (Torres-Grisales *et al.*, 2017). La variación de los resultados se debe a diferencias en variedad de los frutos, factores medioambientales composición y naturaleza química de los constituyentes de cada matriz (Daza 2014). Nuestros resultados para bagazo y zumo son intermedios si se compara con los encontrados en la literatura.

Ochoa-Velasco *et al.*, (2012) estudiaron las características antioxidantes de zumo de tres variedades de pitaya *Hylocereus* sp. (roja, rosa y blanca) e informaron valores de compuestos fenólicos solubles de  $24,6 \pm 0,9$  mg ácido gálico/100 mL en el zumo fresco de pitaya amarilla de pulpa blanca. Dicho zumo fue obtenido a partir de un proceso de tamizado y filtrado de la pulpa, con lo que es posible compararlo con nuestro resultado. Este resultado es semejante al obtenido con nuestro zumo, que presentó un valor de 26 mg/ 100 g de zumo (b.h). El contenido fenólico del bagazo de pitaya fue comparable a la composición de la semilla de kiwi (100-200 mg ácido gálico / 100 g (b.h)) según lo informado por Fisk *et al.*, (2006), Okamoto & Goto (2005) y Zuo *et al.* (2012), ya que, nuestro bagazo mostró valores de 131 mg ácido gálico/ 100 g y 45 mg ácido gálico/ 100 g (b.h).

La pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) es la pitaya en la que menos compuestos fenólicos se han reportado respecto al resto de especies, la pitaya roja y la pitaya rosa. Posiblemente sea debido a que el contenido de pigmentos tales como betalaínas, responsables de los colores rojos (betaninas) y amarillos (betaxantinas) (Slawomir & Mizrahi, 2002) sea menor en la pitaya amarilla (Ochoa-Velasco, 2012).

#### 4.1.6. Capacidad antioxidante

Los valores obtenidos de capacidad antioxidante asociada a las fracciones solubles e insolubles de los compuestos fenólicos se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8.** Valores de capacidad antioxidante en los extractos de las fracciones solubles e insolubles de compuestos fenólicos de zumo y bagazo de la pitaya amarilla, expresados en base húmeda (b.h) y base seca (b.s).

	Zumo		Bagazo	
	Fracción soluble	Fracción insoluble	Fracción soluble	Fracción insoluble
mg de Trolox/100 g (b.h)	71 ± 7	24 ± 4	235 ± 20	156 ± 15
mg de Trolox/100 g (b.s)	393 ± 37	133 ± 24	259 ± 22	172 ± 17

En general, el bagazo fue el que mayor capacidad antioxidante presentó cuando se expresan los resultados en base húmeda. Sin embargo, la capacidad antioxidante del zumo es más alta al expresarse en base seca. Numerosos estudios avalan la capacidad antioxidante de la pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) (Torres-Grisales, *et al.*, 2017; Poolsup, *et al.*, 2017; Báez-Velásquez & Pablo-Paredes, 2020), si bien es cierto que los resultados obtenidos de bagazo en conjunto superan a los reportados por Chemah *et al.* (2010) que informó de 47,6 mg Trolox/100 g (b.s) en semillas en esta misma variedad. La capacidad antioxidante del zumo (71 ± 7 mg de Trolox/100 g (b.s) en el extracto de la fracción soluble y 24,4 ± 4 mg de Trolox /100 g (b.h) en el extracto de la fracción insoluble) fue menor que la reportada por Ochoa-Velasco *et al.* (2012) en zumo de pitaya de pulpa roja (*Hylocereus undatus*) (160,84 mg de Trolox/100 mL de zumo). Este hecho guarda relación con la mayor cantidad de compuestos fenólicos y pigmentos como la betalaína (responsable de los colores rojos) y betaxantinas (responsable de los colores amarillos) (Slawomir y Mizrahi, 2002).

En la tabla 8 podemos observar una actividad antioxidante asociada a la presencia de compuestos fenólicos insolubles, aunque menor que en la fracción soluble. Este hecho guarda relación con los resultados obtenidos en el apartado 4.1.5 para compuestos fenólicos en el extracto insoluble de zumo y



bagazo. Un 40 % de la capacidad antioxidante del bagazo está asociado a los compuestos fenólicos insolubles, mientras que en el zumo es 25 %.

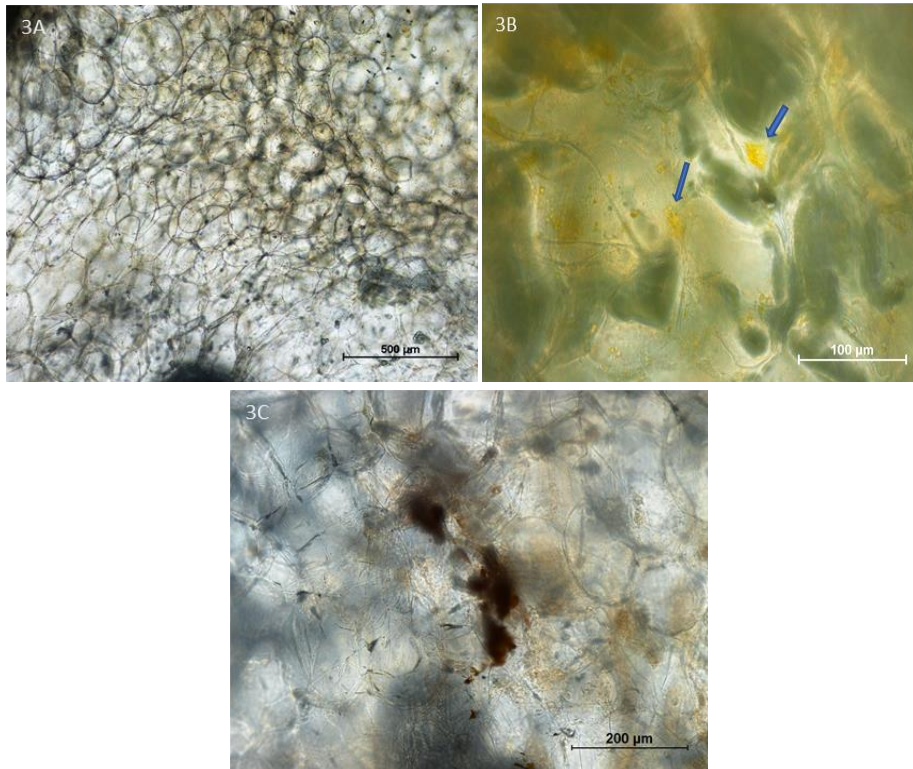
### 4.3. Estudio de la bioaccesibilidad

Al término de la digestión *in vitro* se presenta una liberación de compuestos fenólicos de  $18 \pm 5$  mg ácido gálico/100 g (b.h) en zumo y  $48 \pm 17$  mg ácido gálico/100 g (b.h) en bagazo, lo que corresponde a un 69,2 % y un 36,6 % de bioaccesibilidad de la fracción soluble, respectivamente.

Por tanto tras el proceso de digestión *in vitro* de zumo y bagazo, la cantidad de fenoles disponibles para ser absorbidos por el intestino delgado disminuye respecto al contenido en fenoles del zumo fresco. Este fenómeno puede suceder como consecuencia de los cambios de pH producidos durante la digestión. Sin embargo, según Bermúdez-Soto *et al.* (2007) la simulación gástrica *in vitro* no tiene un efecto significativo en los compuestos fenólicos del zumo de aronia (*Aronia melanocarpa*), el cual tiene similitud con el zumo de pitaya analizado en este estudio. Los fenoles de la dieta son altamente sensibles a condiciones alcalinas del intestino delgado. Por ello, es probable que durante la digestión en el duodeno estos compuestos pueden ser transformados en formas estructurales distintas, que implican una menor bioaccesibilidad.

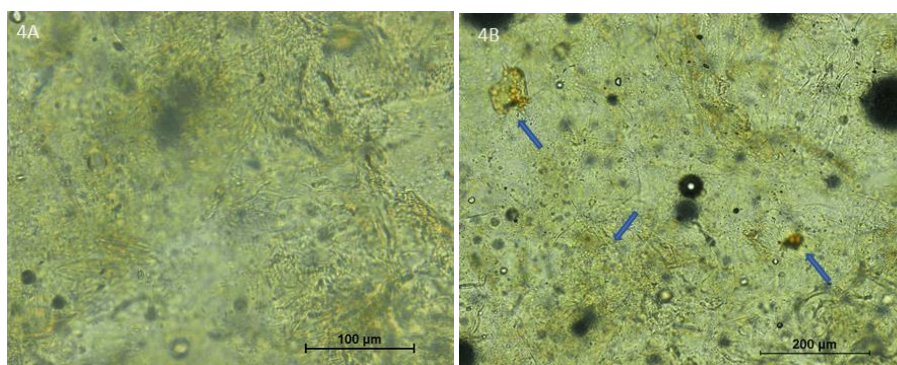
### 4.4. Estudio de la microestructura

En la figura 3A, se puede observar la microestructura de la pulpa de pitaya *Selenicereus megalanthus*. El tejido parenquimático de este fruto tiene una apariencia compacta y está formado por células redondeadas, unidas entre sí y con espacios intercelulares apenas apreciables. El tamaño de las células es variable. Estas células se observan turgentes y se puede apreciar la presencia de carotenoides en su interior. Estos compuestos se pueden identificar distribuidos por el tejido celular y son de color amarillo-anaranjado. Pueden aparecer agrupados, como se ve en la imagen 3B (flecha), a más aumentos. En la imagen 3C se puede observar con detalle el tejido parenquimático de la pulpa de la pitaya junto con trozos de semilla de color marrón. La semilla no se observa entera, ya que se ha partido durante el corte de la muestra para su observación con el microscopio, y aparece distribuida en la matriz parenquimática.



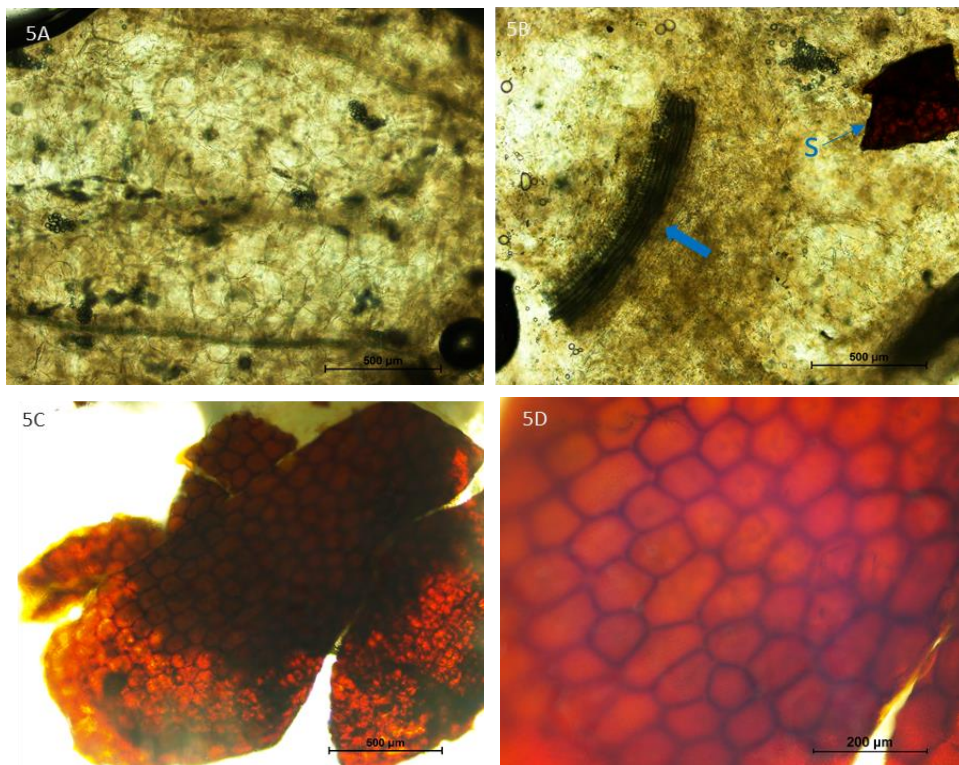
**Figura 3.** Pulpa de pitaya observada por microscopía óptica. Carotenoides (flechas).

En la figura 4 se observa el zumo de la pitaya estudiada por la técnica de microscopía óptica. No hay una estructura definida, el zumo está formado por componentes líquidos, aunque se aprecian trozos de paredes celulares. Estos fragmentos de las paredes celulares, que contienen celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y algunos polifenoles como los taninos condensados, son los componentes fundamentales de la fibra dietética insoluble (Guarner, 2008). Hay que recordar que, según el presente trabajo, por cada 100 g de zumo fresco, podemos encontrar 0,3 g de fibra dietética total en el zumo (tabla 4). En la figura 4B (flechas) se puede apreciar la presencia de carotenoides procedentes de la pulpa transferidos al zumo en el proceso de licuado. Como se ha visto anteriormente en el apartado 4.1.5, se encontraron casi 5 mg de  $\beta$ -caroteno por cada 100 g de zumo fresco.



**Figura 4.** Zumo de pitaya observada por microscopía óptica. Carotenoides (flechas).

La figura 5 muestra la estructura del bagazo y un detalle de las semillas de pitaya después de extraer el zumo. En la figura 5A se observa un tejido completamente desestructurado, pero todavía en alguna zona se observan grupos de células procedentes de la pulpa intacta que acompaña a las semillas formando un mucilago adherido a ellas. Esto es debido al proceso de extracción del zumo con licuadora, que en algunos casos deja las semillas intactas y en otros las fractura. Además, parte de la pulpa queda intacta sin ser licuada. En la imagen 5B, se puede observar un trozo de pared celular a modo de células en empalizada (flecha). Esto podría proceder de algún fragmento de cáscara que ha sido arrastrado durante el proceso de obtención de la pulpa para obtener el zumo licuado. En la imagen 5B se puede observar también un fragmento de semilla (s). Como se ha podido observar en la imagen del bagazo resultante tras el licuado (figura 2), algunas semillas permanecen intactas, pero otras pueden romperse durante el proceso. En las figuras 5C y 5D, se puede observar un detalle de la semilla. La estructura de la semilla es muy compacta y está formada por células encajadas unas con otras sin apenas espacios intercelulares.



**Figura 5.** Bagazo y detalle de semilla de pitaya observados por microscopía óptica. Pared celular (flecha), fragmento de semilla (s).

## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten demostrar que el zumo y bagazo de pitaya amarilla representa una fuente importante de compuestos bioactivos que podrían ser aprovechados para la elaboración de alimentos funcionales.

El bagazo presentó mayores cantidades de acidez valorable, cenizas, fibra, vitamina C, compuestos fenólicos y mayor capacidad antioxidante que el zumo. Por otra parte, el zumo mostró un buen equilibrio entre acidez y sólidos solubles totales, por lo que se le considera un zumo con buenas propiedades organolépticas. Se determinaron cuantitativamente los carotenoides en el zumo y su distribución se pudo constatar al observar la muestra por microscopía óptica. También se calculó la bioaccesibilidad de los polifenoles del zumo y el bagazo. En este sentido, se observó que la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos fue mayor en el zumo que en el bagazo.

Tras una revisión de la literatura científica sobre propiedades físicoquímicas y compuestos bioactivos de la pitaya, no se han encontrado apenas referencias ni de *Selenicereus megalanthus*, ni de zumo y bagazo; solo de pulpa y semillas, y habitualmente en especies de *Hylocereus*. Además, se ha observado una gran variabilidad entre los valores aportados por los distintos autores. Esta variabilidad puede deberse a la variabilidad de las técnicas empleadas, la amplia diversidad de condiciones de suelo y clima, las variaciones estacionales, lo cual afecta especialmente a la composición de los materiales vegetales, y el estado fisiológico y de madurez.

Un fruto con tantos beneficios requiere de un mayor interés científico sobre sus propiedades funcionales, abarcando no solo el zumo y el bagazo, sino todos sus componentes como la cáscara. Este tipo de investigaciones servirían para complementar los estudios ya existentes y dar a conocer otros nuevos beneficios de la pitaya. De esta manera se podrá conocer y aprovechar al máximo esta fruta. Para futuras investigaciones se recomienda continuar estudiando las propiedades funcionales de su zumo y bagazo; la bioaccesibilidad de compuestos bioactivos más concretos, como vitamina C y carotenoides.

## 6. Bibliografía

AACC. (2001). American Association for Clinical Chemistry. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46 (3), 112-126.

AOAC: Association of Official Analytical Chemists (1992). Official Methods of Analysis, 15<sup>a</sup> ed. *Journal of AOAC International*, Arlington, VA.

AOAC: Association of Official Analytical Chemists. (1997). Official Methods of Analysis. 16<sup>a</sup> ed. *Journal of AOAC International*, Arlington, VA.

Ajila, C.M., Leelavathi, K., Prasada & Rao, U. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*. 48(2), 312-326. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.10.001.

Alothman, M., Bhat, R. & Karim, A.A. (2009) Antioxidant Capacity and Phenolic Content of Selected Tropical Fruits from Malaysia, Extracted with Different Solvents. *Food Chemistry*. 115, 785-788. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.12.005.

Arnal, L., & Del Río, M. A. (2003). Removing astringency by carbon dioxide and nitrogen-enriched atmospheres in persimmon fruit cv. "Rojo brillante." *Journal of Food Science*, 68(4), 1516-1518.

Becker, E.M., Nissen, L.R. & Skibsted, L. (2004). Antioxidant evaluation. Food quality or health effects. *European Food Research and Technology*. 219(6), 561-571. DOI: 10.1007/s00217-004-1012-4.

Báez-Velásquez, C.M & Pablo-Paredes, R.E. (2020). Valor nutritivo, valor calórico y valoración de vitamina c en el fruto de *Selenicereus megalanthus* "pitahaya amarilla" procedente de la región amazonas. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

Beltrán, B., Estévez, R., Cuadrado, C., Jiménez, S. & Olmedilla-Alonso, B. (2012). Base de datos de carotenoides para valoración de la ingesta dietética de carotenos, xantofilas y de vitamina A; utilización en un estudio comparativo del estado nutricional en vitamina A de adultos jóvenes. *Nutrición Hospitalaria*. 27(4), 1334-1343. DOI: 10.3305/nh.2012.27.4.5886.

Beltrán-Orozco, M.C. Oliva-Coba, T.G., Gallardo-Velázquez, T. & Osorio-Revilla, G. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*. 43(2), 153-162.

- Bermúdez-Soto, M.; Tomás-Barberán, F. & García-Conesa, M. 2007. Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to *in vitro* gastric and pancreatic digestion. *Food Chemistry*. 102, 865–874.
- Boisen, S. & Eggum, B. O. (1991). Critical evaluation of *in vitro* methods for estimating digestibility in simple-stomach animals. *Nutrition Research Reviews*. 4, 141–162.
- Briones-Labarca, V., Venegas-Cubillos, G., Ortiz-Portilla, S., Chacana-Ojeda, M. & Maureira, H. (2011). Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on bioaccessibility, as well as antioxidant activity, mineral and starch contents in Granny Smith Apple. *Food Chemistry*. 128, 520-529.
- Britton, G. (1983). *The biochemistry of natural pigments*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Britton G. (1995). Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal*. 9, 1551-1558.
- Brodkorb, A., Egger, L., Alming, 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, Portmann, 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. *Natural Protocols*. 14, 991–1014 (2019). DOI: 10.1038/s41596-018-0119-1.
- Bruce, S. (2018). La fruta escamosa: Pitaya. *Agronegocios e industria de alimentos*. Universidad de los Andes - Facultad de Administración. <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2018/11/09/la-fruta-escamosa-pitahaya/>.
- Canene-Adams, K. & Erdman Jr, J.W. (2009). Carotenoids. *Nutrition and Health*. 5, 115 -148.
- Cantuti-Castelvetri, I., Shukitt-Hale, B. & Joseph, J.A. (2000). Neurobehavioral aspects of antioxidants in aging. *International Journal of Development Neuroscience*, 18(4-5), 367-381.
- Cañar, D.Y., Caetano, C.M. & Bonilla-Morales, M.M. 2014. Caracterización físicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla [*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran] cultivada en Colombia. *Revista Agronomía*. 22(1) 77-87.

Carranco-Jáuregui, M.E., Calvo-Carrillo, M.C. & Pérez-Gil, F. Carotenoides y su función antioxidante (Revisión). (2011). *Revista de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. 61(3). Obtenido en <http://www.alanrevista.org/ediciones/2011/3/art-1/>.

Carvalho, C.M., Gross, L.A., De Azevedo, M.J. & Viana, L.V. (2019). Dietary Fiber Intake (Supplemental or Dietary Pattern Rich in Fiber) and Diabetic Kidney Disease: A Systematic Review of Clinical Trials. *Nutrients*. 6:11(2):347. DOI: 10.3390/nu11020347.

Castro-Gómez, J.C., Gutiérrez-Rodríguez, F., Acuña-Amaral, C., Cerdeira-Gutiérrez, L.A., Tapullima Pacaya, A., Cobos Ruiz, M. & Imán Correa, S.A. (2013). Variación del contenido de vitamina C y antocianinas en *Myrciaria dubia* “camu camu”. *Revista Sociedad Química Perú*. 79(4).

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. (2020). Chemical characterization, antioxidant capacity, and anti-hyperglycemic effect of *Stenocereus stellatus* fruits from the arid Mixteca Baja region of Mexico. *Food Chemistry*. 2020, 328, 127076. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127076.

Chang, W.H., & Liu, J.-F. (2009). Effects of kiwifruit consumption on serum lipid profiles and antioxidative status in hyperlipidemic subjects. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(8), 709-716.

Chemah, T.C.; Aminah, A.; Noriham, A. & Wan Aida, W.M. (2010). Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. *International Food Research Journal*. 17, 1003-1010.

Chuck-Hernández, C., Parra-Saldívar, R., & Sandate-Flores, L. (2016). *Pitaya (Stenocereus spp.)*. En: *Encyclopedia of Food and Health*, 385-391.

Cilla, A., Perales, S., Lagarda, M.J., Barberá, R., Clemente, G. & Farré, R. (2011). Influence of storage and *in vitro* gastrointestinal digestion on total antioxidant capacity of fruit beverages. *Journal of food composition and analysis*. 24, 87-94.

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.

Cordeiro, M. H. M., Silva, J. M. D., Mizobutsi, G. P., Mizobutsi, E. H., & Da Mota, W. F. (2015). Physical, chemical and nutritional characterization of pink pitaya of red pulp. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 37(1), 20-26.

Corporación Colombia Internacional. (2018). Informe Pitahaya. Bogotá, Colombia.

Daza, L.D. Herrera, A.V., Murillo, E. & Mendez, J.J. (2014). Evaluación de propiedades antioxidantes de parte comestible y no comestible de pitahaya, uchuva y mangostino. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 12(1), 98-105.

Díez-Sánchez, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2021). Interactions between Blackcurrant Polyphenols and Food Macronutrients in Model Systems: *In vitro* Digestion Studies. *Foods*. 10, 847, DOI: 10.3390/foods10040847.

Dinnella, C., Minichino, P., D'andrea, A. & Monteleone, E. (2007). Bioaccessibility and Antioxidant Activity Stability of Phenolic Compounds from Extra-Virgin Olive Oils during *in Vitro* Digestion. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 55(21), 8423-8429.

ECURED. (2021). *Fibra dietética*. Visto el 29 de junio de 2021 de: [https://www.ecured.cu/Fibra\\_diet%C3%A9tica](https://www.ecured.cu/Fibra_diet%C3%A9tica).

Eliassen, A.H., Hendrickson, S.J. & Brinton, L.A. (2012). Circulating carotenoids and risk of breast cancer: Pooled analysis of eight prospective studies. *Journal of the National Cancer Institute*. 104, 1905-1916. DOI: 10.1093/jnci/djs461.

Eriksen, J.N., Luu, A.Y., Dragsted, L.O. & Arrigoni, E. (2017). Adaption of an *in vitro* digestion method to screen carotenoid liberation in vitro accessibility from differently processed spinach preparation. *Food Chemistry*. 224, 407-413.

Esquivel, P. & Araya-Quesada, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3: 113-129.

Esquivel, P., Stintzing, F. C., Carle, R. (2007). Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 81, 7-14.

Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., Jarén-Galán, M., Garrido-Fernández, J., Pérez-Gálvez, A., & Hornero-Méndez, D. (2012). Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. *Functional Foods and Nutraceuticals*, 46(2), 438-450.

Fisk, C.L., McDaniel, M.R., Strik, B.C. & Zhao, Y. (2006). Physicochemical, sensory, and nutritive qualities of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* 'Ananasnaya') as affected by harvest maturity and storage. *Journal of Food Science*. 71, 204-210.



- García-Cruz, L., Dueñas, M., Santos-Buelgas, C., Valle-Guadarrama, S., & Salinas-Moreno, Y. (2017). Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. Prunosus* and *S. stellatus*). *Food chemistry*, 234, 111-118.
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y. & Joaquín-Cruz. (2013) E. Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*. 68, 403-410. DOI: 10.1007/s11130-013-0391-8.
- García-Martínez, E.M., & Fernández-Segovia, I. (2012). Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/16339>.
- 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  $\beta$ -carotene. *Food Hydrocoll.* 73, 1-12.
- Guarner F. (2007). Hygiene, microbial diversity and immune regulation. *Curr Opin Gastroenterol.* 23(6): 667-72.
- Gülçin, İ. (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*. 86(3), 345-391.
- 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.
- Halliwell, B., Aeschbach, R., Löliger, J., & Aruoma, O. I. (1995). The characterization of antioxidants. *Food and Chemical Toxicology*, 33(7), 601-617.
- Haminiuk, C.W.I., Maciel, G.M., Plata-Oviedo, M.S.V. & Peralta, R.M. Phenolic Compounds in Fruits - An Overview. (2012). *International Journal of Food Science & Technology*. 47, 2023–2044.
- Hedrén, E., Diaz, V. & Svanberg, U. (2002). Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an *in vitro* digestion method. *European Journal Of Clinical Nutrition*. 56(5), 425-430.
- Hernández-Carrión, M. (2014). Obtención de ingredientes funcionales para la formulación de alimentos enriquecidos con extractos vegetales. Influencia del tratamiento de conservación sobre algunos compuestos bioactivos. Universitat Politècnica de València.

Hornero-Méndez, D., & Minguéz-Mosquera, M. I. (2001). Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic carotenoid fractions in paprika and red pepper oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3584-3588.

Hu, J., La Vecchia, C., Negri, E., DesMeules, M., & Mery, L. (2009). Dietary vitamin C, E, and carotenoid intake and risk of renal cell carcinoma. *Cancer Causes Control*, 20(8), 1451-1458.

Hur, S., Lim, B., Decker, E. & McClements, D. (2011) *In vitro* human digestion models for food applications. *Food Chemistry*, 125(1), 1-12.

ICBF – Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2018). TCAC: Tabla de Composición de Alimentos Colombianos. Disponible en: [https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/tcac\\_web.pdf](https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/tcac_web.pdf)

Ingeniería Agrícola (2001). *El cultivo de Pitaya y su posicionamiento en el mercado*. Disponible en: <https://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/pitaya.htm>

Khachik, F., Beecher, G.R., Goli, M.B., Lusby, W.L. & Daitch, C. (1992). Separation and quantification of carotenoids in human plasma. *Methods in Enzymology*. 213, 205-219. DOI: 10.1016/0076-6879(92)13122-E.

Krinsky, N.I. & Johnson, E.J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*. 26(6). 459-516.

Krinsky, N.I., Mayne, S.T & Sies, H. (2004). Carotenoids in Health and Disease. Ed. CRC Press. 576 pp.

Kuo, L.L., Wang, Z.Y., Fan, Z.L., Tian, S.Q. & Liu, J.R. (2012). Evaluation of antioxidant and antiproliferative properties of three Actinidia (*Actinidia kolomikta*, *Actinidia arguta*, *Actinidia chinensis*) extracts *in Vitro*. *International Journal of Molecular Sciences*. 13, 5506-5518.

Laino, C. (2019). Las dos caras del jugo de pomelo. *Sociedad Argentina de Investigación Clínica*. Disponible en: <https://www.saic.org.ar/post/las-dos-caras-del-jugo-de-pomelo>.

López R., J.A. (2005). *Caracterización y normalización de los recipientes de comercialización de frutas en Colombia*. Federación Nacional de Cafeteros de comercialización de frutas en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Chinchina. Cenicafé. SENA. 166 pp.

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.

- Medina, J.A., Rebolledo-Roa, A., Kondo, T. & Cardozo-Burgos, C. (2013). Tecnología para el manejo de pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K Schum. ex Vaupel). [Manual técnico, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica].
- Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I.M., & Heredia, F.J. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2), 109-117.
- Mercado-Silva, E.M. (2018). Pitaya - *Hylocereus undatus* (Haw.). *Exotic Fruits*. 339-349.
- Middleton, E., Jr., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews*, 52(4), 673-751.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P.; Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M. & Dupont, D. (2014). A standardised stati *cin vitro* digestion method suitable for food-an international consensus. *Food*. 5, 1113–1124.
- Mizrahi, Y. & Wybraniec, S. (2002). Fruit Flesh Betacyanin Pigments in *Hylocereus* Cacti. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(21), 6086-9. DOI: 10.1021/jf020145k.
- 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. DOI: 10.1093/aob/mch055.
- Montesinos-Cruz, J.A., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M.A., Ruíz-Herrera, G. & Guevara-Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a fitogenetic resource with an history and future for the dry tropic of Mexico (review). *Cultivos Tropicales*. 36(especial), 67-76.
- Moo-Huchin, V.; González-Aguilar, G.; Moo-Huchin M.; Ortiz-Vázquez, E.; Cuevas-Glory, L.; Sauri-Duch, E. & Betancur-Ancona, D. (2017). Carotenoid composition and antioxidant activity of extracts from tropical fruits. *Journal of Science*. 44, 605-616.
- Morales de León, J.; Bourges, R.H.; Camacho, P. 2015. Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios. CIA. Periodística Esto S.A DE C.V. México. 666 pp.
- Muñoz-de-Chavez, M., Ledesma-Solano, J., Chávez-Villasana, A., (2002). Tablas de valor nutritivo de alimentos: los alimentos y sus nutrientes. *McGraw Hill Interamericana*, México. 203.
- Naczki, M. & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and análisis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 41, 1523 –1542.

Nicolalde, J., Viera, W., Carlos Caicedo, C. & Vargas, Y. (2019). Physical chemical evaluation of pitahaya fruit (*Selenicereus megalanthus*) in different development stages). *Enfoque UTE*. 10(1), 89-96. DOI: 10.29019/enfoqueute.v10n1.386.

Obregón-La Rosa, A.J., Augusto-Elías-Peñañiel, C. C., Contreras-López, E., Arias-Arroyo, G. C., & Bracamonte-Romero, M. (2021). Características fisicoquímicas, nutricionales y morfológicas de frutas nativas. *Revista De Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 17-25. DOI: 10.18271/ria.2021.202.

OCATI. (2020). *Pitaya amarilla*. Visto el 5 de mayo de 2021. Disponible en: <http://www.ocati.com/colombia/productos/pitahaya-amarilla/>.

Ochoa-Velasco, C. E.; García-Vidal, V.; Luna-Guevara, J.J.; Luna-Guevara, M.L.; Hernández-Carranza, P. & Guerrero-Beltrán, J.A. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp.). *Scientia Agropecuaria*. 3(2012); 279 – 289.

Okamoto, G. & Goto S. (2005). Juice constituents in *Actinidia arguta* fruits produced in Shinjo. *Okayama Scientific reports of the Faculty of Agriculture*. 94, 9-13.

Ortega-Hernández, A, León, A, Vargas y Rosas, R. (2018). *Producción de pitahaya para promover el desarrollo regional y sustentable*. En: Empresas, actores sociales e instituciones en la organización productiva del territorio y la innovación para el desarrollo local. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México.

Osorio-Granados, M. (2017). La pitahaya colombiana se abre paso en Asia. *El espectador*. <https://www.elespectador.com/economia/la-pitahaya-colombiana-se-abre-paso-en-asia-article-719815/>

Otavio-Minatel, I. Vanz-Borges, C., Ferreira, M.I., Gómez-Gómez, H.A., Chung-Yen Oliver-Chen, C.Y & Pereira-Lima, G.P. (2017). Phenolic Compounds: Functional Properties, Impact of Processing and Bioavailability, Phenolic Compounds - Biological Activity. DOI: 10.5772/66368.

Patiño-Rodríguez, V.M. (2000). *Historia y dispersión de los frutales nativos del neotrópico*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 665 pp.

Pedreschi, R. & Cisneros-Zevallos, L. (2007). Phenolic profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*. 100(3), 956-963.

Pedreschi, R., & L. Cisneros-Zevallos. (2007). Phenolic profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*. 100: 956- 963.

Perez, R.M., Vargas, S.R., & Ortiz, H.D. (2005). Wound healing properties of *Hylocereus undatus* on diabetic rats. *Phytotherapy Research*, 19, 665–668.

Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*. 11(3): 439 – 453 (2020).

Podsędek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 1-11.

Poolsup, N., Suksomboon, N. & Paw, N.J. (2017). Efecto de la fruta del dragón sobre el control glucémico en la prediabetes y la diabetes tipo 2: una revisión sistemática y un metanálisis. *Más uno*. 12(9), e0184577.spp:10.1371/journal.pone.0184577.

Portafolio (2019). Las tecnologías que podrán ‘salvar’ el agro colombiano. Disponible en: <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/las-tecnologias-que-podran-salvar-el-agrocolombiano-526281>.

Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A.. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1).

Quiroz-González, B., García-Mateos, R., Corrales-García, J.E. & Colinas-León, M.T. (2018). Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 20, 82-100.

Ramarathnam, N., Osawa, T., Ochi, H., & Kawakishi, S. (1995). The contribution of plant food antioxidants to human health. *Trends in Food Science & Technology*, 6(3), 75-82.

Ramulu, P. & Paruchuri. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber content of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*. 16(6):677-685. DOI: 10.1016/S0889-1575(03)00095-4.

Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207-216.

Rivas, E. (2014). *Desarrollo de un prototipo simulador del tracto gastrointestinal mediante reactores químicos automatizados*. Universidad de Málaga. 231 pp.

Rivera, G., Bocanegra-García, V., & Monge, A. (2010). Traditional plants as source of functional foods: a review. Plantas tradicionales como fuente de alimentos funcionales: una revisión. *CyTA–Journal of Food*, 8(2), 159-167.

- Robbins, J. R. (2003). Phenolic acids in food: An overview of analytical methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2866- 2887.
- Rodríguez-Roque, M., Rojas-Graü, M., Elez-Martínez, P. & Martín-Belloso, O. (2013). Changes in Vitamin C, Phenolic, and Carotenoid Profiles Throughout *in Vitro* Gastrointestinal Digestion of a Blended Fruit Juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(8), 1859- 1867.
- Rojas A., J.M., Peñuela M., A.E., Chaparro C., M.C., Gómez P., C.R., Aristizabal V., G.E., Chaparro, C.M. & López, J.A. (2004). *Caracterización de productos hortofrutícolas colombianos y establecimiento de las normas de calidad*.
- Royer, M., Diouf, P. N., & Stevanovic, T. (2011). Polyphenol contents and radical scavenging capacities of red maple (*Acer rubrum L.*) extracts. *Food and Chemical Toxicology*, 49(9), 2180-2188.
- Saura-Calixto, F., Serrano, J., & Goñi, I. (2007). Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry*, 101(2), 492-501.
- Segundo-Álvarez, N. & Bague-Serrano. (2011). *Los alimentos funcionales. Una oportunidad para una mejor salud*. Ed. AMV, 8, 210-216.
- Selvendran, R., & MacDougall, A. (1995). Cell-wall chemistry and architecture in relation to sources of dietary fibre. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49, 527-541.
- Slawomir, W.; Mizrahi, Y. 2002. Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus Cacti*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 6086-6089.
- Sotomayor, A., Pitizaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Carlos Caicedo, C. & Vargas, Y. (2019). Physical chemical evaluation of pitahaya fruit (*Selenicereus megalanthus*) in different development stages). *Enfoque UTE*. 10(1), 89-96. DOI: 10.29019/enfoqueute.v10n1.386.
- Staffolo, M., Nora, B., Mariluci, M., & Bevilacqua. (2004). Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*. 14, 263–268. DOI: 10.1016/j.idairyj.2003.08.004.
- Stinco, C., Fernández-Vázquez, R., Heredia, F., Meléndez-Martínez, A., & Vicario, I. (2013). Bioaccessibility, antioxidant activity and colour of carotenoids in ultrafrozen orange juices: Influence of thawing conditions. *LWT - Food Science And Technology*, 53(2), 458-463.

- Tanaka, T., Shnimizu, M. & Moriwaki, H. (2012). Cancer chemoprevention by carotenoids. *Molecules*. 17, 3202–3242. DOI: 10.3390/molecules17033202.
- Tapia, A.; Rodriguez, J. & Theoduloz, C. (2004). Free radical scavengers and antioxidants from *baccharis grisebachii*. *Journal of Ethno-pharmacology* .95, 155- 161.
- Tapsell, L. C., Hemphill, I., Cobiac, L., Patch, C. S., Sullivan, D. R., Fenech, M., Roodenrys, S., Keogh, J. B., Clifton, P. M., Williams, P. G., Fazio, V. A., & Inge, K. E. (2006). Health benefits of herbs and spices: The past, the present, the future. *The Medical Journal of Australia*, 185(4), 54-524.
- 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. DOI: 10.1016/j.scienta.2003.09.007.
- Tomás-Barberán, F. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación Nutrición y Salud*. 10(2): 41-53. <http://hdl.handle.net/10261/18042>.
- Torres-Grisales, Y.; Melo-Sabogal, D. V., Torres-Valenzuela, L. Serna-Jiménez, J.A. & Sanín-Villarreal, A. (2017). Evaluation of bioactive compounds with functional interest from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 70(3): 8311-8318. DOI: 10.15446/rfna.v70n3.66330.
- Van Campen, D., & Glahn, R. (1999). Micronutrient bioavailability techniques: Accuracy, problems and limitations. *Field Crops Research*. 60(1-2), 93-113.
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J. & Paucar-Menacho, L.M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*. 11(3): 439 – 453. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2020.03.16.
- Vilaplana, R.; Páez, D.; Valencia-Chamorro, S. 2017. Control of black rot caused by *Alternaria alternata* in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) through hot water dips. *LWT - Food Science and Technology*. 82, 162-169.
- Villalobos-Gutiérrez, M.G., Schweiggert, R.M., Carle, R & Esquivel, P. (2012). Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. *CyTA - Journal of Food*. 10(1), 78-83. DOI: 10.1080/19476337.2011.580063.
- Xu, X., Zhang, L., Shao, B., Sun, X., Ho, C.-T., & Li, S. (2013). Safety evaluation of meso-zeaxanthin. *Food Control*. 32(2), 678-686.

Yamaguchi, M., & Uchiyama, S. (2003). Effect of carotenoid on calcium content and alkaline phosphatase activity in rat femoral tissues *in vitro*: The unique anabolic effect of b-cryptoxanthin. *Biological and Pharmaceutical Bolletin*. 26, 1188-1191.

Walker R. P., Famiani F. (2018). Organic acids in fruits: metabolism, functions and contents. *Hortic. Rev.* 45, 371–430. DOI: 10.1002/9781119431077.ch8.

Zorrilla, A.; Eirez, M.; Izquierdo, M. 2004. Papel de los radicales libres sobre el ADN: carcinogénesis y terapia antioxidante. *Revista Cubana de Investigación Biomédica*. 23, 51-57.

Zuo, L.L., Wang, Z.Y., Fan, Z.L., Tian, S.Q., & Liu, J.R. (2012). Evaluation of antioxidant and antiproliferative properties of three Actinidia (*Actinidia kolomikta*, *Actinidia arguta*, *Actinidia chinensis*) extracts *in vitro*. *International Journal of Molecular Sciences*. 13(5), 5506-18. DOI: 10.3390/ijms13055506.