



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE LAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPUESTOS BIOACTIVOS
DE LA PULPA DE PITAYA AMARILLA EN POLVO.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Tormos I Lahuerta, Alexandre

Tutor/a: Moraga Ballesteros, Gemma

Cotutor/a: Larrea Santos, Virginia

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Autor: Alexandre Tormos i Lahuerta

Directora/s académica/s: Dra. Gemma Moraga Ballesteros, Dra. Virginia Larrea Santos

Localidad y fecha: Valencia, junio 2022

Título del TFG: Efecto de la humedad relativa sobre las propiedades físicas y compuestos bioactivos de la pulpa de pitaya amarilla en polvo

RESUMEN

La pitaya (*Stenocereus spp.*) es una fruta exótica obtenida del pitayo, un cactus que crece en regiones áridas y semiáridas de América. Su pulpa es rica en compuestos fenólicos con capacidad antioxidante, es aromática, jugosa y con pequeñas semillas en su interior, las cuales son ricas en proteínas y ácidos grasos esenciales. La pitaya se consume principalmente como fruta fresca. Su deshidratación y posterior molienda podría facilitar su exportación y dar lugar a un ingrediente de interés para la industria de alimentos por sus características organolépticas y nutricionales. Este procesado también permite aprovechar los excedentes de pitaya que se ocasionan en las épocas de alta producción. Por lo tanto, el objetivo general del presente trabajo es estudiar la estabilidad de pulpa de pitaya amarilla en polvo durante su almacenamiento a temperatura ambiente. Para ello, el polvo de pitaya se almacenó a temperatura ambiente durante 3 meses empleando diferentes condiciones de humedad relativa. Una vez transcurrido el tiempo, se estudiaron los cambios en el color, las propiedades mecánicas, el contenido en compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante. A su vez se caracterizaron la isoterma de sorción de agua y los cambios en la temperatura de transición vítrea con el objetivo de determinar los puntos críticos que aseguran la estabilidad del polvo de pitaya durante su almacenamiento.

Palabras clave: *Stenocereus spp.*, ingredientes alimentarios, compuestos fenólicos, estabilidad, fruta exótica.

Títol del TFG: Efecte de la humitat relativa sobre las propietats físiques y compostos bioactius de la polpa de pitaya groga en pols.

RESUM

La pitaya (*Stenocereus spp.*) és una fruita exòtica obtinguda del pitayo, un cactus que creix en regions àrides y semiàrides d'Amèrica. La seua polpa és rica en compostos fenòlics amb capacitat antioxidant, és aromàtica, sucosa y amb xicotetes llavors al seu interior, les quals son riques en proteïnes y àcides grassos essencials. La pitaya es consumix com fruita fresca. La seua deshidratació y posterior molta podria facilitar la seua exportació y donar lloc a un ingredient d'interés per a la indústria d'aliments per les seues característiques organolèptiques y nutricionals. Este processat també permet aprofitar els excedents de pitaya que s'ocasionen en les èpoques d'alta producció. Per tant, l'objectiu general del present treball és estudiar l'estabilitat de la polpa de la pitaya groga en pols durant el seu emmagatzematge a temperatura ambient. Per a això, la pols de pitaya s'emmagatzemà a temperatura ambient durant 3 mesos emprant diferents condicions d'humitat relativa. Una volta transcorregut el temps, s'estudiaren els canvis de color, les propietats mecàniques, el contingut en compostos fenòlics y la seua capacitat antioxidant. Al seu torn es caracteritzà la isoterma de sorció d'aigua y els canvis en la temperatura de transició vítria amb l'objectiu de determinar els punts crítics que assegurin l'estabilitat de la pols de pitaya durant el seu emmagatzematge.

Paraules claus: *Stenocereus spp.*, ingredients alimentaris, compostos fenòlics, estabilitat, fruita exòtica.

Title of the TFG: Effect of relative humidity on the physical properties and bioactive compounds of yellow pitaya powder pulp.

ABSTRACT

The pitaya (*Stenocereus spp.*) is an exotic fruit obtained from the pitayo, a cactus that grows in arid and semiarid regions of America. Its pulp is rich in phenolic compounds and antioxidant capacity, it is aromatic, juicy and with small seeds inside, which are rich in proteins and essential fatty acids. Pitaya is mainly consumed as a fresh fruit. Its dehydration and subsequent grinding could facilitate its export and give rise to an ingredient of interest to the food industry due to its organoleptic and nutritional characteristics. This processing also allows to take advantage of the pitaya surpluses that are caused in times of high production. Therefore, the general objective of this work is to study the stability of powdered yellow pitaya pulp during storage at room temperature. To do this, the pitaya powder was stored at room temperature for 3 months using different relative humidity conditions. Once time has elapsed, changes in colour, mechanical properties, content of phenolic compounds and their antioxidant capacity were studied. At the same time, the water sorption isotherm and the changes in the glass transition temperature were characterized in order to determine the critical points that ensure the stability of pitaya powder during storage.

Key words: *Stenocereus spp.*, food ingredients, phenolic compounds, stability, exotic fruit.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi familia por su apoyo constante durante los años de la carrera y especialmente en este último año.

A todo el grupo de MIQUALI y los compañeros de laboratorio, en especial a Claudia y Adrián por ayudarme en todo el proceso.

Gracias a Gemma Moraga y Virginia Larrea por darme esta oportunidad, enseñarme y guiarme en todo momento y por el tiempo invertido, siempre las tendré como referentes en el mundo científico y de la investigación.

Finalmente, agradezco al grupo de amigos de clase que me llevo tras estos 4 años.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Fruto, historia y producción	1
1.2. Compuestos bioactivos	2
1.2.1. Capacidad antioxidante	3
1.2.2. Compuestos fenólicos	3
1.2.3. Betalaínas	4
1.3. Aprovechamiento de excedentes	4
1.3.1. Liofilización	4
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
2.3. Plan de trabajo	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1. Materia prima	6
3.2. Preparación y acondicionamiento de muestra	6
3.3. Determinaciones analíticas	7
3.3.1. Sólidos solubles	7
3.3.2. Humedad	7
3.3.3. Isotherma de sorción	8
3.3.4. Temperatura de transición vítrea	8
3.3.5. Textura	9
3.3.6. Color	9
3.3.7. Contenido en compuestos fenólicos y capacidad antioxidante	10
3.3.7.1. Preparación de extractos para la determinación del contenido en compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante	10
3.3.7.2. Capacidad antioxidante	10
3.3.7.2.1. FRAP	10
3.3.7.2.2. DPPH	11
3.3.7.3. Fenoles solubles	11
3.4. Análisis estadístico	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1. Pitaya fresca	11
4.2. Isotherma de sorción	12
4.3. Temperatura transición vítrea	15
4.4. Textura	16

4.5.	Color de la pulpa en polvo.....	18
4.6.	Contenido en bioactivos y capacidad antioxidante.....	19
4.6.1.	Capacidad antioxidante.....	19
4.6.2.	Fenoles solubles.....	21
5.	CONCLUSIONES.....	22
6.	BIBLIOGRAFÍA	23

Índice de figuras

Figura 1. Pitaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>).....	1
Figura 2. Datos de sorción obtenidos en la pitaya liofilizada a 20 °C. Isotherma predicha por el modelo GAB	13
Figura 3. Relación temperatura de transición vítrea (T_g) - actividad del agua (a_w) - humedad (x_w) de la pulpa en polvo. Datos experimentales y curvas predichas por el modelo de Gordon y Taylor y el modelo de GAB.....	16
Figura 4. Valores promedio de la fuerza máxima (N) obtenida en las muestras de pitaya en función de la a_w . Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p<0,05$).....	17
Figura 5. Valores promedio del área bajo la curva (N·mm) obtenida en la muestras de pitaya en función de la a_w . Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p<0,05$).....	18
Figura 6. Diferencias de color (ΔE^*) calculadas a las diferentes actividades del agua respecto de la pulpa en polvo control (azul) y de la muestra 0,1 (naranja).	19
Figura 7. Valores promedio de la capacidad antioxidante medida mediante el método FRAP de la pulpa en polvo a diferentes a_w . Datos expresados como $\mu\text{mol trolox por g sólidos secos}$. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p<0,05$).....	20
Figura 8. Valores promedio de la capacidad antioxidante medida mediante el método DPPH de la pulpa en polvos diferentes a_w . Datos expresados como $\mu\text{mol trolox por g sólidos secos}$. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p<0,05$).....	21
Figura 9. Valores promedio del contenido en fenoles solubles de la pulpa en polvo a diferentes a_w . Datos expresados como equivalentes de mg de ácido gálico por g sólido seco. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p<0,05$).....	22

Índice de tablas

Tabla 1.	Lista de sales empleadas, valor de la HR (%) que generan las respectivas disoluciones saturadas a 20 °C (Greenspan, 1977) y código de las muestras equilibradas	7
Tabla 2.	Coordenada L*, tono (h_{ab}^*), y croma (C_{ab}^*) de la piel y pulpa de la pitaya fresca..	12
Tabla 3.	Valores de los parámetros de los modelos de sorción y R^2	13
Tabla 4.	Valores de los parámetros del modelo de Gordon y Taylor y R^2	15
Tabla 5.	Coordenada L*, tono (h_{ab}^*) y croma (C_{ab}^*) de la pulpa en polvo equilibrada a las diferentes humedades relativas en función de la actividad del agua y sin equilibrar (control). Letras diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas ($p < 0,05$)	18

ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS

a_w : actividad del agua

C: constante relacionada con el calor de sorción de la monocapa

C_{ab}^* : croma, saturación o pureza de color

CWA: valor crítico de actividad del agua

CWC: valor crítico del contenido en humedad (g agua/g producto)

DCS: calorimetría diferencial de barrido

h_{ab}^* : tono

HR: humedad relativa (%)

K: constante relacionada con el calor de sorción de la multicapa

L^* : luminosidad

Δm : incremento de peso tras los 3 meses

m_i : masa inicial (g)

r: constante característica del material

T_g : temperatura de transición vítrea ($^{\circ}C$)

w_e : humedad en el equilibrio (g agua/ g sólidos secos)

w_o : humedad en la monocapa (g agua/ g sólidos secos)

x_w : fracción másica de agua (g agua/ g producto)

x_{we} : fracción másica de agua en el equilibrio (g agua/ g producto)

x_{wi} : fracción másica de agua inicia (g agua/ g producto)

ΔE^* : diferencia de color

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Fruto, historia y producción

La pitaya o pitahaya es una planta trepadora perenne originaria de Centro y Sud-América. Perteneció a la familia *Cactaceae* y produce un fruto conocido comúnmente como “fruta del dragón” o pitaya/pitahaya, al igual que la planta. En este estudio se trabajó con la pitaya amarilla, perteneciente al género *Selenicereus megalanthus* (Figura 1). Esta especie es originaria de Colombia y se caracteriza por su color amarillo por fuera y blanco por dentro.



Figura 1. Pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

La pitaya amarilla es una baya indehisciente, que adquiere su color característico cuando alcanza la madurez. El fruto cuenta con unas dimensiones alrededor de 8 a 15 cm de largo y 6 a 10 cm de ancho. La cáscara está cubierta de escamas acabadas en punta distribuidas en forma helicoidal alrededor de la cáscara llamadas mamilas; en el extremo tiene una bráctea y en la base nacen espinas cuyo número varía entre 4 y 8 por sitio, siendo de color morado en sus primeros estadios de maduración y marrón al final (Medina *et al.*, 2013). Respecto a la pulpa, es de color blanco y tonalidades amarillas, con abundantes semillas de color negro. La textura de la pulpa es viscosa y acuosa, de sabor suave y dulce (Santacruz Vázquez *et. al*, 2009). En cuanto a su composición, es fuente de color gracias a su alto contenido en betacianinas, además de destacar por su contenido en antioxidantes en las semillas, vitamina C, fibra y minerales, que están relacionados con beneficios en trastornos de la obesidad y su alto contenido en compuestos fenólicos que está relacionado con la prevención de ciertos tipos de cáncer como el de colon (Verona Ruiz *et al.*, 2020; Tze *et al.*, 2012).

La pitaya ya la consumían las civilizaciones precolombinas, según varios textos aztecas datados de alrededor del s.XIII (OCATI,2022). Por otra parte, las primeras referencias en textos europeos aparecieron en el libro “Historia General y Natural de las Indias”, del autor Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés escrito en 1535.

En lo que respecta a la producción de este fruto, al ser una planta xerófila, sus necesidades de agua son menores respecto a otros cultivos. Esta capacidad le permite crecer en climas áridos y secos del sur de Arizona hasta Colombia y Venezuela. Por otra parte, la producción es de carácter estacional. Esta estacionalidad consta de 2 cosechas principales repartidas la primera de febrero

a marzo, y la segunda de julio a agosto. Esta diferencia de meses crea unas épocas de oferta excesiva y otras donde la oferta es prácticamente nula (Giménez Solano, 2021).

El consumo de pitaya dentro de la UE ha ganado popularidad en estos años recientes por su aspecto exótico, su fisionomía extravagante y sus colores llamativos en piel y pulpa son lo primero que capta la atención del posible consumidor. Esto se ha unido a 2 tendencias crecientes: la curiosidad de los consumidores y la variedad dentro de los supermercados. Cierta parte de los consumidores de hoy en día se han cansado de comer siempre los mismos productos monótonos y se han aventurado a probar productos nuevos y exóticos que antes no se encontraban en el mercado, todo esto gracias a la globalización. Por la parte de los supermercados, cada vez apuestan por una mayor gama de productos, siendo los alimentos tropicales o exóticos el nicho de mercado perfecto para cumplir con esta estrategia competitiva.

1.2. Compuestos bioactivos

En años recientes, se ha enfatizado la importancia que tiene el consumo de alimentos funcionales en la salud, ya que estudios epidemiológicos han demostrado que existe una buena relación entre la dieta de las personas y la baja incidencia de enfermedades como la diabetes, hipertensión arterial, aterosclerosis o diferentes tipos de cánceres. Durante el siglo pasado hubo grandes avances en el conocimiento sobre alimentación/nutrición y salud/enfermedad gracias a la gran cantidad de estudios sobre la composición de los alimentos, estudios epidemiológicos, modelos analíticos, experimentales y estadísticos y estudios de laboratorio que se realizaron. Estos estudios contribuyeron a la identificación de un grupo de componentes presentes en alimentos, componentes de la dieta, como factores potencialmente implicados en la prevención de procesos patológicos. Este fue el inicio de estudios de intervención de compuestos bioactivos aislados con objetivo de probar su eficacia. Se denomina compuesto bioactivo de un alimento, a aquel que aporta un beneficio más allá de los considerados como nutrición básica (Herrera Chalé *et al.*, 2014). Hoy en día, la eficacia de los compuestos bioactivos, su eficacia y la relación con la prevención de enfermedades cardiovasculares, renales, cánceres hormonales y obesidad ha sido descrita por numerosos estudios (Abugri *et al.*, 2013; Herrera Chalé *et al.*, 2014; Verona-Ruiz *et al.*, 2020)

En el caso de la pitaya amarilla, es una gran fuente de compuestos bioactivos, lo que la vuelve un producto muy atractivo al público y objeto de estudios recientes. Destaca especialmente por su contenido en betalaínas (betaxantinas), compuestos fenólicos, carotenoides como el β -caroteno y el licopeno, fibra, minerales y vitaminas (García-Cruz *et al.*, 2013; Moo-Huchin *et al.*, 2017; Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Esta composición no es uniforme en toda la pitaya, encontramos más cantidad en la piel que en pulpa y semillas, siendo estas últimas donde menos cantidad se encontró (Garzón Serrano *et al.*, 2021).

1.2.1. Capacidad antioxidante

El estrés oxidativo se define como un estado desbalanceado entre los radicales libres y la degradación insuficiente de estos compuestos por parte del sistema antioxidante propio (Daenen *et al.*, 2019). Estos radicales libres son generados en el metabolismo aerobio y están implicados en una serie de procesos reguladores como la proliferación de las células, apoptosis y expresión genética. Cuando son generados en exceso, los radicales libres pueden contrarrestar la capacidad del sistema antioxidante, deteriorando las biomoléculas esenciales en la célula al oxidar los lípidos de la membrana, proteínas celulares, carbohidratos, ADN y enzimas (Pisoschi *et al.*, 2016). El desbalance producido por los radicales ha sido objeto de muchos estudios, donde se han descrito los efectos perniciosos del estrés oxidativo tales como envejecimiento, alteración del sistema inmune, cataratas, Alzheimer, Parkinson, problemas cardiovasculares, cáncer, artritis reumática, arterosclerosis y algunos tipos de diabetes y anemias, entre otras (Coronado *et al.*, 2015; Tapia *et al.*, 2004).

Los graves perjuicios derivados del estrés oxidativo han llevado a la búsqueda de antioxidantes dietéticos, como forma de prevención. Un antioxidante dietético es aquella sustancia que forma parte de un alimento ingerido habitualmente y que además previene los efectos adversos de especies reactivas (Coronado *et al.*, 2015).

Los compuestos antioxidantes o antioxidantes dietéticos que se encuentran en los alimentos son la vitamina C, la vitamina E, los carotenoides y los compuestos fenólicos, entre otros (Podsędek, 2007). En lo que respecta a la pitaya, su capacidad antioxidante viene dada por la gran cantidad de compuestos fenólicos y betacianinas (betalaínas). Estos compuestos protegen al consumidor del daño oxidativo, llegando incluso a prevenir los posibles efectos adversos que pueda producir el estrés oxidativo (Ferrerres *et al.*, 2017).

1.2.2. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son un grupo de sustancias químicas antioxidantes de entre los cuales se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos o lignina (Huang *et al.*, 2021). Todos estos son metabolitos secundarios de las plantas cuya estructura presenta al menos un grupo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo. Son sustancias biológicamente activas con propiedades antialérgicas, antiinflamatorias, antiaterogénicas, antimicrobiales, antioxidantes, antitrombóticas, cardioprotectores y con efectos vasodilatadores (Hernández-Carrión, 2014). Por otra parte, varios estudios han determinado la capacidad de aumentar el crecimiento de la microbiota intestinal impidiendo así la proliferación de microorganismos patógenos como la *Escherichia coli* (Huang *et al.*, 2021). Todos estos beneficios convierten a los compuestos fenólicos en un imprescindible en la dieta (Tapsell *et al.*, 2006).

Los compuestos fenólicos presentes en la pitaya son 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 (García-Cruz *et al.*, 2013; Cervantes-Arista *et al.* 2020).

1.2.3. Betalaínas

Las betalaínas son un grupo de pigmentos solubles en agua derivados del ácido betalámico. Dentro de este grupo encontramos las betacianinas, pigmentos de color rojo/violeta, y las betaxantinas, de color amarillo/naranja.

Las betalaínas son un compuesto abundante en la pitaya y responsable del color característico de sus variedades. Estas se encuentran presentes en piel y pulpa, siendo su concentración mayor en la primera que en la segunda. En el caso de la pitaya amarilla o *Selenicereus megalanthus* destaca su contenido en betaxantinas, responsables de su color amarillo. Por otra parte, las especies de la pitaya roja como la *Hylocereus polyrhizus*, destacan por su contenido en betacianina, siendo la principal la hilocerenina, la cual la dota de su color rojo/violeta característico y tan atractivo. Aunque también se puede encontrar otras como la betanina, isobetanina, filocactina y algunas betaxantinas como la indicaxantina, portulacaxantina II, isoleucine-bx, entre otras (Delgado, 2015).

1.3. Aprovechamiento de excedentes

Como se ha comentado anteriormente, la producción de la pitaya es estacional, teniendo periodos de sobre producción y otros donde la producción es casi nula. Para solucionar esta problemática, aunque la pitaya se consume principalmente fresca, procesarla industrialmente permite aumentar la vida útil del fruto, dando salida a los excedentes de producción en las temporadas altas y extendiendo el abasto a los meses de baja producción. Por otra parte, la industrialización de la pitaya también dota de un valor agregado al producto y además aumenta la variedad de productos, diversificando el mercado (Corrales García, 2002). Hoy en día, podemos encontrar productos variados elaborados a base de pitaya como el agua de pitaya (Drink6, 2022), mermelada, licor, jugos y polvos solubles, jarabe y colorantes (Corrales García, 2002).

1.3.1. Liofilización

Una de las formas del aprovechamiento de los excedentes de la pitaya es la obtención de productos derivados, mediante la liofilización. Este nuevo formato ofrece al consumidor nuevas posibilidades de consumir la pitaya en forma de diferentes productos; productos de alta vida útil, con alta calidad nutritiva y funcional. Durante estos últimos años, el consumo de fruta ha disminuido, a pesar de estar informados sobre los beneficios del consumo de fruta en la salud. Esto es debido a que presenta un gran número de inconvenientes al consumidor, principalmente porque las piezas se deterioran rápidamente y no son fáciles de preparar. En este sentido, se ha despertado un interés en ofrecer al consumidor nuevos productos que estimulen este consumo

y que se adapten a sus necesidades de calidad y seguridad (Moraga *et al.*, 2011). La liofilización es un proceso de deshidratación que se basa en la reducción del contenido de agua del alimento mediante congelación y sublimación de aquella (Real Decreto 1353/1983). Para llevarla a cabo se introduce el alimento, una vez congelado, en una cámara de vacío para separar el agua en estado sólido en forma de gas, sin pasar por estado líquido. Eliminar el agua del alimento retarda o inhibe los procesos de reacción bioquímicos del producto, aumentando así su estabilidad. Este método es de especial interés por sus ventajas tales como la conservación de la mayoría de las propiedades iniciales de la materia prima (forma, apariencia, sabor, color, sabor, textura, actividad biológica, entre otras) y la alta capacidad de rehidratación del producto liofilizado (Mosquera *et al.*, 2011).

Los alimentos liofilizados se caracterizan por ser secos, porosos y generalmente retener la forma, aunque también es habitual encontrarlos en forma de polvos. La combinación de alimento seco y poroso implica una rápida humectación, provocando el cambio de estado vítreo a gomoso. Herramientas como las isoterms de sorción y la relación $T_g-a_w-x_w$ permiten analizar la interacción del agua con el sustrato, prediciendo el comportamiento durante el almacenaje y hallando las condiciones óptimas del mismo (Moraga *et al.*, 2011).

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

2.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es analizar los cambios producidos en las propiedades físicas y el contenido en compuestos bioactivos de la pulpa de pitaya amarilla liofilizada en polvo tras ser almacenada en ambientes con diferente humedad relativa.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar las relaciones humedad-actividad del agua-temperatura de transición vítrea.
- Determinar la humedad y actividad del agua críticos que garantizan el estado vítreo a temperatura ambiente.
- Evaluar el cambio en las propiedades mecánicas y ópticas, como consecuencia de la adsorción de agua y el paso del tiempo.
- Evaluar el cambio en los compuestos fenólicos y en la capacidad antioxidante, como consecuencia de la adsorción de agua y el paso del tiempo.

2.3. Plan de trabajo

Para alcanzar el objetivo de este estudio se propone el siguiente plan de trabajo:

1. Obtener pitaya amarilla liofilizada en polvo.

2. Preparar cámaras con distintas humedades relativas conocidas y controladas, para la obtención de muestras con distintos niveles de humedad.
3. Construir y modelizar la isoterma de sorción.
4. Obtener la temperatura de transición vítrea de las muestras y modelizarla en función de la humedad.
5. Obtener, a 20 °C, los valores críticos de humedad y actividad del agua para la transición vítrea.
6. Analizar las propiedades mecánicas (textura) de las muestras acondicionadas a las diferentes humedades relativas.
7. Analizar el color (coordenadas CIEL*a*b*) de las muestras acondicionadas a diferentes humedades relativas.
8. Determinar el contenido en compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las muestras equilibradas a distintas humedades relativas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materia prima

La pitaya que se utilizó para este estudio fue de la variedad *Selenicereus megalanthus* o pitaya amarilla. Esta materia prima se adquirió en el mercado central de Valencia, procedente de Colombia. En total se utilizaron 25 piezas de fruta.

3.2. Preparación y acondicionamiento de muestra

Para la preparación de las muestras, la pitaya se peló, obteniendo la pulpa con semillas. Ésta fue cortada en rodajas, las cuales se envasaron a vacío y finalmente, se congelaron para su posterior liofilización (Telstar Lioalfa-6 Lyophiliser) a una temperatura de -40 °C y una presión de 10^{-2} Pa durante 48 horas. Con el objetivo de estudiar su evolución en función del nivel de humectación, parte de la muestra fue introducida en cámaras herméticas, a 20 °C, que contenían disoluciones sobresaturadas de diferentes sales (LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg (NO₃)₂, NaNO₂, NaCl, KCl), generándose ambientes con humedades relativas en un rango del 11% al 85% (Tabla 1). El peso de las muestras fue controlado semanalmente hasta alcanzar peso constante ($\Delta m < \pm 0,005$ g), donde se asumió que habían alcanzado el equilibrio termodinámico con el ambiente, siendo su actividad del agua (a_w) igual a la humedad relativa (HR)/100. Tras 3 meses fueron analizadas. El resto de la muestra fue empleado para la caracterización como muestra control.

Tabla 1. Lista de sales empleadas, valor de la HR (%) que generan las respectivas disoluciones saturadas a 20 °C (Greenspan, 1977) y código de las muestras equilibradas

Sal	HR (%)	Código muestra
LiCl	11,3	0,1
CH ₃ COOK	23,0	0,2
MgCl ₂	33,0	0,3
K ₂ CO ₃	43,0	0,4
Mg(NO ₃) ₂	52,0	0,5
NaNO ₂	68,0	0,6
NaCl	75,5	0,7
KCl	85,0	0,8

3.3. Determinaciones analíticas

3.3.1. Sólidos solubles

La cantidad de sólidos solubles (°Brix) se midió en la pulpa de pitaya fresca empleando un refractómetro RFM330+ (Bellingham and Stanley Ltd, UK) termostatado a 20 °C.

3.3.2. Humedad

La humedad se determinó en la muestra de cada una de las cámaras equilibradas a distinta humedad relativa, así como en la muestra control. La humedad de la muestra control se obtuvo mediante el método oficial de la A.O.A.C. (2000) para alimentos ricos en azúcares. Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de la muestra mediante desecación de ésta en una estufa a vacío (Vacioterm, J.P. Selecta) a una temperatura de 60 °C, hasta alcanzar un peso constante. Para controlar el peso se utilizó una balanza analítica AE 100 (Mettler Toledo) de precisión 0,01 mg.

La humedad en las muestras equilibradas a diferentes humedades relativas se obtuvo a partir de la humedad inicial de la muestra control y la diferencia de peso hasta alcanzar el equilibrio en cada una de las cámaras (Ecuación 1).

$$w_e = \frac{m_i \cdot x_{wi} + \Delta m}{m_i \cdot (1 - x_{wi})} \quad (1)$$

Donde: w_e : humedad en el equilibrio (g agua/ g sólidos secos); m_i : masa inicial (g); x_{wi} : fracción másica de agua inicial (g agua/ g producto); Δm : incremento de peso hasta alcanzar el equilibrio termodinámico con el entorno.

3.3.3. Isotherma de sorción

Para la construcción de la isoterma de sorción, se utilizaron las humedades en el equilibrio (w_e : g agua/ g sólidos secos) y las correspondientes a_w . Los datos de sorción fueron ajustados al modelo de BET (Brunauer et al., 1938) (Ecuación 2), GAB (Guggenheim, Anderson and de Boer) (Van den Berg & Bruin, 1981) (Ecuación 3), Henderson (Henderson., 1952) (Ecuación 4) y Caurie (Caurie, 1970) (Ecuación 5).

$$W_e = \frac{w_o \cdot C \cdot a_w}{(1-a_w) \cdot (1+(C-1) \cdot a_w)} \quad (2)$$

Donde: C: constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción; w_o : humedad de la capa monomolecular (g agua/ g sólidos secos).

$$W_e = \frac{w_o \cdot C \cdot a_w}{(1-K \cdot a_w) \cdot (1+(C-1) \cdot K \cdot a_w)} \quad (3)$$

Donde: C: constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción; w_o : humedad de la capa monomolecular; K: constante relacionada con el calor de sorción de la multicapa.

$$w_e = 0,01 \cdot \left(\frac{-\log(1-a_w)}{10^f} \right)^{1/n} \quad (4)$$

Donde: n y f: parámetros característicos del alimento.

$$w_e = \exp \cdot \left(a_w \cdot \ln(r) - \frac{1}{4,5 \cdot w_s} \right) \quad (5)$$

Donde: r: constante característica del material; w_s : Contenido en humedad de seguridad que proporciona la máxima estabilidad al alimento deshidratado durante el almacenamiento (Kg agua/Kg sólido seco).

3.3.4. Temperatura de transición vítrea

La temperatura de transición vítrea, considerada en el punto medio, se analizó en las muestras equilibradas a las distintas humedades relativas mediante calorimetría diferencial de barrido (DCS), utilizando nitrógeno comprimido como refrigerante y el equipo TA DSC25. Se pesaron aproximadamente 10 mg de muestra en crisoles de aluminio de 40 μ L cerrados herméticamente para DCS (P/N SSC000C008, Seiko Instruments Inc., Tokyo, Japón), en balanza analítica AE 100 (Mettler Toledo) de precisión 0,01 mg. Se colocó en el horno del calorímetro un crisol con muestra previamente sellado y un crisol vacío actuando como material de referencia. La velocidad de calentamiento fue de 10 $^{\circ}$ C/min y un rango de temperaturas de 80 $^{\circ}$ C, variando de acuerdo con el contenido de humedad de la muestra. Para el ajuste de los datos de la temperatura de transición vítrea en función del contenido en humedad de las muestras, se utilizó el modelo de Gordon y Taylor (Ecuación 6) (Gordon y Taylor ,1952).

$$Tg = \frac{(1-x_w)Tg(s) + kx_w Tg(w)}{(1-x_w) + kx_w} \quad (6)$$

Donde: x_w : fracción másica de agua (g agua/g producto); T_g : temperatura de transición vítrea ($^{\circ}\text{C}$); $T_g(w)$: temperatura de transición vítrea del agua pura en estado amorfo (-135°C); $T_g(s)$: temperatura de transición vítrea de los sólidos anhídridos ($^{\circ}\text{C}$) y k : constante del modelo.

3.3.5. Textura

La textura se evaluó mediante un texturómetro TA-XT Plus Texture Analyzer (Stable Micro System, Ltd., Reino Unido) aplicando un método de compresión. Para ello, la muestra fue introducida en recipientes de 38 mm de diámetro y 10 mm de altura. Se empleó una sonda cilíndrica (P/10) de 10 mm de diámetro de delrin con una velocidad de ensayo de 1 mm/s, hasta alcanzar una distancia de 5 mm tras registrar una fuerza de 0,049N (fuerza de activación). Se realizaron 6 repeticiones por cada muestra y a partir de las curvas fuerza vs. distancia, se obtuvieron los siguientes parámetros: el pico positivo de fuerza (N) y el área bajo la curva (N·mm).

3.3.6. Color

El color fue evaluado en la piel y pulpa de la pitaya fresca, así como en la pulpa liofilizada en polvo control y en las muestras equilibradas a distinta humedad relativa.

En la pitaya fresca, las medidas en piel se obtuvieron de las partes más planas, mientras que para medir el color en la pulpa primero se cortó por la mitad y se seleccionaron zonas sin pepitas.

En el caso de la pulpa liofilizada en polvo control y las muestras equilibradas, ésta fue previamente introducida en los mismos recipientes descritos en el apartado 3.3.5. En todos los casos, para la realización de la medida, se empleó un vidrio óptico.

El equipo empleado fue un espectro-colorímetro Chroma Meter CR-400s. Se utilizó como referencia el iluminante D65 y el observador 10° . De este modo, se obtuvieron las coordenadas de color en el espacio CIEL*a*b*. En este espacio la coordenada L^* representa la luminosidad en una escala del 0 al 100 desde el negro hasta el blanco ; a^* (+) rojo o (-) verde y b^* (+) amarillo o (-) azul (McGuire, 1992). Con las coordenadas obtenidas se calculó el tono (h_{ab}^*) y el croma (C_{ab}^*) de las muestras empleando las ecuaciones 7 y 8, respectivamente. Para calcular la

diferencia de color (ΔE^*) se utilizó como referencia la pulpa liofilizada en polvo control y la muestra con menor a_w , empleando la ecuación 9. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

$$h_{ab}^* = \arctang \frac{b^*}{a^*} \quad (7)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (8)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (9)$$

3.3.7. Contenido en compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

3.3.7.1. Preparación de extractos para la determinación del contenido en compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante

Los extractos se prepararon homogeneizando 200 mg de pitaya amarilla liofilizada en polvo con 1mL de etanol 96% en tubos Eppendorfs con ayuda de un vórtex. El homogeneizado obtenido se centrifugó a 10.000 rpm durante 30 minutos a 4 °C. Se recogieron 0,9mL del sobrenadante y se reservaron en aforados de 10mL protegidos de la luz. Se repitió la operación de homogeneización y centrifugado con el precipitado obtenido, añadiendo esta vez 0,9mL de etanol 96%. El nuevo sobrenadante se mezcló con el previamente reservado y se repitió la misma operación de homogeneización y centrifugado con el precipitado obtenido en este caso. Finalmente se aforó el total del sobrenadante recogido con etanol 96%. Los extractos se guardaron en congelación a -18 °C. De cada muestra se realizaron 2 extractos.

3.3.7.2. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó mediante el método de FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica) y el método DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo).

3.3.7.2.1. FRAP

El protocolo que se siguió de FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica) fue el descrito por Benzie *et al.*, (1996) y Pulido *et al.*, (2000). En cubetas de 1,5mL se añadieron 30 μ L de agua destilada, 30 μ L de muestra (extracto obtenido en el apartado 3.3.7.1) y 900 μ L de reactivo FRAP. Por último, se incubaron las cubetas durante 30 minutos 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 μ moles de Trolox por g en base seca. Cada extracto se analizó por duplicado, obteniéndose cuatro medidas por muestra.

3.3.7.2.2. DPPH

El método utilizado para DPPH fue el descrito por Raba *et al.*, (2015); Chiari *et al.*, (2014); Kalantzakis *et al.*, (2006) y Shah *et al.*, (2016). En tubos de ensayo se añadieron 1mL de muestra (extracto obtenido en el apartado 3.3.7.1) y 4mL de reactivo DPPH (40 µg/mL) y se agito en vórtex. A continuación, se guardó en oscuridad durante 30 min y finalmente se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en cubetas de plástico de 4,5mL. La curva de calibrado se realizó utilizando diferentes concentraciones de Trolox en etanol al 96%. Los resultados se expresaron como µmoles de Trolox por g en base seca. Cada extracto se analizó por duplicado, obteniéndose cuatro medidas por muestra.

3.3.7.3. Fenoles solubles

Para el análisis de los fenoles solubles totales se partió de 1 mL de muestra (extracto obtenido en el apartado 3.3.7.1). A esta se le realizó una dilución 1:7 en agua bidestilada y se añadió 0.5 mL de reactivo Folin Ciocalteu y se agitó brevemente en vórtex. Transcurridos 3 minutos se añadió 1 mL de Na₂CO₃ saturado (20%). Finalmente, se adicionó 1.5 mL de agua bidestilada y se dejó reposar en oscuridad 90 minutos. 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 g en base seca. Cada extracto se analizó por duplicado, obteniéndose cuatro medidas por muestra.

3.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente con el programa Statgraphics Centurion (versión Centurion XVI.I, StatPoint Technologies, Inc.). En este programa, se realizó un análisis de la varianza o ANOVA Simple con el objetivo de observar si existía diferencia significativa entre las medidas, con un nivel de confianza del 95% (p-valor<0,05).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Pitaya fresca

El contenido medio de sólidos solubles en la pulpa de la pitaya fue de 18,2±1,7 °Brix. Este valor fue superior al reportado en otros estudios de la misma variedad (Garzón Serrano *et al.*, 2021), probablemente asociado a un avanzado estado de maduración del fruto. Para esta variedad de pitaya cultivada en Colombia, el contenido medio de sólidos solubles se encuentra en un rango de 10,23-18,84 °Brix (Cañar *et al.*, 2014). Los sólidos solubles están influenciados por las condiciones agronómicas y climáticas, además de depender del estado de maduración del fruto.

En la tabla 2 se representan los valores medios con sus respectivas desviaciones estándar de la coordenada L*, tono (h_{ab}*) y croma (C_{ab}*) obtenido en las medidas de la piel y la pulpa de la pitaya fresca.

Tabla 2. Coordenada L*, tono (h_{ab}*), y croma (C_{ab}*) de la piel y pulpa de la pitaya fresca

Coordenada	Piel	Pulpa
L*	63±3	45±6
h _{ab} *	85,5±1,5	91±3
C _{ab} *	54,6±1,3	3,5±1,2

La coordenada L* indicó una mayor luminosidad en la piel que en la pulpa. Respecto al tono de la pulpa se obtuvieron valores en el primer cuadrante y otras en el segundo cuadrante. Esto indica un tono amarillo/naranja en la pulpa, inapreciable al ojo debido su baja pureza de color o croma (C_{ab}*). Por otra parte, el croma (C_{ab}*) fue superior en la piel que en la pulpa. Esto indica un color más puro en la piel que en la pulpa, lo cual se observa comparando las tonalidades, aun al ser las dos amarillas/naranjas, a simple vista la pulpa resulta blanca y la piel se observa claramente de color amarillo.

El rendimiento de liofilización de las piezas fue de 23±2 g pulpa liofilizada/ 100g pulpa fresca. El rendimiento obtenido fue superior al reportado por otros estudios sobre la misma variedad, siendo del 12,7% en estudios realizados Avila Quispe *et al.*, (2013). Respecto al rendimiento comparado con el de otras frutas, este fue inferior al reportado por estudios en mango (Sucro-Laos *et al.*, 2017) o papaya (Auquiñivin *et al.*, 2020), siendo de un 66% en mango y 54,45% en la variedad de papaya “papayita de monte” y 67% en “babaco”. Esta diferencia puede ser por tener la pitaya un menor contenido en azúcares o fibra que el mango (22 °Brix) y la papaya (5,6 °Brix).

4.2. Isoterma de sorción

La isoterma de sorción de agua relaciona, a una temperatura constante, el contenido en humedad (g agua/ g sólidos secos) de equilibrio con la actividad termodinámica del agua en un intervalo de humedades o actividades de agua (Navarrete *et al.*, 2004). El conocimiento de las isotermas de sorción es de interés en el análisis y diseño de nuevos procesos de secado, mezclado o envasado, y, además, sirven para predecir el comportamiento que podrá presentar un producto a lo largo de su vida útil, determinar cuáles serán sus condiciones óptimas de almacenaje y poder seleccionar el material de envasado que se ajuste mejor a sus exigencias.

La humedad de partida de la pitaya liofilizada en polvo fue 4,86±0,19 g agua/ 100 g sólidos secos. El valor obtenido fue superior al reportado en otros liofilizados de pitaya, siendo 3,393±0,003 g agua/ 100g sólidos secos en estudios realizados por Ayala *et al.*, (2010). En la figura 2 se representan los datos de g agua/ g sólidos secos de cada muestra tras alcanzar el equilibrio termodinámico en cada cámara frente a sus respectivas a_w de equilibrio, obteniendo así los puntos que definen la isoterma de sorción de este producto, a 20 °C. Para poder representar la isoterma, se ajustaron los datos experimentales a 4 modelos de predicción de las propiedades

de sorción del agua en alimentos diferentes: BET, GAB, Henderson y Caurie. Durante los 3 meses de acondicionamiento, se desarrollaron mohos en las muestras con a_w 0,8 imposibilitando su análisis.

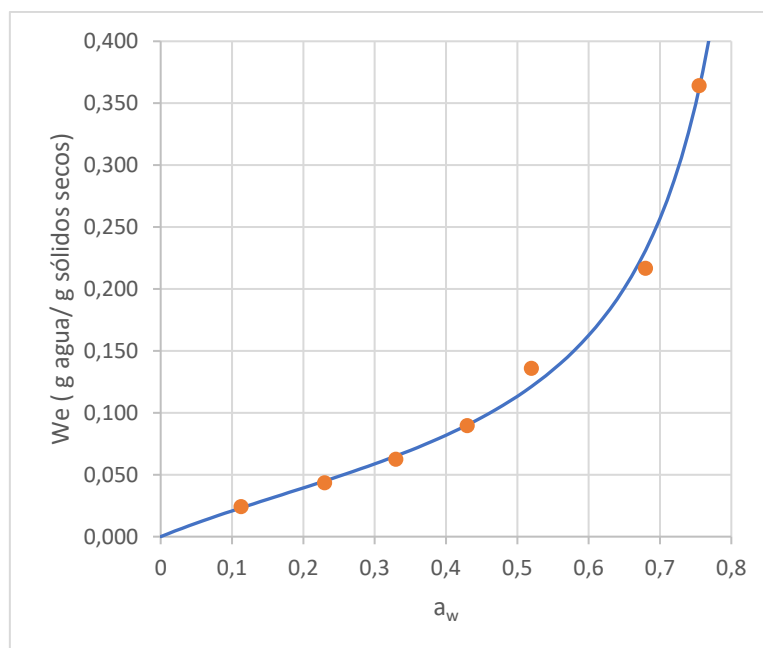


Figura 2. Datos de sorción obtenidos en la pitaya liofilizada a 20 °C. Isoterma predicha por el modelo GAB

En la tabla 3 se muestran los valores de los parámetros específicos de cada modelo de predicción, tras realizar el ajuste de los datos experimentales de sorción. En esta tabla también se muestra el parámetro R^2 para representar la bondad del ajuste de cada modelo.

Tabla 3. Valores de los parámetros de los modelos de sorción y R^2

Modelo	Parámetros		R^2
BET	C	3,2953	0,9649
	w_o^*	0,0696	
GAB	C	3,960	0,9929
	w_o^*	0,057	
	K	1,123	
Henderson	n	0,900	0,9701
	f	-1,534	
Caurie	r	55,1177	0,9934
	w_s^*	0,0539	

*g agua /g sólidos secos

El modelo de BET, fue ajustado hasta valores de a_w de 0,4, ya que a mayores a_w no se cumplen las hipótesis formuladas en las bases de este modelo teórico. Los parámetros característicos del modelo BET son la humedad en la monocapa (w_o) y la constante de Guggenheim (C). Éste último

parámetro, nos permite clasificar las isothermas según los modelos descritos por Brunauer. Como se puede ver representado en la figura 2, el modelo de isoterma corresponde al tipo II descrito por Brunauer, con un valor de C superior a 2. Este tipo de isoterma es frecuente encontrarlas en alimentos no porosos, siendo la más común en legumbres, frutas, vegetales y semillas (Navarrete *et al.*, 2004; Moraga *et al.*, 2011). Respecto al valor de la monocapa, éste es considerado por muchos autores como un valor de referencia con relación a la estabilidad del producto en polvo. En este sentido, teniendo en cuenta este parámetro de seguridad, la muestra recién liofilizada presenta un valor inferior y puede ser considerada estable.

El modelo GAB se basa en el modelo de BET, por esta razón comparten los parámetros w_0 y C. Lo que los distingue es la introducción de un grado de libertad adicional, representado por el parámetro K y relacionado con el calor de sorción del resto de capas. Este parámetro permite asumir que las moléculas de las multicapas tienen interacciones con el adsorbente, en este caso agua, con valores de energía similares a los que tienen las moléculas de la monocapa (Ramírez-Miranda *et al.*, 2014). Gracias al parámetro K, el modelo de GAB puede predecir el comportamiento en todo el rango de a_w , mientras que BET solo dentro de las a_w de 0,1 a 0,5. Los valores de la constante de Guggenheim y de la humedad de la capa monomolecular fueron muy similares a los del modelo BET, siendo la C ligeramente superior y la w_0 inferior.

El modelo de Henderson se trata de un modelo empírico, por lo que sus parámetros característicos carecen de sentido físico. Este modelo abarca el rango de a_w comprendido entre 0,1 y 0,75.

Por último, el modelo de Caurie es un modelo semiempírico con un rango de predicción entre las a_w 0 y 0,85. Los parámetros característicos de este modelo son el contenido en humedad de seguridad que proporciona la máxima estabilidad al alimento deshidratado durante el almacenamiento expresado en g agua/g sólidos secos (w_s) y la constante característica del material (r). El parámetro w_s tiene un sentido físico similar al w_0 de los modelos BET y GAB. El parámetro w_s se aproxima al parámetro w_0 del modelo GAB siendo ligeramente inferior, mientras que sí discierne más respecto del parámetro w_0 del modelo BET. Al estar estos valores tan próximos, pequeñas humectaciones podrían provocar problemas de estabilidad en el producto.

Tras comparar los 4 modelos de ajuste, se escogió el modelo GAB como el más idóneo para predecir el comportamiento de la muestra en la sorción de agua a una temperatura de 20 °C, en el rango de a_w que fue objeto de estudio. Esto fue por su buen ajuste en todo el rango de a_w , ya que, aunque los modelos de Caurie y Henderson también se ajustaban adecuadamente en casi todo el rango, el primero tenía un peor ajuste en las últimas 2 muestras con mayor a_w y el segundo discernía considerablemente en la muestra con mayor a_w debido a que excedía del rango contemplado.

El análisis del valor de w_0 indica la a_w máxima a la cual la pitaya liofilizada puede encontrarse sin que disminuya su estabilidad y, por ende, aumenten las reacciones bioquímicas. Por lo tanto, en este caso no sería recomendable superar una a_w de 0,33, ya que a partir de este valor la w_e supera a la w_0 , lo que provocaría una pérdida de estabilidad en el producto y un descenso de la vida útil. Esta w_0 es similar a otros estudios previos realizados con la misma variedad de pitaya (Ayala *et al.*, 2012).

4.3. Temperatura transición vítrea

Otro parámetro relacionado con la estabilidad de este tipo de productos es la T_g ($^{\circ}\text{C}$). Durante diferentes procesos, como la liofilización, se forman sólidos amorfos cuyo estado físico (vítreo o gomoso) determina propiedades mecánicas y difusionales del sistema. El paso del estado vítreo al gomoso se ha asociado, por ejemplo, a problemas de colapso o apelmazamiento de estructuras pulverulentas (Navarrete *et al.*, 2004), por lo que, desde el punto de vista de su estabilidad, es deseable mantener el producto almacenado a una temperatura por debajo de su T_g .

Tras analizar los termogramas obtenidos mediante DSC, se confirmó la tendencia decreciente de la T_g relacionada con el aumento de la humedad, lo que se conoce como efecto plastificante del agua. La relación T_g - x_w se ajustó mediante el modelo de Gordon y Taylor (Ecuación 9) en las muestras 0,1 a 0,5. En la tabla 4 se presentan los parámetros obtenidos.

Tabla 4. Valores de los parámetros del modelo de Gordon y Taylor y R^2 .

Gordon y Taylor	
T_{gs} ($^{\circ}\text{C}$)	27,64
K	4,86
R^2	0,9064

La modelización simultánea del modelo plastificante del agua (modelo de Gordon y Taylor) y sorción de agua (modelo de GAB) permitió obtener los valores críticos de humedad y a_w asociados a la transición vítrea de la pulpa de pitaya liofilizada en polvo. Con este fin, en la figura 3, se representaron de manera conjunta los datos T_g - a_w - x_w . Esta modelización resulta imprescindible, pues permite predecir el comportamiento que presentara el producto en diferentes condiciones de almacenamiento, remarcando cuales son las idóneas.

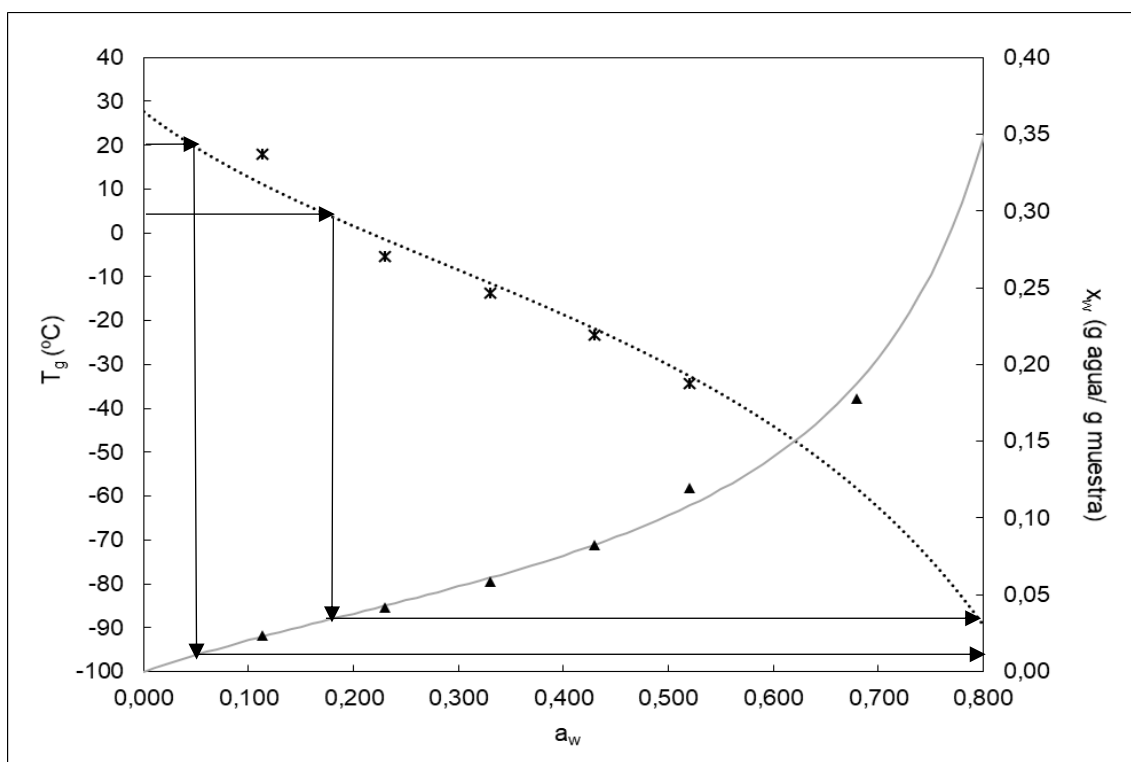


Figura 3. Relación temperatura de transición vítrea (T_g) - actividad del agua (a_w) - humedad (x_w) de la pulpa en polvo. Datos experimentales y curvas predichas por el modelo de Gordon y Taylor y el modelo de GAB.

A 20 °C, los valores críticos de humedad y a_w , asociados al cambio de estado fueron 0,0101 g agua/g producto y 0,050 respectivamente. CWC se encontró por debajo del w_o predicho por el modelo BET, por lo que sería un parámetro de estabilidad más restrictivo. Sin embargo, el modelo, como se observa en la figura 3, predice mal el comportamiento de la muestra 0,1. Esta muestra tiene una T_g de 18 °C, lo cual la sitúa muy próxima al cambio de estado de vítreo a gomoso. En este sentido, cabe esperar que los valores de CWC y CWA sean ligeramente superiores a los predichos.

Por otra parte, en condiciones de refrigeración (4 °C), el contenido CWC y CWA son de 0,0338 g agua/ g muestra y 0,175 respectivamente. Esto supone que la muestra 0,1 se encontraría en estado vítreo, garantizando así la estabilidad del producto durante el periodo de almacenamiento.

4.4. Textura

En las figuras 4 y 5 se representan los valores promedios obtenidos de fuerza máxima (N) y área (N·mm) tras realizar el ensayo de compresión frente a cada a_w , respectivamente.

Las muestras 0,1 y 0,2 se encontraban en forma de polvo suelto y polvo duro respectivamente. Esto se reflejó en el valor de los parámetros mecánicos ya que la muestra 0,2, con valores similares a la muestra control, presentó valores de fuerza máxima y área significativamente

($p < 0,05$) mayores a la muestra 0,1. Esto puede estar asociado al cambio de estado de vítreo a gomoso, lo que se ha relacionado con problemas de endurecimiento y posterior colapso de este tipo de productos. A partir de la muestra 0,3 se observaron problemas de apelmazamiento y colapso, asociados a una mayor cantidad de agua adsorbida en el producto. En estas a_w intermedias se observó un descenso significativo ($p < 0,05$) tanto en la fuerza máxima como en el área, debido al colapso de la estructura, al igual que ocurrió en otros estudios (Moraga *et al.*, 2011). A partir de la muestra 0,6 se observó una pérdida de la forma polvo para encontrar una masa pegajosa y compacta, lo que ocasionó un aumento significativo ($p < 0,05$) en los parámetros registrados en la muestra 0,7. Este cambio podría estar relacionado con la humectación de los mucílagos, ya que al rehidratar los mucílagos se aumenta la viscosidad de estos, aumentando así los valores de la fuerza máxima y el área de la muestra (García Cruz, 2011). Respecto a la muestra control, esta tiene una a_w similar a la muestra 0,2 por tener un contenido en humedad similar a esta.

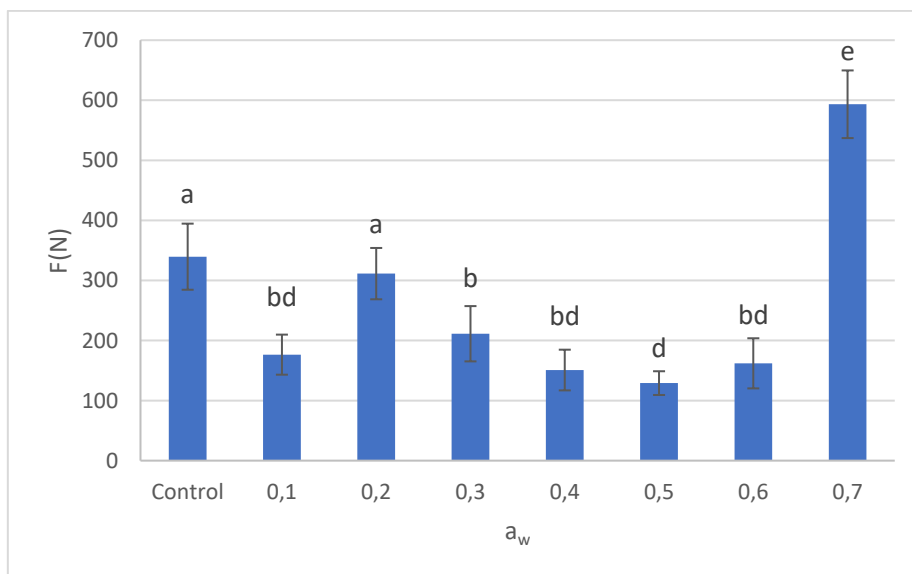


Figura 4. Valores promedio de la fuerza máxima (N) obtenida en las muestras de pitaya en función de la a_w . Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$).

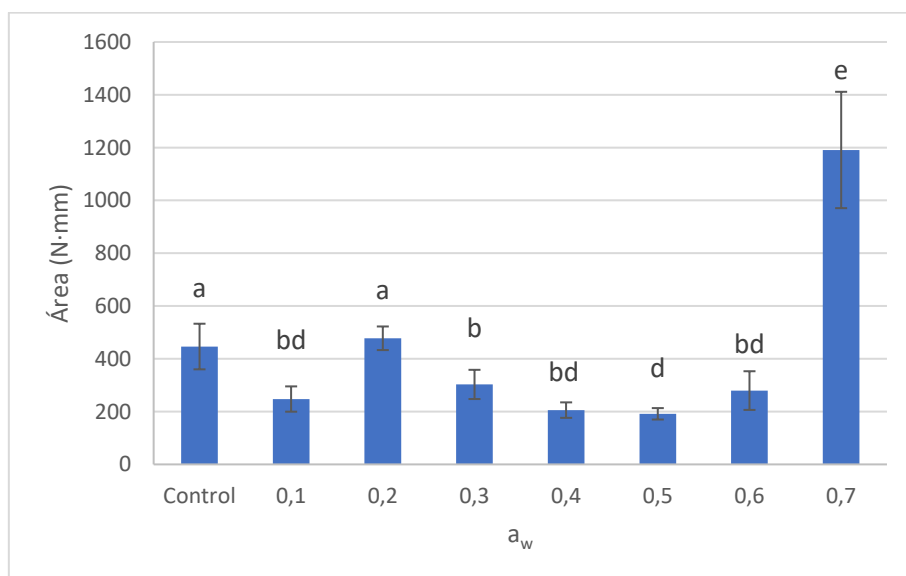


Figura 5. Valores promedio del área bajo la curva (N·mm) obtenida en la muestras de pitaya en función de la a_w . Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.5. Color de la pulpa en polvo

En la tabla 5 se reflejan los valores medios con sus respectivas desviaciones estándar de la coordenada L^* , tono (h_{ab}^*) y croma (C_{ab}^*) de la pitaya amarilla liofilizada equilibrada a las diferentes humedades relativas en función de la actividad del agua.

Tabla 5. Coordenada L^* , tono (h_{ab}^*) y croma (C_{ab}^*) de la pulpa en polvo equilibrada a las diferentes humedades relativas en función de la actividad del agua y sin equilibrar (control). Letras diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas ($p < 0,05$)

Muestra	L^*	C_{ab}^*	h_{ab}^*
Control	64,0±1,2 ^a	13,0±0,5 ^a	88,0±0,3 ^{ac}
0,1	75,97±1,05 ^b	11,7±0,5 ^a	89,27±0,16 ^b
0,2	73,4±1,2 ^b	11,8±0,2 ^a	88,83±0,18 ^{bc}
0,3	70,9±0,5 ^c	12,1±0,8 ^a	88,2±0,8 ^{abc}
0,4	69,3±0,8 ^c	12,7±0,6 ^a	88,1±0,4 ^{ac}
0,5	62,87±1,18 ^a	12,9±0,6 ^a	87,1±0,2 ^c
0,6	48,9±0,7 ^d	9,9±0,2 ^b	81,0±0,7 ^d
0,7	55,58±1,16 ^e	12,5±0,3 ^a	87,18±0,08 ^e

Los valores de la coordenada L^* se mantuvieron constantes entre las a_w de 0,1 y 0,2 y luego mostraron una disminución significativa ($p < 0,05$), debido al desarrollo de oscurecimiento ocasionado por el pardeamiento enzimático. Esta disminución es prematura comparada con estudios de otras frutas como el pomelo (Telis & Martínez-Navarrete, 2010) o el caqui (Alberca Ortiz, 2018).

La pureza del color se mostró ligeramente ascendente en todo el rango de estudio a excepción de la a_w 0,6 donde se apreció una disminución significativa ($p < 0,05$). La tonalidad estuvo situada en el primer cuadrante en todas las muestras, siendo de color amarillo en las muestras con menor contenido en agua y virando hacia naranja a medida que aumenta.

En la figura 6 se observa representada la diferencia de color de las muestras equilibradas a diferentes humedades con la muestra control y a la muestra 0,1. La diferencia de color total mostró un valor crítico para el cambio de color en la a_w 0,6. A esta a_w las reacciones de Maillard pardean toda la muestra resultando un cambio brusco de color. Las muestras con a_w inferiores a 0,5 el cambio evidente, atenuándose progresivamente hasta el a_w de 0,5, donde el cambio de color no es perceptible. El efecto de aumentar el a_w sobre el color se pronunció al sobrepasar el a_w de 0,5. Este valor crítico fue mayor respecto a estudios realizados en banana (Moraga et al., 2011), pomelo (Telis *et al.*, 2010) y caqui (Alberca Ortiz, 2018). El descenso observado en las figuras 6 y 7 en la muestra 0,7 podría ser debido a una dilución de los compuestos al aumentar el contenido en humedad (Telis *et al.*, 2010).

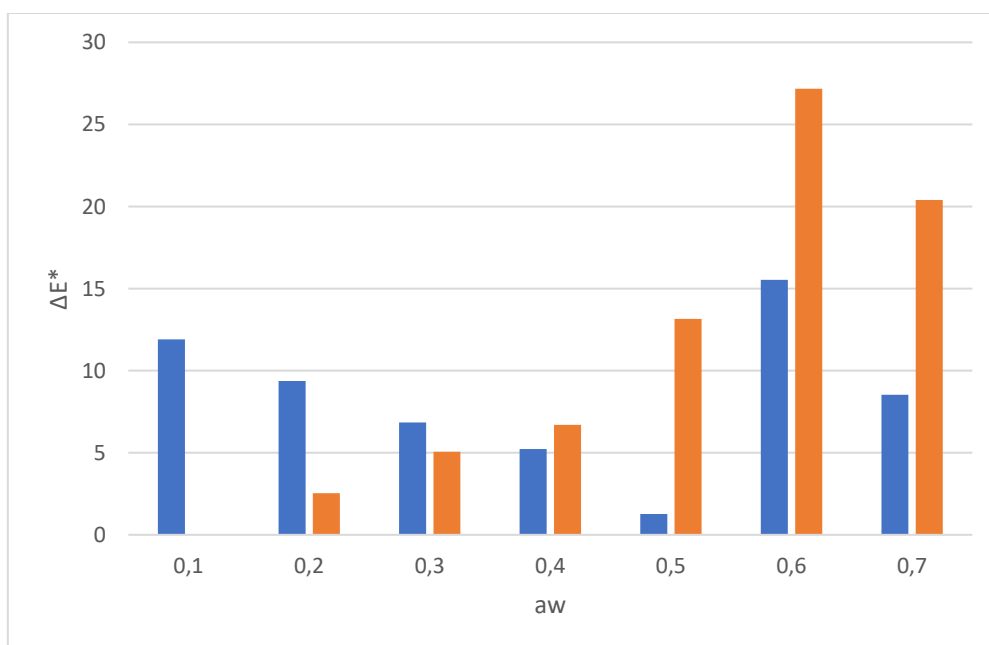


Figura 6. Diferencias de color (ΔE^*) calculadas a las diferentes actividades del agua respecto de la pulpa en polvo control (azul) y de la muestra 0,1 (naranja).

4.6. Contenido en bioactivos y capacidad antioxidante

4.6.1. Capacidad antioxidante

Entre los resultados obtenidos en función de las distintas actividades de agua de cada cámara, se observó un descenso de la capacidad antioxidante tras los 3 meses de acondicionamiento en comparación a la muestra control. El descenso de la capacidad antioxidante en vegetales tras 3 meses de almacenamiento a temperatura ambiente ha sido descrito previamente por diferentes estudios (Pérez-Burillo *et al.*, 2018). La muestra control presentó valores superiores respecto a los estudios realizados mediante el método FRAP (Giménez Solano, 2021 y Garzón Serrano *et*

al., 2021) e inferiores respecto a los estudios encontrados que utilizaron el método DPPH (Coral Caycho, 2021).

En las figuras 7 y 8 se observa descenso de la capacidad antioxidante a medida que se aumenta la actividad del agua de las muestras. Este descenso se debe a que a mayor cantidad de agua se encuentra en la muestra, mayor es el grado de degradación de los componentes con capacidad antioxidante, como se ya se ha descrito en diferentes estudios de otras frutas (Moraga *et al.*, 2012). Se observa un aumento significativo ($p < 0,05$) de la capacidad antioxidante en las a_w intermedias. Este aumento puede estar debido a la movilización de algunos compuestos. Esta movilización puede producirse al aumentar la disponibilidad del agua en la muestra, lo que facilitaría la extracción de los compuestos frente a las otras muestras con diferentes a_w . Este caso también se ha observado en diferentes frutas como es el pomelo (Moraga *et al.*, 2012). Respecto a la muestra control, esta tiene una a_w similar a la muestra 0,2 por tener un contenido en humedad similar a esta.

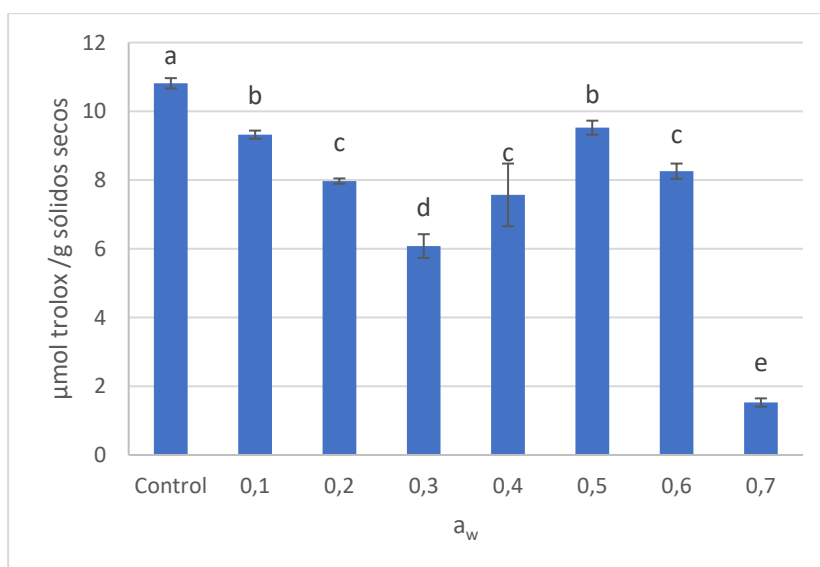


Figura 7. Valores promedio de la capacidad antioxidante medida mediante el método FRAP de la pulpa en polvo en función de la a_w . Datos expresados como $\mu\text{mol trolox}$ por g sólidos secos. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$).

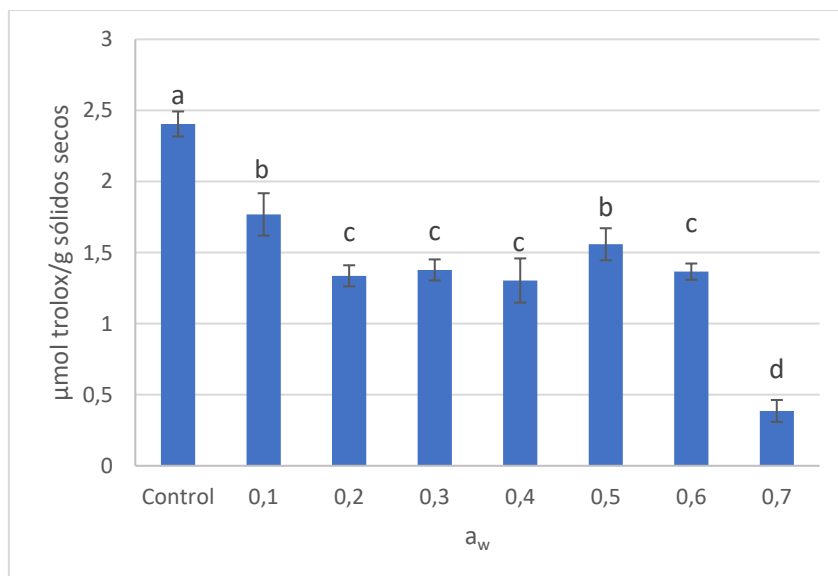


Figura 8. Valores promedio de la capacidad antioxidante medida mediante el método DPPH de la pulpa en polvos en función de la a_w . Datos expresados como $\mu\text{mol trolox/g sólidos secos}$. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.6.2. Fenoles solubles

Respecto a los fenoles totales, al igual que en la capacidad antioxidante, se observó una disminución tras los 3 meses de almacenamiento en comparación a la muestra control. La muestra control tubo unos valores similares a los encontrados en estudios anteriores el zumo y bagazo de pitaya (Giménez Solano, 2021) y en la pulpa (Garzón Serrano *et al.*, 2021).

En la figura 9 se observa una disminución del contenido en fenoles totales a medida que aumenta el contenido en agua, rompiéndose esta tendencia en las a_w de 0,4 a 0,6 donde se aprecia un aumento significativo ($p < 0,05$). La explicación y justificación de este comportamiento es la misma relatada en el apartado anterior.

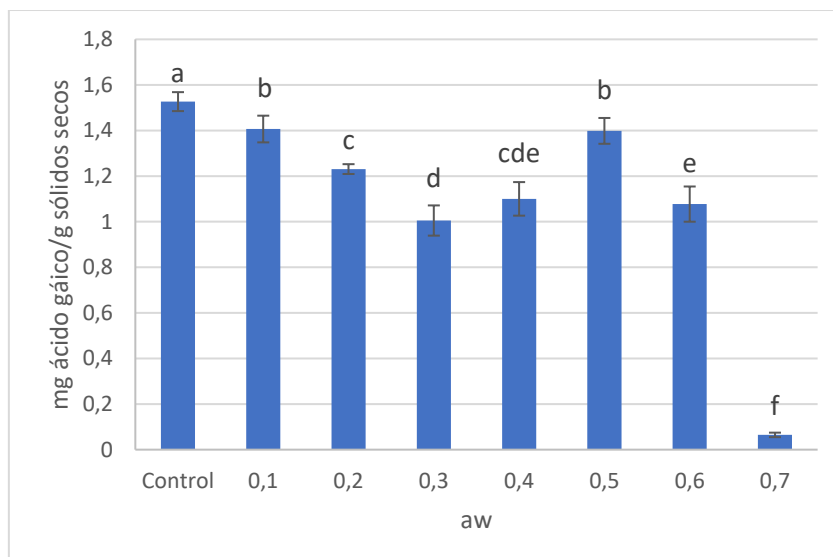


Figura 9. Valores promedio del contenido en fenoles solubles de la pulpa en polvo en función de a_w . Datos expresados como equivalentes de mg de ácido gálico por g sólido seco. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$).

5. CONCLUSIONES

Los parámetros de estabilidad obtenidos en la pitaya liofilizada confirman el problema de estabilidad de este tipo de productos en polvo. Su alta superficie específica para adsorber agua hace que sea un producto muy higroscópico, dando lugar a problemas de estabilidad.

El cambio en las propiedades mecánicas resulta reacción de deterioro más relevante. A partir de una a_w de 0,3 se observa problemas de apelmazamiento y colapso en el producto en polvo, los cuales dan lugar a un producto no apto para su comercialización.

Respecto al color y el contenido en compuestos bioactivos, se observan cambios significativos durante su almacenamiento a 20 °C, sin embargo, se hacen más patentes a partir de una a_w de 0,6 y 0,7, respectivamente.

Al presentar la pitaya liofilizada en polvo una humedad similar a la CWC, ligeramente inferior a w_o , convendría almacenarlo en condiciones de refrigeración. También sería deseable ajustar el proceso de liofilización para obtener un producto con una humedad inferior al CWC.

6. BIBLIOGRAFÍA

Abugri, D.A., Tiimob, B.J., Apalangya, V.A., Pritchett, G., McElhenney, W.H. (2013) Bioactive and nutritive compounds in Sorghum bicolor (Guinea corn) red leaves and their health implication. Food Chemistry, Volume 138, Issue 1 [\[Enlace\]](#)

Alberca Ortiz, R., (2018) Valorización del destrío postcosecha de caqui mediante el desarrollo de un producto de alto valor nutritivo. Valencia: Univestitat Politècnica de València.

AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemists Method 934.06. Journal of AOAC International, Arlington, VA.

Auquiñivin Silva, E. A., & Paucar Menacho, L. M. (2020). Estudio comparativo de las características fisicoquímicas y vida útil de las papayas nativas, "papayita de monte" (*Carica pubescens* Lenné & K. Koch) y "babaco" (*Carica pentagona* Heilborn) (Caricaceae) deshidratadas mediante liofilización. *Arnaldoa*, 27(1), 115-128. [\[Enlace\]](#).

Avila Quispe, K. V., & Rabanal Reina, L. D. (2013). Aprovechamiento de la fruta *Selenicereus megalanthus* (pitahaya amarilla) en el procesamiento de alimentos. [\[Enlace\]](#)

Ayala, A., Serna, L., & Mosquera, E., (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, 17(2), 122-127. [\[Enlace\]](#)

Ayala, A., Serna, L., & Rodriguez, G., (2012). Isotermas de desorción de humedad en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol. 10 No. 2, 135-143.

Benzie, I.F.F. & Strain, J.J. "The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay" *Analytical Biochemistry*, 239 (1996) 70-76. [\[Enlace\]](#)

Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layer. *Journal of the American Chemical Society*, 60, 309-320.

Caurie, M. (1970). A practical approach to water sorption isotherms and the basis for the determination of optimum moisture levels of dehydrated foods, *Journal of Food Science & Technology*, 6, 85-93.

Cañar, D., Caetano, C., & Bonilla, M. (2014). Caracterización fisicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla [*Selenicereus megalanthus* (K. Shum. DEx Vaupel) Moran] cultivada en Colombia. *Agronomía*, 22(1), 77-87. [\[Enlace\]](#)

Cervantes-Arista, C., Roman-Guerrero, A., Oidor-Chan, V.H., Díaz de León-Sánchez, F., Álvarez-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.

Chiari, B. G.; Trovatti, E.; Pecoraro, E.; Corrêa, M. A.; Barreto Cicarelli, R. M.; Lima Ribeiro, S. J.; & Borges Isaac, V. L. (2014). Synergistic effect of green coffee oil and synthetic sunscreen for health care application. *Industrial Crops and Products*, 52: 389 – 393.

Coral Caycho, E. R. (2021). Capacidad inhibitoria de los extractos acuosos de los frutos *Passiflora tripartita* var. *mollissima* “tumbo serrano” e *Hylocereus megalanthus* “pitahaya amarilla” sobre las enzimas alfa amilasa y alfa glucosidasa. Estudio de la actividad antioxidante in vitro [[Enlace](#)].

Coronado H, Marta, Vega y León, Salvador, Gutiérrez T, Rey, Vázquez F, Marcela, & Radilla V, Claudia. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212.

Corrales Garcia, Joel. (2002). Caracterización postcosecha, aprovechamiento e industrialización de pitayas y pitahayas [[Enlace](#)].

Daenen, K., Andries, A., Mekahli, D. *et al.* (2019) Oxidative stress in chronic kidney disease. *Pediatr Nephrol* 34, 975–991 [[Enlace](#)]

Delgado, A.M. (2015). Betalaínas del fruto de pitaya amarilla (*Selenicereus Megalanthus*): identificación, estabilidad y actividad antioxidante in vitro. [[Enlace](#)]

Drink6, 2022. Agua de pitaya. Consultado el 26 de mayo de 2022 [[Enlace](#)].

Ferreres, F., Grosso, C., Gil-Izquierdo, A., Valentão, P., Mota, A. T., & Andrade, P. B. (2017). Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit by-products using microwave-assisted extraction. *Food chemistry*, 230, 463–474. [[Enlace](#)]

García Cruz, E. E. (2011). Optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas (Doctoral dissertation). [[Enlace](#)]

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. Pruinusus* and *S. stellatus*). *Food chemistry*, 234, 111-118. [[Enlace](#)]

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. [[Enlace](#)]

Garzón Serrano, S.N., Hernández Carrión, M., Álvarez Solano, O.A.,(2021). Caracterización Físicoquímica y Funcional de la Pitaya Amarilla (*Selenecerus Megalanthus*). Bogotá: Universidad de Colombia.

Giménez Solano, J. (2021). Caracterización de zumo y bagazo de pitaya y bioaccesibilidad de sus principales compuestos bioactivos. València: Universitat Politècnica de València. [\[Enlace\]](#)

Gordon, M., & Taylor, J. S. (1952). Ideal copolymers and the second-order transitions of synthetic rubbers. I. Non-crystalline copolymers. *Journal of Applied Chemistry*, 2(9), 493-500.

Greenspan, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards Section A: Physics and Chemistry*, 81A(1), 89.

Henderson S.M, (1952). A basic concept of equilibrium moisture. *Agric. Eng.* 33: 29-32.

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. [\[Enlace\]](#)

Herrera Chalé, F., Betancur Ancona, D., & Segura Campos, M. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad: péptidos biológicamente activos. *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), 10-20 [\[Enlace\]](#)

Huang, Y., Brennan, M. A., Kasapis, S., Richardson, S. J., & Brennan, C. S. (2021). Maturation Process, Nutritional Profile, Bioactivities and Utilisation in Food Products of Red Pitaya Fruits: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(11), 2862 [\[Enlace\]](#)

Kalantzakis, G.; Blekas, G.; Pegklidou, K.; & Boskou, D. (2006). Stability and radical-scavenging activity of heated olive oil and other vegetable oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 108: 329 – 335.

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255

Medina, J.A., Rebolledo-Roa, A., Kondo, T. & Cardozo-Burgos, C. (2013). Tecnología para el manejo de pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K Schum. ex Vaupel). [Manual técnico, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica]. [\[Enlace\]](#)

Moo-Huchin, V.; González-Aguilar, G.; Moo-Huchin M.; Ortiz-Vázquez, E.; Cuevas-Glory, L.; SauriDuch, E. & Betancur-Ancona, D. (2017). Carotenoid composition and antioxidant activity of extracts from tropical fruits. *Journal of Science*. 44, 605-616.

Moraga, G., Igual, M., García-Martínez, E., Mosquera, L. H., & Martínez-Navarrete, N. (2012). Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. *Journal of Food Engineering*, 112(3), 191–199. [\[Enlace\]](#)

Moraga, G., Talens, P., Moraga, M. J., & Martínez-Navarrete, N. (2011). Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*, 106(3), 212– 219. [\[Enlace\]](#)

Mosquera, L. H., Moraga, G., de Córdoba, P. F., & Martínez-Navarrete, N. (2011). Water Content-Water Activity-Glass Transition Temperature Relationships of Spray-Dried Borjón as Related to Changes in Color and Mechanical Properties. *Food Biophysics*, 6, 397-406. [\[Enlace\]](#)

Navarrete, N. M. *et al.*, (2004). *Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno* (1a ed.). Universitat Politècnica de València. ISBN 978-84-7721-703-9.

OCATI, 2022. Pitaya amarilla. Consultado el 19 de abril de 2022. [\[Enlace\]](#)

Pérez-Burillo, S., Oliveras, M. J., Quesada, J., Rufián-Henares, J. A., & Pastoriza, S. (2018). Relationship between composition and bioactivity of persimmon and kiwifruit. *Food Research International*, 105(November 2017), 461–472. [\[Enlace\]](#)

Pisoschi, A. M., Pop, A., Cimpeanu, C., & Predoi, G. (2016). Antioxidant Capacity Determination in Plants and Plant-Derived Products: A Review. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 9130976. [\[Enlace\]](#)

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

Pulido, R.; Bravo, L. & Saura-Calixto, F. "Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified reducing/antioxidant power assay" *J. Agric. Food Chem.*, 48 (2000) 3396-3402 [\[Enlace\]](#)

Raba, D. N., Polana, M-A., Borozan, A. B., Stef, M., Radu, F., & Popa, M-V. (2015). Investigation of crude and high-temperature heated coffee oil by ATR-FTIR spectroscopy along with antioxidant and antimicrobial properties. *PLoS One* 10(9). [\[Enlace\]](#)

Ramírez-Miranda, M.; Cruz y Victoria, M.T.; Vizcarra-Mendoza, M.G.; Anaya-Sosa, I. (2014). Determinación de las isoterms de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13, 1, 165-178 [\[Enlace\]](#)

Real Decreto 1353/1983, de 27 de abril, por el que se modifica el capítulo V (Conservación de alimentos) del Código Alimentario Español, aprobado por Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre [\[Enlace\]](#)

Santacruz Vázquez, C., Santacruz Vázquez, V. y Huerta Espinosa, V.M. (2009) *Agroindustrialización de pitaya*. Ciudad de la Habana: Editorial Universitaria.

- Shah, B. R.; Zhang, C.; Li, Y.; Li, B. (2016). Bioaccessibility and antioxidant activity of curcumin after encapsulated by nano and Pickering emulsion based on chitosan-tripolyphosphate nanoparticles. *Food Research International*, 89: 399 – 407. [[Enlace](#)]
- Surco-Laos, Felipe, Tipiana, Rocío, Torres, Ysabel, Valle, Manuel, & Panay, Juan. (2017). Efectos de liofilización sobre composición química y capacidad antioxidante en pulpa de cuatro variedades de *Mangifera indica*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(4), 412-419. [[Enlace](#)]
- Tapia, A.; Rodriguez, J. & Theoduloz, C. (2004). Free radical scavengers and antioxidants from *baccharis grisebachii*. *Journal of Ethno-pharmacology* .95, 155- 161. [[Enlace](#)]
- 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. [[Enlace](#)]
- Telis, V. R. N., & Martínez-Navarrete, N. (2010). Application of compression test in analysis of mechanical and color changes in grapefruit juice powder as related to glass transition and water activity. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 744- 751. [[Enlace](#)]
- Tze, N.L., Han, C.P., Yusof, Y.A. *et al.* Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. *Food Sci Biotechnol* 21, 675–682 (2012). [[Enlace](#)]
- Van den Berg, C., & Bruin, S. (1981). Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. *Water Activity: Influences on Food Quality*, 1–61.
- 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. [[Enlace](#)]