



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA



**"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL MUCILAGO DE LA
CASCARA DE PITAHAYA"**

TESIS

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presenta:

YEICATL ADRIAN DAVILA GUTIERREZ

Director:

DR. CÉSAR PÉREZ ALONSO

ASESOR ADJUNTO:

DR. JULIAN CRUZ OLIVARES

Toluca, Estado de México, Agosto de 2022

RESUMEN

Se extrajo el mucílago de la cáscara de la pitahaya con el objeto de estudiar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. El mucílago fue extraído mediante un proceso de extracción acuoso y posteriormente deshidratado por calentamiento empleando una estufa de convección forzada. El mucilago seco fue triturado con un mortero para facilitar los análisis, y para la conservación del biomaterial. Los análisis se enfocaron en analizar el proceso de extracción, determinar el rendimiento y estudiar las propiedades funcionales. El método de extracción arrojó un rendimiento de 0.78% (55.9g), el cual es un porcentaje muy bajo en comparación con otros tipos de mucílagos como el de nopal o de tamarindo. El estudio de solubilidad se llevó a cabo a tres temperaturas (25°C, 45°C, 65°C) dando como resultado 48.3%, 57.66%, 63.33%, respectivamente. Los resultados obtenidos para los análisis de absorción de agua y aceite (CAA y OHC) fueron de 6.93 (g de agua / g de mucilago utilizados) y 6.95 (g de aceite / g de mucilago utilizados) a 25°C, 8.36 y 8.1 a 45°C, finalmente 9.7 y 9.3 a 65°C. Con respecto al estudio de capacidad emulsionante (CE) y estabilidad emulsionante (EE) se obtuvieron valores a diferentes concentraciones, siendo la concentración mínima de 0.3% y la máxima de 1.5% (W/V); en este intervalo de concentración se obtuvieron valores de 65.17% hasta 83.03% para CE (V/V) y de 69,64% hasta 87.5%(V/V) para EE. Posteriormente se evaluaron las propiedades físicas del mucílago, como la densidad aparente (0.64 g/mL) y densidad empacada (0.70 g/mL). Estos datos permitieron calcular el índice de compresibilidad de Carl (8.57%) y el radio de Hausner (1.09). Por último, se obtuvo el ángulo de reposo con un valor de 9.03. Por lo anterior, este trabajo permite conocer las propiedades funcionales del mucilago de la cascara de la pitahaya, siendo una propuesta de un nuevo biomaterial para aplicaciones diversas dentro de la industria alimentaria, química, farmacéutica, etc., siendo una propuesta amigable hacia los procesos productivos y de síntesis bioquímica, teniendo en cuenta la obtención de un material orgánico a partir de un desecho de un fruto.

Contenido

RESUMEN	2
Índice de Tablas.....	6
Índice de Figuras	7
Glosario	8
1. Antecedentes	11
1.1 Pitahaya.....	11
1.1.1 Países Productores en el mundo.....	11
1.1.2 Árbol.....	12
1.1.3 Estados Productores en México	13
1.1.4 Características del fruto	14
1.1.5 Usos comunes y productos derivados	16
1.1.6 Composición nutricional.....	16
1.1.7 Beneficios de su cultivo	17
1.1.8 La pitahaya como producto industrial	18
1.1.9 Importancia de la investigación	20
1.2 Coloides	20
1.2.1 ¿Qué son los coloides?	20
1.2.2 Sistemas dispersos o Sistemas coloidales.....	21
- Aerosoles.....	21
- Emulsiones:	21
- Suspensiones coloidales o soles.....	21
- Geles.....	21
- Dispersiones solidas	21
- Coloides en un coloide	21
1.2.3 Clasificación de coloides según su fase	22
1.2.4 Clasificación termodinámica	23
1.3 Hidrocoloides	24
1.3.1 Propiedades funcionales de los Hidrocoloides	27
1.3.2 Tipos de Hidrocoloides.....	27
- Hidrocoloides exudados de plantas.	29
- Hidrocoloides provenientes de semillas	29
- Extractos de algas marinas.....	29

- Hidrocoloides de origen animal.	30
- Proteínas y gomas.	30
1.4 Mucilagos	31
1.4.1 Mucilagos estudiados	32
• <i>Mucilago de chan</i>	32
• <i>La linaza (Linum usitatissimum L.)</i>	33
• <i>Semillas de Lallemantia ibrica</i>	33
• <i>Opuntia de mucílago</i>	34
• <i>Basella alba</i>	34
• <i>Quimbomgó (abelmoschus esculentus)</i>	35
• <i>Planta de Berro</i>	35
• <i>Mucilago de Cordia myxa</i>	35
• <i>Pereskia aculeata</i>	36
• <i>Mucilago del nopal</i>	37
• <i>Mucilago de tamarindo</i>	38
• <i>Mucilago de Chia (Salvia hispanica L.)</i>	39
• <i>Mucilago de Aloe vera (Barbadensis Miller)</i>	39
1.5 Aplicación de los mucilagos	40
1.6 Comercialización de hidrocoloides.	42
1.7 Secado	43
1.7.1 Secado por convección	43
1.7.2 Secador de tipo charola	43
2. Justificación	45
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	46
3. OBJETIVOS	47
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	47
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	47
4. Metodología	48
4.1 Materiales	48
4.2 Extracción	48
4.3 Secado	48
4.4 Rendimiento.....	49
4.5 Solubilidad.....	49

4.6	Capacidad de absorción de agua.....	50
4.7	Capacidad de absorción de aceite.....	50
4.8	Propiedades emulsionantes.....	51
4.9	Índice de hinchamiento.....	52
4.10	Densidad empacada y aparente.....	52
4.11	Índice de compresibilidad de Carr.....	53
4.12	Radio de Hausner.....	53
4.13	Ángulo de reposo.....	53
5.	Resultados y discusión	55
5.1	Extracción	55
5.2	Cálculo de rendimiento	59
5.3	Propiedades funcionales	61
5.3.1	Solubilidad	61
5.3.2	Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (OHC).....	63
5.3.3	Capacidad emulsionante (CE) y estabilidad de emulsión (EE).....	65
5.3.4	Índice de hinchamiento	66
5.3.5	Densidad empacada y aparente.....	69
5.3.6	Índice de compresibilidad de Carr.....	71
5.3.7	Radio de Hausner	72
5.3.8	Ángulo de reposo.....	73
6.	Conclusiones	75
7.	Bibliografía	77

Indice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de coloides por sus componentes.	22
Tabla 2. Clasificación de Hidrocoloides.	27
Tabla 3. Caculo de Rendimiento de extracción de mucilago de cascara de Pitahaya.	56
Tabla 4. Solubilidad del mucilago de pitahaya.	58
Tabla 5. Capacidad de retención de agua y aceite del mucilago de pitahaya.	60
Tabla 6. Capacidad emulsionante y estabilidad del mucilago de pitahaya.	62
Tabla 7. Índice de Hinchamiento del mucilago de pitahaya.	64
Tabla 8. Densidad empacada y aparente del mucilago de pitahaya.	66
Tabla 9. Radio de Hausner.	69
Tabla 10. Angulo de reposo.	70

Índice de Figuras

1. Figura 1.- Planta pitahaya (*Hylocereus* sp.), Un cactus trepador..... 12
2. Figura 2.- Fruto maduro de pitahaya (*Hylocereus* sp.) genotipo orejón 15
3. Figura 3.- Mesocarpio del fruto de pitahaya (*Hylocereus* sp.) maduro, genotipo orejona..... 15
4. Fotografía 1 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. “Cascara de pitahaya”5
2
5. Fotografía 2 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. “Cascara de pitahaya”53
6. Fotografía 3 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. “Cáscara de pitahaya partida”. 53
7. Fotografía 4 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. “Pitahaya en agitación” 54
8. Fotografía 5 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. “secado demucílago”55
9. Fotografía 5 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMex. 2019. “Pruebas de solubilidad de mucilago de pitahaya”59

Glosario

Hylocereus: Es un género de cactus. Son nativos de Centroamérica, el Caribe y México hasta la parte septentrional de Sudamérica. Las flores de este género son las más grandes de todas las cactáceas (hasta 30 cm).

Poliformismo: Es la presencia de dos o más variantes heredables para una misma característica que coexisten dentro de una población.

Globosa: Que tiene forma de globo.

Bracteas: La **bráctea** es el término usado en botánica, introducido por Carlos Linneo, que hace referencia al órgano foliáceo en la proximidad de las flores, diferente a las hojas normales y a las piezas del perianto. Su función principal es proteger a las flores o vegetales.

Proceso IQF (Individual Quick freezing): proceso de congelación rápida que garantiza, una vez que hayamos descongelado el producto, que este conserve toda la textura, valor nutritivo e igual sabor al del producto recién cosechado. Así mismo, para su preservación, el uso de este proceso garantiza que los productos no necesiten de ningún tipo de químicos o preservantes y que, debido al cambio brusco de temperatura, se reduzca de forma importante la presencia de microorganismos.

Betalainas: Las betalaínas son metabolitos secundarios nitrogenados de las plantas que actúan como pigmentos rojos y amarillos.

Zumo: Líquido contenido en el tejido de las frutas que puede extraerse por presión, cocción, etc., y beberse.

Azúcares reductores: Los azúcares reductores son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto, y que a través del mismo pueden reaccionar como reductores con otras moléculas que actuarán como oxidantes. Esta propiedad permite determinar la concentración de una disolución de azúcar midiendo la cantidad de agente oxidante que es reducido,

Características organolépticas: Son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos, como por ejemplo su sabor, textura, olor, color o temperatura.¹² Su estudio es importante en las ramas de la ciencia en que es habitual evaluar inicialmente las características de la materia sin la ayuda de instrumentos de medición.

Acilación: En química, la acilación es el proceso de agregar un grupo acilo a un compuesto. El compuesto que provee el grupo acilo es denominado el grupo acilante.

Glucosilación: Es un proceso bioquímico en el que se adiciona un glúcido a otra. Esta molécula se denomina aceptor. La molécula aceptora puede ser de muchos tipos, por ejemplo, de naturaleza proteica o lipídica.

Agentes quelantes: Es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos, palabra que proviene de la palabra griega *chele* que significa "garra". Una de las aplicaciones de los quelantes es evitar la toxicidad de los metales pesados para los seres vivos.

Suspensión: Es una mezcla heterogénea formada por un sólido en polvo o por pequeñas partículas no solubles (fase dispersa) que se dispersan en un medio líquido (fase dispersante o dispersora).

Soluto: El soluto es la sustancia que, por lo general, se encuentra en menor cantidad y que se disuelve en la mezcla.

Solvente: El solvente es la sustancia que suele aparecer en mayor cantidad y donde se disuelve el soluto.

Emulsión: líquido de aspecto lácteo que contiene en suspensión pequeñas partículas o gotas de otra sustancia insolubles en aquel.

Reología: es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.

Espesante: Los agentes espesantes son sustancias que al agregarse a una mezcla, aumentan su viscosidad sin modificar sustancialmente sus otras propiedades como el sabor. Proveen cuerpo, aumentan la estabilidad y facilitan la formación de suspensiones.

Estabilizante: Sustancia que se añade a una disolución para mantener plenamente mezclados sus componentes.

Emulsionante: Un emulsionante, emulsificante o emulgente es una sustancia que ayuda en la mezcla de dos sustancias que normalmente son poco miscibles o difíciles de mezclar. De esta manera, al añadir este emulsionante, se consigue formar una emulsión.

Tensión superficial: Es la fuerza que actúa tangencialmente por unidad de longitud en el borde de una superficie libre de un líquido en equilibrio y que tiende a contraer dicha superficie. Las fuerzas cohesivas entre las moléculas de un líquido son las responsables del fenómeno conocido como tensión superficial.

Hidrofílica: Es una sustancia que tiene afinidad por el agua. En una disolución o coloide, las moléculas hidrófilas son a su vez lipóforas, es decir, no se pueden mezclar con lípidos o grasas.

Polisacáridos: Son biomoléculas formadas por la unión de una gran cantidad de monosacáridos. Se encuentran entre los glúcidos, y cumplen funciones diversas, sobre todo de reservas energéticas y estructurales.

Polímero: Son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros. Estos forman largas cadenas que se unen entre sí por fuerzas de Van der

Waals, puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas. Los polímeros tienen elevadas masas moleculares, que pueden alcanzar incluso millones de UMA.

Cristalización: Es un proceso químico por el cual, a partir de un sólido, un líquido o una disolución, los iones, átomos o moléculas establecen enlaces hasta formar una red cristalina, la unidad básica de un cristal. La cristalización se emplea con bastante frecuencia en química para purificar una sustancia sólida.

Sinéresis: En química, es la separación de las fases que componen una suspensión o mezcla.

Exudados: Es líquido que se filtra desde las membranas celulares hacia los tejidos cercanos. Este líquido está compuesto de células, proteínas y materiales sólidos.

Reticulación: Implica la formación de una red tridimensional formada por la unión de las diferentes cadenas poliméricas homogéneas

1. Antecedentes

1.1 Pitahaya

1.1.1 Países Productores en el mundo.

Pitahaya es como se conoce comúnmente que a las plantas que forman parte del género *Hylocereus*. La historia de la pitahaya comienza en los de tiempos antiguos y en plantaciones familiares. Su siembra se hace en terrenos de gran tamaño y los primeros registros se tienen en Nicaragua, donde se localiza la primer plantación desde 1970 (Castillo- Martínez, 2006).

En México, la primera plantación comercial de pitahaya se efectuó en Tabasco en 1986 (Reyes, 1995), pero fue después de 1995 cuando se intensificó esta forma de cultivo. Los estados que han mostrado interés por el cultivo de esta planta son Puebla, Veracruz, Jalisco, Chiapas, San Luis Potosí, Michoacán, Oaxaca, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. La península de Yucatán es la región mexicana con más superficie cultivada; se estima que actualmente existen más de 300 hectáreas en producción (Castillo-Martínez, 2006). Sabiendo esto, en el presente proyecto se utilizó el fruto proveniente de Veracruz.

En los países donde la Pitahaya fue plantada por primera vez, se siguen haciendo programas de desarrollo e innovación para motivar el cultivo de distintas especies de *Hylocereus*, Europa importa este fruto con el nombre de “Fruto blanco del Eden” o “Fruto rojo del Eden” desde Israel. (Mizrahi y Nerd, 1996).

Países como Vietnam llaman a esta fruta “thang loy” o fruta del Dragón, el cultivo se convirtió considerablemente redituable para su comercio; es producido en grandes extensiones de terreno mayormente en forma rústica y la cosecha es exportada a Hong Kong, Singapur y Taiwán, incluyendo la distribución de este fruto en los establecimientos dentro de Vietnam. (Mizrahi y Nerd, 1996).

En Estados Unidos, sobre todo el estado California, ya establecieron cultivos, creando industrias que su intención en vender plantaciones que se obtienen de esparcir tallos y semillas . Australia e Italia son países, mostraron de sus inclinaciones para cultivar la pitahaya. *Hylocereus undatus* es el tipo de pitahaya mayormente cultivado, mayormente en Vietnam, Israel y México (Castillo y Cáliz, 1999).

1.1.2 Árbol

Las cactáceas pertenecen al orden *Cariophyllales*, como menciona Montesinos-Cruz et al. (2015), quienes también tienen la presencia de betalaínas como otros tipos de plantas (Esquivel, 2004); las cactáceas son procedentes del continente americano donde las 1500 a 2000 tipos de cultivos se extienden inicialmente Canadá llegando a Patagonia, en México se localizan de 550 a 900 especímenes con los que tienen un 79 % de endemismos.



Figura 1.- Planta pitahaya (*Hylocereus sp.*), Un cactus trepador.

Fuente: Esquivel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 113-129.

Hay alrededor de 35 especies que pueden ser cultivos de frutas frescas, hortalizas o forraje (Mizrahi, Mouyal y Nerd, 2004), Pertenece principalmente a los géneros *Hylocereus*, *Selenicereus*, *Cereus*, *Leptocereus*, *Escontria*, *Myrtilloactos*, *Stenocereus* y *Opuntia*. El género *Hylocereus*, con 16 especies conocidas, es el cactus trepador más común en el mundo (Solano, Cano y Hernández, 2005), Mostró un gran polimorfismo en el ADN. Esto implicó encontrar diferentes variaciones que pudieran corresponder a la misma especie. Está ampliamente distribuida geográficamente en lugares con limitadas condiciones ecológicas, poniendo en grave peligro su existencia por diversas razones de origen natural y antropológico (Solano Cano y Hernández, 2005). El origen de este género se debe a las zonas boscosas tropicales y subtropicales de México y América Latina (Gunasena, Pushpakumara y Kariyawasam, 2010).

Las especies *H. undatus*, *H. polyrhizus*, *H. costaricensis*, *H. triangularis* y *H. purpusii*, comúnmente conocido como pitahaya roja, se cultivan Mayormente en América Central e Israel (Esquivel, 2004).

1.1.3 Estados Productores en México

De acuerdo con Montesinos-Cruz et al. (2015), la pitahaya es un tipo cactus adaptado a diferentes ambientes en México y en algunos países centroamericanos (Britton y Rose, 1963). *H. undatus*, *H. purpusii* y *H. ocamponis*, son repartidos en estados de Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Veracruz, Guerrero, Querétaro, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Colima y Sinaloa (Martínez, Dios y Canto, 1996). La especie *H. undatus* se localiza de manera campestre en los estados mencionados.

La especie *H. undatus* es de enorme reconocimiento económico en México, las frutas de esta especie son sumamente reconocidos en apariencia y sabor; además

se comercializan con facilidad en los comercios locales, regionales y su comercialización en los establecimientos en las naciones extranjeras va en aumento (Ortiz, 1999). Este tipo planta se aprovecha en mayor parte y si bien se reconoce por la relevancia económica que tiene la fruta (Livera et al., 2010), también son aprovechados sus tallos jóvenes para alimentos. En Yucatán (México), se reconoce este estado como el mayor productor de esta fruta con remuneraciones moderadas (Osorio et al., 2011).

1.1.4 Características del fruto

La pitahaya es una planta perenne, que puede vivir más de 2 años, Una especie trepadora que puede crecer normalmente en los árboles y piedras, esto se debe a esta planta necesita una superficie para sostenerse (Rodríguez, 2000).

El espécimen de *Hylocereus undatus*, se estudia mas, ya que tiene gran variabilidad morfológica, fisiológica y genética (Rodríguez, 2000), la cual es la especie con mayor cultivo en México y que puede encontrarse en los mercados locales de Veracruz, es importante mencionar que al ser una especie que crece en zonas con condiciones definidas, suele ser un fruto que se encuentra solo en temporada.

La fruta es un tiene una forma de globo o subglobosa (dehiscente en *Hylocereus* e indehiscente en *Selenicereus*), puede medir en promedio entre 8 y 15 cm de longitud y entre 6 a 10 cm de diámetro, con pericarpelo que puede ser entre color rojo o amarillo (Montesinos-Cruz et al., 2015).

La baya que es el fruto tiene una forma ovoidea, tiene un largo de 10 a 12 cm de ancho, con brácteas en forma de pequeños triángulos que cubren todo el fruto, pulpa jugosa de color blanca. Antes de considerarse un fruto maduro tiene un colorverde (Huachi et al., 2015). Cuando la fruta madura su cáscara y la pulpa de algunas variedades cambian a color rojo púrpura, mientras que en otras variedades la cáscara es amarilla y la pulpa blanca. El fruto pesa entre 200 y 350 g, y contiene muchas semillas (Le Bellec et al., 2006).



Figura 2.- Fruto maduro de pitahaya (*Hylocereus* sp.) genotipo orejón.

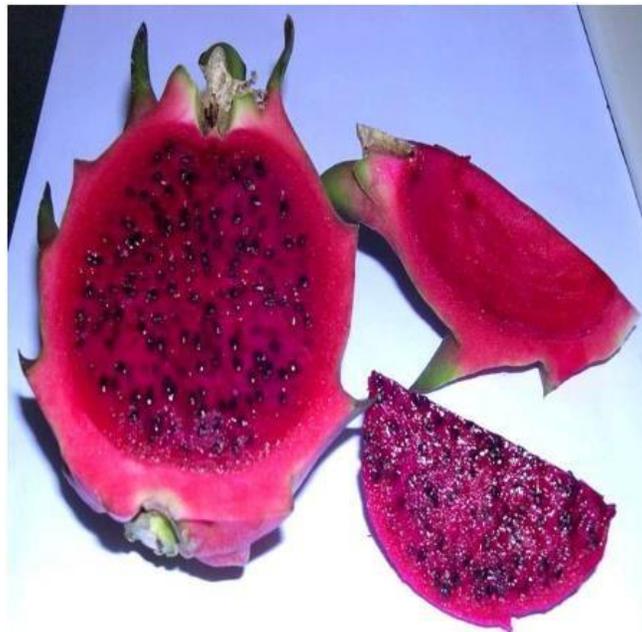


Figura 3.- Mesocarpio del fruto de pitahaya (*Hylocereus* sp.) maduro, genotipo orejona.

Fuente de imagines: Esquivel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 113-129.

1.1.5 Usos comunes y productos derivados

La pitahaya cuenta con distintas aplicaciones de acuerdo con el país del que proviene, siendo así, que su uso proviene desde tiempos ancestrales, comerciales e industriales (Montesinos-Cruz et al., 2015). En México esta fruta era de gran relevancia especialmente en zonas semi-áridas tropicales u subtropicales; las comunidades prehispánicas la han empleado ancestralmente como regalo u ofrenda para comunidades vecinas o se realizaban bebidas de este fruto (López, 1999).

Hoy en día la importancia de este fruto obliga a los países a generar proyectos de diversos tipos, ya que basados en la composición nutricional se utiliza principalmente: de manera fresca en trozos o acompañada de otras frutas, la pulpa de la pitahaya es sometida a un proceso IQF (Individual Quick Freezing) convirtiéndola así en una materia prima para la elaboración de gelatinas, refrescos, helados, yogurt, dulces, mermeladas, jaleas, cocteles y otros productos industrializados (Huachi et al., 2015).

Se trata de un fruto muy especial que cuenta con aplicaciones medicinales con una que van desde el alivio a problemas intestinales y mejoramiento en el funcionamiento del tracto digestivo (Huachi et al., 2015). El beneficio más conocido de esta fruta es la capacidad antioxidante que se atribuye a sus semillas por su alto contenido de ácidos grasos naturales (Chemah et al., 2010).

1.1.6 Composición nutricional.

Con 100 gr de la parte que se puede comer de la pitahaya fresca se tiene: agua 83 g, proteína 0.159- 0.029 g, grasa 0.21 – 0.61g, fibra 0.9 g (Huachi et al., 2015). Además, se encuentra gran presencia de minerales como: Calcio 6.3- 8.8 mg, Fosforo 30.2-36.1 mg, Hierro 0.55-0.65 mg, vitaminas como: vitamina B1, vitamina B2, vitamina B3 y vitamina C (Morton, 1987).

Un compuesto importante que es de nuestro interés y que es mencionado por [Huachi et al. \(2015\)](#), existen betalinas que se encuentran en la cáscara y en la pulpa que actúan como una clase de pigmento, dando una coloración rojo y amarillo indol, la diversidad de estos pigmentos permiten la solubilidad en agua formando dos grupos estructurales: el rojo violeta (betacianinas) y amarillo naranja (betaxantinas), son sustancias químicas que funcionan en conjunto con la vitamina C para evitar la muerte prematura de las células ([Esquivel y Araya, 2012](#)).

Las propiedades fisicoquímicas más importantes corresponden al contenido en el jugo de azúcares reductores como la glucosa y fructuosa, la acidez de la pulpa es generalmente baja 2.4 g/L, los ácidos orgánicos están principalmente en el zumo, los cuales son ácido cítrico, ácido láctico. El principal aminoácido presente en el jugo de pitahaya es la prolina 1.1 – 1.6 g/L ([Jamilan et al., 2011](#)).

Un punto importante, es que la pitahaya no tiene un origen establecido, debido que los países en los cuales se produce como cultivo se disputan la mención de procedencia, sin embargo, la proporción más grande de cultivo de este fruto se encuentra en México de lo que se cree existe una exportación hacia los países del sur de América Latina ([Huachi et al., 2015](#)).

La ventaja en tener que cultivar este tipo pitahaya (*Hylocereus*) en comparación con la tuna es que la pitahaya se puede manipular más fácilmente debido a que la fruta no tiene espinas que la cubren haciendo más sencillo su cultivo ([Esquivel y Araya, 2012](#)).

1.1.7 Beneficios de su cultivo

Un beneficio que se tiene en cuenta para cultivar pitahaya es que en localizaciones geográficas áridas o con escasas cantidades de agua, tener plantaciones de este tipo se vuelve un beneficio con relevancia económica y poblacional, por lo que localidades en crecimiento en México y en otros países del continente americano, pueden tener esta planta debido a que es capaz de resistir distintos climas para cultivarse y sus necesidades para manejarla son mínimas ([Cruz et al., 2015](#)).

Una ventaja más de esta opción de cultivación para las regiones es que el fruto puede tener un buen precio de venta en establecimientos locales, regionales, nacionales e internacionales por ser conocida como una fruta exótica (Castillo, 2006). Adicionalmente, es capaz de desarrollarse en corto y mediano plazo, en huertas familiares y en plantaciones de comercio (Castillo, 2006).

El uso de prácticas agroecológicas para el crecimiento óptimo del cultivo es una de las tendencias que debe promoverse. En este sentido, las investigaciones futuras deben enfocarse en mejorar las prácticas culturales, logrando una mayor compatibilidad de estas con el ambiente, así como la búsqueda del tiempo óptimo para la cosecha, de modo que favorezca la obtención de un producto con mejores propiedades organolépticas (Cruz et al., 2015).

El establecimiento de plantaciones comerciales de pitahaya, no solo en las regiones de domesticación, sino también en los diferentes estados de México con potencial para producir la fruta, pero donde no se cuenta con la experiencia tradicional en su manejo, requerirá apoyarse en los resultados de las investigaciones especializadas del cultivo y desarrollar la experiencia necesaria (Cruz et al., 2015).

1.1.8 La pitahaya como producto industrial.

En los últimos años se ha promovido la iniciativa de disminuir los colorantes artificiales en nuestro consumo alimenticio, lo que provoca la búsqueda de alternativas más favorables y aceptadas, tal es el ejemplo de los colorantes naturales, lo que es cada vez más importante en los mercados internacionales. (Esquivel y Araya, 2012).

Las frutas del tipo *Hylocereus* de la pitahaya fueron reconocidas como precursoras para la obtención de pigmentos (Stintzing et al., 2003). Mayormente de las zonas donde se cultivan tipos de Pitahaya *Hylocereus* están dedicadas a la obtención de pulpas, muy solicitadas en los Estados Unidos de Norteamérica. por su industria

alimentaria y en el continente europeo como ingrediente para los alimentos y pigmentos naturales (Ortiz- Hernández, 1999).

La pulpa se puede vender con las semillitas ya que es difícil poder separarlas. Es de suma importancia tener en cuenta para usos industriales, los frutos del tipo *Hylocereus* podrían tener variaciones en sus calidades de coloración y contenido de pigmentos, por lo que podría ser importante seleccionar los genotipos correctos para su cultivo y los cuidados que se deben mantener. Se piensa que cultivar la pitahaya puede ser prometedor, como fruta fresca, así como su uso en la industria alimenticia (Esquivel y Araya, 2012).

Para poder procesar la pitahaya como producto, es necesario tener en cuenta que las estabildades de los compuestos químicos del fruto pueden verse afectados, por ejemplo: la cantidad de pigmentos que contiene, el punto de acilación y glucosilación, la matriz que la constituye, los grupos quelantes, el grado de temperatura, la acidez y la cantidad de agua. (Herbach y Carle, 2006; Moreno et al., 2008; Azeredo, 2009; Esquivel y Araya, 2012).

Una alternativa para su uso en la industria alimenticia es la producción de jugo de pitahaya. Herbach et al. (2007) estudió el cambio de distintos procesos a diferentes cambios de temperatura. Herbach et al. (2004) se puede resaltar el alto grado de estabilidad en las características químicas de la fruta (betalaínas principalmente) en el jugo de pitahaya en comparación con soluciones de betaninas y jugo de remolacha de color rojo, después de someterlos a 84°C durante de 5 h. La degradación de betacianinas y el cambio de coloración dieron menos resultados en jugos pasteurizados.

Otra alternativa que podemos destacar para la aplicación de pitahaya como pigmento, se menciona en el trabajo elaborado por NizahaJuhaida et al. (2011) donde mostró que el pigmento como polvo que se obtiene de la pitahaya con una mezcla de maltodextrina puede ser un material conveniente para darle color al yogurt.

A su vez [Esquivel y Araya \(2012\)](#) mencionan que la pitahaya contiene numerosas semillas en la pulpa, de las cuales se puede obtener grandes cantidades de aceite y es una aplicación relevante a considerar. En una investigación realizada, se encontró que este aceite tiene grandes cantidades de grasas insaturadas; así mismo [Ariffin et al. \(2009\)](#) mencionan que el aceite contiene aproximadamente 50% grasas esenciales. Tomando en cuenta los componentes de las grasas. [Chemah et al. \(2010\)](#) el ácido linoleico está en mayor cantidad presente en este aceite.

1.1.9 Importancia de la investigación

Actualmente se ha notado que existe muy poca información sobre productos o soluciones en las que esté involucrada la pitahaya, por lo cual resulta atractivo ser utilizado ya que el mucilago es un nuevo material, a su vez no se cuentan con estudios sobre este producto, lo cual hace que sea un área de oportunidad para la creación de nuevos materiales naturales.

1.2 Coloides

1.2.1 ¿Qué son los coloides?

Los coloides se conocen como suspensiones de partículas en un medio molecular. Los tamaños de partícula deben estar entre 1nm- 1µm para que estas suspensiones se consideren coloides. ([Melero, 2015](#)).

Este tipo de solución es un sistema termodinámicamente estable, es decir, un sistema con menor energía que los componentes separados en distintas soluciones. Además, en la mayoría de los casos los solutos suelen estar compuestos por moléculas normales, de tamaño menor a 1nm. Los solutos poliméricos como las proteínas, los polisacáridos y los polímeros sintéticos también pueden formar soluciones verdaderas, pero estos sistemas exhiben comportamientos específicos

que les otorgan características únicas. Determinado a ser un tipo especial de dispersión o sistema coloidal. (Melero, 2015).

El sistema coloidal mínimo debe estar compuesto por dos fases, donde una fase se descompone en pequeñas partículas (fase dispersa, fase discontinua) y es rodeada totalmente por la otra fase en el sistema (fase dispersa, medio disperso, etc.) (Melero, 2015).

1.2.2 Sistemas dispersos o Sistemas coloidales

A continuación se mencionan ejemplos de sistemas dispersos que se mencionan en el trabajo de (Melero, 2015):

- **Aerosol**: son sistemas coloidales de finas partículas dispersas en un medio gaseoso.
- **Emulsión**: Este sistema se destaca por usar como medio de dispersión el agua y la intención es dispersar pequeñas gotas grasas.
- **Suspensión coloidal (soles)**: se destacan por dispersar diminutas partículas en estado sólido en una fase líquida (agua o aceite). Los soles son sumamente estables y la característica principal es que tienen efecto Tyndall.
- **Gel**: es un sistema donde un sólido se dispersa en un líquido. La característica principal es que la densidad se considera similar al líquido donde se dispersa, aunque su estado pareciera ser sólido.
- **Dispersión sólida**: es una dispersión donde las dos fases son sólidos, es muy usado en fármacos para distribuir principios activos.
- **Coloide en un coloide**: son mezclas homogéneas donde las partículas son sumamente pequeñas, esto para que permanezcan suspendidas. Un ejemplo son los aromatizantes en aerosol.

Los floculantes están formados por moléculas de jabón (sales de ácidos grasos de cadena larga) o detergentes, comúnmente conocidos como tensioactivos, conocidos como coloides aglutinantes. Estos agregados se denominan micelas. Las soluciones de surfactante, cuando se agitan, pueden contener aire arrastrado (gas) en forma de burbujas, que son otra forma de coloide conocida como espuma. (Melero, 2015).

Las propiedades básicas de las dispersiones coloidales pueden explicarse por la relación muy alta entre el área superficial y el volumen de partículas. En una solución real, el sistema consta de una sola fase y no existe un límite real entre las moléculas de soluto y solvente. El sistema de dispersión coloidal es un sistema de dos fases, y para cada partícula habrá una cierta región de separación. (Melero, 2015).

1.2.3 Clasificación de coloides según su fase.

Respecto a las fases que conforman el coloide se clasifican en los siguientes tipos:

Tabla 1. Clasificación de coloides por sus componentes

Nombre	Dispersante	Dispersa	Ejemplo
Mezclas	Gas	Gas	Aire
Espumas	Líquido	Gas	Crema de Afeitarse
Espumas en sólido	Sólido	Gas	Esponjas
Emulsiones sólidas	Sólido	Líquido	Manteca de cerdo
Aerosoles Líquidos	Gas	Líquido	Nieblas

Emulsiones	Líquido	Líquido	Crema
Aerosoles	Gas	Sólido	Humos
Geles o soles	Líquido	Sólido	Gelatinas

Fuente: Melero (2015)

Las mezclas coloidales tienen diversas aplicaciones en áreas científicas y de uso industrial. En cualquier caso, la estabilidad coloidal se utiliza para mejorar o descubrir nuevos usos para materiales específicos.

Algunas industrias en las que comúnmente se pueden encontrar sustancias en como coloides (Melero, 2015):

- **Productos de consumo humano:** Cosméticos, leche, mantequilla, agentes de limpieza, bebidas, aditivos alimentarios.
- **Materiales:** Aleaciones cerámicas, metalurgia, cementos, fibras y enriquecimientos de materias extraídos del suelo.
- **Industria farmacéutica:** Crema, emulsiones, micro emulsiones, materiales de absorción.
- **Medio ambiente:** Aerosoles, purificación de agua, lodos, insecticidas, contaminación atmosférica, espumas.
- **Productos químicos:** Industria de fabricación de petróleo, tintas de imprenta, pegamentos, colorantes, pinturas, reactivos espesantes, catalizadores, aceites de lubricación, absorbentes, papel, emulsiones fotográficas.

1.2.4 Clasificación termodinámica

Las dispersiones coloidales también tienen una clasificación desde el punto de vista termodinámico en los cuales existen dos grupos: los Liófilos y Liófilos (Melero, 2015).

- **Coloides Liófilos**

1. Se forman de manera espontanea
2. Tienen afinidad por el disolvente
3. Pueden ser reversibles y reconstituirse fácilmente
4. Son termodinámicamente estables
5. Si la fase dispersa es agua se puede obtener un coloide hifrofilico.

- **Coloides Liófbos:**

1. No se forman espontáneamente
2. No tienen afinidad por el disolvente
3. Son inestables e irreversibles
4. No son termodinámicamente estables
5. Por lo general están conformados por materiales inorgánicos

1.3 Hidrocoloides.

Los hidrocoloides se definen como un grupo heterogéneo de polímeros de cadena larga, son azúcares complejos con alto peso molecular, de rápida dispersión, pueden ser total o parcialmente solubles ya que tienden a absorber agua. (Li y Nie, 2014). Se les da el nombre de “hidrocoloides” por que tienen la particularidad de producir partículas coloidales hidratadas por su capacidad de absorber agua (Dergal, 2006).

Los hidrocoloides provienen de distintos productos de procedencia natural (Gisseth, 2016). Estos pueden ser obtenidos de frutas, plantas, semillas, algas marinas, de origen microbiano, sintéticos, semisintéticos y algunos pueden ser de origen natural

(Garibay, Ramírez y Canales, 1993). Los hidrocoloides que provienen de fuentes sintéticas son de gran aplicación para elaborar productos para el cuidado personal mientras que los que se obtienen de forma natural son utilizados primordialmente en alimentos. (Broze, 2011).

Los hidrocoloides tienen aplicaciones a escala industrial ya que son agentes que pueden cambiar las propiedades específicas de un material para fluir, siendo más precisos funcionan como modificadores reológicos cambiando la viscosidad de los materiales (Casas y Gisseth, 2016).

Es por esta razón que la facilidad de conocer las características de las propiedades de flujo es la cualidad precisa para lograr texturas concretas. Para esto es importante conocer las propiedades reológicas de cada tipo de coloide distinto, ya que teniendo el conocimiento de la formulación de los productos de interés podemos tener la característica de flujo específica que buscamos en el producto final (Braun y Rosen, 1999).

Otra característica de los hidrocoloides es que pueden modificar la consistencia de una mezcla, además de cambiar la viscosidad (Braun y Rosen, 1999). Sabiendo esto podemos clasificarlos según la función que otorga a una mezcla: emulsionantes, espesantes y estabilizantes (Casas y Gisseth, 2016).

Los espesantes, por ejemplo, modifican la reología a diferentes niveles cuando se integran en una mezcla y cambian la percepción de textura convirtiéndola en más espesa, como por ejemplo la carboximetilcelulosa. Pero existen otros hidrocoloides, como la goma gelana (estabilizante) que cambian las propiedades de flujo de una mezcla, pero no su consistencia (Koleske, 1995).

Aquellos materiales que pueden modificar la reología a diferentes concentraciones cuando se adicionan a una mezcla son conocidos como “hidrocoloides espesantes” ya que modifican la textura haciendo la mezcla mas espesa, tal es el caso de la carboximetilcelulosa. Sin embargo existen casos donde el hidrocoloide solo cambia

la viscosidad de la mezcla sin cambiar la consistencia como es la goma gelana que se usa como estabilizante (Koleske, 1995).

Otra aplicación de los hidrocoloides es que pueden funcionar como emulsionantes; en donde cambian la tensión superficial entre agua-aceite o aire-agua (Friberg, Larsson y Sjoblom, 2003).

El término goma se refiere a las secreciones pegajosas de las plantas y, a veces, se combina con coloides hidrofílicos. En Asia, en el año 800 a. C., la goma de algas se usaba como materia prima para la alimentación en varios productos hindúes. Con el tiempo, se han descubierto muchas secreciones vegetales y se ha aplicado caucho a todo tipo de materiales adhesivos, lo que dificulta la comprensión de su clasificación. Después de la Segunda Guerra Mundial, muchos científicos en este campo se unieron para tratar de aplicar un término unificado. (Glicksman, 1982).

En la actualidad, para unificar términos las gomas se dividieron en dos tipos: solubles y no solubles en medios acuosos. Las solubles se llamaron *gomas*, y las que no son solubles se llamaron *coloides hidrofílicos*. Estos últimos hacen referencia al chicle, la rosina, el latex de caucho y se les nombran de manera general como resinas (Sandoval et al., 2003).

Los hidrocoloides también dividen en 3 categorías como se indica en la tabla 2 (Glicksman, 1982; Penna, 2002; Sandoval et al., 2003).

En resumen, el uso de hidrocoloides se basa en dos de las propiedades más importantes: la capacidad de cambiar las propiedades de una mezcla (viscosidad y espesante) y la capacidad de formar geles. (García et al., 2004).

Algunas proteínas son una excepción porque los hidrocoloides son una clase estructuralmente heterogénea de polisacáridos total o parcialmente solubles y las proteínas se consideran fuentes de hidrocoloides. Un ejemplo es la gelatina, que tiene una excelente hidrofilia y se puede dispersar fácilmente en agua (Dickinson, 2009).

1.3.1 Propiedades funcionales de los Hidrocoloides

Los hidrocoloides presentan en su estructura química grandes cadenas que se traduce a que son compuestos pesados, a pesar de esto pueden disolverse fácilmente en agua haciendo que la solución acuosa que los contiene tenga una mayor viscosidad. Pocos hidrocoloides tienen la capacidad de formar geles a pesar de tener procesos con condiciones controlada. (Sandoval et al., 2003).

Las importancias de los hidrocoloides se basan principalmente en las propiedades funcionales: Estabilización, el espesamiento y la gelificación. Estas propiedades se deben a que los polisacáridos al entrar en contacto con el agua pueden actuar reteniendo agua para hacer más espesa la mezcla (espesantes), también pueden formar redes tridimensionales macroscópicas para formar geles o bien hacer que una emulsión se mantenga con el paso del tiempo (estabilizante) (Penna, 2002).

Estos polímeros también suelen usarse en aplicaciones secundarias que incluyen estabilización de emulsiones y suspensiones, cristalización, inhibición de sinéresis y para formar interfases (Dziezak 1991).

1.3.2 Tipos de Hidrocoloides

Una clasificación muy conocida de estos materiales es la que muestra Sandoval et al. (2003), donde se puede apreciar el origen de distintas fuentes (ver tabla 2):

Tabla 2. Clasificación de los hidrocoloides

Clasificación	Compuestos
Hidrocoloides	Exudados de plantas: Arábigo, Tragacanto, Karaya, Ghatti.
Naturales	Semillas de plantas: Garrofin, Guar
	Extractos de algas marinas: Agar, Alginatos, Carragenina
	Almidones
	Animal: Gelatina, Albúmina, Caseína
	Subproducto vegetal: Pectina, Arabinogalactano.
Hidrocoloides semisintéticos	Derivados de la Celulosa: Carboximetilcelulosa(CMC), Metilcelulosa, Hidroxipropilcelulosa.
	Gomas de fermentacion microbiano: Xantan, Gelano
	Almidones modificados: Carboximetil Almidón, Hidroxipropil Almidón.
Hidrocoloides	Polimeros vinilicos: Polivinilalcohol, Polivinilpirolidina
Sinteticos	Polimeros de óxido de etileno: Polyox

Fuente: Glicksman, (1982); Sandoval et al. (2003)

Hidrocoloides de plantas.

Forman parte del grupo de gomas más longevo; Literalmente todos los tipos de plantas tienen alguna especie que secreta goma, sin embargo, se obtiene poca cantidad de exudado y es por eso que solo algunas plantas entran en esta categoría.

Aproximadamente del 10% al 15% de las gomas que se comercializan hoy en día son de exudados de plantas. Generalmente, de los arbustos pequeños se obtienen dichas gomas. Estos exudados se recolectan de manera manual y se clasifican en diferentes grados de pureza.

Es relevante indicar que estos exudados son opción factible para la economía, debido a que no se necesita de tratamientos de alta complejidad, lo cual es una ventaja para su producción y venta. (Glicksman, 1982; Nussinovitch y Hirashima, 2014).

- Hidrocoloides de semillas

Muchos tipos de semillas se conforman por polisacáridos de reserva, muchas de estas semillas se cultivan para obtener diversos exudados que están disponibles en el mercado. Las gomas que más se conocen son las del membrillo lino, *psyllium* y garrofín, estos materiales son usados en diferentes productos actualmente. Estas semillas provienen de plantas, las cuales se cultivan de forma tradicional. (Capitani et al., 2013).

- Extractos de algas marinas

Estos materiales representan una opción económica de los cuales se pueden obtener hidrocoloides. Existen 3 grupos de los cuales podemos obtener estos materiales que son: carrageninas, agar y alginatos. Un beneficio adicional es que el material obtenido es de alta pureza. (Prajapati et al., 2013).

- Hidrocoloides de origen animal.

La extracción de estos hidrocoloides proviene de mamíferos o peces ya que se obtienen macropolímeros y que al someterse a cambios físicoquímicos estos se transforman en carbohidratos y proteínas que son usados en la producción de alimentos. El colágeno es un ejemplo de hidrocoloide que se usa para fabricar gelatina, este se obtiene de una acetilación de los huesos de animales para transformarse en quitosano (Capitani et al., 2013).

- Proteínas y gomas.

Una clasificación según (Glicksman, 1982; Nussinovitch y Hirashima, 2014) parte de los componentes que conforman los hidrocoloides, los cuales pueden ser:

Proteínas: Estos polisacáridos pueden ser solubles ya que cuentan con una estructura heterogénea por lo que la solubilidad puede ser parcial o total. Se sabe que la gelatina proviene de hidrocoloides de origen animal pero no se considera hidrocoloide ya que tiene como características que es altamente hidrofílica y tiene alto grado de polidispersidad, características que no debe tener un hidrocoloide (Dickinson, 2009).

Por otra parte, la proteína de suero de leche tiene un comportamiento de gelificación como los polisacáridos que constituye a un hidrocoloide. (Li y Nie, 2015).

Gomas: se definen como cualquier polisacárido que presenta alta solubilidad en agua, se pueden extraer de vegetales que se cultivan en la tierra o de vegetales presentes en los mares. Las gomas tienen la capacidad cambiar las propiedades de la solución que las contiene tales como la viscosidad y la formación de geles.

Ejemplos de gomas son las galactomanas que se obtienen de semillas de guar y los exudados de la goma arábica y el tragacanto. También de las algas se obtienen gomas como las carragenanas y los alginatos (Whistler y Daniel, 1985).

1.4 Mucilagos

Existen otro tipo de hidrocoloides que se conocen como mucilagos, estos se obtienen principalmente de semillas, vegetales y frutas. La extracción y su uso ha ido en aumento los últimos años ya que son materiales poco estudiados.

Un mucilago se define como una sustancia compleja, la cual es de origen vegetal y su comportamiento puede ser ácido o neutro, está formado por polímeros de polisacáridos de alto peso molecular, cuya función puede variar, dependiendo de la planta o fruto del que se extrae puede tener un comportamiento específico (Fahn, 1979).

El mucílago es producido en células secretadoras especializadas, las cuales, pueden encontrarse en hojas, tallos, raíces, semillas y frutos. La presencia o ausencia, así como la función en cualquier estructura, depende de la adaptación e incluso de la supervivencia de cada especie en particular (Pacheco et al., 2002).

Gomas y mucílago naturales: las gomas se consideran productos patológicos formados después de una lesión en la planta o debido a condiciones desfavorables, como la sequía, por una ruptura de las paredes celulares (formación extracelular; gomosis), mientras que los mucílago son generalmente productos normales del metabolismo, formados dentro de la célula (formación intracelular) y / o se producen sin dañar la planta (Bhosale, 2014).

Las gomas se disuelven fácilmente en agua, mientras que el mucílago forma masas viscosas. La acacia, el tragacanto y la goma guar son ejemplos de gomas, mientras que los mucílago a menudo se encuentran en diferentes partes de las plantas. Por ejemplo, en las células epidérmicas de las hojas (sen), en las capas de semillas (linaza, *psyllium*), raíces (malvavisco), cortezas (olmo resbaladizo) y láminas medias (aloe) (Bhosale, 2014). Las gomas y los mucílago tienen ciertas similitudes,

ambos son hidrocoloides vegetales. También son sustancias amorfas translúcidas y polímeros de un monosacárido o monosacáridos mixtos y muchos de ellos se combinan con ácidos urónicos (Bhosale, 2014).

También las gomas y los mucílagos contienen componentes similares y en la hidrólisis producen una mezcla de azúcares y ácidos urónicos. Asimismo, contienen moléculas hidrofílicas, que pueden combinarse con agua para formar soluciones o geles viscosos (Bhosale, 2014).

La naturaleza de los compuestos involucrados influye en las propiedades de diferentes gomas. Los polisacáridos lineales ocupan más espacio y son más viscosos que los compuestos altamente ramificados del mismo peso molecular. Los compuestos ramificados forman geles con mayor facilidad y son más estables porque no es posible una interacción extensa a lo largo de las cadenas (Bhosale, 2014).

1.4.1 Mucilagos estudiados

- *Mucilago de chan*

Está conformado por polisacáridos de altos pesos moleculares, se obtiene de una semilla que al ser expuesta en agua se puede comenzar a secretar todo el exudado mucilaginoso formado por azúcares. (Lin et al., 1994).

La cadena principal de este mucilago está compuesta por (1 → 4) -β-D-xilopiranosil- (1 → 4) -α-D-glucopiranosil- (1 → 4) -β-D-xilopiranosil y 4-O- compuesto de azúcar. Rama del ácido -etil-α-D-glucurónico en la posición O-2 del xilopiranosil del esqueleto β-D. Como se mencionó anteriormente, el contenido de ácido urónico es característico de estos compuestos, que es de alrededor del 25% para Mucus-chan. (Lin et al., 1994).

- *La linaza (Linum usitatissimum L.)*

Se cultiva ampliamente para obtener aceite, fibra y alimentos. Contiene un importante polisacárido soluble en agua (mucílago), que incluye como una mezcla de arabinoxilanos neutros y polisacáridos que contienen ramícoso ácido (Ziolkowska, 2012).

El mucilago de que se obtiene de la linaza puede considerarse como un hidrocoloide espesante (Wu et al., 2010) y agente gelificante (Chen, Xu y Wang, 2006). Además, se ha recomendado el consumo de mucílago de linaza para la reducción de la glucosa en sangre y el colesterol en los diabéticos (Thakur et al., 2009) y aumentar la excreción de grasa fecal (Kristensen et al., 2012).

Sin embargo, a pesar de los numerosos beneficios de este mucílago, no se ha utilizado ampliamente en los alimentos.

- *Semillas de Lallelantia iberica*

Es una planta perteneciente a la familia *Laniacege*, crece en Asia y Europa del Este y localmente conocido como cabeza de dragón y león muerto. En la medicina tradicional, esta hierba se ha utilizado como estimulante y expectorante para curar un resfriado común, enfermedades nerviosas y presión arterial alta (Lon et al., 2011).

El aceite extraído de la semilla de *Lallelantia* Ibérica es ampliamente utilizado en la industria alimentaria y cosmética debido a su alto contenido de ácido linolénico (Overeem et al., 1999). La semilla de *Lallelantia* iberica produce mucílago cuando se expone al agua, El mucilago de estas semillas se compone principalmente de carbohidratos. Dado al alto contenido de hidratos de carbono y el rendimiento de

extracción, este producto puede introducirse como una alternativa viable para algunos hidrocoloides comerciales (Fathi et al., 2018).

- *Opuntia de mucílago*

Opuntia es uno de los polisacáridos de mucílago derivados de plantas que tiene aplicaciones potenciales en alimentos, cosméticos, productos farmacéuticos y químicos.

Es una planta silvestre que se cultiva en regiones semidesérticas en los trópicos y subtropicales, incluido el sur de China, y se distribuye ampliamente para uso ornamental y medicinal. Los frutos de *Opuntia* contienen altas cantidades de fibra, ácido ascórbico, fenólicos, Ca y Mg, se consumen principalmente como alimento funcional debido a sus efectos antiinflamatorios, antioxidantes, hipocolesterolémicos y anti-hiperglucémicos (Medina, Rodríguez y Romero, 2007).

- *Basella alba*

La *Basella alba* es una planta suculenta y medicinal, y su hoja y tallo contienen una cantidad significativa de mucílago, que puede tener una amplia gama de potenciales de aplicación desde la medicina cosmética hasta la industria alimentaria. La *Basella alba* también proporciona varias propiedades funcionales. Por ejemplo, se ha demostrado que su extracto posee capacidades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, y mostró aplicación para el tratamiento del hipercolesterolemia y el desarrollo de un agente inhibidor contra *Sitophilus zeamais* (Adhikari, Kumar y Shruthi, 2012; Baskaran et al., 2015; Haque et al., 2000; Lin et al., 2010).

Este mucílago puede usarse como agente espesante y aglutinante de tabletas debido a su fuerte capacidad de suspensión y alta viscosidad (Adhikari et al., 2012; Kumar et al., 2013).

- *Quimbomgó (abelmoschus esculentus)*

De este fruto se obtiene un polisacárido que tiene una función como mucilago. Este polisacárido fue extraído a través de dos solventes: Acetona y metanol (Archana et al., 2013).

Se puede comparar con polisacáridos de algas marinas por su capacidad emulsionante y su índice de hinchamiento. Utilizando acetona se obtuvo una cantidad considerable respecto al quimbomgó utilizado que fue del 22% respectivamente. Mientras que con metanol se obtuvo 11.3%, dando un rendimiento menor. Un dato que se observó durante la experimentación fue que el índice de hinchamiento fue mayor con metanol que con acetona. Los análisis químicos de estructura mostraron que estos polisacáridos son hidrogeles termoestables (Archana et al., 2013).

- *Planta de Berro*

La planta de berro es conocida como *Lepidium sativum* del grupo de clavos. La semilla de esta planta absorbe rápidamente agua después de remojarla en agua y produce una capa de mucílago pegajosa. El polímero de mucílago que se obtiene de la planta de berro es un carbohidrato con grupos carboxílico e hidroxilo. La presencia de dos ácidos urónicos (15% de ácido galacturónico y glucurónico) expresa su naturaleza polielectrolítica (Karazhiyan et al., 2011).

- *Mucilago de Cordia myxa*

La *Cordia myxa* es una planta de la familia de las *Boraginaceae* que crece en las áreas tropicales y subtropicales de América, África, Asia y Oceanía (Jannasari et al., 2019).

La *Cordia myxa* tiene un alto valor nutritivo como alimento y una influencia positiva en la salud humana. También ofrece propiedades medicinales tales como cicatrizante, antiinflamatorio, antihelmíntico, antipalúdico, astringente, diurético, febrífugo, supresor del apetito, supresor de la tos y tratamiento de infecciones urinarias. (Thirupathi et al., 2008).

Además, de la *Cordia myxa* se puede obtener un mucilago donde se ha encontrado que puede usarse como aglutinante y emulsionante y también como matriz de liberación sostenida para la fabricación de tabletas, nanopartículas, microcápsulas y perlas (Ahuja et al., 2013).

- *Pereskia aculeata*.

Es un miembro de la familia *Cactaceae*, conocida popularmente en inglés como la grosella espinosa de Barbados, y en portugués asora-pro-nobis. Considerada como una planta poco convencional, se le conoce como "carne para los pobres", debido al alto contenido de proteínas. También contiene grandes cantidades de vitaminas, minerales, fibra y hemicelulosa, importantes para la nutrición humana. Su constitución de proteínas representa aminoácidos esenciales y no esenciales, con un alto contenido de lisina (Almeida, Filho y Cambraia, 1974), un aminoácido que se encuentra en proteínas animales.

Las concentraciones de aminoácidos esenciales y no esenciales son cercanas o superiores a las recomendadas por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) para las dietas humanas, destacando el triptófano, que es uno de los más abundantes (Takeiti et al., 2009).

Además de los usos alimentarios, también se aplica en la medicina popular, donde sus hojas se usan para dar a conocer un emoliente que alivia la inflamación y ayuda a curar las quemaduras (Sartor et al., 2010). Los estudios etno-farmacológicos también han demostrado su uso para combatir la anemia (Damasceno y Barbosa, 2008).

- *Mucilago del nopal*

El Mucilago de nopal es uno de los más conocidos y estudiados se obtiene del tipo *Opuntia* spp. la cáscara es un heteropolisacárido coloidal hidrofílico (que incluye residuos de arabinosa, galactosa, ramnosa y xilosa como azúcares neutros). Del nopal se obtienen grandes cantidades de mucilago ya que de forma común este secreta mucilago (baba). (Majdoub, Sadok y Deratani, 2001), (MacGarvie y Parolis, 1979).

Las aplicaciones domésticas del mucílago son muy diversas. Algunas de ellas han sido estudiadas y escaladas en publicaciones científicas. Sáenz, Sepúlveda y Matsuhiro (2004) mencionan algunos usos:

- 1) En el campo médico, controla el azúcar y el colesterol en la sangre, protege la mucosa gástrica de las úlceras, alivia el dolor y ejerce efectos antiinflamatorios y antivirales.
- 2) En el campo ambiental: Tratamiento de aguas contaminadas con metales, bacterias fecales y olores.
- 3) Elaboración de pintura mediante la adición de moco como aglutinante natural de la cal para restaurar y proteger edificios históricos..
- 4) agricultura, mejorando la infiltración de agua en suelo.

5) En alimentos se usa como para formar aglutinantes de sabor y sustitutos de grasas, agente para preparación de emulsiones y elaboración de biofilm comestible. La aplicación más conocida es que se crea una película que recubre las fresas para alargar su periodo de vida, siendo una opción económica. (Del Valle et al., 2005).

La viscosidad es la principal característica del mucílago, sobre la que se proyecta la aplicación como aditivo de alimentos, adhesivo de pinturas y recubrimiento de mucosa gástrica ulcerada, entre otras (Vargas-Rodríguez, 2016).

- *Mucilago de tamarindo*

Este mucilago se obtiene de las semillas de tamarindo, además estudios revelan que esta conformado por grandes cantidades de aminoácidos esenciales: valina, metionina, fenelina, lisina, isoleucina y leucina. Esta aportación nutricional hace que este material tenga aplicaciones de alto impacto en las industriales alimenticias. (Panigrahi et al., 1989),

El mucilago obtenido de las semillas de tamarindo esta formado principalmente de azúcares naturales como galactosa, glucosa y xilosa (Freitas et al., 2016). Además está constituido por proteínas (15.40%), contiene carbohidratos (60 a 80%), es bajo en grasas (máximo 7.50%), es rico en fibra y tiene un índice bajo de cenizas (desde 0.07%) (Alpizar-Reyes et al., 2017a; Alpizar-Reyes et al., 2017b; Khounvilay y Sittikijyothin, 2012; Nishinari et al., 2009).

Desde el punto de vista como material tiene la capacidad de incrementar la viscosidad de las soluciones cuando esta en contacto con agua, es estable a cambios químicos de temperatura y químicos. Además es un materia comestible, se degrada de forma natural, no es toxico, es compatible con otros materiales orgánicos y su consumo no es cancerígeno. (Goyal et al., 2015; Manchanda et al., 2014; Sharma et al., 2014; Singh, Malviya y Sharma, 2011).

- *Mucilago de Chia (Salvia hispanica L.)*

Salvia hispánica L. es una semilla oleaginosa comúnmente conocida como chía. Esta semilla es fuente natural de ácidos grasos omega-3 y omega-6, antioxidantes, fibra soluble e insoluble, vitaminas y minerales.

Un interesante componente de esta oleaginosa es el mucílago, un polisacárido de alto peso molecular que es exudado cuando la semilla se pone en contacto con agua. El mucílago contiene $48 \pm 0,55\%$ de azúcares totales, un $4 \pm 0,05\%$ de proteínas, $8 \pm 0,57\%$ de ceniza y $1,78 \pm 0,02\%$ de grasa. Los monosacáridos detectados fueron xilosa + manosa, arabinosa, glucosa y ácidos urónicos como galacturónico y glucurónico.

El mucílago contiene grupos funcionales hidroxilo y carbonilo y ácido carboxílico, similares a los encontrados en la goma xantana. Finalmente, el mucílago muestra una alta solubilidad y capacidad para formar soluciones altamente viscosas a bajas concentraciones (Muñoz y Zúñiga, 2018).

- *Mucilago de Aloe vera (Barbadensis Miller).*

Gracias a que el Aloe vera es conocido por su uso en la industria, siendo usado en cosméticos, productos farmacéuticos y varios productos alimenticios, su estudio de productos derivados es de suma importancia, un estudio usado para conocer las propiedades de estos materiales es el estudio reológico, ya que este estudio se especializa en conocer las características reológicas del Aloe n gel y en jugo.

Se ha observado que las características de elasticidad y viscosidad a diversas temperaturas para el aloe gel muestran que existen fibrosas y variables estructuras de diferentes polisacáridos. El gel muestra un comportamiento que mientras se

incrementa la temperatura esta presencia también aumenta de manera directa; mientras que en el producto de aloe en jugo muestra una mayor presencia de polisacáridos al disminuir la temperatura (Murthy, 2012).

Uno de los procesos unitarios utilizados para obtener polvo de aloe vera es el secado por aspersion, donde este material fue evaluado sometiendo el polvo en un medio acuoso y determinado sus propiedades reológicas, su distribución de tamaño de partículas, sus propiedades térmicas y morfológicas, todo ello con el fin de determinar si es una alternativa como goma natural para uso industrial en alimentos. Las mediciones reológicas se hicieron a 25°C en concentraciones acuosas de 3g/100mL y 6g/ 100mL (Cervantes et al., 2014)

Los resultados mostraron que la viscosidad de corte fue disminuyendo cuando aumenta la temperatura del aire de entrada y la rapidez de la atomización, y aumenta la viscosidad cuando aumenta el flujo de entrada en el secado por aspersion. Se determinó que las mejores condiciones para el secado por aspersion para obtener un agente espesante fueron los 150°C de la temperatura de entrada, 1.5L/h de tasa de alimentación y una velocidad de atomización de 275,000 rpm. Con propiedades reológicas muy cercanas a la muestra liofilizada (Cervantes et al., 2014).

1.5 Aplicación de los mucilagos

Los mucilagos forman parte del grupo de hidrocoloides y gracias a su composición pueden ser empleados en diferentes industrias y productos. Los campos con mayor interés en los que se buscan nuevas alternativas son en el alimenticio y en el farmacéutico, ya que en los últimos años se intentan crear productos que reduzcan el riesgo en la salud por su consumo.

Al ser productos de origen natural, sus beneficios resultan atractivos debido a que se busca reducir la ingesta de productos de síntesis química, alimentos procesados, conservadores y sustitutos artificiales. Por esta razón al ser productos naturales hace que su disposición también sea sencilla por su degradación simple.

Los hidrocoloides como macromoléculas biológicas se usan ampliamente en la producción de farmacos, cosmética, textil, de papel y como espesantes en los alimentos, agentes de retención de agua, estabilizadores de emulsión, agentes de suspensión, aglutinantes, etc. (Bhosale et al., 2017; Prajapati et al., 2013). En los últimos años, los mucílagos son los hidrocoloides preferidos ya que son baratos, libres de toxicidad, biodegradables y su producción no crea contaminación. Otra aplicación es que son capaces de transportar grandes cantidades de agua.

Como mencionan Alpizar Reyes et al. (2017), los hidrocoloides en las industrias alimenticias y farmacéutica se componen comúnmente de biopolímeros de alto peso molecular. Los grupos hidroxilo en la estructura del biopolímero aumentan la afinidad del agua, dando lugar a dispersiones acuosas viscosas. Los hidrocoloides se usan principalmente como agentes de batido, agentes opacantes, agentes floculantes, agentes clarificantes, sustitutos de grasas, agentes estabilizantes, emulsionantes, gelificantes, espesantes y fibras dietéticas. También se usan para producir encapsulaciones, disminución de cristalización y películas comestibles (Viebke et al., 2014).

Aunque los hidrocoloides son de naturaleza abundante como componentes funcionales de tejidos de plantas y animales, pocos tipos son considerados adecuados para la explotación comercial (Li y Nie, 2016).

El desarrollo de hidrocoloides aplicables a partir de cultivos y disposición de alimentos permite la recuperación, el reciclaje y la sostenibilidad de ingredientes de alto valor agregado en la cadena alimentaria, enfocando el interés en las propiedades físicas y funcionales de los exudados de goma vegetal y los mucílagos de semillas de diversas fuentes (Archana et al., 2013)(Munir et al., 2016)(Li y Nie, 2016)(Rezaei et al., 2016).

El exudado de extracto de semilla es una fuente de coloide hidrofílico natural de bajo costo que proporciona una ingesta baja en calorías y es ideal para desarrollar y mejorar productos para la salud con propiedades únicas. Es una opción beneficiosa para los seres humanos y tiene un potencial para aplicaciones en

alimentos (Nayaket et al., 2015) y la industria farmacéutica (Joseph et al., 2012)(Bansal et al., 2013)(Huanbutta et al., 2016).

1.6 Comercialización de hidrocoloides.

<https://www.quiminet.com/productos/hidrocoloide-7018187035/proveedores.htm>

Hoy en día, el comercio en línea es una herramienta muy versátil para apoyar la compra y venta de productos, ya que favorece el alcance de estos a consumidores de manera sencilla, facilitando los conductos de comercio.

El mercado de los hidrocoloides pertenece a un campo especializado donde sus consumidores buscan constantemente sus aplicaciones. Dicho esto, la forma común de venta es encontrar estos materiales en forma de polvos, lo que favorece su traslado y conservación.

Una de las características principales de comercializar los hidrocoloides en polvo es que en etapas anteriores de su producción se busca que los productos tengan una vida útil larga, un proceso unitario usado convencionalmente es el secado por aspersión, el cual favorece que el soluto de interés contenga concentraciones extremadamente bajas de agua y humedad. Aunque debido a rendimientos puede considerarse otras formas de secado que implementen las mismas condiciones y resultados. El beneficio de concentraciones bajas de humedad aumenta las posibilidades de conservación de estos productos y que tengan una vida útil extendida.

Existen empresas dedicadas a la venta de hidrocoloides especializados, los que mayormente son vendidos dentro de la región mexicana son Goma xantana, goma algarrobo, goma guar, goma tara. De acuerdo con diversas páginas en línea dedicadas a vender estos productos, estas empresas son de inversores mexicanos que comercializan las mayorías de los productos que van dirigidos a diversos sectores como son: alimenticio, farmoquímico, petroquímico y químico.

1.7 Secado

El secado es un fenómeno térmico donde se involucran al mismo tiempo la transferencia de calor y de masa. Consiste en eliminar total o parcialmente el contenido de agua de un material húmedo mediante el suministro de calor continuamente para acelerar la difusión- evaporación. El producto final puede resultar en estado sólido libre de humedad o líquido si se busca aumentar la concentración de líquido principal (M. A. M. Khraisheh et al., 1997).

1.7.1 Secado por convección

En la producción alimentaria este tipo de secado tiene diferentes propósitos ya que al reducir la cantidad de agua se reduce el crecimiento microbiológico en los alimentos y se puede extender su periodo de vida para su consumo. Otra razón es que al quitar humedad de los alimentos se reduce el peso total lo que impacta directamente en un ahorro en almacenamiento y transporte de estos. (R. M. Seid and O. Hensel., 2012), (Aguirre, 2016).

La transferencia de calor por convección sucede cuando se usan gases o aire caliente para transferir calor hacia el sólido húmedo. Cuando el aire entra en contacto con el sólido el aire arrastra la humedad contenida en el sólido (C. W. Hall, 1998). por desorción por el aire. Los secadores encontrados en esta categoría son turbo secador, túnel, rotatorio, lecho fluidizado y de tipo charola (Aguirre, 2016)

1.7.2 Secador de tipo charola

Consiste en un conjunto de bandejas ubicadas dentro de un espacio totalmente cerrado con ventilador y calentador que hace circular aire caliente para deshidratar ciertos productos. Suele funcionar por lotes y es el dispositivo que más se usa para el secado de verduras y frutas. (C. W. Hall, 1998). Existen gran variedad de tamaños

por lo que elegir el indicado depende de la cantidad de producto a secar, densidad del material húmedo y número de charolas (C. W. Hall,1998), (Aguirre, 2016).

2. Justificación

Hoy en día es importante acercar la investigación a los procesos industriales y agrícolas para así crear nuevos desarrollos que permitan un uso óptimo de las materias primas asegurando procesos sustentables. Además de esto, en los últimos años ha surgido una necesidad por parte de los consumidores contemporáneos, ya que prefieren los alimentos de origen naturales para mejorar la salud humana, a menor costo y con valor de nutrición para preservar una vida plena. Esto ha hecho más atractivo el estudio y comercialización de hidrocoloides de fuentes naturales.

Continuamente se buscan nuevas alternativas donde los productos seanelaborados con la menor cantidad de conservadores posibles, reducir el uso de químicos en los productos que consumimos y que los procesos productivos sean lomás naturales que permitan una buena salud para las personas hacia las que van dirigidos.

Por ello, el mucilago que se puede obtener de la cascara de la pitahaya puede ser una alternativa aplicable en la producción de productos alimenticios, farmacéuticos, cosméticos y de limpieza personal; donde estos productos garanticen que su producción proviene de materias primas de fuentes naturales y/o vegetales, que estén libres de químicos y eviten crear anomalías en nuestro organismo por su consumo.

Siendo aún más atractivo el estudio de este biomaterial, ya que es proveniente de la cascara que comúnmente suele ser un residuo que se desecha. Por lo cual, viendo desde la perspectiva económica y ambiental, se genera la síntesis de un biomaterial novedoso con una materia prima sin inversión empleando residuos orgánicos.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué propiedades funcionales y fisicoquímicas tendrá el mucílago de la cáscara de la pitahaya para ser opción favorable como hidrocoloide?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar las propiedades funcionales y fisicoquímicas del mucílago de la cáscara de la pitahaya.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el mucílago de la pitahaya en forma de polvo mediante un proceso físico y empleando el secado por charolas.
- Determinar las características fisicoquímicas del mucílago de la cáscara de pitahaya (solubilidad, densidad empacada, densidad aparente índice de compresibilidad, radio de Hausner, ángulo de reposo y contenido de humedad)
- Determinar las propiedades funcionales del mucílago de la cáscara de pitahaya (capacidad de absorción de agua y de aceite, propiedades emulsionantes).

4. Metodología

4.1 Materiales

Se utilizó el fruto de la penca de la pitahaya conocido como pitahaya o Dragón, fruta proveniente de las zonas de cultivo de Veracruz, se usó únicamente la cascara residual de esta fruta. Los reactivos químicos utilizados pertenecen a la empresa Sigma Aldrich S.A de C.V. Toda el agua utilizada durante la experimentación fue agua bidestilada.

4.2 Extracción

La extracción del mucílago se realizó tomando basándose en el método propuesto por [Khouvilay y Sittikijyothin \(2012\)](#) teniendo en cuenta algunos cambios. Se tomó la fruta de la pitahaya fresca y se extrajo la pulpa utilizando una cuchara común, dejando únicamente la cáscara disponible, la cual es nuestro material de interés para obtener el mucilago. La cascara se partió en pequeños cuadros de 3 cm² para aumentar la superficie de contacto y mejorar el rendimiento de extracción, Se tomaron 500 g de cáscara picada y se colocaron en una olla de 5 L y se adicionó agua bidestilada en una relación en peso de 1:10. La disolución resultante se mantuvo en agitación con un agitador mecánico para lograr una disolución homogénea. Se mantuvo con agitación constante y a una temperatura de 80°C durante 120 min.

4.3 Secado

Se dejó reposar durante 5 h y se filtró la solución para separar las partículas residuales, dejando la solución en charolas para deshidratar por 24 h a 45°C dentro de una estufa de convección forzada.

Se tomó la decisión de realizar el tipo de secado en charolas debido a que la cantidad de mezcla y el porcentaje esperado de mucilago es relativamente bajo, por lo cual se pueden esperar perdidas empleando otro tipo de secador como el secado por aspersión.

4.4 Rendimiento

Porcentaje de rendimiento. Este fue calculado como el cociente de la cascara de pitahaya fresca utilizada para la extracción de mucilago y la cantidad de mucilago en polvo obtenido después de la extracción (Archana et al., 2013) como se muestra en la ecuación (1):

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso de mucilago obtenido}}{\text{peso de materia prima usada}} \times 100 \quad (1)$$

4.5 Solubilidad

Esta propiedad se calculó preparando una solución con 1,0 g de mucílago de cascara de pitahaya seco en 10 mL de agua bidestilada a diferentes condiciones de temperatura (25, 45 y 65 °C) por 30 minutos con agitación en una parrilla de laboratorio (Barnstead, Thermolyne) a 400 rpm. Las soluciones fueron centrifugadas en un equipo de alta velocidad Hermle Z323K (Hermle, Labortechnik, Alemania) por 15 min a 524 × g. El sobrenadante obtenido se decantó para separar la parte sedimentada, secarla en un horno de convección a 100 °C durante 12 h y posteriormente pesar la sedimentación (Mirhosseini y Amid, 2012). La solubilidad se calculó usando la siguiente expresión:

$$\% Solubilidad = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (2)$$

4.6 Capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua (CAA) fue determinada a diferentes temperaturas 25, 45 y 65 °C. Se hidrato 0.1g de mucílago en 9.9 con agua bidestilada (1% w/w) durante 4 h, y posteriormente las muestras se centrifugaron a 2800 rpm por 15 minutos y se calculó la CAA mediante la siguiente ecuación:

$$CAA = \frac{\text{Cantidad de agua adsorbida}}{\text{Peso de la muestra}} \quad (3)$$

4.7 Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite se (CAO) se evaluó a 25, 45 y 65 °C. se preparó una dilución de 1% (w/w) para hinchar 0.1g de mucilago en 9.9g de aceite de maíz esto se colocó en un matraz de 50ml donde se mantuvo con agitación constante por 30min. La solución se transfirió a un tubo de ensayo para centrifuga obteniendo el peso del tubo antes de la transferencia. La mezcla se colocó en una centrifuga a 2800 rpm por 10min. Se decantó el sobrenadante y se pesaron las partículas inchadas. La capacidad de absorción de aceite se calculó usando la siguiente ecuación:

$$CAO = \frac{\text{cantidad de aceite adsorbido}}{\text{Cantidad de muestra}} \quad (4)$$

4.8 Propiedades emulsionantes.

La capacidad emulsionante (CE) es la propiedad de un material emulsionante para hacer dispersiones de dos fases (agua/aceite o aceite/agua) en cambio, la estabilidad emulsionante (EE) mide la capacidad de mantener la dispersión a lo largo del tiempo. Se calculó la capacidad emulsionante (CE) y estabilidad emulsionante (EE) usando polvo de mucílago de acuerdo con el método indicado por (Jindal et al. 2013). Se hicieron emulsiones mezclando homogéneamente 150 ml de dispersión de mucílago al 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 y 1% (w / v) en 10 ml de aceite de maíz (Cristal®) con un homogeneizador Ultra-Turrax T50 (IKA) ®-WERKE Works Inc., Wilmington, Carolina del Norte, EE. UU.) a 6500 rpm por 3 minutos. Las emulsiones se centrifugaron por 10 minutos a 524 × g. La capacidad emulsionante (EA) se obtuvo de la siguiente manera:

$$\%CE = \frac{\text{Volumen de Emulsion}}{\text{Volumen total}} \quad (5)$$

La estabilidad emulsionante (EE) se obtuvo usando una metodología similar para el caso de (CE). Una vez que se las soluciones pasaron por el homogeneizador para preparar tener las emulsiones , se calentaron usando un baño de agua a 80 °C durante 30 min y enseguida se dejaron enfriar a temperatura ambiente (20 ± 2 ° C), se colocaron las soluciones en una centrifuga por 10 min a 524 × g. Se midió la capa emulsionada y se calculó el (EE) utilizando la siguiente ecuación:

$$EE = \frac{VFE}{VIE} \times 100 \quad (6)$$

donde VFE es el volumen final de la emulsión e VIE es el volumen inicial de la emulsión.

4.9 Índice de hinchamiento.

Se determino el índice de hinchamiento controlando las condiciones de temperatura (25, 45 y 65 °C) y pH (2, 4, 6, 7 y 8) según la metodología de Archana et al. (2013). El mucílago (50 mg) se hidrató en las soluciones acuosas respectivamente (100 mL) durante 24 h. El material hinchado se retiró y se pesó después de un secado superficial utilizando un papel secante. El índice de hinchamiento (SI) se calculó con la siguiente ecuación:

$$SI = \frac{\text{Peso de mucilago Hinchado} - \text{Peso de Mucilago Seco}}{\text{Peso de Mucilago Seco}} \quad (7)$$

4.10 Densidad aparente y empacada.

Las densidades aparente y empacada se obtuvieron usando como base el método de Kalegowda et al. (2016). La densidad aparente se determinó colocando ~4 gr de mucilago en tubo graduado de medición y el volumen que ocupa biopolímero es el volumen volumétrico. La densidad empacada se determinó agitando mecánicamente el tubo graduado que con el mucílago para obtener un volumen constante. La densidad aparente se calculó como la división de cantidad demucilago utilizado entre el volumen volumétrico ocupado. Mientras que la densidadempacada se calculó como la división cantidad de mucilago utilizado y el volumen contante de la muestra después de ser golpeada mecánicamente.

4.11 Índice de compresibilidad de Carr

El índice de Carr del mucilago se calculó de conforme al porcentaje del índice de compresibilidad de Carr de la siguiente manera (Kalegowda et al., 2016):

$$(\text{Índice de Carr}) = \frac{\text{Densidad empacada} - \text{Densidad aparente}}{\text{Densidad empacada}} \times 100 \quad (8)$$

4.12 Radio de Hausner.

El radio de Hausner se calculó con los datos obtenidos de la densidad aparente y la densidad empacada según Bhusari et al., 2014:

$$\text{Radio de Hausner} = \frac{\text{Densidad empacada}}{\text{Densidad aparente}} \quad (9)$$

4.13 Ángulo de reposo.

Se dejó caer libremente 10g de mucilago previamente pesado a una superficie plana usando un cono de plástico sujeto a un soporte a 20cm de altura de una superficie de papel. No se ejerce una fuerza adicional para que el material fluya. El material forma un cono con altura (H) y radio (R) siguiendo el método propuesto (Bhusari et al., 2014) estos datos se usan para calcular el ángulo de reposo usando la ecuación a continuación:

$$\text{Ángulo de reposo} (\tan \theta) = \frac{H}{R} \quad (10)$$

H=altura del cono formado

R= Radio del cono formado

θ = Angulo de reposo calculado

RESULTADOS

5. Resultados y discusión

5.1 Extracción

Se obtuvo una mezcla viscosa de color rosado, con el paso del tiempo en agitación y calentamiento continuos la mezcla se hizo más espesa y el color cambio a café oscuro.



Fuente: Fotografía 1 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. "Cascara de pitahaya".



Fuente: Fotografía 2 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. "Cascara de pitahaya".



Fuente: Fotografía 3 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. "Cascara de pitahaya partida".



Fuente: Fotografía 4 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. "Pitahaya en agitación".

Haciendo una comparación con otros mucílagos donde se emplea el mismo disolvente (agua) y proceso de extracción, el mucilago de semilla de tamarindo se tornó de un color claro rosado (Merino-Carcamo, 2019). Otro ejemplo es el caso de la extracción del mucilago de nopal, este mucilagog muestra un color mostaza siendo de color intenso (Vargas et al., 2019).

Para obtener el mucílagos de pitahaya en estado sólido se llevó a cabo un secado por convección forzada con aire como medio desecante, empleando una estufa de convección forzada, obteniendo el mucilago en forma de laminillas, las cuales presentaron un color café oscuro en comparación con el mucílagos en solución. Este cambio de color se debe a la influencia de la temperatura durante el secado, causando la degradación del pigmento natural.



Fuente: Fotografía 5 tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMEX. 2019. "secado de mucilago".

5.2 Cálculo de rendimiento

El rendimiento de la extracción del mucílago de la cascara de pitahaya fue el resultado de considerar la cantidad final obtenida durante la extracción después del proceso de secado por convección.

Se usaron 7.128 kg de cascara de pitahaya de los cuales se extrajeron 55.9 g de mucílago seco (0.78%). El proceso de extracción se dividió en 5 lotes tomando la cantidad disponible de cascara de pitahaya, esto con la intención de conocer la cantidad que favorece el proceso de extracción. En la tabla 3 se puede observar el rendimiento de cada lote.

Tabla 3. Cálculo de Rendimiento de extracción de mucílago de cascara de Pitahaya.

<i>Cascara de pitahaya usada</i>		<i>Mucílago seco producido</i>		<i>% extracción</i>
Lote	g	g		%
1	1600	13		0.8125
2	2545	18		0.7072
3	1200	9.4		0.7833
4	800	7.2		0.9
5	975	8.3		0.8512

Porcentaje promedio obtenido de mucílago seco: 0.78%

Por lo tanto, el rendimiento señala que este proceso de extracción puede ser una opción viable considerando la cantidad baja de mucílago que se obtiene por la cantidad usada de cascara. El solvente utilizado para la extracción fue agua

bidestilada, con la intención que sea un proceso sustentable. Posiblemente, utilizando un disolvente orgánico podría aumentar el porcentaje de rendimiento en la extracción, o bien, un método de extracción asistido por alguna técnica verde como microondas, fluidos supercríticos, ultrasonido, etc.

Comparando el porcentaje de mucilago de pitahaya extraído tomando como referencia otros materiales estudiados, por ejemplo: el mucilago de tamarindo donde también se uso agua como disolvente para la extracción mostró un rendimiento promedio de $29.83 \pm 1.32\%$ (Merino-Carcamo, 2019), la mucilago de mezquite con un rendimiento del 25% (Estevez et al., 2004), Opuntia Sp con un rendimiento de 8-20% (Sepulveda et al., 2007) y *Cladodes Cereustriangularis* con un rendimiento de extracción del 24% (Peters et al., 2015). Podemos decir que la cantidad de mucilago que se obtiene de la cascara de es bajo. Pero sigue siendo una opción atractiva por usar un desecho para extraer un material sustentable que puede tener aplicaciones industriales.

Otro aspecto importante por considerar y que conlleva a obtener el mucílago en estado sólido, es el proceso de secado. Una alternativa para extraer mucilago siempre y cuando usemos una cantidad mayor de cáscara (por ejemplo 30 a 50kg) sería empleando algún otro tipo de secado como la liofilización, secado por aspersión o en lecho fluidizado, ya que en el caso del mucilago de tamarindo se usó el secado por aspersión (Merino-Carcamo, 2019). en este trabajo se uso 7.128kg de cascara de pitahaya y se decidió usar el secado de charolas ya que se considera poca cantidad de cascara para usar la misma operación unitaria que en la extracción del mucilago de tamarindo y que esto ocasione que el material pudiera quedar impregnado en el equipo.

5.3 Propiedades funcionales

5.3.1 Solubilidad

Esta propiedad se llevó a cabo por triplicado a tres distintas temperaturas (25°C, 45°C, 65°C) dándonos los siguientes resultados:

Tabla 4. Solubilidad del mucilago de pitahaya.

Solubilidad			
Temperatura (°C)	25	45	65
%Solubilidad	48.3 ± 2.35	57.66 ± 2.05	63.33 ± 2.35

La solubilidad se ve favorecida con el aumento en la temperatura. Este comportamiento se debe a que las atracciones intermoleculares entre las partículas del soluto (mucilago) son sobrepasadas (debilitadas y/o vencidas) con el aumento de temperatura, aumentando a su vez la cinética del mucilago en solución, creando nuevas interacciones moleculares más fuertes el soluto y el disolvente (agua) (Sebastian et al., 2015).

La interacción de los hidrocoloides con las moléculas de agua disminuye la difusión y las estabiliza en el medio acuoso (Alpizar-Reyes et al., 2017; Sebastian et al., 2015). Esto quiere decir que los mucilagos causan cambios en el medio en que se difunden debido a la gran afinidad que muestran los hidrocoloides al agua estos se disuelven con facilidad, modificando su reología lo que causa que se incremente la viscosidad del líquido.

En otros trabajos se reportaron valores bajos de solubilidad, tal fue el caso de especies de nopal, siendo del $15.63 \pm 0.01\%$ y $16.03 \pm 0.01\%$ para el nopal OFI y nopal OT, respectivamente. (Rodríguez Vargas et al., 2018). Otro ejemplo es el caso de mucílagos extraídos de cultivos de lino italianos a temperatura ambiente se obtuvieron valores de solubilidad de $15.0 \pm 30.0\%$ (Kaewmanee et al., 2014). Finalmente, el mucílago de ñame de $4.90 \pm 2.189\%$ con temperaturas de 55 a 95 °C (Yeh et al., 2009; Mirhosseini, 2012).

Por lo tanto, el mucilago de la cascara de la pitahaya muestra que es altamente soluble en agua, siendo una característica importante para considerar, pues es un biomaterial altamente biodegradable.



Fuente: **Fotografía 6** tomada en el laboratorio de Investigación de Ingeniería química, Campus Cerrillo, facultad de química UAEMex. 2019. "Pruebas de solubilidad de mucilago de pitahaya".

5.3.2 Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (OHC)

Para el presente trabajo, fue evaluado la CAA y OHC a diferentes temperaturas, para predecir que comportamiento tiene cuando se incrementa o disminuye la temperatura. En la tabla 5 se puede observar como la CAA y OHC aumentan a razón de que se incrementa el rango de temperatura.

Tabla 5. Capacidad de retención de agua y aceite del mucilago de pitahaya.

T	CAA	OHC
°C	g/g	g/g
25°	6.93	6.95
45°	8.36	8.1
65°	9.7	9.3

En el caso de la OHC, este comportamiento se puede deber a la existencia de compuestos no polares que se aumentan con el crecimiento de la cinetica molecular y puede unirse a las unidades hidrocarbonatadas de aceite (Amid y Mirhosseini, 2012). también puede ser favorecido por la dimensión del poro que tiene el

mucilago, que aumenta cuando la temperatura incrementa causando una mejor retención de las grasas (Ghribi et al., 2016).

Existen datos semejantes calculados para la goma guar (Segura Campos et al., 2015), goma Durian (Amid y Mirhosseini, 2012) y mucílago de la semilla de tamarindo (Mercado Peña, 2017). Esto idnica que el mucilago de la cascara de la pitahaya puede desarrollarse como un agente importante en la industria alimenticia, ya que la grasa retiene los sabores y potencializa los sabores en los alimentos.

La capacidad de absorción de agua (CAA) es una característica relevante que se aplica en la industria de alimentos por rendimiento, estabilidad, evaluación sensorial y textura La CAA indica la cantidad de agua que retiene y absorbe una muestra hidratada ejerciendo una fuerza adicional como la agitación.

Este comportamiento es similar al mucilago de tamarindo, donde se reportan valores de absorción de agua de 0.18 (25°C), 0.22 (45°C), 1.07(65°C) para la absorción de agua y valores de 0.068(25°C), 0.104(45°C), 0.133(65°) para la absorción de aceite. Podemos destacar que la tendencia de absorber agua y aceite aumentan a razón de que se aumenta la temperatura pero en el caso del mucilago de la cascara de la pitahaya es capaz de absorber mayor cantidad de agua y aceite.

5.3.3 Capacidad emulsionante (CE) y estabilidad de emulsión (EE)

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de la capacidad emulsionante del mucilago de pitahaya.

Se puede observar que el CE aumentó cuando la cantidad de mucilago se incrementó en la solución o cuando se aumentó la cantidad de aceite. A que baja la tensión superficial por el incremento en la cantidad de cadenas de las ramificaciones en la estructura en la superficie activa que ayuda absorber moléculas grasas (Jindal et al., 2013).

Tabla 6. Capacidad emulsionante y estabilidad del mucilago de pitahaya.

W/V	Capacidad Emulsionante (CE)	Estabilidad de Emulsión (EE)
%	%	%
0.3	65.17	87.5
0.6	68.75	85.71
0.9	72.32	83.92
1.2	75.89	71.52
1.5	83.03	69.64

NOTA: se tomó como volumen de muestra total 150 mL.

Los valores referentes a la CE del material en estudio son similares a la goma de durazno se encontró que el CE fue de 95%, en la albaca fue de 74.41%, en la goma xantana fue 94%, respectivamente (Quian et al., 2011; Archana et al., 2013; Jindal et al., 2013).

Por otra parte, la estabilidad de emulsión es la capacidad de un hidrocoloide para formar y retardar la estabilidad de emulsiones, lo cual es importante para usarlo en diferentes alimentos, ya que cada producto requiere tener una capacidad de

emulsión específica y lograr tener las características deseadas en los productos finales.

En este trabajo la estabilidad de emulsión (EE) decrece cuando en la emulsión se incrementa la cantidad de mucilago o se incrementa la cantidad de aceite, esto se debe a que la tensión superficial disminuye del mucilago cuando entra en contacto con el aceite (Jindal et al., 2013). Medir la estabilidad de una emulsión es un reto, ya que las emulsiones son soluciones termodinámicamente inestables por lo que al paso del tiempo terminarían separándose (Matos et al., 2020).

Los valores de EE del material en estudio también son similares a la goma de durazno ha presentado valores del 96%, y la goma de *Aegle marmelos* del 98.2% (Quian et al., 2011; Jindal et al., 2013).

Por lo tanto, el mucilago de la cascara de la pitahaya es un biomaterial que cuenta con las características esenciales para la formación de emulsiones y mantenerlas estableces por un periodo de tiempo determinado.

5.3.4 Índice de hinchamiento

En la tabla 7 se muestran los valores obtenidos del índice de hinchamiento del mucilago de la cascara de pitahaya. Se evaluó a diferentes condiciones de pH y temperatura:

Tabla 7. Índice de Hinchamiento del mucilago de pitahaya.

T	Índice de hinchamiento				
	pH2	pH4	pH6	pH7	pH8
(°C)	(g/g)	(g/g)	(g/g)	(g/g)	(g/g)
25°C	5.83	7.66	9.22	9.14	13.82
45°C	6.11	7.80	9.53	9.82	14.33
65°C	7.08	9.93	12.62	13.34	15.668

Se puede ver que la tendencia del hinchamiento es favorecida con el aumento de temperatura, sin depender de las condiciones de pH.

Es importante saber que el hinchamiento muestra la cantidad de hidratación del mucilago en polvo, por lo tanto, cuando se tiene un mayor porcentaje de hinchamiento demuestra que existen uniones más débiles en la estructura química del material, razón por la cual cuando se incrementa la temperatura origina que las interacciones moleculares de mucilago se vuelvan más débiles.

Los valores del índice de hinchamiento de este mucilago se pueden comparar con el mucilago de Aegle marmelos donde 57g de rendimiento de goma cruda (Jindal et al., 2013). Otro ejemplo es el mucilago de tamarindo donde se obtuvo 18.14 g ± 1.93%. (Peña, 2017) mostrando que la tendencia de los mucilagos al hinchamiento se mantiene.

Los resultados compartidos en la tabla 7 señalan niveles altos de reticulación (endurecimiento del material por el incremento de temperatura). Existe un

decrecimiento de la capacidad de hinchamiento debido que cuando aumenta la densidad de la reticulación también incrementa la hidrofobia del mucilago (Peña., 2017) (Prommakool et al., 2011).

También se puede observar que controlando las condiciones del medio acuoso en este caso el pH, el índice de hinchamiento se incrementa. Esto se debe a las estructuras poliméricas del mucilago que contienen grupos ionizables.

El cambio del pH genera un cambio en la cinética de los grupos ionizables (Berger et al., 2004b). El proceso de hinchamiento de los hidrogeles se debe a que muestran cambios de los grupos ionizables (iones) por la modificación del pH del medio donde se realiza el hinchamiento, esto ocasiona que los grupos que se ionizan generan una presión osmótica de hinchamiento dentro del material, pero cuando los grupos ionizables se desprotonan, la presión osmótica de hinchamiento desaparece y la unión entre las moléculas del material hinchado colapsa (Sundaram et al., 2006). A razón que el pH aumenta el índice de hinchamiento es favorecido.

Se reportan valores similares en el estudio del mucilago de tamarindo (Alpizar-Reyes et al., 2017) con valores de 12.301, 13.992, 16.171, 20.063, 24.747 en medios de hinchamiento de pH: 2, 4, 6, 7 y 8 respectivamente. Donde la tendencia de que a razón que se incrementa la temperatura y el pH, el índice de hinchamiento se incrementa se mantiene en el material estudiado y en el mucilago de tamarindo.

5.3.5 Densidad empacada y aparente.

Tabla 8. Densidad empacada y aparente del mucilago de pitahaya.

<i>No. Muestra</i>	<i>Densidad Aparente</i>	<i>Densidad Empacada</i>
	<i>g/ml</i>	<i>g/ml</i>
1	0.64	0.70
2	0.61	0.68

La densidad aparente es una característica física fundamental en el empaqueo y caracterización de los materiales en polvo. Esta propiedad es dependiente de la porosidad de las partículas o el espacio interno entre ellas que hay en el volumen aparente.

Los resultados de densidad aparente (Tabla 8) fueron cercanos entre ambas aproximaciones, los cuales pueden ser comparados con mucilagos estudiados y estos resultados se muestran en el intervalo común para estos tipos de materiales.

Una explicación por la que en algunos casos la densidad aparente se puede ver afectada es que está se ve ligada al hecho de que la densidad aparente es proporcional al diámetro de las partículas, mientras el tamaño de las partículas sea más pequeño se tendrá un valor de densidad aparente menor. (Goyal et al., 2015).

La densidad empacada determina la cantidad y el peso de polvo que puede colocarse dentro de un contenedor por lo que este parámetro afecta directamente en variables de diseño como lo son transporte, empaque y comercialización de materiales en polvo o triturados.

Ahora bien, podemos observar que el mucilago de la pitahaya puede compactarse, viendo el resultado de la tabla 8. Donde la cantidad de g/ml aumento ocupando el mismo volumen.

Estas propiedades son dependientes del tipo de procedimiento previo del cual se haya obtenido el material en polvo, como pudo ser el tipo de secado, molienda o trituración para el estudio previo del material. Por lo que ambas propiedades son dependientes del tamaño de poro y partícula. En este caso la creación de un polvo más fino favorece a las propiedades de densidad empacada y/o aparente (Goyal et al., 2015).

5.3.6 Índice de compresibilidad de Carr

El índice de Carr es una indicación de la compresibilidad del polvo, cuyo valor obtenido en este trabajo fue del 8.57%, tomando los valores de densidad aparente (0.70 g/mL) y densidad empacada (0.64 g/mL) del experimento.

El índice de Carr se usa con frecuencia en la industria farmacéutica como una indicación de la fluidez de un polvo. En un polvo que fluye libremente, existe una menor interacción entre sus moléculas. Un índice de Carr mayor de 25% se considera una indicación de fluidez significativa baja, y por debajo de 15%, de buena fluidez. (Kanig et al., 1986). Se puede observar que el mucilago de la cascara de la pitahaya resulta ser un material con buena fluidez.

5.3.7 Radio de Hausner.

Tabla 9. Radio de Hausner.

Densidad aparente (g/ml)	0.70
Densidad empacada (g/ml)	0.64
Radio de Hausner (adimensional)	1.09

Otro parámetro que se usa para determinar el grado de fluidez de las partículas es el radio de Hausner, el cual se relaciona con la cohesión del polvo. Los valores próximos a 1.0 demuestran una correcta capacidad de fluidez del polvo, mientras que valores mayores a 1.6 indican una mala fluidez. Por lo que, entre mayor sea el radio de Hausner mayor será la cohesión y menor será la capacidad de que fluya libremente (Bhusari et al., 2014; Goyal et al., 2015).

5.3.8 Ángulo de reposo.

El ángulo de reposo es una forma simple de medición que nos permite comprender como se comporta un material en polvo al moverse en un campo de flujo (Alpizar Reyes et al., 2017).

Los valores para el ángulo de reposo menores 40° indican una buena capacidad de fluir libremente. Los materiales que muestran un valor arriba de 50° indican problemas de cohesión o de flujo (Bhandari et al., 1998).

Dicho lo anterior el material presenta la característica para fluir con facilidad (ver tabla 11).

Tabla 11. Angulo de reposo.

Altura del cono (H)	1.4
Radio del cono (R)	4.4
Angulo	9.03

Conclusiones

6. Conclusiones

El porcentaje de rendimiento en la extracción del mucilago de la cáscara de la pitahaya demostró que el proceso por extracción acuosa no es una opción viable para la cáscara.

El mucílago de la cáscara de pitahaya posee la capacidad de solubilizarse en medios acuosos, y se incrementa a medida que la temperatura aumenta, lo cual le confiere esta propiedad para ser utilizado en diferentes aplicaciones industriales, además de ser un biomaterial biodegradable y amigable con el ambiente.

Las partículas del mucilago de la cáscara de la pitahaya muestran que pueden hincharse favorablemente cuando hay un incremento en la temperatura. También el hinchamiento de estas partículas puede aumentar a razón que el pH aumenta su acidez.

La capacidad de absorción de agua y aceite del mucilago de la cáscara de la pitahaya mostró un incremento dependiente del aumento en la temperatura, lo cual indica la disponibilidad que tienen las cadenas " no polares" del mucílago, las cuales se incrementan cuando existe una excitación/ movilidad molecular y que permite que las partes hidrocarbonadas de aceite se unan con las cadenas no polares. Además, se puede inferir que el tamaño del poro de la partícula crece cuando se eleva la temperatura lo que permite que se atrapen un mayor número de moléculas de aceite más fácilmente.

La estabilidad emulsionante muestra un comportamiento decreciente (No favorable) cuando se adiciona mayor cantidad de mucilago respecto al volumen de aceite que hay en solución. Mientras más cantidad de mucilago hay en el mismo volumen de aceite la estabilidad emulsionante disminuye, esto se debe a que existe se reduce la tensión superficial en el mucilago seco.

La densidad aparente del mucilago de la cáscara de la pitahaya muestra facilidad para ocupar un espacio donde

busque contenerse, esta no es una característica propia del material, ya que puede cambiar según de cómo se manipule el mucilago y el contenedor que se utilice para su estudio; del mismo modo, la densidad empacada muestra que este mucilago puede compactarse en el espacio que se contiene, pero esto depende de los factores externos para disminuir el espacio entre partículas, en su caso del grado de porosidad y el tamaño y/o tipo de molienda del mucilago para crear un tamaño de partícula.

El índice de Carr, el índice radio de Hausner y el ángulo de reposo del mucilago de la cascara de la pitahaya mostraron que es un biomaterial de fácil fluidez. Por lo tanto, se determinó que esta opción de hidrocoloide cuenta con características fisicoquímicas y funcionales que permiten que este material pueda ser utilizado en el sector industrial, siempre y cuando se mejore su proceso de extracción.

7. Bibliografía

- Almeida, F. J. D., & Cambraia, J. (1974). *Estudo do valor nutritivo do “ora-pro-nobis” (Pereskia aculeata Mill.)*. Revista Ceres, 21(114), 105-111.
- Alpizar Reyes, E. (2018). *Extracción, caracterización y evaluación del mucílago de la semilla de tamarindo como agente encapsulante del aceite de ajonjolí (Sesamum indicum L.)*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Alpizar-Reyes, E., Carrillo-Navas, H., Gallardo-Rivera, R., Varela-Guerrero, V., Alvarez-Ramirez, J., & Pérez-Alonso, C. (2017). *Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (Tamarindus indica L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid*. Journal of Food Engineering, 209, 68-75.
- Alvaro Melero, A. (2015). *Elasticidad de geles coloidales mediante la aplicación de elementos finitos*. Ingeniería de Materiales. Universidad de Almería.
- Archana, G., Sabina, K., Babuskin, S., Radhakrishnan, K., Fayidh, M. A., Babu, P. A. S., ... & Sukumar, M. (2013). *Preparation and characterization of mucilage polysaccharide for biomedical applications*. Carbohydrate Polymers, 98(1), 89-94.
- Ariffin, A. A., Bakar, J., Tan, C. P., Rahman, R. A., Karim, R., & Loi, C. C. (2009). *Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil*. Food Chemistry, 114(2), 561-564.
- Azeredo, H. M. (2009). *Betalains: properties, sources, applications, and stability—a review*. International Journal of Food Science & Technology, 44(12), 2365-2376.
- Baskaran, G., Salvamani, S., Ahmad, S. A., Shaharuddin, N. A., Pattiram, P. D., & Shukor, M. Y. (2015). *HMG-CoA reductase inhibitory activity and phytochemical investigation of Basella alba leaf extract as a treatment for hypercholesterolemia*. Drug Design, Development and Therapy, 9, 509-517.

- Becerra-Bracamontes, F., Sánchez-Díaz, J. C., Arellano-Ceja, J., González-Álvarez, A., & Martínez-Ruvalcaba, A. (2009). *Efecto del pH y la concentración del fosfato dibásico de sodio en las propiedades de hinchamiento de hidrogeles de quitosana*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 8(1),121-126.
- Bautista Aguirre (2016) A. **Desempeño de deshidratador tipo túnel con dependencia de la temperatura y humedad para productos agrícolas** (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). p 81.
- Berger, J., Reist, M., Mayer, J.M., Felt, O., & Gurny, R. (2004b). *Structure and interactions in chitosan hydrogels formed by complexation or aggregation for biomedical applications*. Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 57, 35 52.
- Bhandari, B.; Datta, N.; D'arcy, B., & Rintoul, G. (1998). *Co-Crystallization of honey with sucrose*. Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technolgie, 31, 138-142.
- Bhosale, R. R., Osmani, R. A. M., & Moin, A. (2014). *Natural gums and mucilages: a review on multifaceted excipients in pharmaceutical science and research*. International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research, 15(4). 901-912.
- Capitani, M. I. (2013). *Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (Salvia hispanica L.)* Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- Glicksman M. (1982). Background and Classification. *En: Food Hydrocolloids, Vol I*. Glicksman M (Ed.). CRC Press, Inc., BocaRaton, Florida.
- Casas, O., & Gisseth, K. (2016). *Estudio de la interacción de hidrocoloides empleados en alimentos y su efecto en las propiedades reológicas y de textura sensorial e instrumental*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Castillo, R. (2006). *Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas*. Caos Conciencia, 1(1), 17-24.
- Cervantes-Martínez, C. V., Medina-Torres, L., González-Laredo, R. F., Calderas, F., Sánchez-Olivares, G., Herrera-Valencia, E. E., & Rodríguez-Ramírez, J. (2014).

- Study of spray drying of the Aloe vera mucilage (Aloe vera barbadensis Miller) as a function of its rheological properties.* LWT-Food Science and Technology, 55(2), 426-435.
- Chaharlang, M., & Samavati, V. (2015). *Steady shear flow properties of Cordia myxa leaf gum as a function of concentration and temperature.* International Journal of Biological Macromolecules, 79, 56-62.
- Chemah, T., Aminah, A., Noriham, A., & Aida, W. (2010). *Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids.* International Food Research Journal, 17, 1003– 1010.
- Chen, H. H., Xu, S. Y., & Wang, Z. (2006). *Gelation properties of flaxseed gum.* Journal of food engineering, 77(2), 295-303.
- C. W. Hall, (1998) “**Handbook of Industrial Drying,**” Dry. Technol., vol. 6, no. 3, pp. 571– 573.
- Damasceno, A. D. A., & Barbosa, A. A. A. (2008). *Levantamento etnobotânico de plantas do bioma cerrado na comunidade de Martinesia, Uberlândia, MG.* Horizonte Científico, 2(1), 8, 529-540.
- Del Valle V., Hernández, M. P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2005). *Development of cactus-mucilage edible coating (Opuntia ficus indica) and its application to extend strawberry (Fragaria ananassa) shelf-life.* Food Chemistry, 91(5), 751-756.
- Ehsan, S. D. (2010). *Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids.* International Food Research Journal, 17, 1003-1010.
- Esquivel, P., & Araya, Y. (2012). *Características del fruto de la pitahaya (Hylocereus sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria.* Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 3(1), 113-129.
- Escalona-García, L.A., Pedroza-Islas, R., Natividad, R., Rodríguez-Huezo, M. E., Carrillo-Navas, H., Pérez-Alonso, C., (2016). *Oxidation kinetics and thermodynamic analysis of chia oil microencapsulated in a whey protein concentrate-polysaccharide matrix.* Journal of Food Engineering, Volumen 175, pp. 93-103.

- Fahn, A. (1979). *Secretory tissues in plants*. Academic Press. Universidad de Michigan, Estados Unidos de Norte América.
- Fathi, M., Emam-Djomeh, Z., & Sadeghi-Varkani, A. (2018). *Extraction, characterization and rheological study of the purified polysaccharide from Lallelantia ibrice seeds*. International Journal of Biological Macromolecules, 120, 1265-1274.
- Fathi, M., Emam-Djomeh, Z., & Sadeghi-Varkani, A. (2018). *Extraction, characterization and rheological study of the purified polysaccharide from Lallelantia ibrice seeds*. International Journal of Biological Macromolecules, 120, 1265-1274.
- Haque, M. A., Nakakita, H., Ikenaga, H., & Sota, N. (2000). *Development-inhibiting activity of some tropical plants against Sitophilus zeamais Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae)*. Journal of Stored Products Research, 36(3), 281-287.
- Herbach, Kirsten M.; Maier, Christine; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2007. *Effects of processing and storage on juice color and betacyanin stability of purple pitahaya (Hylocereus polyrhizus) juice*. European Food Research and Technology. 224(5):649-658.
- Herbach, Kirsten M.; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. (2004). *Thermal degradation of betacyanins in juices from purple pitaya [Hylocereus polyrhizus (Weber) Britton & Rose] monitored by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric analyses*. European Food Research and Technology. 219(4):377-385.
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M. F., Coronel, D., Verdugo, K., & Santamaría, P. C. (2015). *Desarrollo de la pitahaya (Cereus sp.) en Ecuador*. LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida, 22(2), 50-58.
- Hung, P. Y., & Lai, L. S. (2019). *Structural characterization and rheological properties of the water extracted mucilage of Basella alba and the starch/aqueous mucilage blends*. Food Hydrocolloids, 93, 413-421.
- Jannasari, N., Fathi, M., Moshtaghian, S. J., & Abbaspourrad, A. (2019). *Microencapsulation of vitamin D using gelatin and cress seed mucilage:*

- Production, characterization and in vivo study.*** International Journal of Biological Macromolecules, 129, 972-979.
- Jindal, M., Kumar, V., Rana, V., Tiwary, A.K., (2013). **Exploring potential new gum source Aegle marmelos for food and pharmaceuticals: Physical, chemical and functional performance.** Industrial Crops and Products, 45, 312-318.
- Kanig, J.L., Lachman, L., & Herbert, A. (1986). ***The Theory and Practice of Industrial Pharmacy (3 ed.)***. Filadelfia: Lea y Febiger. ISBN 0-8121-0977-5.
- Karazhiyan, H., Razavi, S. M., & Phillips, G. O. (2011). ***Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (Lepidium sativum) using response surface methodology.*** Food Hydrocolloids, 25(5), 915-920.
- Keshani-Dokht, S., Emam-Djomeh, Z., Yarmand, M. S., & Fathi, M. (2018). ***Extraction, chemical composition, rheological behavior, antioxidant activity and functional properties of Cordia myxa mucilage.*** International Journal of Biological Macromolecules, 118, 485-493.
- Kristensen, M., Jensen, M. G., Aarestrup, J., Petersen, K. E., Søndergaard, L., Mikkelsen, M. S., & Astrup, A. (2012). ***Flaxseed dietary fibers lower cholesterol and increase fecal fat excretion, but magnitude of effect depends on food type.*** Nutrition & Metabolism, 9(1),1-8.
- Kumar, S., Prasad, A. K., Iyer, S. V., & Vaidya, S. K. (2013). ***Systematic pharmacognostical, phytochemical and pharmacological review on an ethno medicinal plant, Basella alba L.*** Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy, 5(4), 53-58.
- Lad, V. N., & Murthy, Z. V. P. (2013). ***Rheology of Aloe barbadensis Miller: a naturally available material of high therapeutic and nutrient value for food applications.*** Journal of Food Engineering, 115(3), 279-284.
- Lin, S. M., Lin, B. H., Hsieh, W. M., Ko, H. J., Liu, C. D., Chen, L. G., & Chiou, R. Y. Y. (2010). ***Structural identification and bioactivities of red-violet pigments present in***

- Basella alba* fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(19), 10364-10372.
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M.F., Coronel, D., Verdugo, K., & Coba S.P. (2015). *Desarrollo de la pitahaya (Cereus sp.) en Ecuador*. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida, 22(2), 50-58.
- Majdoub, H., Roudesli, S., & Deratani, A. (2001). *Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of Opuntia ficus-indica: extraction, characterization and polyelectrolyte behaviour*. Polymer International, 50(5), 552-560.
- Matos, M., Luque, S., & Gutiérrez, G. (2020). *Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos*. Manuales de Química de la RSEQ, 116(2),
- M. A. M. Khraisheh, T. J. R. Cooper, and T. R. A. Magee (1997) “**Transport Mechanisms of moisture during air drying processes,**” Inst. Chem. Eng., vol. 75, pp. 34 – 40.
- McGarvie, D., & Parolis, H. (1979). *The mucilage of Opuntia ficus-indica*. Carbohydrate Research, 69(1), 171-179.
- Merino Carcamo, G. (2019). *Microencapsulado de aceite de ajonjolí con mucílago de tamarindo como agente encapsulante*. Tesis de Ingeniería Química. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Moreno, D. A., García-Viguera, C., Gil, J. I., & Gil-Izquierdo, A. (2008). *Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health*. Phytochemistry Reviews, 7(2), 261-280.
- Morton, J. F., & Dowling, C. F. (1987). *Fruits of warm climates (Vol. 20534)*. Miami, FL: JF Morton.
- Muñoz, L., & Zúñiga, M. C. (2018). *Propiedades físicoquímicas y funcionales del mucílago de semilla de chía*. Ingeniería Química. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Colombia.

- Nie, Y., Li, L., & Wei, Z. (2015). *Recent advancements in Pt and Pt-free catalysts for oxygen reduction reaction*. Chemical Society Reviews, 44(8), 2168-2201.
- Nizaha-Juhaida, M.; Mohd-Syahir, M.N., & Balkis, M. 2011. *Production of red pitaya (Hylocereus polyrhizus) colorant with maltodextrin as drying aid agent and its application in yogurt*. In Extended Abstract for International Conference on Life Science. Universiti Malaysia Terengganu 10th International Annual Symposium (UMTAS 2011). July 11-13. (pp. 324-327). Kuala Terengganu, Malaysia.
- Overeem, A., Buisman, G. J. H., Derksen, J. T. P., Cuperus, F. P., Molhoek, L., Grisnich, W., & Goemans, C. (1999). *Seed oils rich in linolenic acid as renewable feedstock for environment-friendly crosslinkers in powder coatings*. Industrial Crops and Products, 10(3), 157-165.
- Pacheco, L., Mendoza, S. M., Silva, D. P., & Granados, B. (2003). *Estructuras mucilaginosas en helechos y plantas afines con énfasis en el género Diplazium (Woodsiaceae)*. Contactos, 48, 56-60.
- Peña Mercado, D. E. (2017) *Estudio de las propiedades emulsionantes del mucílago de la semilla de tamarindo*. Tesis de Ingeniería Química. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Pérez-Alonso, C., Cruz-Olivares, J., Ramirez, A., Román-Guerrero, A., Vernon-Carter, E.J., (2011). *Moisture diffusion in allspice (Pimenta dioica L. merril) fruits during fluidized bed drying*. Journal of Food Processing and Preservation, 35(3), 308-312.
- Pérez-Alonso, C, Beristain, C I, Lobato-Caballeros, C, Rodriguez-Huezo, M E, Vernon-Carter, E J, (2006). *Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blend carbohydrate polymers*. Journal of Food Engineering, 77, 753-760.
- Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., & Randeria, N. P. (2013). *Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms*. Carbohydrate Polymers, 92(2), 1685-1699.
- Rodríguez, C. A. (2000). *Producción y comercialización de pitahayas en México*. Claridades Agropecuarias, 82, 3-22.

- R. M. Seid and O. Hensel, (2012) “**Experimental evaluation of sorption isotherms of chili pepper: An Ethiopian variety, Mareko Fana (Capsicum annum L.)**,” *Agric. Eng.Int. CIGR J.*, vol. 14, no. 4, pp. 163–172.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., & Matsuhiro, B. (2004). *Opuntia spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives*. *Journal of Arid Environments*, 57(3), 275-290.
- Sánchez-Sáenz, E.O., Pérez-Alonso, C., Cruz-Olivares, J., Román-Guerrero, A., Báez-González, J.G., Rodríguez-Huezo, M.E., (2011). *Establishing the most suitable storage conditions for microencapsulated allspice essential oil entrapped in blended biopolymers matrices*. *Drying Technology*, 29(8), 863-872.
- Sebastián, T. R. J., & Cesar, G. V. J. (2019). *Pruebas de solunilidad*. Manual de prácticas. Universidad de Santander.
- Sundaram, G., Wang, T., & Chai, C. (2006). *Swelling of pH-sensitive chitosan-poly(vinyl alcohol) hydrogels*. *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 4665-4671.
- Takeiti, C. Y., Antonio, G. C., Motta, E. M., Collares-Queiroz, F. P., & Park, K. J. (2009). *Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (Pereskia aculeata Miller)*. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup1), 148-160.
- Thakur, G., Mitra, A., Pal, K., & Rousseau, D. (2009). *Effect of flaxseed gum on reduction of blood glucose and cholesterol in type 2 diabetic patients*. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup6), 126-136.
- Thirupathi, K., Kumar, S. S., Raju, V. S., Ravikumar, B., Krishna, D. R., & Mohan, G. K. (2008). *A review of medicinal plants of the genus Cordia: Their chemistry and pharmacological uses*. *Journal of Natural Remedies*, 8(1), 1-10.
- Vargas Mamani, J. J., Vera Vargas, G. V., & Suppé Tejada, N. A. (2019). *Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos x del mucílago de cladodios de Opuntia ficus indica en la región alta de Tacna*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 305-314.

- Vargas-Rodríguez, L., Figueroa, G. A., Méndez, C. H. H., Nieto, A. P., Vieyra, M. I. G., & Núñez, J. R. R. (2016). *Propiedades físicas del mucílago de nopal*. Acta Universitaria, 26(1), 8-11.
- Wu, M., Li, D., Wang, L. J., Zhou, Y. G., & Mao, Z. H. (2010). *Rheological property of extruded and enzyme treated flaxseed mucilage*. Carbohydrate Polymers, 80(2), 460-466.
- Ziolkowska, A. (2012). *Laws of flaxseed mucilage extraction*. Food Hydrocolloids, 26(1), 197-204.