

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN DE TRIGO COMO AGENTE EN LA FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS

Erika Merari Aviña González¹, Alondra Marian Vargas García²,
José Pablo Iglesias Regalado³, Verónica Graciela García Cano⁴, Juan Carlos Bustillos Rodríguez⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICO

Recibido: 19/01/2023 Aceptado: 29/11/2023

Resumen.- La presente investigación tuvo como finalidad la extracción y caracterización fisicoquímica de almidón de trigo (*Triticum aestivum* L.), para evaluar su funcionalidad como agente en la formación de biopelículas comestibles. El proceso de extracción se llevó a cabo mediante vía húmeda y por sedimentación natural. Así mismo, se lleva a cabo la elaboración de una biopelícula con la finalidad de ser utilizada posteriormente como recubrimiento comestible de alimentos. Se obtuvo un rendimiento de almidón del 43 %. Dicho polisacárido se caracterizó fisicoquímicamente presentando los siguientes valores: humedad 7%, cenizas 0.82%, proteínas 1.94 %, grasas 1.8 %, actividad de agua 0.19 % y una pureza de almidón 89.16 %. El tamaño promedio de los gránulos del almidón fue de 27.8 µm, los gránulos presentaron una mezcla de formas redondeadas y angulosas. A partir del almidón de trigo, se obtuvo una biopelícula que exhibió una textura lisa, translúcida sin burbujas, además mantuvo flexibilidad y resistencia, lo que la hace idónea para ser aplicada como recubrimiento de múltiples productos, especialmente alimentos.

Palabras Clave: Alimentos; biodegradable; cereal; funcional; polisacárido.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF WHEAT STARCH AS AGENT IN THE FORMATION OF BIOFILMS

Abstract.- The purpose of this research was the extraction and physicochemical characterization of wheat starch (*Triticum aestivum* L.), to evaluate its functionality as an agent in the formation of edible biofilms. The extraction process was carried out by wet method and by natural sedimentation. Likewise, the elaboration of a biofilm is carried out with the purpose of being used later as an edible coating for food. A starch yield of 43 % was obtained. The starch was characterized physicochemically presenting the following values: moisture 7 %, ash 0.82 %, protein 1.94 %, fat 1.8 %, water activity 0.19 % and starch purity 89.16 %. The average size of the starch granules was 27.8 µm, the granules presented a mixture of rounded and angular shapes. From wheat starch, a biofilm was obtained that exhibited a smooth, translucent texture without bubbles, also maintained flexibility and resistance, which makes it ideal to be applied as a coating for multiple products, especially foods.

Keywords: Foods, biodegradable, cereal, functional, polysaccharide.

Introducción

El trigo (*Triticum*) es un cereal que se cultiva en todo el mundo, ocupa el tercer lugar en producción de cereales, solo detrás del maíz y el arroz, y se utilizado en la elaboración de una gran variedad de alimentos con la finalidad de proporcionar nutrición tanto a la raza humana, así como fuente de alimento para el ganado, todo esto desde el comienzo de la civilización (Golfam et al., 2021; Zhao et al., 2019). El trigo se cultiva ampliamente en los cinco continentes y en unos 108 países, y es el principal cereal producido, consumido y comercializado en el mundo en la actualidad, donde la utilización del trigo se puede dividir en cuatro categorías de acuerdo a los fines que se le da a la semilla: alimentos, piensos para ganado, semillas e industrial (Baranzelli et al., 2019; Maningat et al., 2009). La harina de trigo

¹ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0002-4852-6784> erikaavi2001@gmail.com

² Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0007-9210-0293> marianvargas8@hotmail.com

³ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0001-1262-6647> josepablo000817@outlook.com

⁴ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-9075-787X> ygarcia@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁵ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-5485-8323> jbustillos@itcdcuauhtemoc.edu.mx (**Autor correspondiente**).

es uno de los productos de cereales procesados más consumidos a nivel mundial, donde sus principales componentes macromoleculares son el almidón y el gluten (Wang et al., 2021).

En lo que se refiere al almidón, es el principal componente del endospermo de trigo (65-70 % del peso seco), desempeña un papel importante en la nutrición humana, ya que contribuye a más del 50 % de la ingesta calórica en el mundo occidental y hasta el 90 % en los países en desarrollo, dicho polisacárido juega un papel trascendental en la definición de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y de cocción de los diversos productos derivados de este cereal, como por ejemplo, en productos de panificación, la pasta, y el arroz, estas características son atribuidas al alto peso molecular del polímero, además de su conformación (amilosa lineal y amilopectina ramificada), resaltando que no es alergénico, no tóxico, generalmente es reconocido como seguro (GRAS, siglas en inglés), abundante y económico (Mello-El Halal et al., 2019; Shevkani et al., 2017; Zi et al., 2019; Zu, 2019). A la fecha, el almidón de trigo se produce por separación física de los constituyentes no amiláceos, para lo cual, se han desarrollado varios procesos de molienda húmeda del grano de trigo para la producción de almidón (Shevkani et al., 2017). Aunque es difícil determinar con certeza cuándo se reconoció por primera vez el almidón como una sustancia distinta, el primer almidón aislado fue, sin duda, el almidón de trigo; se cree que la fabricación de almidón a partir del trigo comenzó en el antiguo Egipto y Grecia (Maningat et al., 2009).

Los almidones de diferentes fuentes varían en su funcionalidad como resultado de las diferencias en su estructura granular, contenido de amilosa y distribución de la longitud de las cadenas tanto de amilosa como de amilopectina que lo conforman (Chinma et al., 2013). En el caso del almidón de trigo, se compone de aproximadamente un 25 % de amilosa y un 75 % de amilopectina (Malalgoda et al., 2020). En este mismo sentido, se ha visto que las posibles aplicaciones y la funcionalidad del almidón dependen de sus propiedades, por lo que resulta de suma importancia realizar una caracterización de las mismas (Bustillos-Rodríguez et al., 2019). El almidón de trigo tiene una ventaja sobre otros almidones (maíz, papa, yuca, entre otros) debido a que presenta ciertas características peculiares como lo es una apariencia más brillante y un sabor más suave, a menudo se usa como ingrediente en varios alimentos formulados para mejorar la textura y la sensación en la boca, además, funciona como ablandador en pasteles, donas, galletas y quesos análogos, también se incorpora a helados, sopas, salsas, entre otros alimentos, para proporcionar adherencia, estructura, control de humedad y espesamiento (Shevkani et al., 2017).

Por otra parte, este biopolímero resulta ampliamente disponible, biodegradable, comestible, insípido, incoloro y fácil de colorear o agregar sabores y otros componentes, lo que lo convierten en un excelente candidato para la elaboración de biocompuestos como recubrimientos y películas comestibles y/o biodegradables, resultando una excelente alternativa al uso de plásticos y otros materiales comúnmente utilizados en la industria de alimentos (Basiak et al., 2015). De hecho, el almidón es quizás el polisacárido vegetal más popular para la formación de bioplásticos debido a su abundancia, rentabilidad y excelente capacidad de formación de películas (Thakur et al., 2019).

Los biopolímeros, polímeros de base biológica, polímeros biodegradables y bioplásticos se usan como sinónimos en contextos específicos, estos son materiales son producidos a partir de recursos naturales como plantas, animales y microorganismos que pueden ser biodegradables, por ejemplo, el almidón (Kumar et al., 2022). La tendencia a utilizar polímeros naturales y renovables en varios campos está creciendo para que puedan reemplazar las películas de embalaje sintéticas y con ello mitigar las afectaciones ambientales causadas por estos empaques, especialmente aquellos derivados de los hidrocarburos (Molavi et al., 2021). Los materiales biocompuestos crean una gran oportunidad para un entorno saludable y seguro al reemplazar el plástico y los materiales artificiales con ingredientes naturales en una variedad de aplicaciones, los ingredientes de los materiales biocompuestos se extraen de varios tipos de cultivos agrícolas, como trigo, maíz, mandioca, cáñamo, yute y otros cultivos (Mohammed et al., 2021).

Un recubrimiento comestible generalmente es una capa delgada de material comestible recubierta directamente sobre la superficie de un producto, aplicada en forma líquida (solución/dispersión formadora de película) sobre el alimento, generalmente por inmersión o rociado, el uso de recubrimientos comestibles se ha convertido en una alternativa eficaz y respetuosa con el medio ambiente para extender la vida útil de diferentes productos, así como para protegerlos de efectos ambientales nocivos, como la degradación por las condiciones ambientales presentes o por el ataque de microorganismos (Sapper y Chiralt, 2018). Desde las últimas décadas, se han realizado y centrado muchos intentos en injertar o mezclar materiales plásticos con biopolímeros naturales baratos y biodegradables, como almidón, celulosa, quitina, ente otros, para crear nuevos materiales con las propiedades deseadas de acuerdo a la demanda creciente del mercado (Šárka et al., 2011). Aunque el proceso de producción de películas de almidón es relativamente sencillo, numerosos factores, incluida la fuente de almidón, el método de extracción, la formulación de la película, los métodos

de procesamiento y los procedimientos de curado, afectan drásticamente las propiedades finales del material (Lauer y Smith, 2020).

En lo que se refiere al almidón de trigo, este es uno de los polímeros vegetales más abundantes y es una opción atractiva para fabricar biopelículas y recubrimientos para envases de alimentos debido principalmente a su bajo costo. Además, este tipo de biopolímeros presentan una serie de ventajas como por ejemplo producen menores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero durante su obtención y elaboración de los recubrimientos, son biodegradables, requieren menos energía para su fabricación, ofrecen nuevas oportunidades de negocio y tienen un menor impacto ambiental en comparación con los plásticos convencionales utilizados como empaques de diferentes productos, especialmente alimenticios (Kumar et al., 2022).

Dentro de las ventajas de aplicar una biopelícula a un producto como lo es un alimento, destaca que el recubrimiento al estar en contacto directo con la superficie del alimento actúa como una barrera contra la humedad o gases y reduce la tasa de respiración al modificar la atmósfera exterior del producto, esto aumenta la vida útil del producto, con el consiguiente aumento de la calidad y los atributos sensoriales para una mejor aceptabilidad por parte del consumidor, además de evitar la degradación por microorganismos alterantes y pérdida de nutrientes por efecto de las condiciones a las que se expone el producto (Lai et al., 2018). Hoy en día, las preocupaciones ambientales mundiales en curso y los altos niveles de producción de materiales a partir de plásticos sintéticos han fomentado la investigación sobre el desarrollo de materiales ecológicos, biodegradables y sostenibles (Farahnaky et al., 2013). Dado lo anterior, el objetivo del presente estudio fue obtener y caracterizar fisicoquímicamente un almidón de trigo con la finalidad de utilizarlo en la formación de biopelículas con propiedades antioxidantes y antimicrobianas para el recubrimiento de diversos alimentos.

Materiales y métodos

Selección de la materia prima

Se seleccionaron semillas de trigo de la variedad (*Triticum aestivum* L.), cultivada en la región agrícola de Cuauhtémoc, Chihuahua, México, durante el ciclo agrícola 2017-2018, las cuales fueron trasladadas al laboratorio de Bioquímica del Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc para su posterior utilización.

Extracción del almidón de trigo

La extracción de almidón se llevó a cabo según la metodología usada por Bustillos-Rodríguez et al., (2019), con algunas modificaciones. Para la extracción y purificación del almidón se, se utilizaron 500 g de semilla de trigo, a los cuales les retiró la materia extraña, para luego llevarlo a un lavado de 5 repeticiones con agua corriente limpia y dejarlo reposar en una solución desinfectante por 30 min con una concentración de 100 ppm de hipoclorito de sodio para evitar contaminaciones por presencia de microorganismos. Una vez transcurrido el tiempo, los granos de trigo fueron lavados por triplicado para retirar la solución desinfectante, para luego dejarlos reposar en una solución de hidróxido de sodio (concentración de 0.1 N) durante 48 h, esto con el objetivo de retirar pigmentos. Transcurrido este tiempo se filtró y se lavó 5 veces la semilla de trigo con agua destilada para retirar el hidróxido de sodio. Las semillas de trigo se trituraron con ayuda de una licuadora casera a máxima velocidad por 2 min. El resultado del licuado se filtró haciéndolo pasar a través de una tela de organza (3 capas de la misma), para retirar la mayor parte de fibra presente en la mezcla. Después del filtrado el almidón se llevó a la estufa de secado a 45 °C por 72 horas, esto con el fin de eliminar la humedad. Posteriormente, el almidón fue retirado de la estufa de secado para luego ser triturado con ayuda de un mortero y pistilo, el almidón en polvo se hizo pasar por un tamiz, luego fue colocado en bolsas plásticas con cierre hermético y almacenado a una temperatura de 25 °C para las posteriores determinaciones.

Rendimiento de almidón de trigo

El rendimiento del almidón se determinó de acuerdo a la fórmula propuesta por Avellán et al., (2020):

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = \frac{(\text{Peso del almidón obtenido (g)})}{(\text{Peso de la fuente de obtención (g)})} \times 100$$

Análisis fisicoquímico del almidón de trigo

El análisis fisicoquímico se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC, comprendiendo los siguientes análisis: humedad (método 925.10), proteína cruda (método 991.20), grasa cruda (método 920.35), cenizas (método 923.03), acidez titulable (método 942.15).

Determinación de actividad de agua (a_w) y pureza del almidón

La determinación de actividad de agua se realizó en un equipo AquaLab Serie 3, siguiendo las recomendaciones del fabricante. La determinación de la pureza del almidón, se realizó por diferencia del resto de los componentes, de acuerdo a la fórmula descrita por Meaño-Correa et al., (2014).

$$\text{Pureza del almidón} = 100 - \% \text{Humedad} - \% \text{Cenizas} - \% \text{Grasa} - \% \text{Proteína}$$

Microscopía óptica de los gránulos de almidón

Se estimó el tamaño de gránulo de almidón de acuerdo a la metodología descrita por Bustillos-Rodríguez et al., (2018), para lo cual, se prepararon suspensiones acuosas de almidón (2%, p/p), se colocó una alícuota de 25 μL de la suspensión en portaobjetos y cubreobjetos y se analizó inmediatamente por triplicado en un microscopio óptico (AxioScope.A1, Carl Zeiss, Jena, Alemania) equipado con una cámara AxioCam OCc1. Se tomaron medidas de 20 gránulos de almidón. El tamaño de los gránulos se estimó con el software ZEN lite. Asimismo, se tomaron micrografías a 100 y 400x magnificaciones con luz ordinaria y polarizada y se utilizaron para observar la estructura y morfología del almidón de trigo obtenido.

Formulación de la biopelícula

La formulación de la biopelícula se llevó a cabo según la metodología usada por Chapuel-Tarapuez et al., (2019), con algunas modificaciones. Se mezclaron 5 g almidón de trigo con 65 mL de agua destilada, 3.2 mL ácido acético (vinagre) (actúa como conservante) y 2 mL de glicerina pura (glicerol) en un vaso de precipitado de 250 mL, con agitación constante. La solución se expuso a un calentamiento con agitación constante, hasta alcanzar la temperatura de gelatinización de la mezcla, alrededor de 78 - 84 °C por 5 minutos para asegurar la completa gelatinización de los gránulos de almidón, luego se disminuyó la temperatura hasta 40 °C y se le adicionaron a la mezcla 0.1 g de tres aditivos: sorbato de potasio (actúa como conservante), ácido ascórbico y ácido cítrico (actúan como antioxidantes) con agitación constante. La mezcla se colocó en cajas Petri de 90 mm, extendiendo una capa fina a través de la superficie del contenedor, para pasar a una estufa de secado a 37 °C por 48 h. Una vez que las películas estuvieron secas se desmoldaron de manera manual con cuidado y se almacenaron en un lugar seco a 25 ± 2 °C para su posterior caracterización.

Análisis estadístico

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar con un mínimo de tres repeticiones. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza balanceado (ANDEVA) utilizando el software estadístico Statistical Analysis System (SAS versión 9.0).

Resultados y discusión

Extracción y rendimiento del almidón de trigo (*T. aestivum* L.)

El rendimiento de almidón fue del 43 % (Tabla 1). Resultados similares fueron reportados previamente por Morocho-Pilataxi et al., (2021), al señalar un rendimiento del 42,6 % de almidón de trigo. Pero inferior al reportado por Baranzelli et al., (2019) (50.20 %). Este rendimiento es atribuido principalmente al método de extracción utilizado, en este caso, la molienda húmeda se considera el método más eficaz para la extracción de almidón de trigo y presenta ventajas como el bajo costo y la ausencia de gránulos de almidón dañados (Mello-El Halal et al., 2019). Tal como se observó en los resultados encontrados en este estudio, el contenido de almidón está positivamente asociado con el rendimiento de grano, pero inversamente relacionado con el contenido de grasa y proteína (Maningat et al., 2009).

Tabla 1. *Propiedades fisicoquímicas del almidón de trigo.*

Parámetro fisicoquímico	Resultado obtenido del almidón de trigo
Humedad (%)	7.00 \pm 0.10
Cenizas (%)	0.82 \pm 0.03
Proteínas (%)	1.94 \pm 0.08
Grasas (%)	1.08 \pm 0.10
Actividad de agua (a_w)	0.19 \pm 0.01
*Pureza (%)	89.16
Tamaño del gránulo (μm)	27.8 \pm 2.6

Nota: Valores expresados como la media aritmética de tres repeticiones \pm error estándar. *La determinación de la pureza del almidón, se realizó por diferencia del resto de los componentes, de acuerdo a la fórmula descrita por Farahnaky et al., (2013).

Así mismo, la cantidad de almidón presente en los granos de trigo está en función de las condiciones climatológicas a las que crece la planta, siendo el estrés por calor el factor ambiental que más afecta la presencia de este polisacárido, ya que temperaturas elevadas (>30 °C) por tiempos prolongados pueden causar el cese prematuro de la deposición de almidón en el endospermo incluso en cultivos bien regados (Zhao et al., 2008). En la región agrícola en la que se cultivó este cereal es comúnmente encontrar temperaturas cercanas o superiores a los 30 °C en la época de verano, por lo que es conveniente tomar en cuenta que dicho rendimiento también pudo estar influido por los factores agroclimáticos presentes en el área de cultivo.

Caracterización fisicoquímica del almidón

En la Tabla 1, se muestran los valores porcentuales para los diferentes parámetros fisicoquímicos evaluados en el almidón de trigo obtenido. El contenido de humedad fue de 7 %, este valor se encuentra dentro del rango aceptable de acuerdo a lo señalado por Meaño-Correa et al., (2014), quienes mencionan que el contenido de humedad de los almidones debe oscilar entre 6-12 %, y que contenidos superiores de humedad pueden conducir a la proliferación microbiana y subsecuente al deterioro de la calidad del almidón. Los contenidos encontrados en cuanto a grasa (1.08 %) y proteína (1.94 %) son relativamente bajos. De igual manera, se ha reportado que bajos contenidos de grasa y proteína indican alta pureza de almidones aislados (Tirado-Gallegos et al., 2016).

En este mismo sentido, las proteínas y los lípidos son componentes menores del almidón de trigo en la superficie y dentro de la estructura del gránulo, sin embargo, existen proteínas que están fuertemente unidas a las superficies o son componentes integrales de los gránulos de almidón, las cuales se definen generalmente como proteínas asociadas a los gránulos de almidón (Huang et al., 2022). El contenido de cenizas presente en el almidón es de 0.82 %, este representa la cantidad de minerales y sales remanentes que quedaron producto de la extracción y del contenido de minerales de la materia prima Meaño-Correa et al., (2014). Generalmente, la pureza del almidón se determina en función del contenido de proteínas y cenizas, lo cuales deben ser bajos para considerar una alta pureza del polisacárido (Baranzelli et al., 2019).

La pureza obtenida fue de 89.16 %, este parámetro es relevante, ya que las propiedades del almidón pueden verse afectadas por componentes presentes ajenos al almidón (grasa y proteína) (Araujo de Vizcarrondo et al., 2004). El contenido de actividad de agua mostró un valor de 0.19, lo que contribuye a minimizar las posibles reacciones de deterioro de origen químico o microbiano que deterioran la calidad física, química y sensorial del almidón (García et al., 2007). La composición química del almidón de trigo puede ser atribuida al origen genético y las condiciones ambientales a las que se desarrolla el cultivo, ya que el estrés ambiental al que pueden estar sometidas las plantas afecta la expresión génica, cambios en el metabolismo celular, cambios en la función, la tasa de crecimiento y por ende la composición nutricional del grano, lo que se ve reflejado en el contenido de almidón (Golfam et al., 2021; Mello-El Halal et al., 2019). Mientras que la pureza e integridad (propiedades estructurales) de los gránulos están estrechamente relacionadas con el proceso de obtención del almidón, ya que durante dichas etapas se retiran compuestos ajenos a este polisacárido (Teng et al., 2021).

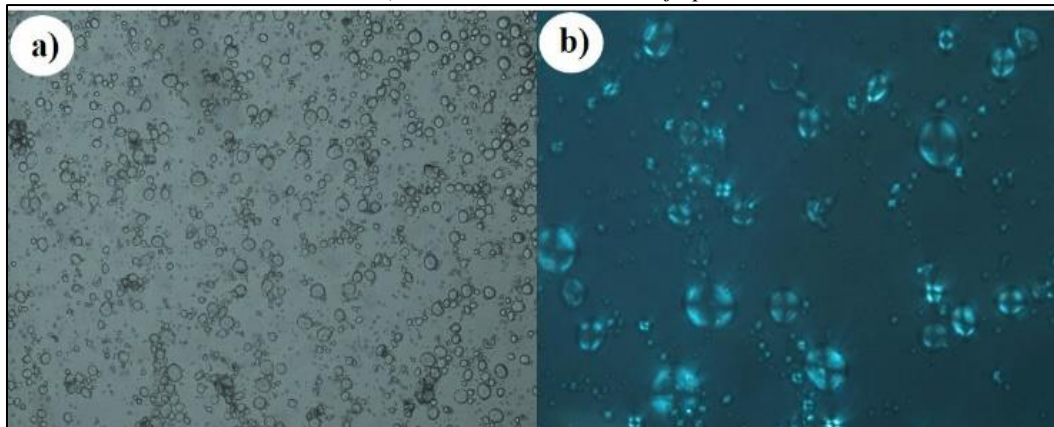
Tamaño y forma de los gránulos del almidón de trigo

El tamaño promedio de los gránulos del almidón de trigo fue de 27.8 ± 2.6 μm (Tabla 1). Estos datos de medición concuerdan con lo reportado previamente para gránulos de variedades de trigo, los cuales se encuentran en un rango de 20 a 35 μm (Saeed et al., 2018). En este mismo sentido Baranzelli et al., (2019), mencionan que los gránulos de almidón de trigo exhiben características típicas como puede ser una distribución de tamaño bimodal (variación en el tamaño y la morfología) que puede ir desde 2 a 35 μm y formas variadas que pueden ser lenticular y esférica. El tamaño, la distribución y la forma de los gránulos de almidón dependen principalmente de la variedad, así como de los factores ambientales que rodean al cultivo (Bustillos-Rodríguez et al., 2018; Maningat et al., 2009). De igual manera, la distribución del tamaño de los gránulos del almidón de trigo es una característica importante que está relacionada con su composición química, que a su vez puede afectar su estabilidad y funcionalidad (Šárka et al., 2011).

Respecto a la morfología, se pudo observar que los gránulos del almidón de trigo presentaron una mezcla de formas redondeadas y angulosas sin daño aparente (Figura 1,a), por otra parte, en las imágenes obtenidas a través del microscopio bajo luz polarizada se pueden observar hilos centrados y cruces de polarización (cruz de malta) (Figura 1,b), lo cual es indicativo de un orden dentro del gránulo, así como demuestra que durante el proceso de obtención del

almidón no se vio afectada o comprometida la estructura del mismo, y que al mantener dicho orden el almidón conserva sus propiedades funcionales, incluyendo la capacidad de formación de películas mediante la gelatinización de este polisacárido (Bello-Pérez et al., 2005).

Figura 1. Micrográficas de gránulos de almidón de trigo (*Triticum aestivum* L.). a) Gránulos observados bajo luz ordinaria 100x; b) Gránulos observados bajo polarizada 400x.



Nota: Imágenes tomadas con microscopio óptico (AxioScope.A1, Carl Zeiss, Jena, Alemania) equipado con una cámara AxioCam OCc1.

El tamaño de partícula de los gránulos de almidón se ha relacionado con las diversas aplicaciones que dicho almidón pudiera tener, por ejemplo, en la fabricación de ciertos productos alimenticios que pudieran presentar diferentes texturas, o bien, en la elaboración de películas biodegradables (Aprianita et al., 2014). En este mismo sentido, el comportamiento funcional del almidón y sus posibles aplicaciones están complejamente relacionadas con la estructura y morfología que puede llegar a presentar (Golfam et al., 2021). Los parámetros en cuanto a la morfología granular, el tamaño de los gránulos y la distribución del tamaño de los gránulos pueden tener impactos consecuentes en las propiedades de la película, por lo que es relevante su estudio y consideración al momento de la elaboración del recubrimiento (Lauer y Smith, 2020). La microscopía óptica es la técnica más conveniente para observar los gránulos de almidón, es la forma más rápida e intuitiva apreciar la cruz de malta, la cual es un interferograma formado por material birrefringente con un cierto orden molecular, lo que permite establecer que la estructura del gránulo permaneció intacta o sin afectación aparente durante el proceso de obtención del almidón, sine do fundamental para que conserven las propiedades funcionales, especialmente aquellas relacionadas en la formación de recubrimientos comestibles (Huang et al., 2022).

Formulación de biopelícula

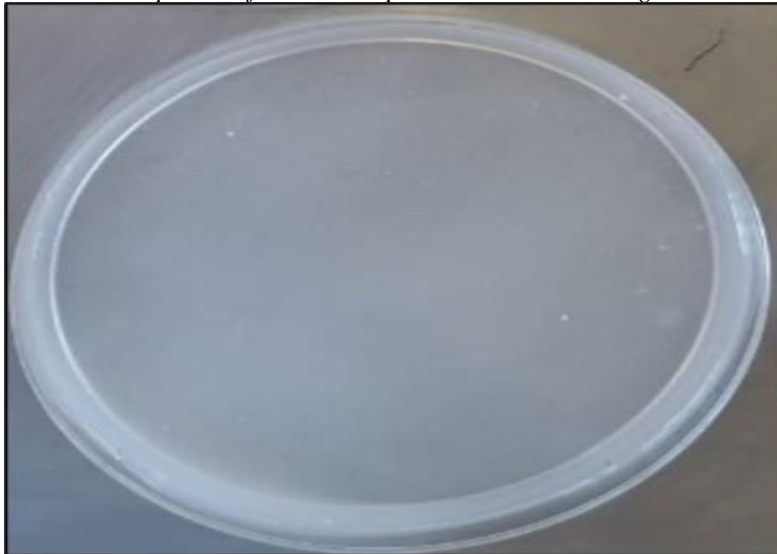
Como resultado de esta formulación se obtuvo que la biopelícula presentó una textura lisa translúcida sin burbujas, además mantuvo flexibilidad y resistencia (Figura 2). En este sentido Bruni et al., (2020), menciona que las biopelículas con una superficie lisa, homogénea y sin burbujas presentan un potencial para ser aplicadas como recubrimiento de múltiples productos, ya que mantienen la integridad de su estructura, lo que las hace idóneas para este tipo de usos. De la misma manera Farahnaky et al., (2013), concuerdan que la presencia de una superficie homogénea de las películas es un excelente signo de su integridad estructural y, como resultado, es probable que tenga buenas propiedades mecánicas y físicas, lo cual abre ampliamente la posibilidad para comenzar a aplicarlas como recubrimientos comestibles en alimentos.

Algunas características como la rigidez o flexibilidad que presentan los biomateriales formulados a partir de almidón de trigo pueden ser mejoradas al modificar de manera física o química el almidón nativo (Maningat et al., 2009). Además, la asociación intermolecular de almidón, especialmente entre las moléculas de amilosa, puede proporcionar una mayor integridad estructural en la matriz polimérica y, por lo tanto, mejorar la resistencia a la tracción de las películas, lo que hace que puedan ser utilizadas como recubrimiento en una gran variedad de aplicaciones especialmente alimenticias (Baranzelli et al., 2019). En este mismo sentido, aunque el campo de las películas de almidón ha crecido significativamente durante la última década, todavía existe la creencia generalizada de que las propiedades mecánicas de las películas se derivan directamente del contenido de amilosa, de modo que un mayor contenido de amilosa conduce a una mayor resistencia y rigidez, en el caso del almidón de trigo es similar al almidón

de maíz (24.8 %) y superior al almidón de otras fuentes convencionales como el arroz (16.9 %) y la papa (20.5 %) (Lauer y Smith, 2020).

Figura 2

Biopelícula formulada a partir de almidón de trigo.



Nota: Fotografía propia.

Si bien, el almidón no es un verdadero material termoplástico, este puede gelatinizarse en ayuda de agua y fluir en presencia de altas temperaturas y con ayuda de agentes plastificantes puede formar una cubierta con capacidad adhesiva hacia algún alimento (Molavi et al., 2021). La flexibilidad y la resistencia de la biopelícula está relacionada con el agregar plastificante al almidón de trigo en la formulación de la biopelícula, ya que se mejoran las propiedades físicas y mecánicas, esto es debido a que el plastificante aumenta la flexibilidad del material, lo cual es atribuido a que diversos agentes como el glicerol, que al ser mezclado con almidón para crear la fase entrelazada polimérica, contribuyen a reducir los enlaces de hidrógeno intramoleculares, dando una alta resistencia y flexibilidad (Thakur et al., 2019).

La presencia del glicerol o algún otro agente plastificante resulta esencial, debido a que la funcionalidad y efectividad de la biopelícula está en gran medida determinada por la cantidad del plastificante presente en la formulación, donde el contenido total de plastificante de una película oscila entre el 5 y el 50 % de su composición, por lo que el material que compone en mayor proporción a la biopelícula debe presentar o reunir ciertas características que le permitan realizar dicha conformación, siendo principalmente la capacidad de formar geles que posteriormente se puedan solidificar y dar origen a este tipo de bioempaques (Kumar et al., 2022). En este mismo sentido, la eficiencia y la estabilidad de las biopelículas depende de su composición, los polisacáridos, como el almidón, la celulosa, la pectina, los alginatos, el quitosano y otros, son polímeros naturales y son compatibles con una amplia gama de compuestos funcionales cuyo objetivo es para mejorar sus propiedades, por lo que películas elaboradas a partir de estos biopolímeros presentan una gran variedad de aplicaciones en el área de alimentos (Sapper y Chiralt, 2018). Respecto al almidón de trigo debe destacarse que no solo es muy abundante, sino que también es un candidato potencial de bajo costo para ser utilizado en el desarrollo de compuestos biodegradables que contribuyan a mejorar la calidad de vida del ser humano (Mohammed et al., 2021).

Finalmente, podemos concluir haciendo mención a que el almidón de trigo de trigo reúne las características para ser utilizado como agente formador de recubrimientos comestibles con potencial para ser aplicados en una gran variedad de productos, especialmente alimenticios, que resultaría en una alternativa viable y amigable con el medio ambiente, destacando que puede ser consumido sin riesgo alguno para el consumidor final, además de permitir la incorporación de aditivos alimenticios que contribuyan a mejorar las características sensoriales del alimento y prolongar su vida de anaquel. Por lo que se considera necesario realizar estudio enfocados en la aplicación de la biopelícula a base de este almidón y evaluar los parámetros relacionados con la funcionalidad de la misma sobre una matriz alimentaria y poder determinar su funcionalidad y factibilidad.

Referencias bibliográficas

- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., y Kasapis, S. (2014). Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *Journal of Food Science and Technology*. 51(12): p. 3669-3679. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0915-5>
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A.M., y Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54(2): p. 241-245. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200016&lng=es&tlng=es (Consultado: 01/12/2023)
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., y Riera, M.A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*. 7(1): 7(1): p. 1-11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Baranzelli, J., Kringel, D. H., Mallmann, J. F., Bock, E., Mello El Halal, S. L., Prietto, L., y Guerra Dias, A.R. (2019). Impact of wheat (*Triticum aestivum* L.) germination process on starch properties for application in films. *Starch-Stärke*, 71(7-8), 1800262. <https://doi.org/10.1002/star.201800262>
- Basiak, E., Galus, S., y Lenart, A. (2015). Characterization of composite edible films based on wheat starch and whey-protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology*. 50(2): p. 372-380. doi:10.1111/ijfs.12628
- Bello-Pérez, L.A., I.A. Farhat, O. Paredes-López, E.A. Acevedo, M.A. Ottenhof, y J. Ortiz-Cereceres. (2015). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 39(4): p. 419-429.
- Bustillos-Rodríguez, J.C., J.M. Tirado-Gallegos, M. Ordonez-Garcia, P.B. Zamudio-Flores, J.d.J. Ornelas-Paz, C.H. Acosta-Muñiz, G. Gallegos-Morales, D.E. Páramo-Calderón, y C. Rios-Velasco. (2018) Physicochemical, thermal and rheological properties of three native corn starches. *Food Science and Technology*. 39: p. 149-157. <https://doi.org/10.1590/fst.28117>
- Bustillos-Rodríguez, J.C., M. Ordóñez-García, J.M. Tirado-Gallegos, P.B. Zamudio-Flores, J.d.J. Ornelas-Paz, C.H. Acosta-Muñiz, G. Gallegos-Morales, D.R. Sepúlveda-Ahumada, M.Á. Salas-Marina, y D.I. Berlanga-Reyes. (2019). Physicochemical, thermal and rheological properties of native and oxidized starch from corn landraces and hybrids. *Food Biophysics*. 14(2): p. 182-192. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09569-z>
- Bruni, G.P., J.P. de Oliveira, L.M., Fonseca, F.T., da Silva, A.R.G., Dias, y da Rosa Zavareze, E. (2020). Biocomposite films based on phosphorylated wheat starch and cellulose nanocrystals from rice, oat, and eucalyptus husks. *Starch-Stärke*. 72(3-4): p. 1900051. <https://doi.org/10.1002/star.201900051>
- Chapuel Tarapuez, A.Y., y Reyes Suárez, J.X. (2019). Obtención de una película biodegradable a partir de los almidones de semilla de aguacate (*Persea americana* Mill) y banano (*Musa acuminata* AAA) para el recubrimiento de papaya, in Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil: Guayaquil, Ecuador. p. 158.
- Chinma, C.E., Ariahu, C.C., y Abu, J.O. (2013). Chemical composition, functional and pasting properties of cassava starch and soy protein concentrate blends. *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1179-1185. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0451-8>
- Farahnaky, A., Saberi, B., y Majzoobi, M. (2013) Effect of glycerol on physical and mechanical properties of wheat starch edible films. *Journal of Texture Studies*. 44(3): p. 176-186. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12007>
- García, A., Pacheco-Delahaye, E., Tovar, J., y Pérez, E. (2007). Caracterización fisicoquímica y funcional de las harinas de arracha (*Arracacia xanthorrhiza*) para sopas instantáneas. *CYTA-Journal of Food*. 5(5): p. 384-393.
- Golfam, R., Kiarostami, K., Lohrasebi, T., Hasrak, S., y Razavi, K. (2021). A review of drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. *Farming and Management*. 6(1), 47-57. <https://doi.org/10.31830/2456-8724.2021.007>
- Huang, J., Wang, Z., Fan, L., y Ma, S. (2022). A review of wheat starch analyses: Methods, techniques, structure and function. *International Journal of Biological Macromolecules*. 203(1): p. 130-142. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.149>
- Kumar, S., Basumatary, I.B., Mukherjee, A., y Dutta, J. (2022). An Overview of Natural Biopolymers in Food Packaging. *Biopolymer-Based Food Packaging*; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken. NJ, USA, 1-28. <https://doi.org/10.1002/9781119702313.ch1>
- Lai, C. Y., Dong, Q.Y., Chen, J.X., Zhu, Q.S., Yang, X., Chen, W.D., y Zhu, L. (2018). Role of extracellular polymeric substances in a methane based membrane biofilm reactor reducing vanadate. *Environmental Science & Technology*. 52(18), 10680-10688. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02374>
- Lauer, M. K., y Smith, R. C. (2020). Recent advances in starch-based films toward food packaging applications: Physicochemical, mechanical, and functional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3031-3083. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12627>
- Maningat, C.C., Seib, P.A., Bassi, S.D., Woo, K.S., y Lasater, G.D. (2009). Wheat starch: production, properties, modification and uses. In *Starch*, Capítulo 10. (pp. 441-510). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00010-0>

- Malalgoda, M., Ohm, J. B., Howatt, K. A., y Simsek, S. (2020). Pre-harvest glyphosate application and effects on wheat starch chemistry: Analysis from application to harvest. *Journal of Food Biochemistry*, 44(8), e13330. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13330>
- Meaño-Correa, N., Ciarfella Pérez, A.T., y Dorta Villegas, A.M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*. 26(2): p. 182-188. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622014000200011 (Consultado: 01/12/2023)
- Mello-El Halal, S.L., D. Hüttner Kringel, E. da Rosa Zavareze, y Guerra Dias, A.R. (2019). Methods for extracting cereal starches from different sources: A review. *Starch-Stärke*. 71(11-12): p. 1900128. <https://doi.org/10.1002/star.201900128>
- Mohammed, A.A., Omran, A.A.B., Hasan, Z., Ilyas, R.A., y Sapuan, S.M. (2021). Wheat biocomposite extraction, structure, properties and characterization: a review. *Polymers*. 13(21), 3624. <https://doi.org/10.3390/polym13213624>
- Molavi, H., Behfar, S., Shariati, M. A., Kaviani, M., y Atarod, S. (2021). A review on biodegradable starch based film. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 456-461. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.5.456-461>
- Morocho-Pilataxi, M.C., V.M. Dalgo-Flores, L.M. Flores-Fiallos, y G.C. Chango-Lescano. (2021). Caracterización físico química y mecánica de bioplásticos obtenidos a partir del trigo y cebada. *Dominio de las Ciencias*. 7(4): p. 623-637. : <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2114>
- Saeed, A.A.H., Saimon, N.N., Ali, M.W., Kidam, K., Jusoh, Y.M., Jusoh, M., y Zakaria, Z.Y. (2018). Effect of particle size on the explosive characteristics of grain (Wheat) starch in a closed cylindrical vessel. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 571-576. <https://doi.org/10.3303/CET1863096>
- Sapper, M., y Chiralt, A. (2018). Starch-based coatings for preservation of fruits and vegetables. *Coatings*. 8(5), 152. <https://doi.org/10.3390/coatings8050152>
- Šárka, E., Kruliš, Z., Kotek, J., Růžek, L., Korbářová, A., Bubnik, Z., y Růžková, M. (2011). Application of wheat B-starch in biodegradable plastic materials. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(3), 232-242. <https://doi.org/10.17221/292/2010-cjfs>
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., y Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 52(1): p. 38-58. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13266>
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., y Vuong, Q.V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 132, 1079-1089. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>
- Teng, C., Chen, D., Wu, G., y Campanella, O.H. (2021). Non-invasive techniques to study starch structure and starchy products properties. *Current Opinion in Food Science*. 38, 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.008>
- Tirado-Gallegos, J., Zamudio-Flores, P., Ornelas-Paz, J.d.J., Rios-Velasco, C., Acosta-Muñiz, C., Gutiérrez-Meraz, F., Islas-Hernández, J., y Salgado-Delgado R. (2016). Efecto del método de aislamiento y el estado de madurez en las propiedades fisicoquímicas, estructurales y reológicas de almidón de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 15(2): p. 391-408. <https://doi.org/10.24275/rmiq/alim1130>
- Wang, Z., Ma, S., Sun, B., Wang, F., Huang, J., Wang, X., y Bao, Q. (2021). Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 177: p. 474-484. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.175>
- Zhao, H., Dai, T., Jiang, D., y Cao, W. (2008). Effects of high temperature on key enzymes involved in starch and protein formation in grains of two wheat cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 194(1), 47-54. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00283.x>
- Zhao, T., Li, X., Zhu, R., Ma, Z., Liu, L., Wang, X., y Hu, X. (2019). Effect of natural fermentation on the structure and physicochemical properties of wheat starch. *Carbohydrate Polymers*. 218: p. 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.061>
- Zi, Y., Shen, H., Dai, S., Ma, X., Ju, W., Wang, C., Guo, J., Liu, A., Cheng, D., y Li, H. (2019). Comparison of starch physicochemical properties of wheat cultivars differing in bread-and noodle-making quality. *Food Hydrocolloids*. 93: p. 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.014>
- Zhu, F. (2019). Starch based aerogels: Production, properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 2019. 89, p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.001>

