

DESEMPEÑO DE UNA PELÍCULA DE MAÍZ AZUL EN EL ENVASADO DE UN QUESO DE HUMEDAD INTERMEDIA

PERFORMANCE OF A BLUE MAIZE FILM IN THE PACKAGING OF AN INTERMEDIATE MOISTURE CHEESE

ATUAÇÃO DE UM FILME DE MILHO AZUL NA EMBALAGEM DE UM QUEIJO DE UMIDADE INTERMEDIÁRIA

CECILIA ROJAS DE G.¹, GRISSEL TRUJILLO DE S.²,
CARLOS PATRICIO SAÉNZ C.³, ANDREA VALDERRAMA S.⁴

RESUMEN

La PCT/MX2009/000092, describe un método para obtener películas a partir de harina de cereales mediante método de "casting" y empleo como almohadillas antimicrobianas y envases termosellables para alimentos secos. Debido a su sensibilidad al agua y baja resistencia mecánica para contener alimentos de humedad intermedia; se reformuló la matriz biopolimérica para mejorar ambos parámetros. La película derivada de la reformulación fue caracterizada mecánicamente (ASTM D1708), se midió el "swelling" y se observó mediante microscopía electrónica de barrido. El desempeño de la película fue evaluado envasando un alimento perecedero: un queso semimadurado, sometiendo a almacenamiento refrigerado durante 2 meses. Control: se emplearon queso del mismo lote envasado al vacío en película alta barrera. Durante los estudios de estabilidad en anaquel se evaluaron parámetros críticos microbiológicos como fisicoquímicos para el alimento envasado. Se observó que si bien las películas activas controlaron la carga microbiana, la integridad del envase se vio alterada

Recibido para evaluación: 18-04-13 **Aprobado para publicación:** 18-09-13.

- 1 Dra. Cecilia Rojas de Gante. Departamento de Ingeniería en Biotecnología. Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México.
- 2 M.C. Grissel Trujillo. Escuela de Biotecnología y Alimentos. Tecnológico de Monterrey.
- 3 M.C. Carlos P. Saénz. Escuela de Biotecnología y Alimentos. Tecnológico de Monterrey.
- 4 M.C. Andrea Valderrama. Escuela de Biotecnología y Alimentos. Tecnológico de Monterrey.

Correspondencia: crd@itesm.mx

debido a absorción de agua por contacto con el alimento, observándose ruptura de la estructura e integridad del biopolímero en consecuencia, exposición del producto y término de su vida útil.

ABSTRACT

Patent application PCT/MX2009/000092 describes a method to obtain biofilms from cereals flours through casting and their use as antimicrobial pads and thermo-sealable packages for dry food products. Because of its sensitivity to water and low mechanical resistance to contain products with intermediate moisture, the biopolymeric matrix was reformulated to improve both parameters. The film obtained from the reformulation was studied by measuring tensile resistance (ASTM D1708), the swelling and were observed by scanning electron microscopy. The performance of the bio film was studied by packaging one perishable food (cheese) and subjecting it to a two months storage period. As a control, product of the same batch was vacuum packaged using a high barrier film. Microbiological and physicochemical parameters were evaluated for the cheese as critical factors during the stability study. The active films controlled the microbial load but package integrity was altered due to water absorption from the products, which led to the rupture of the structure of the biopolymer film and consequently the exposure of the product and ending of its shelf life.

RESUMO

A patente PCT/MX2009/000092 descreve um método para a obtenção de biofilmes de farinha de cereais utilizando o método de "casting" e a sua utilização como almofadas antimicrobianas e termo-selável embalagens para alimentos secos. Devido à sua sensibilidade à água e baixa resistência mecânica para conter alimentos com umidade intermediária, a matriz de biopolímeros foi reformulada para melhorar os parâmetros. O filme obtido a partir da reformulação foi estudado através da medição da resistência à tensão (ASTM D1708) e o "swelling". O desempenho do biofilme foi estudado por uma embalagem de um alimento perecível (queijo) e se submetido a um período de armazenamento de dois meses. Como controle, os produtos do mesmo lote foram embalados a vácuo utilizando um filme de alta barreira. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram avaliados para o queijo como fatores críticos durante o estudo de estabilidade. Os filmes ativos controlados a carga microbiana, não eram uma barreira de água adequada, o que provocou a perda de água do produto e a deterioração de certos parâmetros de qualidade do produto.

INTRODUCCIÓN

En la industria de envasado de alimentos por un lado, los polímeros plásticos han traído grandes beneficios en su conservación, manejo y distribución de los alimentos. Los polímeros termoplásticos comerciales utilizados comúnmente son hidrofóbicos y biológicamente casi inertes, lo que los ha hecho esenciales en su venta. Esto es una gran ventaja desde el punto de

PALABRAS CLAVE:

Biomateriales, Cereales, Harina, Vida útil

KEYWORDS:

Biomaterials, Cereals, Flour, Shelf life

PALAVRAS CHAVE:

Biomateriais, Cereais, Farinha, Vida da prateleira

vista conservación del alimento, pero la problemática ambiental actual exige disminuir los residuos generados o que su confinamiento se vea reducido y en particular, que los materiales con los que están fabricados puedan biodegradarse. Esta misma industria enfrenta un problema de dependencia tecnológica por falta de alternativas en materia de envases y particularmente, en la tecnología de envasado al vacío. Se puede aseverar que la totalidad de los derivados tanto de productos lácteos como cárnicos, en particular, quesos frescos, madurados y productos embutidos son dependientes de la tecnología del envasado al vacío.

Adicionalmente, el envasado de alimentos se ha definido como una barrera pasiva que retarda los efectos adversos del ambiente sobre el alimento almacenado. Sin embargo, las tendencias actuales involucran el desarrollo de materiales de envasado que interactúen con el ambiente y con el alimento, jugando un papel activo en la conservación. Estos nuevos sistemas de envasado para alimentos han sido desarrollados como respuestas a las tendencias y exigencias de los consumidores en cuanto a conservación de frescura, apariencia, sabor, vida útil, entre otros. Todos estos factores se presentan como un reto para la industria del envase que fija sus esfuerzos en desarrollar nuevos conceptos que extiendan la vida útil al mismo tiempo que garanticen la seguridad y la calidad del alimento envasado. De esta forma, el envasado activo se ha definido, como una técnica que pretende algún tipo de interacción favorable entre el envase y el producto, con objeto de mejorar su calidad, aceptabilidad y aumentar su tiempo de vida. Se puede decir que un envasado es activo cuando, además de ser una barrera entre el alimento y el exterior, ayuda de alguna otra forma a conservar el producto. La novedad que conlleva esta nueva técnica es que su finalidad no va a consistir en disminuir el grado de deterioro dentro del envase, sino efectuar un cambio positivo en el alimento envasado. Ello incluye tanto aspectos de calidad como de seguridad alimentaria.

La inclusión de aditivos antimicrobianos de amplio espectro en polímeros plásticos y/o en biopolímeros mediante la tecnología propia generada en el Tecnológico de Monterrey logró por ejemplo, se obtuvieran a escala laboratorio envases activos que redujeron los riesgos biológicos por envasado manual o semimanual (riesgos de contaminación con patógenos como *Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157:H7) [1,2]. Por otro lado, existe gran interés en el desarrollo e investigación de biopolímeros obtenidos a partir de fuentes agrícolas. Las matrices más comúnmente empleadas para obtener

este tipo de biopolímeros son almidón, proteínas y otros polisacáridos. Algunos ejemplos son: zeína de maíz, gluten y gliadina de trigo, proteínas de soya, kafirina de sorgo, mucilagos de nopal y distintos tipos de almidón (maíz, papa, plátano, tapioca, chícharo, almidón ceroso, de alto contenido de amilosa, entre otros) [3, 4, 5, 6].

Dos biopolímeros presentes en el maíz con capacidad filmogénica son el almidón y la zeína, siendo el primero el más abundante en este grano. Existe una cantidad importante de reportes publicados sobre películas a partir de almidón de maíz y zeína; se han evaluado el efecto de distintos aditivos, co-polímeros y procesos sobre el desempeño de las películas para distintas aplicaciones.

Gran parte de las investigaciones se dirigen a aplicaciones como coberturas o envases para alimentos (incluyendo envases activos), sin embargo también existe interés por emplear estos materiales en ingeniería tisular o como dispositivos de liberación de fármacos [7, 8, 9, 10].

En el 2009 México produjo 29,4 millones de toneladas de maíz utilizando un 38,5% de su superficie total cultivada. La producción de este grano ha mostrado un aumento de su tasa media anual de crecimiento de 2,1% en el periodo de 1994 a 2008. De la producción total de maíz en el 2008, 92% fue maíz blanco, 7% maíz azul y 1% de otras variedades. Básicamente, el maíz blanco se destina a consumo nacional, el amarillo a exportación y el resto de las variedades comúnmente se producen para autoconsumo de poblaciones rurales. Entre el 1% de las variedades no definidas, se encuentra el maíz azul (*Zea mays Amylacea*) [11, 12].

El maíz azul (*Zea mays Amylacea*) es un tipo de maíz rico en antocianinas (responsables de su pigmentación) y de endospermo harinoso. Se cultiva en zonas de clima seco y demanda mínimos cuidados. A pesar de su potencial nutraceutico, el maíz azul es únicamente producido por comunidades rurales para autoconsumo debido a su devaluado valor comercial, pues las zonas urbanizadas consumen principalmente productos de maíz blanco y amarillo. Entre los escasos usos actuales del maíz azul, se encuentra la extracción de antocianinas para emplearlas como colorantes alimenticios naturales y antioxidantes [13].

Entre los procesos estudiados para obtener películas a partir de fracciones del maíz están el casting, distintos tipos de extrusión (de tornillo doble/dado plano, tornillo simple/dado plano, extrusión/calandrado, en-

tre otros), estiramiento de resinas de zeína y prensado por calor [3, 14, 15, 16]. Los efectos de diversos aditivos y tratamientos químicos, por ejemplo agentes plastificantes, hidrofóbicos, co-polímeros y uso de almidones químicamente modificados sobre las características estructurales, moleculares, térmicas y desempeño mecánicos y de barrera, han sido estudiados ampliamente [8, 10, 16, 17, 18, 19, 20].

En el caso del sorgo, el cultivo de este cereal es menos demandante en términos agronómicos que el maíz (agua y nutrientes) [21, 22].

El sorgo es el quinto grano más importante en el mundo, siendo Estados Unidos el país con mayor producción en el mundo, seguido de la India y Nigeria. Para el año 2010 México contribuyó con el 10,5% de la producción total mundial, equivalente a 6.250 miles de toneladas métricas [21, 22].

En México, el sorgo es el segundo grano más importante en producción después del maíz, durante el periodo 1996-2006, la producción de sorgo contribuyó con un 22% de la producción total de cereales [23]. En México, este cereal se destina principalmente para alimento de ganado y secundariamente para alimentación humana y obtención de insumos como almidón, alcohol, glucosa, acetona y butanol. Una de las grandes ventajas del sorgo es que presenta la capacidad de adaptarse a condiciones climáticas áridas y semiáridas cálidas y ser resistente a la sequía durante periodos largos [21]. En trabajos previos, Schausse y Rojas [1], lograron demostrar que a partir de harina de sorgo se pueden obtener películas activas antimicrobianas.

Los biopolímeros obtenidos por esta vía mediante una técnica y proceso patentado por el Tecnológico de Monterrey como PCT [24] tienen la ventaja de ser biodegradables debido a que su estructura química es primordialmente a base de proteínas y almidones. Adicionalmente, cuentan con la posibilidad de formar películas con plasticidad (flexibilidad a la medida) y de ser formuladas también a la medida de los requerimientos del producto a envasar. Adicionalmente, de ser capaces de termosellarse para formar bolsas de diferentes dimensiones o de no sellarse y actuar como almohadillas o pads "activas" en combinación con otros envases.

Además de las ventajas en términos de sustentabilidad, el interés por emplear estas fuentes para producir biopolímeros reside en añadir a los productos agrícolas un valor agregado [1, 25].

Es importante hacer notar que para cualquier aplicación de dicha tecnología se requerirá realizar una adecuación de las formulaciones y del proceso para satisfacer los requerimientos específicos de protección para cada alimento a envasar. Por lo que se plantea demostrar en este trabajo que los envases tipo película obtenidos mediante adecuación de las formulaciones y proceso de dicha patente publicada, funcionan para conservaren refrigeración durante 30 a 45 días una presentación comercial en rebanadas de queso semimadurado.

MÉTODO

En estudios preliminares, se estudiaron dos tipos de cereales como fuentes de biopolímeros (almidón y proteínas) para elaborar envases flexibles tipo película y envasar un alimento de humedad intermedia (queso semimadurado): sorgo blanco (*Sorghum bicolor* Moench) y maíz azul (*Zea mays* Amylacea). Así mismo, se estudiaron 2 diferentes agentes plastificantes: glicerol, y polietilenglicol, y otros aditivos, como el aceite de coco, glutaraldehído como reticulante y la carragenina como agente cohesivo de la matriz polimérica base aplicando el proceso tanto de obtención de la harina como el proceso de colada descrito en la patente PCT/MX2009/000092 [24] para obtener películas flexibles.

El sorgo blanco empleado se obtuvo del campo experimental de la Universidad de Texas A&M y el maíz azul fue proporcionado por la Unión de Productores de maíz de Atlacomulco, México.

En una primera etapa del estudio se reformularon las harinas obtenidas para encontrar los agentes plastificantes y de textura que lograran conferir a la matriz de las películas una mayor resistencia a la tensión y elongación y, que disminuyeran su capacidad de absorción de agua. Como agentes antimicrobianos se emplearon nisin y natamicina a una concentración de 106 ppm y 154 ppm respectivamente para obtener las películas activas.

Adicionalmente siguiendo las normas nacionales de métodos de prueba (NOM y NMx) fue caracterizada bromatológicamente la harina de maíz azul de malla 150 mesh empleada en la fabricación de las películas seleccionadas para el envasado del queso.

La película que mostró mejores características se analizó de acuerdo a la norma ASTM D1708 [26] (de microtensión) empleando una máquina de ensayo uni-

versal (TensileT2020—AlphaTechnologies, USA) y un micrómetro digital marca Mitutoyo.

El % de “swelling” se calculó por triplicado de acuerdo a la Ecuación 1. La película se pesó (peso inicial) se sumergió en agua bidestilada durante 10 minutos y se registró el peso (peso final).

$$\% \text{ swelling} = \frac{\text{Peso final} - \text{peso inicial}}{\text{peso inicial}} * 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Se realizó una observación de la microestructura de la fractura transversal de película mediante microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés) empleando un microscopio FEI Quanta 200 FEG. La película fue fracturada empleando nitrógeno líquido y metalizada con oro-paladio empleando el equipo Baltec MED 020 Coating System.

Estudio de envasado de queso y comportamiento en almacenamiento refrigerado

Esta parte del estudio, se enfocó a estudiar el desempeño y aplicabilidad de las películas seleccionadas y fabricadas, empleándolas como envases biopoliméricos activos (antimicrobianos) mediante pruebas de envasado y almacenamiento de queso. Se seleccionó un queso semimadurado (contenido de humedad de 42% y Aw intermedia 0,8), obtenido de un productor nacional de alimentos, quien proporcionó la cantidad suficiente proveniente de un sólo lote. El envasado se llevó a cabo en sala blanca de planta piloto de la compañía de alimentos y se envasaron en cada envase, 200g de producto previamente rebanado. Las rebanadas fueron de 3 mm de espesor con dimensiones de 13X7 cm y un peso aprox. 25,2g por rebanada. Se colocaron dos (2) hileras con 4 rebanadas empalmadas cada una (con una separación entre ellas de 1cm) en cada envase, fueron selladas en una termoselladora de cabina marca Multivac a una temperatura 6°C y con vacío.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio del Tecnológico en Monterrey, se almacenaron en refrigeración a 4°C por espacio de 60 días. Como control, se envasaron al vacío 200g del producto, empleando un envase plástico coextruido de alta barrera. Para determinar el tiempo máximo de estabilidad en anaquel refrigerado, se tomaron muestras por triplicado cada 7 días y se realizaron análisis microbiológicos (cuenta total, presencia de hongos y levaduras y desarrollo de bacterias ácido lácticas) al queso y pruebas

fisicoquímicas: % humedad por método gravimétrico, color(L*,a*,b*) CIELAB usando un colorímetro marca Minolta, prueba de fundido entre las presentadas en este trabajo. El estudio se realizó mediante un diseño experimental estadístico, para comparar la estabilidad obtenida en ambos envases (envase biopolimérico activo versus el envase al vacío actual) para cada producto estudiado.

RESULTADOS

La aplicación de la PCT/MX2009/000092[24] tanto para obtener harina, la formulación así como el proceso de obtención de películas activas empleando sorgo blanco ceroso y maíz azul mediante el proceso de colada arrojó los siguientes resultados.

La caracterización bromatológica de la harina malla 150demostró la riqueza biopolimérica del maíz azul, la cual contenía 6,77% de proteínas, 84,61% de carbohidratos además de 6,29% de grasa, 0,51% de fibra cruda y 10,78% de humedad, (Cuadro 1). Lo anterior confirma como en trabajos anteriores [1, 27]que los cereales como el sorgo y el maíz son una valiosa fuente de biopolímeros con capacidad filmogénica, en particular de proteínas y de almidones. El principal reto para la fabricación de películas por el proceso de casting usando una fuente que contiene ambos biopolímeros, es la estrategia de solubilización de la principal y más abundante prolamina en dichos cereales (zeína en maíz y kafirina en sorgo), la cual le puede conferir mayor estabilidad frente al agua. La del maíz, la zeína la cual juega un papel importante en las propiedades mecánicas y de absorción de agua de la película [28, 29].

En base a los resultados de resistencia a la tensión y absorción de agua que presentaron las diferentes formulaciones estudiadas a partir de harina de sorgo y maíz azul (datos no mostrados en este documento), se seleccionaron las películas a base harina de maíz azul plastificadas con glicerol y reforzadas con carragenina debido a que, sin envasar, mostraron mayor resistencia a ambos parámetros.

La formulación con la que se lograron obtener el mejor desempeño de resistencia a la tensión y menor capacidad de absorción de agua fue la siguiente, polímero base: harina maíz azul malla 150; aditivos: Glicerol 10% (p/p) Carragenina, 31,6% (p/p), nisina 106 ppm y natamicina 154 ppm (antimicrobianos) todos adicionados tomando como base la cantidad de harina

empleada (3%). Los disolventes usados fueron etanol al 70% y agua bidestilada. La temperatura y tiempo de secado de las películas fue de 85°C y 12 horas respectivamente.

La película activa de maíz azul formulada con carragenina y glicerol presentó una fuerza máxima a la tensión de $2,84 \pm 0,03$ MPa y una elongación a la ruptura de $0,35 \pm 0,02$ mm/mm. La Figura 1 muestra el comportamiento esfuerzo deformación que presentó la película de maíz azul y tabla de resultados correspondiente. La capacidad de absorción de agua de la película fue de $104,2 \pm 5,4\%$.

La Figura 2 muestra las micrografías de las películas de maíz azul obtenidas por SEM. Las imágenes se muestran libres de gránulos de almidón casi en su totalidad, indicando que la gelatinización fue completada durante el proceso de elaboración de la solución filmogénica. Sin embargo, pueden apreciarse zonas segregadas de carragenina no incorporada en su totalidad con la matriz biopolimérica de la harina. La microestructura no se observa homogénea ni continua en su

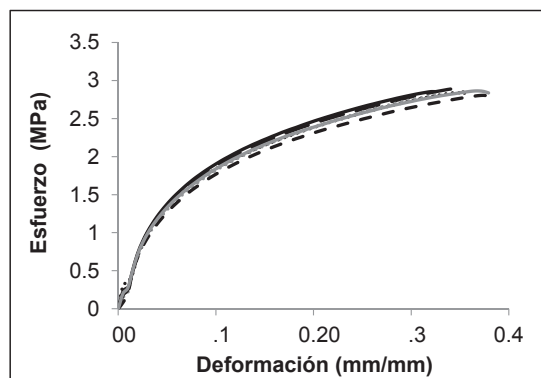
totalidad, lo cual podría deberse a la inmiscibilidad de algunos componentes de la formulación o de la propia matriz biopolimérica.

Cuadro 1. Caracterización bromatológica de harina de maíz azul malla 150

Parámetro	Método	Resultado %b.s.	Resultado% b.h.
Humedad	NOM-116-SSA1-1994	N.A.	10,78
Cenizas	NMX-F-066-S-1978	1,82	1,62
Proteínas	NMX-F-068-S-1980	6,77	6,04
Grasas	NMX-Y-332-SCFI-2002	6,29	5,61
Fibra cruda	NMX-Y-094-SCFI-2001	0,51	0,46
Carbohidratos	Diferencial	84,61	75,49

Valores representan las medias de tres (3) repeticiones independientes

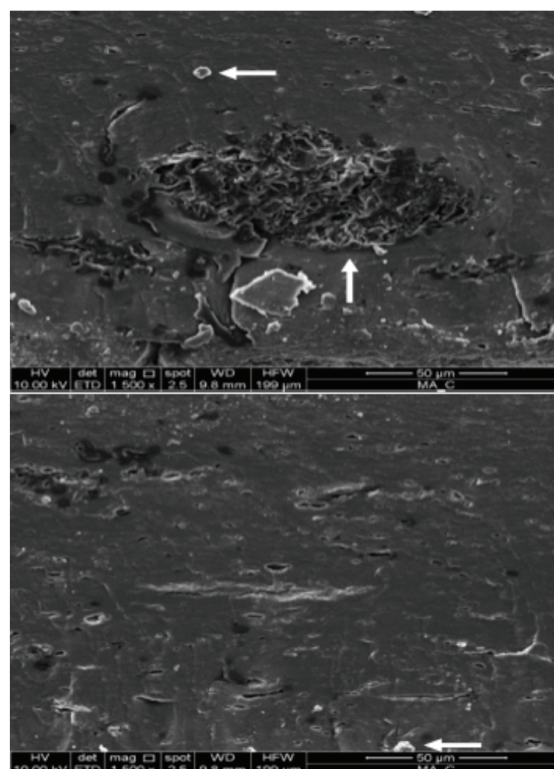
Figura 1. Comportamiento esfuerzo deformación de película de maíz azul



Fuerza máxima (MPa)	Elongación a la ruptura (mm/mm)
2.89	0.345
2.81	0.33
2.85	0.325
2.84	0.345
2.80	0.374
2.86	0.369

Valores representan las medias de tres (3) repeticiones independientes

Figura 2. Micrografías SEM de películas de maíz azul



Esta película se empleó en el envasado de queso semimadurado.

Si bien el comportamiento mecánico sin envasar de las películas de maíz azul, mostraron las mejores propiedades de resistencia a la tensión y elongación, así como la menor capacidad de absorción de agua antes del envasado; durante su desempeño con el alimento éstas solamente resistieron mecánicamente el envasado industrial y traslado a laboratorio pero durante el almacenamiento refrigerado absorbieron agua del alimento en un período entre 24 a 48 horas máximo. Lo anterior, trajo como consecuencia la ruptura de la matriz del envase biopolimérico en los lugares de pliegue de la matriz, en parte al daño provocado al aplicar vacío y principalmente a la absorción de agua del producto; lo cual no permitió continuar con el estudio de almacenamiento de este producto.

Las flechas horizontales indican la presencia de gránulos de almidón; la flecha vertical señala una zona segregada de carragenina.

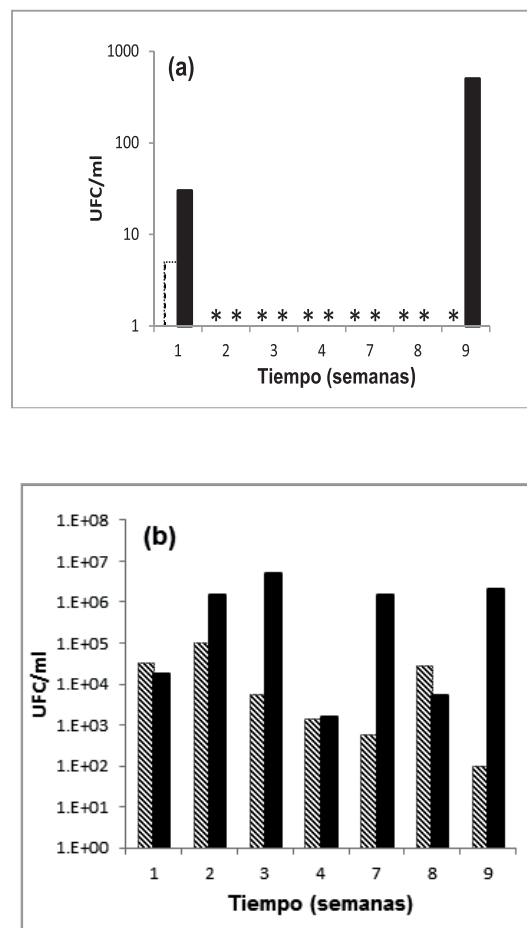
A la semana de estudio, algunos envases presentaron ruptura en las partes de pliegues formados durante el envasado al vacío, lo cual se adjudica principalmente a la falta de cohesividad de la estructura almidón-proteína acelerada por la inclusión de agua en la matriz biopolimérica proveniente del alimento. Ciertos autores han demostrado mediante análisis por microscopía electrónica la falta de cohesividad de la matriz polimérica entre almidón y proteínas principalmente (existencia de poros).

Algunos investigadores se han interesado en desarrollar compositos almidón-zeína basados en la hipótesis de que la zeína, gracias a su carácter hidrofóbico, debiese otorgar al composito mayor estabilidad frente al agua. A pesar de que la zeína se percibía como un co-polímero favorecedor para compositos con almidón, se ha observado que éstos materiales (compositos almidón-zeína) presentan incompatibilidad de fases, lo cual compromete negativamente su desempeño [4, 28, 29, 30].

En el caso del queso semimadurado, los envases biopoliméricos activos se mantuvieron herméticos a lo largo de todo el estudio (no ruptura visual del envase ni del termosello). Los envases permanecieron intactos durante todo el periodo de las pruebas (60 días).

Los resultados de estabilidad en anaquel refrigerado del queso en lo que se refiere a la capacidad de control

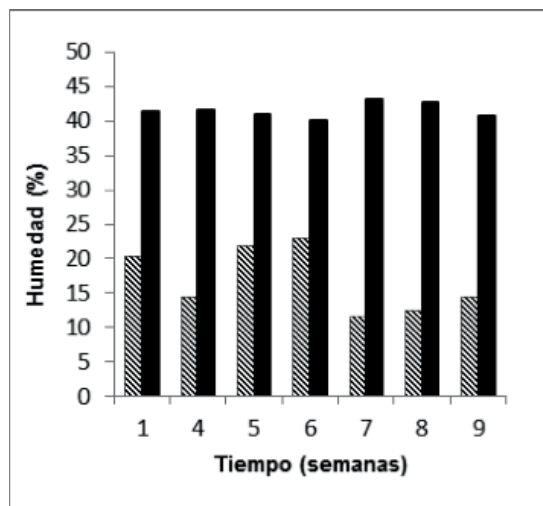
Figura 3. Evolución de hongos (a) y levaduras (b) de queso envasado



Barras negras: control; barras bicolor: muestra. *No se observó crecimiento.

que ejercieron los antimicrobianos empleados en este estudio (nisina y natamicina) a través del envase biopolimérico activo frente a hongos y levaduras fue eficaz a lo largo de todo el almacenamiento comparado con el envasado al vacío (control). Los resultados de las cinéticas microbianas a lo largo del almacenamiento refrigerado para la cuenta hongos y levaduras (Figuras 3) mostraron la efectividad del envasado activo. El desarrollo de hongos y levaduras se mantuvo controlado, mostrando la efectividad de esta tecnología emergente de conservación de alimentos.

A pesar que los envases permanecieron intactos durante todo el periodo de las pruebas (60 días), los envases no mostraron barrera a la humedad (Figura 4). En ella se puede constatar que a la primera semana, el queso ha perdido hasta el 50% de agua comparado

Figura 4. Evolución contenido humedad en queso

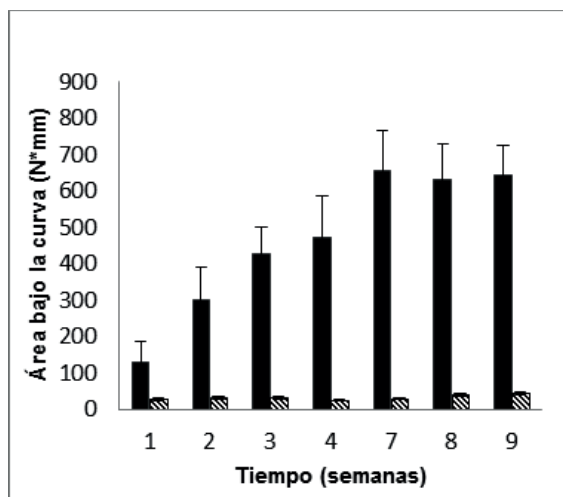
Barras negras: control; barras bicolor: muestra.

con el queso en envase control. Al perder humedad el producto, se incrementó notablemente su dureza (fuerza de cizallamiento) tal y como lo muestran los resultados obtenidos en la Figura 5 respecto al control. Con ello, se aumentó la fuerza necesaria para el corte y se disminuyó la capacidad de fundido del queso (resultados no mostrados).

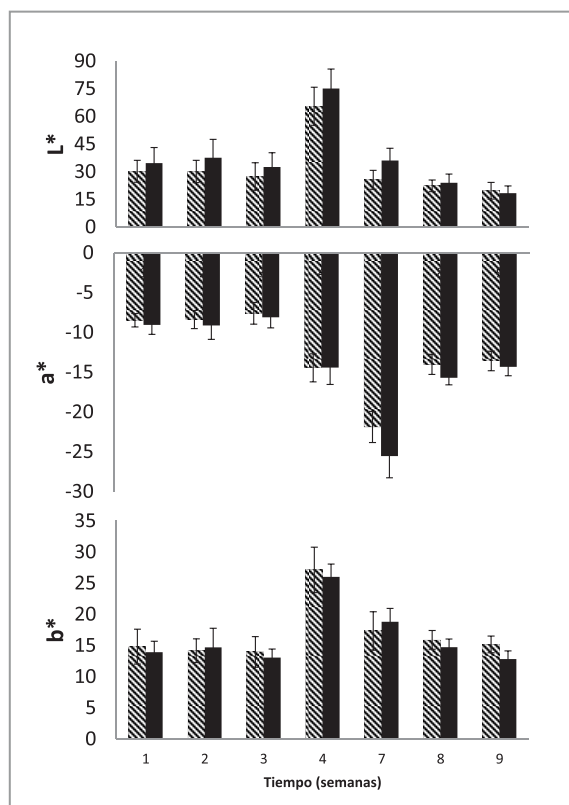
La transferencia de agua a través de las paredes del envase impactó otros parámetros de calidad particularmente en cambios de color L^* , a^* , b^* del queso envasado con respecto al control envasado al vacío (Figura 6).

Uno de los mayores retos en la obtención de biomateriales a partir de fuentes naturales, particularmente de almidón, es mejorar sus propiedades mecánicas, de barrera y estabilidad en el tiempo, pues su naturaleza hidrofílica conduce a un bajo desempeño de estas propiedades [30]. Aunado a esto, los plastificantes (por ejemplo: glicerol, sorbitol y polietilenglicol) que se emplean para lograr una película flexible, elástica y cohesiva, generalmente disminuyen las propiedades de barrera a gases y vapor de agua del material debido a que inducen a una mayor tensión intramolecular en el polímero incrementando los poros moleculares por donde difundirá más fácilmente el permeante.

Otra explicación a los resultados encontrados de bajo desempeño mecánico es debida a la incompatibilidad entre el almidón y las prolaminas y que en trabajos recientes ha sido demostrado al desarrollar compositos

Figura 5. Evolución de fuerza de cizallamiento en queso

Barras negras: control; barras bicolor: muestra

Figura 6. Evolución de los parámetros de color L^* , a^* , b^* en queso

Barras negras: control; barras bicolor: muestra

almidón-zeína basados en la hipótesis de que la zeína, gracias a su carácter hidrofóbico, debiese otorgar al composito mayor estabilidad frente al agua. A pesar de

que la zeína se percibía como un co-polímero favorecedor para compositos con almidón, se ha observado que éstos materiales presentan incompatibilidad de fases, lo cual compromete negativamente su desempeño [4, 28, 29, 30].

Finalmente, si bien el empleo de harina de cereales elimina pasos en la obtención de ambos biopolímeros (almidón y proteínas con capacidad filmogénica) por el otro presenta retos en el método de obtención de biopelículas por casting debido a que presenta limitaciones que interfieren con su escalamiento industrial, tales como tiempos prolongados del proceso, uso de solventes y sistemas deficientes de secado [6, 17, 18, 31, 32].

CONCLUSIONES

Se lograron obtener formulaciones de películas con mejor desempeño mecánico y menor capacidad de absorción de agua de ambas harinas, sorgo blanco ceroso y maíz azul. El mejor desempeño lo presentaron las películas formuladas usando la harina de maíz azul, carragenina y glicerol como aditivos.

Los resultados de las pruebas de envasado y almacenamiento del alimento con contenido de humedad intermedia, mostraron el desempeño real de los envases biopoliméricos estudiados, los cuales por un lado, tuvieron un excelente desempeño en cuanto a su acción activa antimicrobiana mostrando los beneficios de esta tecnología emergente de conservación pero desafortunadamente por el otro, su desempeño mecánico fue muy bajo así como el efecto sobre la protección hacia parámetros físicoquímicos inherentes y críticos de la calidad del producto, como son, humedad, color, textura del alimento (fuerza de cizallamiento en caso del queso estudiado) y que sufrieron fuertes cambios por efecto de pérdida de agua a través del envase.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo al Centro de Biotecnología FEMSA, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento al programa de posgrado en el Tecnológico de Monterrey (CVUs: 256730, 269263 y 256822), Campus Monterrey, Cátedras de investigación del Tecnológico de Monterrey: Nutracéuticos y Nutrigenómica y Qualtia Alimentos SA de CV.

REFERENCIAS

- [1] SCHAUSE, A. and ROJAS DE GANTE, C. Active edible films from sorghum starch and flour with nisin. In Worldpak 2002. Improving the Quality of Life through Packaging Innovation. Proceedings of the 13th IAPRI Conference on Packaging. East Lansing (USA): Volume I, Book 2, 2002, p. 819-825.
- [2] VALDERRAMA-SOLANO, A.C. and ROJAS DE GANTE, C. Two different processes to obtain antimicrobial packaging containing natural oils. Food Bioprocess Technol., 5, 2012, p. 2522-2528.
- [3] WANG, Y. and PADUA, G.W. Tensile properties of extruded zeinsheets and extrusion blown films. Macromol. Mater. Eng., 288(11), 2003, p. 886-893.
- [4] CORRADINI, E., FELIX, A.J., DA SILVA, A.A., MARCONDES, J.A. and CAPARELLI, L.H. Preparation and characterization of thermoplastic starch/zein blends. Mat. Res., 10(3), 2007, p. 227-231.
- [5] DI MAIO, E., MALI, R. and IANNACE, S. Investigation of thermoplasticity of zein and kafirin proteins: mixing process and mechanical properties. J Polym Environ, 18(4), 2010, p. 626-633.
- [6] ESPINO-DÍAZ, M., ORNELAS-PAZ, J., MARTÍNEZ-TELLEZ, M.A., SANTILLÁN, C., BARBOSA-CÁNOZAS, G.V., ZAMUDIO-FLORES, P.B. and OLIVAS, G.I. Development and Characterization of Edible Films Based on Mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.) J. Food Sci., 75(6), 2010, p. E347-E352.
- [7] DE NOBILE, M., CONTE, A., INCORONATO, A. and PANZA, O. Antimicrobial efficacy and release kinetics of thymol from zein films. J. Food Eng., 89(1), 2008, p. 57-63.
- [8] LAI, H. and PADUA, G.W. Properties and Microstructure of Plasticized Zein Films. Cereal Chem., 74(6), 1997, p. 771-775.
- [9] SINGH, N., GEORGET, D.M., BELTON, P.S., and BARKER, S.A. Physical properties of zein films containing salicylic acid and acetyl salicylic acid. J. Cereal Sci., 52(2), 2010, p. 282-287.
- [10] YANG, Q., LUE, A., QI, H., SUN, Y., ZHANG, X., and ZHANG, L. Properties and bioapplications of blended cellulose and corn protein films. Macromol Biosci., 9(9), 2009, p. 849-856.
- [11] SAGARPA. Producción de Maíz en México [online]. Available: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura>, 2009, [citado 14 de Febrero de 2011].
- [12] SIAP. Cierre de la producción agrícola por cultivo [online]. Available: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350, 2009, [citado 12 de Febrero de 2011].

- [13] DE LA ROSA-MILLÁN, J. Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul [Tesis Maestría en Ciencias en desarrollo de productos bióticos]. Yauatepec (México): Instituto Politécnico Nacional, Dependencia, 2009, p.1-12.
- [14] DAWSON, P.L., HIRT, D.E., RIECK, J.R., ACTON, J.C. and SOTTHIBANDHU, A. Nisin release from films is affected by both protein type and film-forming method. *Food Res. Int.*, 36(9-10), 2003, p. 959-968.
- [15] PUSHPADASS, H.A., MARX, D.B. and HANNA, A.M. Effects of extrusion temperature and plasticizers on the physical and functional properties of starch films. *Starch - Starke*, 60(10), 2008, p. 527-538.
- [16] WANG, Y., RAKOTONIRAINY, A. M., and PADUA, G.W. Thermal behavior of zein-based biodegradable films. *Starch - Starke*, 55(1), 2003, p. 25-29.
- [17] LAI, H. and PADUA, G.W. Water vapor barrier properties of zein films plasticized with oleic acid. *Cereal Chem.*, 75(2), 1998, p. 194-199.
- [18] LAWTON, J.W. Effect of starch type on the properties of starch containing films. *Carbohydr. Polym.*, 29(3), 1996, p. 203-208.
- [19] LÓPEZ, O.V., ZARITZKY, N.E., and GARCÍA, M.A. Physicochemical characterization of chemically modified corn starches related to rheological behavior, retrogradation and film forming capacity. *J. Food Eng.*, 100(1), 2010, p. 160-168.
- [20] ZENG, M., HUANG, Y., LU, L., FAN, L. and LOURDIN, D. Effects of filler-matrix morphology on mechanical properties of corn starch-zein thermomoulded films. *Carbohydr. Polym.*, 84(1), 2011, p. 323-328.
- [21] FINANCIERA RURAL. Monografía del Sorgo [online]. Available: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaSorgo%28jun11%29.pdf>. [citado 14 de febrero de 2013].
- [22] U.S. GRAINS COUNCIL. Sorghum. [online]. Available: http://www.grains.org/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=120. 2010, [citado 18 de febrero de 2013].
- [23] CRUZ-DELGADO. Datos no publicados.
- [24] ROJAS DE GANTE, C., RÍOS-LICEA, J.M. and TINOCO-PÉREZ, B. Method for producing biofilms from cereal grains, biofilms obtained said method and use thereof for producing receptacles for containing and preserving foods. *Patente PCT/MX2009/000092*.
- [25] PARRA, D., TADINI, C., PONCE, P. and LUGÃO, A. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydr. Polym.*, 58(4), 2004, p. 475-478.
- [26] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1708-10: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics by Use of Microtensile Specimens. West Conshohocken (USA): 2010. DOI: 10.1520/D1708-10.
- [27] RÍOS, J. and ROJAS DE GANTE, C. Selective activity of edible Sorghum or Corn Flour films using natural plant extracts as antimicrobial agents versus *E. coli* O157H:7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium*. 4th International Symposium Food Packaging. Prague (Czech Republic): ILSI, 2008.
- [28] LIM, S. and JANE, J. Storage stability of injection-molded starch-zein plastics under dry and humid conditions. *J. Environ. Polym. Degr.*, 2(2), 1994, p. 111-120.
- [29] SPENCE, K.E., JANE, J. and POMETTO, A. L. Dialdehyde starch and zein plastic: mechanical properties and biodegradability. *J. Environ. Polym. Degr.*, 3(2), 1995, p. 69-74.
- [30] GÁSPÁR, M., BENKO, Z., DOGOSSY, G., RÉCZEY, K. and CZIGÁNY, T. Reducing water absorption in compostable starch-based plastics. *Polym. Degrad. Stabil.*, 90(3), 2005, p. 563-569.
- [31] KUNTE, L.A., GENNADIOS, A., CUPPETT, S.L., HANNA, M.A. and WELLER, C.L. Cast films from soy protein isolates and fractions. *Cereal Chem.*, 74(2), 1997, p. 115-118.
- [32] ROY, S., WELLER, C.L., GENNADIOS, A., ZEECE, M.G. and TESTIN, R.F. Physical and molecular properties of wheat gluten films cast from heated film-forming Solutions. *J. Food Sci.*, 64(1), 1999, p. 57-60.