

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE BIOPELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN DE JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus*) ADICIONADAS CON NANOPARTÍCULAS DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF BIOFILMS BASED ON JICAMA STARCH (*Pachyrhizus erosus*) ADDED WITH CALCIUM HYDROXIDE NANOPARTICLES

Silva-Silva, E. S.^a, Martínez-Vázquez, D.G.^{a*}, Porras-Saavedra, J.^b, Tovar-Benítez T.^b, Pérez-Pérez N.C.^b

^a Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Ciencia Animal, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Saltillo Coahuila, México, C.P. 25315. ^b Tecnológico Nacional de México/ ITS del Occidente del Estado de Hidalgo, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Hidalgo, México, C.P. 42700. silvasilvaesthelaselina@gmail.com, gabrielamartinezicita@gmail.com.

RESUMEN. El almidón es un biopolímero ampliamente utilizado en la producción de biopelículas (BP) por su bajo costo y alta disponibilidad; sin embargo, estas BP presentan limitaciones en las propiedades de barrera y resistencia mecánica. Para mejorar estas características, la adición de nanopartículas (NP) ha mostrado ser una opción prometedora, siendo las nanopartículas de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$) recientemente estudiadas por su capacidad para mejorar materiales y aportar un efecto antimicrobiano. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de las $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ sobre las propiedades fisicoquímicas de BP elaboradas con almidón de jícama. Primero, se extrajo y purificó el almidón, posteriormente, se generaron las BP mediante el método de vaciado en placa; empleando una solución filmogénica con 4% p/v de almidón, 1.71% de glicerol, 1% de aceite vegetal y 0.1% de tween 80. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar adicionando las $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ en concentraciones de 50, 100 y 150 ppm, y se evaluaron parámetros como color, opacidad, humedad, solubilidad, espesor y permeabilidad al vapor de agua (WVP). El análisis de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico SAS. Los resultados obtenidos mostraron que la incorporación de $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ alteró significativamente la colorimetría, humedad, solubilidad, espesor y opacidad de las BP. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la WVP entre los tratamientos. De esta manera, la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ a biopelículas de almidón de jícama, generó matrices más transparentes, más gruesas, con mayor contenido de humedad, menor solubilidad y con una WVP ligeramente mayor que otras BP a partir de fuentes no convencionales. Estas características las hacen prometedoras para aplicaciones en alimentos que requieren mejoras en la apariencia visual. No obstante, es imprescindible evaluar su idoneidad y desempeño en comparación con materiales convencionales ampliamente utilizados en la industria alimentaria, para determinar su viabilidad en un contexto práctico.

Palabras clave: biopelículas, almidón de jícama, nanopartículas de hidróxido de calcio.

ABSTRACT.

Starch is a biopolymer widely used in the production of biofilms (BP) due to its low cost and high availability; however, these BP have limitations in barrier properties and mechanical resistance. To improve these characteristics, the addition of nanoparticles (NP) has shown to be a promising option, with calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$) nanoparticles recently studied for their ability to improve materials and provide an antimicrobial effect. The objective of the present study was to evaluate the effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ on the physicochemical properties of BP made with jicama starch. First, the starch was extracted and purified, then the BP was generated by the plate emptying method; using a filmogenic solution with 4% w/v starch, 1.71% glycerol, 1% vegetable oil and 0.1% Tween 80. A completely randomized experimental design was used adding $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ at concentrations of 50, 100 and 150 ppm, and parameters such as color, opacity, humidity, solubility, thickness and water vapor permeability (WVP) were evaluated. Data analysis was performed using an analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ($p \leq 0.05$) in the SAS statistical program. The results obtained showed that the incorporation of $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ significantly altered the colorimetry, moisture, solubility, thickness and opacity of BPs. However, there were no significant differences in WVP between treatments. In this way, the addition of $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ to jicama starch biofilms generated more transparent, thicker matrices, with higher moisture content, lower solubility and with a slightly higher WVP than other BPs from unconventional sources. These characteristics make them promising for food applications that require improvements in visual appearance. However, it is essential to evaluate their suitability and performance compared to conventional materials widely used in the food industry, to determine their viability in a practical context.

Key words: biofilms, jicama starch, calcium hydroxide nanoparticles

INTRODUCCIÓN

Los empaques utilizados en la industria alimentaria cumplen funciones muy importantes: protegen los productos, facilitan su transporte y extienden la vida útil. Por lo general están elaborados a partir de polímeros derivados del petróleo y aunque son funcionales y económicamente rentables, la realidad es que representan un severo problema de contaminación ambiental. En los últimos años, se ha intensificado la búsqueda de alternativas más sostenibles, una de las opciones más prometedoras ha sido el uso de materiales poliméricos biodegradables para crear recubrimientos y películas¹. Las biopelículas (BP) son estructuras preformadas compuestas por materiales de origen biológico, producidas mediante un proceso de moldeo y que posteriormente se aplican como envoltura a los alimentos². Regulan la pérdida o ganancia de humedad, controlan el intercambio de gases y retrasan la degradación química y microbiológica³⁻⁵. Uno de los biopolímeros más estudiados es el almidón; su disponibilidad, bajo costo y propiedades funcionales lo convierten en un material clave para la elaboración de BP, estas suelen ser translúcidas o transparentes, incoloras e insípidas. Además, ofrecen buenas propiedades de barrera contra gases como el dióxido de carbono y el oxígeno, sin embargo, presentan limitaciones en cuanto a sus propiedades mecánicas y su permeabilidad al vapor de agua, lo que puede afectar su desempeño en ciertas aplicaciones¹. Se han investigado diversas estrategias para mitigar estas limitaciones, entre las cuales destaca la aplicación de la nanotecnología, específicamente el uso de las nanopartículas (NP). En este caso son de interés aquellas que se derivan del calcio, por ejemplo: nanopartículas de óxido de calcio (CaO-NP)⁶ y nanopartículas de carbonato de calcio (CaCO₃-NP)⁷ que han demostrado capacidad para modificar los materiales y propiedades antimicrobianas, debido a sus características físicas y químicas únicas⁸. Actualmente, el uso de nanopartículas de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂-NP) en películas y recubrimientos es un campo de investigación en desarrollo. Se plantea que su adición podría mejorar las propiedades fisicoquímicas de las BP haciéndolas más adecuadas para su uso en productos alimentarios.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las nanopartículas de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂-NP) en biopelículas elaboradas con almidón de jícama, mediante la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas.

METODOLOGÍA

Extracción del almidón de jícama

Los tubérculos previamente lavados, pelados y picados se sometieron a una molienda húmeda con agua destilada utilizando una proporción de 1:1.5 (p/v) de tubérculo y agua destilada⁹. La pasta resultante se filtró y lavó hasta que dejó de presentar líquido remanente. La solución filtrada se refrigeró 24 h, posteriormente se descartó el sobrenadante y se recuperó el sedimento de almidón. El sedimento se secó en un horno de secado de convección forzada (Yamato, DKN602C, EE. UU.) a 40°C durante 24 h, se molió, se tamizó (Tamiz Humboldt núm. 100) y se almacenó en un frasco hermético.

Purificación del almidón de jícama

El almidón de jícama nativo fue sometido a una hidrólisis ácida para eliminar lípidos y proteínas presentes¹⁰. Se realizaron tres lavados, 1) lavado con NaOH 0.05 M, 2) lavado con HCl 0.1 M y 3) lavado con agua destilada. Se emplearon 400 g de almidón por cada litro de solución, en cada lavado se agitó constantemente a 800 rpm por 60 minutos, se dejó reposar 4 h y se descartó el sobrenadante. La pasta de almidón lavada se secó en un horno de secado de convección forzada (Yamato, DKN602C, EE. UU.) a 40°C por 24 h, luego se molió, se tamizó (Tamiz Humboldt núm. 100) y se almacenó en un frasco hermético hasta su uso.

Elaboración de las biopelículas

Las BP se elaboraron mediante el método de vaciado en placa¹¹. Se preparó una mezcla en tres fracciones utilizando agua destilada. En la primera fracción, se pre-gelatinizó el almidón de jícama al 4% p/v. En la segunda fracción, se incorporó glicerol al 1.71% junto con las Ca(OH)₂-NP en concentraciones de 50, 100 y 150 ppm⁶. Enseguida, en la tercera fracción, se añadió 0.1% de Tween 80 y 1% de aceite de maíz, formando una emulsión que se agregó lentamente a la mezcla anterior. Durante el proceso, cada solución se mantuvo a 70 °C con agitación constante durante 10 min, y la mezcla final fue homogeneizada en una

licuadora convencional (Oster, BLSTPEG-MRT, México) por 12 min. Finalmente, se vertió en cajas de Petri (30 mL) y se secó a 35 °C por 24 h en un horno de secado de convección forzada (Yamato, DKN602C, EE. UU.).

Caracterización fisicoquímica

Color

El color se evaluó mediante la escala CIE $L^*a^*b^*$ utilizando un colorímetro (Konica Minolta, CR-400, Japón). Las biopelículas se colocaron sobre un fondo blanco y se tomaron 3 lecturas en diferentes puntos de 3 biopelículas.

Espesor

El espesor se determinó utilizando un micrómetro digital (Mitutoyo absolute, 547-400S, Japón). Para ello se tomaron 5 lecturas en diferentes puntos de 3 biopelículas seleccionadas al azar².

Opacidad

La opacidad se determinó por espectrofotometría¹⁰. Se recortaron muestras rectangulares de 1 x 4 cm, se colocaron en una celda y se llevaron a leer en un espectrofotómetro de barrido UV/visible (Thermo Scientific Genesys 10 UV, EE. UU.) a 600 nm, para el blanco se utilizó una celda vacía. La determinación se realizó por triplicado para cada tratamiento. La opacidad se determinó mediante la Ec. 1.

$$\text{Opacidad} = \left(\frac{A}{\delta} \right) \quad (1)$$

Donde:

A = absorbancia a 600 nm

δ = espesor de las BP (mm)

Humedad

La humedad de las biopelículas se determinó por gravimetría¹². Se pesaron 0.15 g de muestras en una balanza analítica (Ohaus, 120GX0.1MG Pioneer, EE. UU.), después se colocaron en crisoles de porcelana previamente pesados y se llevaron a secar en un horno de secado (Novatech, HS60-AID, México) a 105°C por 24 h. Transcurrido el tiempo se atemperaron 30 minutos dentro de un desecador y se pesaron. La determinación se realizó por triplicado para cada tratamiento. Los resultados obtenidos fueron expresados en porcentaje de humedad aplicando la Ec 2.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m1-m2}{m2-m} * 100 \quad (2)$$

Donde:

$m1$ = peso de crisol + muestra húmeda (g)

$m2$ = peso de crisol + muestra seca (g)

m = peso de crisol (g)

Solubilidad

La solubilidad en agua de las biopelículas se determinó a partir del porcentaje de material desintegrado¹³. Para ello, se recortaron muestras circulares de 2 cm de diámetro, se colocaron en crisoles de porcelana previamente pesados y se secaron en un horno de secado (Novatech, HS60-AID, México) a 105°C por 24 h. Tras este periodo, las muestras se dejaron reposar 30 minutos en un desecador y se pesaron para determinar el peso inicial. A continuación, las muestras fueron sumergidas en 15 ml de agua destilada y se incubaron a 25°C por 24 h. Después de este periodo, se decantó el agua y las muestras se secaron nuevamente a 105°C por 24 h para obtener el peso final. La determinación se realizó por triplicado para cada tratamiento. La solubilidad en agua se calculó utilizando la Ec. 3.

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{p1-p2}{p2} * 100 \quad (3)$$

Donde:

$p1$ = peso inicial de las BP (g)

$p2$ = peso final de las BP (g)

Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua se determinó con base al método ASTM E96-10¹⁴. Las biopelículas se recortaron en círculos de 6 cm de diámetro, se colocaron en celdas de permeación que contenían 1 g de carbonato de calcio como agente higroscópico. Posteriormente, se introdujeron en una cámara climática (Binder, KBF-115, Alemania) donde se propiciaron condiciones controladas de 60% de humedad relativa y 35°C de temperatura. Las celdas se pesaron por 8 h consecutivas en intervalos de 1 h entre cada pesada. Los datos obtenidos permitieron determinar los valores de la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR), correspondiente a la pendiente de la curva obtenida del análisis de regresión lineal de los datos de ganancia de peso en función del tiempo. El valor de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) se obtuvo a partir de la Ec. 4. La determinación se realizó por triplicado para cada tratamiento.

$$WVP = \frac{(m)(L)(24)}{(A)(VP)} \quad (4)$$

Donde:

m = pendiente

L = espesor de las BP

A = área de permeación de las BP

VP = presión entre el interior y el exterior del sistema

Análisis estadístico

Los resultados se sometieron al análisis de varianza (ANOVA), mediante la comparación de medias por la prueba de Tukey empleando un nivel de significancia (α) del 5 %. Se utilizó el paquete estadístico SAS Versión 9. Los resultados se presentan como el valor promedio \pm la desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de color (Tabla 1) indicaron que la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ a la formulación produjo modificaciones en las características cromáticas de las BP. Los valores de L^* se mantuvieron cercanos a 100, exhibiendo tonalidades blancas; sin embargo, disminuyeron con la adición de NP, mostrando diferencias significativas en los tratamientos 2, 3 y 4 en comparación con el tratamiento 1. En cuanto a los valores de a^* , se observaron diferencias significativas en los tratamientos 4 y 5 frente a los tratamientos 1 y 2, presentando valores positivos que indicaron tonalidades rojas y más intensas a mayor concentración de NP. Finalmente, los valores de b^* son significativamente diferentes para los tratamientos 2, 3 y 4 respecto al tratamiento 1, con valores negativos que reflejaron tonalidades azules.

Tabla 1 Resultados de color.

T	L^*	a^*	b^*
1	88.9 \pm 0.20 ^a	0.8 \pm 0.07 ^c	-3.7 \pm 0.19 ^c
2	81.6 \pm 0.73 ^c	0.8 \pm 0.02 ^c	-3.0 \pm 0.17 ^a
3	82.3 \pm 0.96 ^c	1.1 \pm 0.05 ^b	-3.2 \pm 0.10 ^b
4	84.2 \pm 0.62 ^b	1.2 \pm 0.06 ^a	-3.4 \pm 0.20 ^b

T1) testigo, T2) 50 ppm, T3) 100 ppm, T4) 150 ppm. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Martínez *et al.*(2024)¹⁵ exponen que algunos consolidantes (líquidos que se aplican en superficies) basados en $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ pueden inducir cambios de color. Tal y como se observó en las BP (Figura 1).



Figura 1 Color de las BP.

Los resultados de espesor (Tabla 2) indicaron que la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ provocó un aumento significativo en los tratamientos 2, 3 y 4 en comparación con el tratamiento 1, lo que resultó en BP más gruesas.

Tabla 2 Resultados de espesor y opacidad.

T	Espesor (mm)	Opacidad (mm^{-1})
1	0.20 \pm 0.02 ^b	1.29 \pm 0.05 ^a
2	0.23 \pm 0.03 ^a	1.07 \pm 0.08 ^b
3	0.23 \pm 0.03 ^a	1.07 \pm 0.06 ^b
4	0.23 \pm 0.02 ^a	1.21 \pm 0.02 ^{ab}

T1) testigo, T2) 50 ppm, T3) 100 ppm, T4) 150 ppm. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Por otro lado, los datos de opacidad (Tabla 2) expusieron diferencias significativas en los tratamientos 2 y 3 frente al tratamiento 1. La adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-NP}$ redujo los valores de opacidad; las BP resultaron ser más transparentes, una característica favorable para mantener una buena apariencia visual en alimentos poco sensibles a la luz¹⁶. El hidróxido de calcio es una base fuerte; cuando está en una solución libera iones de calcio (Ca^{+2}) e iones hidroxilo (OH^{-1})¹⁷. Estos pueden interactuar con los grupos funcionales de los demás componentes de la formulación, lo que pudo alterar la estructura molecular y cambiar la absorción de luz. Ormazábal *et al.*(2024) reportan que las NP provocan una mejora en la opacidad de las BP¹⁸.

Los resultados de humedad (Tabla 3) mostraron diferencias significativas entre el tratamiento 4 y el tratamiento 1. La humedad de las BP aumentó en función de la concentración de NP, debido a que el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es un compuesto higroscópico, al estar expuesto al medio ambiente absorbe humedad¹⁹. Además, los componentes de la formulación son de carácter hidrofílico. El almidón está compuesto por moléculas de amilosa y amilopectina, los cuales poseen abundancia de grupos hidroxilo, debido a ello pueden ligar y retener moléculas de agua en su

estructura a través de fuertes interacciones de hidrógeno²⁰. Asimismo el tween 80 es un surfactante hidrofílico²¹. De igual manera, se ha reportado que cuando el glicerol presenta una interacción débil con el almidón genera más espacios para la adsorción de agua²⁰.

Tabla 3 Resultados de humedad y solubilidad en agua.

T	Humedad (%)	Solubilidad (%)
1	22.08±0.7 ^b	44.90±2.8 ^a
2	23.49±0.2 ^{ab}	31.30±1.1 ^b
3	23.17±0.1 ^{ab}	24.77±0.8 ^c
4	25.08±1.4 ^a	25.90±1.4 ^c

T1) testigo, T2) 50 ppm, T3) 100 ppm, T4) 150 ppm. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Los resultados de solubilidad (Tabla 3) reflejan que los tratamientos 2, 3 y 4 son significativamente diferentes con respecto al tratamiento 1. Los valores disminuyeron en función de la concentración de NP. Esto se debe a que el hidróxido de calcio es un compuesto poco soluble en agua (1,7 g/L a 20 °C)¹⁵. Además, la carbonatación del hidróxido de calcio al reaccionar con el dióxido de carbono presente en el medio ambiente genera CaCO_3 un compuesto insoluble en agua y que da una estructura más cohesiva a los materiales. Este comportamiento es similar al reportado por Limón *et al.* (2022)⁷ en películas de almidón de maíz adicionadas con nanopartículas de CaCO_3 , donde obtuvo una solubilidad de 23.97-43.48%⁷.

Los resultados de WVP indicaron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 4 Resultados de permeabilidad al vapor de agua.

T	WVP (g m / m ² s Pa)
1	5.86E-10±4.98E-11 ^a
2	5.94E-10±2.23E-10 ^a
3	6.83E-10±6.10E-11 ^a
4	5.65E-10±7.20E-11 ^a

T1) testigo, T2) 50 ppm, T3) 100 ppm, T4) 150 ppm. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Los valores obtenidos de WVP son menores en comparación con los reportados por Rodríguez²² en biopelículas elaboradas con almidón de jícama y suero de leche, quienes muestran valores de 1.17-

1.22x10⁻³ g m / m² s Pa²². Por otro lado, los valores de WVP presentados en este trabajo, son mayor en comparación con reportado por Limón *et al.*⁷ en películas hechas con almidón de maíz adicionadas con CaCO_3 -NP (0.87-3.30x10⁻¹¹ g m / m² s Pa). La WVP se puede ver afectada por los componentes de la formulación, el espesor, la flexibilidad, entre otros factores²³. El contenido de amilosa-amilopeptina influye significativamente²⁴. Se ha demostrado que BP elaboradas con almidones que presentan bajo contenido de amilosa tienden a reflejar mayor WVP²⁵. En este caso el almidón de jícama presenta solo 13.75% de amilosa; una cifra considerablemente baja a diferencia de otros almidones, por ejemplo, el de papa que contiene un 24.35%²⁶. Esto se comprueba con lo reportado por González *et al.*(2016)²⁷ en películas hechas con almidón de papa obtenidas por casting reforzadas con montmorillonita de sodio modificada, donde obtuvo una menor cifra de WVP que fue de 3.25 x 10⁻¹⁰g m/s.m² Pa²⁷. Además, el uso de plastificantes hidrofílicos otorga mayor WVP a las BP ya que disminuyen las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero formador, dando una mayor movilidad molecular²⁴. La WVP de las BP elaboradas en esta investigación son ligeramente mayores a aquellas elaboradas mediante vaciado en placa utilizando almidón de plátano (1.98 x 10⁻¹⁰ g m/s.m² Pa)²⁸, polisacáridos de cáscara de tuna (3.25 x 10⁻¹⁰ g m/s.m² Pa)²⁹ y almidón de maíz (0.88 – 1.41 x 10⁻¹⁰ g m/s.m² Pa)³⁰, estas últimas elaboradas mediante extrusión. Lo anterior indica que el almidón de jícama es una opción adecuada para la elaboración de BP biodegradables a partir de fuentes no convencionales.

CONCLUSIONES

La incorporación de Ca(OH)_2 -NP en las biopelículas a base de almidón de jícama indujo modificaciones significativas en sus propiedades fisicoquímicas, incluyendo alteraciones en la coloración, un incremento en el contenido de humedad y espesor, así como una disminución en la opacidad y solubilidad. Sin embargo, la permeabilidad al vapor de agua (WVP) se mantuvo sin cambios estadísticamente significativos. Se recomienda continuar con el estudio del impacto de las Ca(OH)_2 -NP en las propiedades mecánicas y la morfología estructural de las BP de almidón de jícama, con la

finalidad de dilucidar su aplicación como recubrimientos y/o empaques biodegradables en la industria agroalimentaria, farmacéutica y biotecnológica

AGRADECIMIENTOS Y/O RECONOCIMIENTOS.

Los autores desean expresar su gratitud a la M.C. Alma Leticia Martínez Herrera, técnica de laboratorio del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

REFERENCIAS

- (1) Mohamed, S. A.; Sakhawy, M.; Sakhawy, M. A. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers* 238, 116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>.
- (2) Oregel Zamudio, E.; Aguilar, C. N.; Oyoque Salcedo, G.; Angoa Pérez, V.; Mena Violante, H. G. (2016). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla., 17.
- (3) Guaña, F.; Vaca Tenorio, M.; Aguilar Morales, J. (2022). Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *FACSALUD-UNEMI*, 6 (10), 18–32. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol6iss10.2022pp18-32p>.
- (4) McHugh, T. H. (2000). Protein Lipid Interactions in Edible Films and Coatings. *Nahrung*, 44 (3), 148–151. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20000501\)44:3<148::AID-FOOD148>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20000501)44:3<148::AID-FOOD148>3.0.CO;2-P).
- (5) Solano, L. G.; Alamilla Beltrán, L.; Jiménez Martínez, C. (2018) Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP RECQB*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>.
- (6) Cid, M. L. (2020). Recubrimiento de Poli(Acetato De Vinilo-Co-Alcohol Vinílico) adicionado con Nanopartículas de Óxido de Calcio y su efecto en la poscosecha de Pepino (*Cucumis sativus*), Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, México.
- (7) Limón Valenzuela, V.; Aguilar Palazuelos, E.; Martínez Bustos, F.; Montoya Rodríguez, Á.; Camacho Hernández, I. L.; Zazueta Morales, J. D. J.; Jacobo Valenzuela, N.; Carrillo López, A. (2022). Edible starch films enhanced using CaCO₃ nanoparticles and plasticizers by optimized extrusion-casting process. *BIOTECNIA*, 24 (3), 52–62. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1508>.
- (8) Harish; Kumar, P.; Akash; Kumari, J.; Kumar, L.; Salim, A.; Singhal, R.; Mukhopadhyay, A. K.; Joshi, R. P. (2022). Influence of Chemical Synthesis Process on the Properties of Calcium Hydroxide Nanoparticles. *Materials Today: Proceedings*, 60, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.282>.
- (9) Ramirez Balboa, G.; Balois Morales, R.; León Fernández, A. E.; Bautista Rosales, P. U.; Jiménez Zurita, J. O.; Montalvo González, E. (2023). Caracterización fisicoquímica y proximal de almidón y harina de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.). *Revista Bio Ciencias*, 17. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1427>.
- (10) Dai, L.; Qiu, C.; Xiong, L.; Sun, Q. (2015) Characterisation of corn starch-based films reinforced with taro starch nanoparticles. *Food Chemistry*, 174, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.005>.
- (11) Algecira, N. A.; Saavedra, N. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. 8 (14), 171–182. <https://doi.org/10.22490/24629448.448>.
- (12) Cedeño, L. A.; Armijos Cabrera, G.; Arias Toro, D.; Bravo Bravo, V. (2023). Efecto del glicerol como plastificante en películas de almidón de maíz modificado. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.10045595>.
- (13) Carrillo, K. I. (2024). Obtención y caracterización de películas comestibles a base de almidón de maíz acetilado y microcristales de celulosa aislados de *Padina durvillae*, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.
- (14) ASTM. (1995) Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. https://doi.org/10.1520/E0096_E0096M-10.
- (15) Martínez Arredondo, A.; García Vera, V. E.; Navarro Moreno, D.; Tenza Abril, A. J.; Lanzón, M. (2024). Calcium Hydroxide, Magnesium Hydroxide, Silicon Dioxide Nanoparticles and Their Combinations as Consolidants for Lime Mortars and Gypsum Plasters. *Journal of Cultural Heritage*, 68, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.05.004>.
- (16) Jacuinde-Guzmán, J. K.; Escalona Buendía, H. B.; Barbosa Martínez, C.; Rivera Cabrera, F.; Raddatz Mota, D.; Soriano Melgar, L. de A. A. El Potencial de Las Nanopartículas de Calcio en la Conservación Postcosecha de Sandía Fresca Cortada Sin Semillas (*Citrullus Lanatus*). *Postharvest Biology and Technology*, 216, 113069. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113069>
- (17) Siqueira, J. (2024). *Hidróxido*. Microbiología en endodoncia. <https://www.iztacala.unam.mx/rrivas/notas/notas13Microbiologia/4.3hidroxido.html> (accessed 2024-11-03).
- (18) Ormazábal, E.; Moreno Serna, V.; Sepúlveda, F. A.; Loyo, C.; Ortiz, J. A.; Melo, F.; Ulloa, M. T.; Rivas, L.; Corrales, T.; Matiacevich, S.; Zapata, P. A. (2024). Antimicrobial Nanocomposites Based on Biowaste Eggshell Derived CaO Nanoparticles for Potential Food Packaging Application. *Food and Bioproducts Processing*, 148, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.09.003>.
- (19) Winkler. (2015). Calcio hidróxido P. A.
- (20) Ceron, A. R. El problema de la hidrofobicidad en materiales plásticos derivados de almidón. (2013). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11 (SPE), 41–48.
- (21) IROCHEMICAL. (s.f.). *Tween-80, Emulsionante T-80*. IRO Group Inc. <https://www.irochemical.com/span/product-detail/tween-80/> (accessed 2024-11-03).
- (22) Rodríguez, L. E. (2022). Efecto de un recubrimiento de almidón de jícama y suero de leche en la conservación del contenido de antocianinas en fresa (*Fragaria vesca* L.). Requisito parcial para obtener el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- (23) Ramos, M. de L.; Romero Bastida, C.; Bautista Baños, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas, 19.
- (24) Joaqui D, D. F.; Villada C, H. S. (2013). Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11 (SPE), 59–68.
- (25) Antonio, R.; González, O.; Isabel, A.; Hernández, M.; Alberto, C.; Pereira, P. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1) (065–093), 30.
- (26) Montoya Anaya, D. G.; Madera Santana, T. J.; Aguirre Mancilla, C. L.; Grijalva Verdugo, C. P.; Gonzáles García, G.; Nuñez Colín, C. A.; Nuñez, J. R. R. (2023).

- Caracterización fisicoquímica de almidón recuperado de papa (*Solanum tuberosum*) residual de la industria de papas fritas en México. *Biotecnia*, 25 (2), 60–72. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1880>.
- (27) González Soto, R. A.; Sotelo Bautista, M.; Gutiérrez Meráz, F. (2016). Películas de almidón de papa obtenidas por casting y extrusión reforzadas con montmorillonita de sodio modificada. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, p 6.
- (28) Zamudio Flores, P.B. (2005) Elaboración de películas degradables de almidón de plátano: Evaluación de sus propiedades mecánicas y de barrera [*Tesis Magister en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos*]. Yautepec, (México): Universidad del Papaloapan, 2005, p.18
- (29) Terrazas, J.A., Rodríguez, A.I., Vargas, A., Hernández, J., Romero, C.A., Bello, L.A. y Chavarría, N. (2010) Propiedades mecánicas y de permeabilidad de películas comestibles elaboradas con polisacáridos de cáscara de tuna (*Opuntia albicarpa*) y gelana. *Memorias XII Congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos*. Guanajuato (México).
- (30) López, O.V. (2011) Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón. [*Tesis Doctor en Ciencias Exactas, Área Química*]. La Plata (Argentina): Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, p. 183-201.