

Desarrollo de películas biodegradables usando zeolitas impregnadas con plata

Development of Biodegradables Films Using Zeolites Impregnated with Silver

Ofelia Alexandra Granda Morocho¹, Diana Elizabeth Guaya Caraguay²

¹ <https://orcid.org/0000-0001-8850-8180>. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador, oagranda@utpl.edu.ec

² <https://orcid.org/0000-0002-5872-7208>. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador, deguaya@utpl.edu.ec

Fecha de recepción: 14/09/2020 - Fecha de aceptación del artículo: 23/03/2021



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6751>

Cómo citar: Granda Morocho, O. A., & Guaya Caraguay, D. E. . (2021). Desarrollo de películas biodegradables usando zeolitas impregnadas con plata. Avances: Investigación En Ingeniería, 18(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6751>

Resumen

La zeolita faujasita tipo X se sintetizó utilizando el método hidrotérmico, que se modificó mediante el intercambio iónico usando plata, cuya caracterización mineralógica se realizó mediante la difracción de rayos X. Así, se elaboraron películas con almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), almidón de yuca (*Manihot esculenta*), glicerol, alcohol polivinílico, zeolita faujasita tipo X a diferentes concentraciones de plata (0,00 %, 0,05 %, 0,10 %, 0,25 % y 0,5 %) y agua destilada, mediante el método casting. En las películas se analizó espesor, densidad, absorción de agua y capacidad biodegradable. Las películas de almidón de zanahoria blanca presentaron valores de espesor comprendidos a 0,254 mm. La densidad en los polímeros va de 1,20 g/ml a 1,35 g/ml, y entran en este rango las películas de almidón de yuca y zanahoria blanca. Las películas biodegradables con mayor porcentaje de plata mostraron mayor capacidad de absorción de agua. También se analizaron las propiedades organolépticas y pérdida de peso en alimentos que contienen un alto porcentaje de humedad, como queso fresco y carne de res molida, que se envolvieron con las películas que presentaron mejores resultados.

Palabras clave: biodegradable, difracción de rayos X, película, plata, zeolita.

Abstract

The type X Faujasite Zeolite was synthesized using the hydrothermal method, modified by ion-exchange using silver, whose mineralogical characterization was made using X-ray Diffraction (XRD). Films were made with white carrot starch (*Arracacia xanthorrhiza*), cassava starch (*Manihot esculenta*), glycerol, polyvinyl alcohol (PVA), zeolite faujasite type X at different concentrations of silver (0,00 %, 0,05 %, 0,10 %, 0,25 % and 0,5 %) and distilled water, using the casting method. In the films, thickness, density, water absorption, biodegradable capacity were analyzed. The white carrot starch films had thickness of 0.254 mm. The density in the polymers ranges from 1,20g / ml to 1,35g / ml, with cassava and white carrot starch films falling into this range. Biodegradable films with a higher percentage of silver showed greater water absorption capacity. In addition, the organoleptic properties and weight loss were analyzed in food that contains a high percentage of moisture such as fresh cheese and ground beef, which were wrapped with the films that presented the best results.

Palabras clave: biodegradable, X-ray Diffraction, film, silver, zeolite

Introducción

El uso indiscriminado de los plásticos y su lenta degradación es una gran problemática que ha generado muchas investigaciones para crear películas biodegradables que resistan temperaturas mayores a 200 °C y que se degraden en un tiempo promedio de 6 semanas a 6 meses [1]. En los últimos años, el desarrollo de nanopartículas ha llamado mucho la atención, por ser potencialmente útiles en una infinidad de aplicaciones. Dentro de este campo, debe destacarse el potencial desarrollo de nuevos materiales, así como sus aplicaciones medioambientales. Por ello, algunos de estos materiales que se emplean ampliamente incluyen elementos inorgánicos, como las zeolitas, que son combinables con metales, sistemas poliméricos y otros compuestos [2]. Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos microporosos, cuyo tamaño de poro es menor a 2 nm³, que forman estructuras tridimensionales ordenadas de poros y canales. La plata actúa como agente antimicrobiano e inhibe bacterias grampositivas y gramnegativas [3]. Este metal es capaz de eliminar más de 650 tipos de bacterias, virus y hongos [4], las mismas que pueden ser añadidas en materiales inertes, como zeolita, silicato y arcilla. La zeolita de plata (Ag-zeolita) se produce por la sustitución de iones de Na⁺ en la zeolita con iones de Ag⁺ [5]. En este trabajo se elaboraron películas biodegradables usando zeolita faujasita tipo X impregnada con plata a varios porcentajes (0,00 %, 0,05 %, 0,10 %, 0,25 % y 0,50 %), dos tipos de almidones (zanahoria blanca y yuca). Las películas que presentaron mejores resultados se aplicaron en alimentos para determinar las características organolépticas y la pérdida de peso.

1. Metodología

1.1. Síntesis de la faujasita tipo X

La zeolita se sintetizó con el método hidrotérmal descrito por [6]. Se pesaron 55,5g de metasilicato de sodio nonahidratado y se disolvieron en 222g de agua destilada y 99g de solución de aluminato de sodio con agitación constante a temperatura ambiente durante 24h para luego calentar a 90 °C por 8h. Después se filtró y lavó hasta eliminar residuos y, finalmente, se secó a 90 °C, se trituró y tamizó para luego almacenarla.

1.2. Modificación de la zeolita con plata

La zeolita se modificó con el método descrito por [7]. Se pesaron 30g de la zeolita faujasita X y se prepararon 500ml de una solución al 0,1M de iones Ag a partir del AgNO₃. Se midieron 250ml de la solución en mención y se mezcló con la zeolita previamente pesada durante 4h a temperatura de 100 °C. Nuevamente, se adicionaron los restantes 250ml de la solución al 0,1M de iones de Ag y se repitió el proceso a las mismas condiciones de tiempo y temperatura. Luego se procedió a filtrar al vacío y secar por 12h a una temperatura de 90 °C. Finalmente, se procedió a triturar y a almacenar.

1.3. Extracción de almidón de zanahoria blanca

La extracción del almidón se realizó según el método descrito por [8]. Para ello se procedió a la selección, el lavado y el pesado de la zanahoria blanca; luego se peló y se dejó en reposo en agua destilada durante 40min usando una relación de 1:3 (zanahoria:agua destilada). Luego

se licuó y filtró para dejarla reposar en refrigeración por un periodo de 3 h. El contenido sólido como bagazo se eliminó. Una vez lograda la sedimentación, se desecha el sobrenadante y el sedimento obtenido se deja en reposo en refrigeración hasta el otro día. El contenido sólido se colocó en la estufa y se dejó secar por 24 h a 40 °C. El almidón libre de humedad se trituró en un mortero para luego ser secado a 40 °C por 48 h hasta lograr peso constante y, finalmente, se almacenó en recipientes cerrados y a temperatura ambiente.

1.4. Elaboración de película

Las películas de almidón se desarrollaron mediante el método casting descrito [9]. Se midieron 95 ml de agua destilada a 50 °C agitando constantemente. Se añadieron 3,5 g de almidón, y al alcanzar los 80 °C, se colocaron 0,97 ml de glicerol y 0,5 g de alcohol polivinílico mediante agitación constante por 30 min. Inmediatamente, se procedió a enfriar la solución a 60 °C mediante agitación constante y, posteriormente, se colocaron en recipientes rectangulares de 26,5 cm × 10,5 cm a 40 °C por 24 h.

1.5. Espesor

Para la determinación de esta variable se tomó como referencia el estudio realizado por [10], para lo cual se midió el espesor con un micrómetro digital marca STANLEY de 0 a 25 mm con una precisión de 0,001 mm. Se realizaron 5 medidas aleatorias y se obtuvo su promedio, expresando el resultado en unidades de milímetros.

1.6. Densidad

Tomado del estudio Rosales [11], se determinó la densidad pesando 2,5 g de la película biodegradable y se introdujeron en un vaso de precipitación de 50 ml donde se vaciaron 25 ml de agua destilada. Se registró el valor cuando subió el nivel de agua, lo que daba el volumen de la película en mililitros [11].

1.7. Absorción de agua

Según el estudio realizado por [12] se cortaron películas de dimensiones de 1,5 cm × 1,5 cm y se colocaron en 50 ml de agua destilada por 12 h a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo señalado, se pesaron las muestras húmedas (m1) y luego se secaron por 24 h a 50 °C (m2). Se hicieron 3 repeticiones.

$$\%Abs=(m1-m2)/m2 \times 100$$

1.8. Capacidad biodegradable

La capacidad biodegradable se analizó tomando como referencia el estudio de [13]. Para ello se pesaron 2 g de película y se colocaron en agua destilada durante 24 h a temperatura ambiente. Después del tiempo señalado se secaron a 30 °C por 24 h.

$$\%B=(WBI-WBF)/WBI \times 100$$

Donde:

%B: porcentaje de biodegradación.

WBI: peso inicial de la película.

WBF: peso final de la película [13].

1.9. Pérdida de peso

La pérdida de peso se realizó según el estudio mostrado por [14], determinando:

$$\% \text{ Pérdida de peso} = (P_i - P_f) / P_i \times 100$$

Donde:

P_i: Peso inicial.

P_f: Peso final.

1.10. Características organolépticas

Para el análisis sensorial se usó como referencia el estudio de [15] y se aplicó la escala hedónica, correspondiente a:

1: muy desagradable.

2: desagradable.

3: ni agradable ni desagradable.

4: agradable.

5: muy agradable.

Las muestras se mantuvieron almacenadas por dos semanas en refrigeración a 4 °C.

1.11. Análisis estadístico

Los resultados se obtuvieron usando un diseño factorial (A × B), siendo:

A = tipo de almidón

A1 = yuca

A2 = zanahoria blanca

B = porcentaje de plata en zeolita faujasita tipo X

B1 = 0,00 %

B2 = 0,05 %

B3 = 0,10 %

B4 = 0,25 %

B5 = 0,50 %

Tabla 1. Diseño factorial A × B

	B1	B2	B3	B4	B5
A1	A1B1 (T1)	A1B2 (T2)	A1B3 (T3)	A1B4 (T4)	A1B5 (T5)
A2	A2B1 (T6)	A2B2 (T7)	A2B3 (T8)	A2B4 (T9)	A2B5 (T10)

Fuente: elaboración propia.

Ello con un grado de significancia de $\alpha = 0,05$ y prueba Tukey (son significativamente diferentes las medias que no compartan una letra). Se aplicó el paquete estadístico Minitab 18.

2. Resultados y discusión

2.1. Difracción de rayos X

Se obtuvieron películas biodegradables de aspecto opacas (las que contenían plata) y de apariencia transparente (las que no). El análisis de difracción de rayos X se usó para identificar los posibles cambios estructurales de la zeolita al realizar la síntesis e intercambio iónico. Los patrones de difracción de rayos X se analizaron en el programa High Score Plus, código de referencia 96-900-5388. Los picos mostrados en la figura 1 y 2 son característicos de la zeolita faujasita tipo X, según la base de datos mostrada en el programa aplicado.

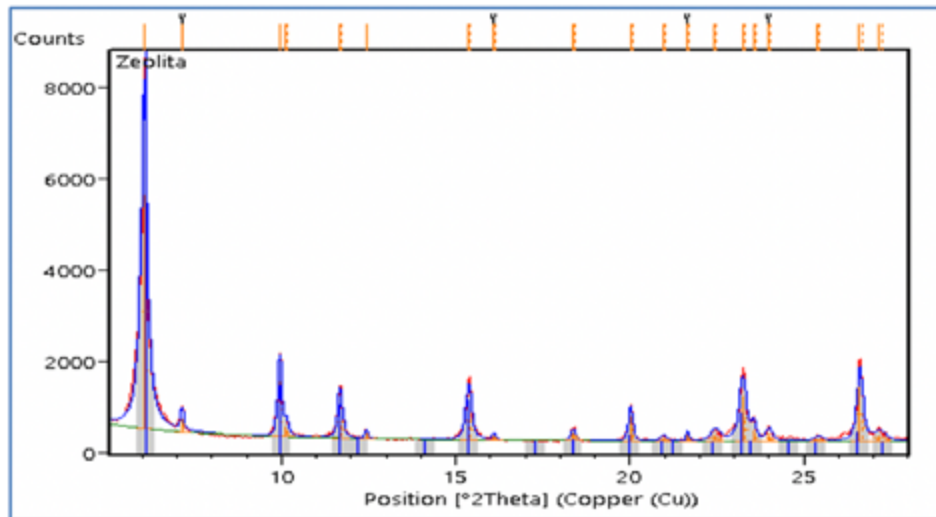


Figura 1. Difractograma de zeolita en el programa High Score Plus
Fuente: elaboración propia.

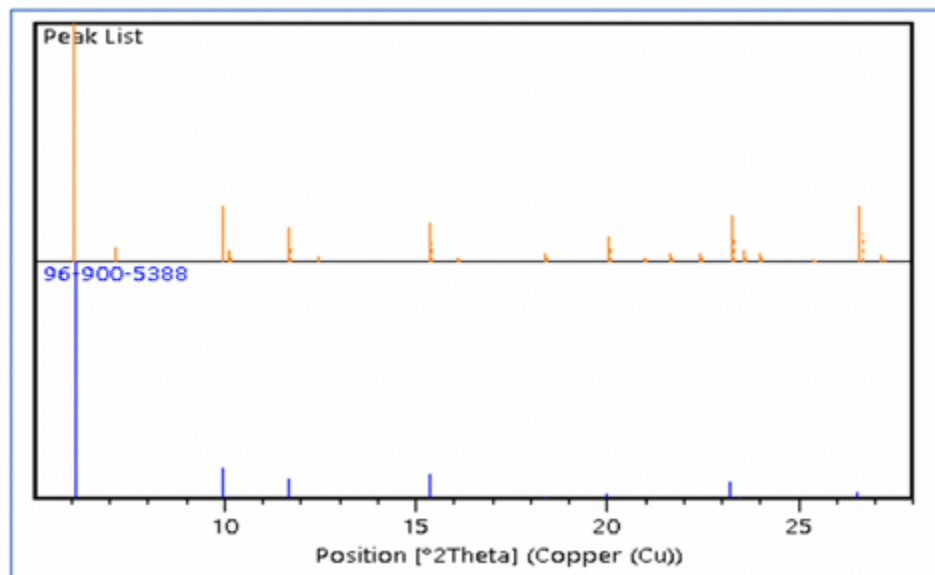


Figura 2. Comparación de difractograma de la zeolita sintetizada con la base de datos del programa High Score Plus
Fuente: elaboración propia.

Las características sobre los índices de Miller de la zeolita faujasita X se compararon con la base de datos de Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites y los obtenidos en el

programa High Score Plus. La comparación muestra similitud en la mayoría de los valores, como aparece en las tablas 2 y 3 [16].

Tabla 2. Índices de Miller de la zeolita faujasita tipo X con High Score Plus

n.º	h	k	l	2θ	d [Å]	I (%)
1	1	1	1	0,395	14,49380	100,0
2	0	2	2	0,646	8,87560	13,0
3	1	3	1	0,757	7,56914	8,7

Fuente: elaboración propia a partir de High Score Plus

Tabla 3. Índices de Miller de la zeolita faujasita tipo X en la colección y simulador de Treacy y Higgins

Nº	h	k	l	2θ	d [Å]	I (%)
1	1	1	1	6,10	14,491	100,0
2	0	2	2	9,97	8,874	12,7
3	1	3	1	11,69	7,568	8,0

Fuente: elaboración propia, a partir de [16].

La fórmula química de la zeolita corresponde a $\text{Si}_{96}\text{Al}_{96}\text{O}_{(384,00)}\text{Na}_{93,44}$, con código de referencia 96-900-5388 con un sistema cristalino cúbico, grupo espacial Fd-3 y número de grupo espacial 203. Entre tanto, la fórmula química luego del intercambio iónico con plata mostró $\text{Ag}_{74,24}\text{H}_{17,3}\text{Si}_{100,5}\text{Al}_{91,5}\text{O}_{384}(\text{H}_2\text{O})_{78,72}$; con código de referencia 96-153-9919 y presenta las mismas características cristalinas de la zeolita inicial. Se denota que existió el intercambio del Na por la Ag. Cabe destacar que existen otras pruebas, como fluorescencia de rayos X, espectroscopia, resonancia magnética nuclear, entre otras, que ayudan a definir exactamente la estructura de la zeolita. En este estudio solamente se empleó la difracción de rayos X. El difractograma se presenta en la figura 3.

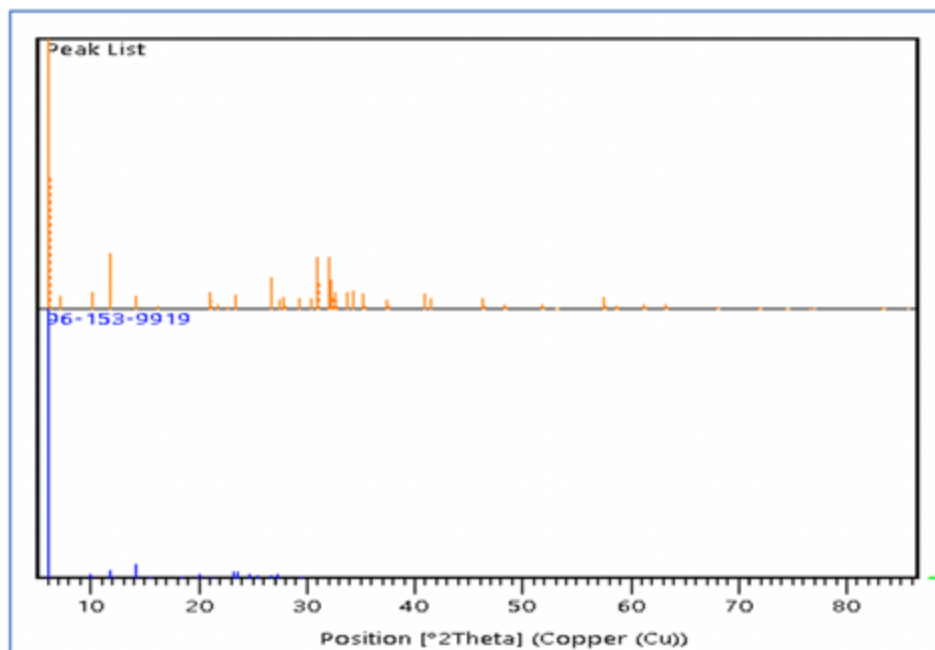


Figura 3. Comparación del difractograma de la zeolita intercambiada iónicamente con plata mostrada en el programa High Score Plus
Fuente: elaboración propia.

2.2. Espesor

Las películas presentaron valores de 0,77 mm, 0,099 mm y 0,130 mm, correspondientes a los tratamientos T6, T10 y T7, respectivamente, cuyas películas contienen almidón de zanahoria blanca con zeolita faujasita tipo X al 0,00%, al 0,50% y al 0,05% de plata, respectivamente, es decir son significativamente diferentes las medias que no compartan una letra ($p < 0,05$), así como se observa en la figura 4. Según [17], el valor permitido en las películas sintéticas no debe ser superior a 0,010 pulgadas (0,254 mm), ya que si existieran valores mayores, se llamarían hojas.

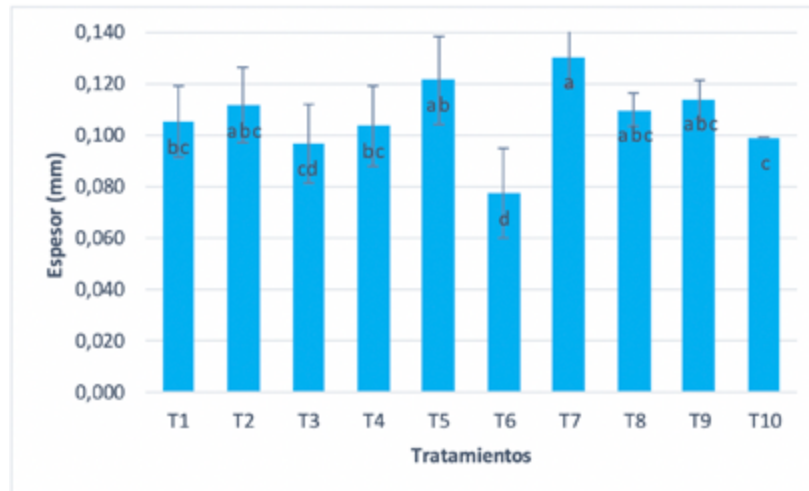


Figura 4. Espesor de las películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

2.3. Densidad

La densidad de las películas se obtuvo en un rango de 1,25-1,27 g/ml, correspondiente al tratamiento T4 y T6, respectivamente, las cuales son de almidón de yuca (con 0,25% de zeolita con plata) y almidón de zanahoria blanca (con 0,00% de zeolita con plata). Son significativamente diferentes las medias que no compartan una letra ($p < 0,05$). Así, se observa en la figura 5.

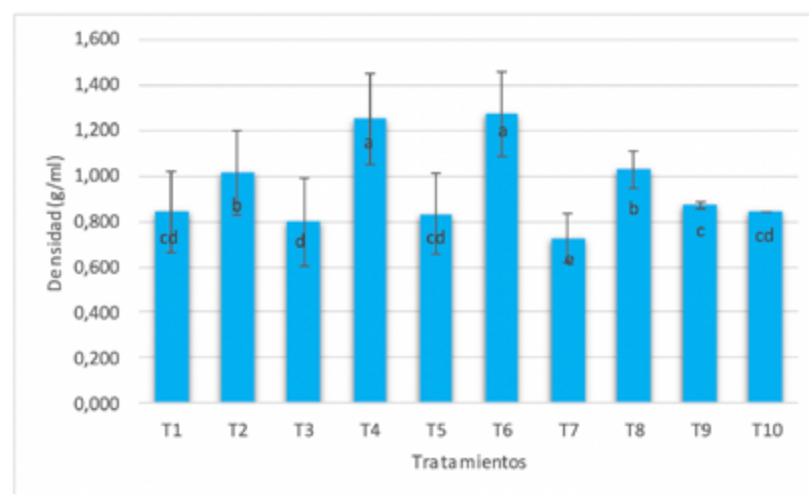


Figura 5. Densidad de las películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

En el estudio realizado por [18], la densidad no se vio alterada por la zeolita con plata al 0,1%; pero con el 0,5% su valor disminuyó. El mismo patrón evidencia el presente estudio. En otra investigación [19] se indican polímeros sintéticos de alta densidad (0,95 g/ml) y de baja densidad (0,91 g/ml). Las densidades obtenidas son menores a las de otros plásticos convencionales, y esto puede deberse a la interacción del almidón con el alcohol polivinílico, por la distribución de las moléculas de estos polímeros en la película [20].

2.4. Absorción de agua

La absorción del agua resultante de las películas biodegradables está en el rango del 25,12% y del 68,06%, correspondientes a los tratamientos T9 (almidón de zanahoria blanca con un 0,25% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X) y T7 (almidón de zanahoria blanca con un 0,05% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X), respectivamente, es decir, son significativamente diferentes las medias que no compartan una letra ($p < 0,05$). Así se observa en la figura 6.

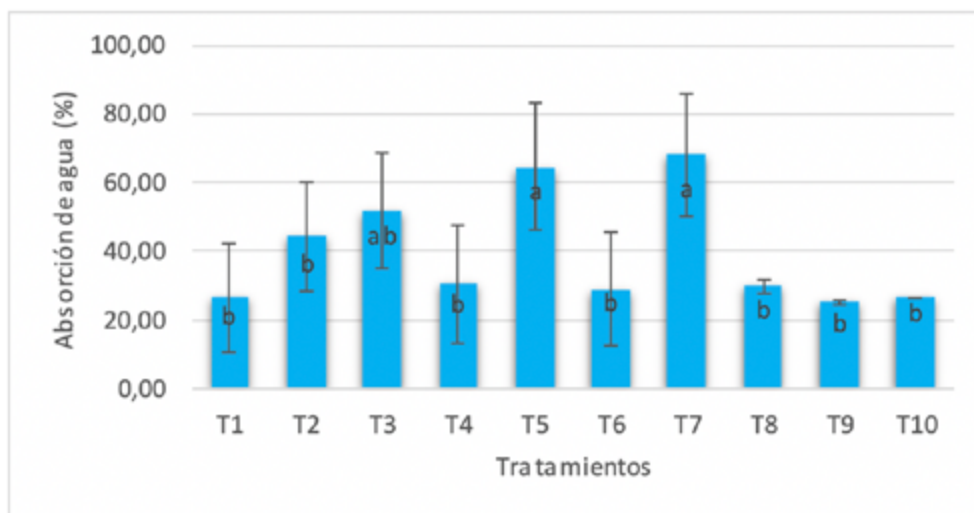


Figura 6. Absorción de agua de las películas biodegradables.
Fuente: elaboración propia.

Según la bibliografía sobre el tema, se menciona que la disminución de la absorción del agua se debe al uso y al incremento de aditivos plastificantes [21]. En este caso, a pesar de que en las películas elaboradas en este estudio no se varía la cantidad de glicerina, hay diferencia entre los tratamientos: hay un menor porcentaje de absorción de agua en las películas elaboradas con zanahoria blanca y un 0,25% de zeolita con plata (T9). Entonces, las que tienen mayor concentración de zeolita con plata presentan menor absorción de agua.

2.5. Capacidad biodegradable

Los valores de la capacidad biodegradable presentaron un 83,33% y un 46,67%, correspondientes a los T4 (almidón de yuca con un 0,25% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X) y T1

(almidón de yuca con un 0,00% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X), respectivamente, es decir, son significativamente diferentes las medias que no compartan una letra ($p < 0,05$), como se observa en la figura 7.

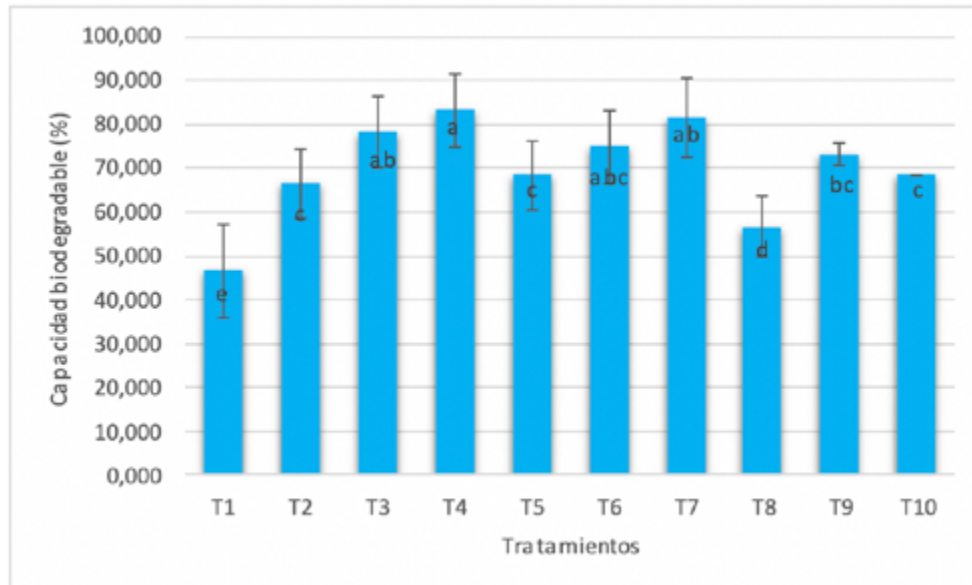


Figura 7. Capacidad biodegradable de las películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

Para el uso en alimentos se recomiendan bajos porcentajes. Así lo muestra [22] en su película de almidón de yuca con extracto de residuo de calabaza, que obtuvo entre un 17% y un 22% de capacidad de biodegradabilidad. Cuando los polímeros se unen a sustancias líquidas (en este caso el agua), se produce la biodegradación por el hinchamiento, donde el líquido que sería como el soluto se va a difundir en el polímero, absorbiéndose dentro de él. Las pequeñas moléculas del soluto ocupan posiciones entre las macromoléculas del polímero y la separación de las cadenas que se generan reducen las fuerzas de enlace intermoleculares. En consecuencia, los polímeros se vuelven más blandos, según lo indica en su estudio [23].

2.6. Pérdida de peso

Los porcentajes de pérdida de peso obtenidos fueron elevados y solo el tratamiento A1B1 quesillo, correspondiente a almidón de yuca con zeolita faujasita tipo X con un 0,00% de plata alcanzaron un valor del 34,21%, y así actúan como barrera a la pérdida de peso. La que tuvo un mayor porcentaje de pérdida de peso, del 63,32%, corresponde al blanco carne molida de res. Estos tratamientos son significativamente diferentes, ya que las medias no comparten una letra ($p < 0,05$) (figura 8). El quesillo fresco presenta una humedad del 53,52%-61,15% [24], y la carne, una humedad del 72,03% [25].

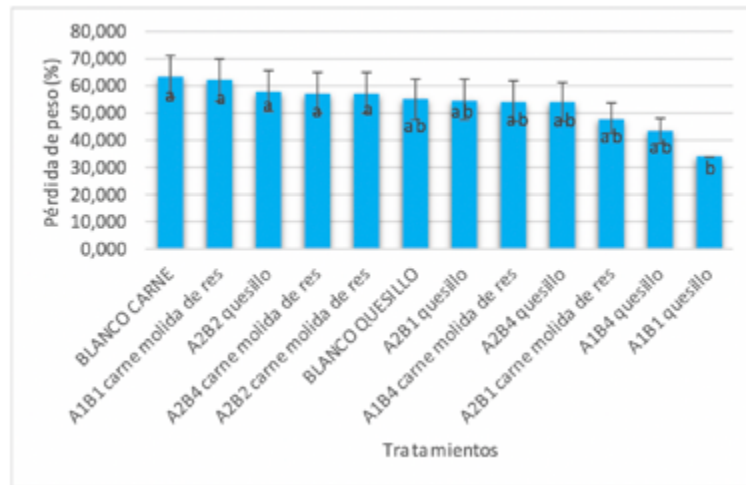


Figura 8. Pérdida de peso en alimentos con envoltura de películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

2.7. Características organolépticas

Los tratamientos que influyeron directamente en las características organolépticas del quesoillo fresco y de la carne de res molida envueltas en las películas y con valores de mayor puntuación y menor desviación estándar son: para el color A2B2 quesoillo (almidón de zanahoria blanca con un 0,05% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X) y A2B4 carne (almidón de zanahoria blanca con un 0,25% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X); para el olor A2B1 carne (almidón de zanahoria blanca con un 0,00% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X) y A2B2 quesoillo (almidón de zanahoria blanca con un 0,05% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X); para la textura, A1B4 quesoillo (almidón de yuca con un 0,25% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X), A2B1 carne (almidón de zanahoria blanca con un 0,00% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X) y A2B2 quesoillo (almidón de zanahoria blanca con un 0,05% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X), y para el aspecto A2B4 quesoillo (almidón de zanahoria blanca con un 0,25% de plata impregnada en zeolita faujasita tipo X). Las evidencias de lo descrito se muestran en las figuras 9 a 13.

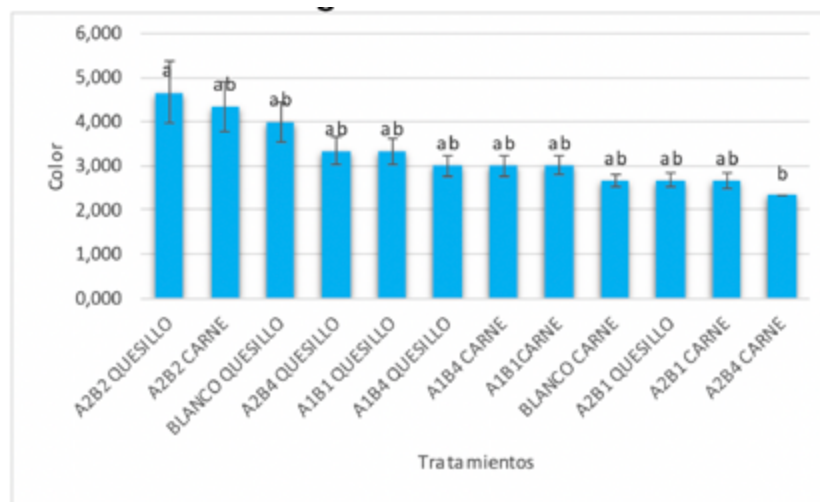


Figura 9. Color en carne molida de res y quesoillo fresco cubiertas con películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

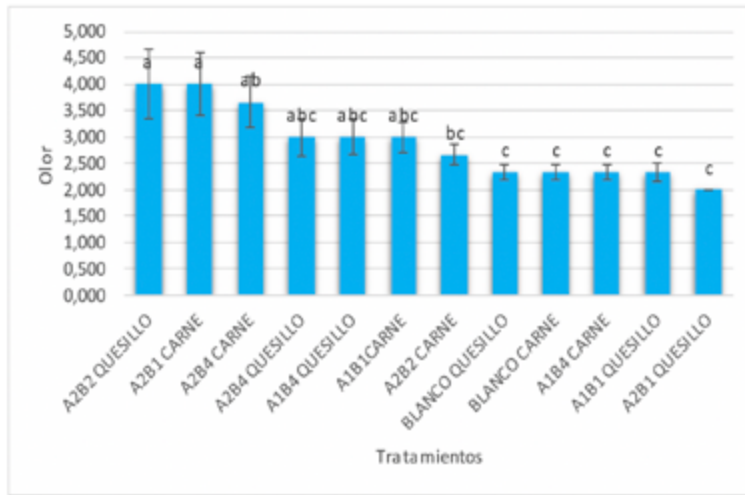


Figura 10. Olor en carne molida de res y queso fresco cubiertas con películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

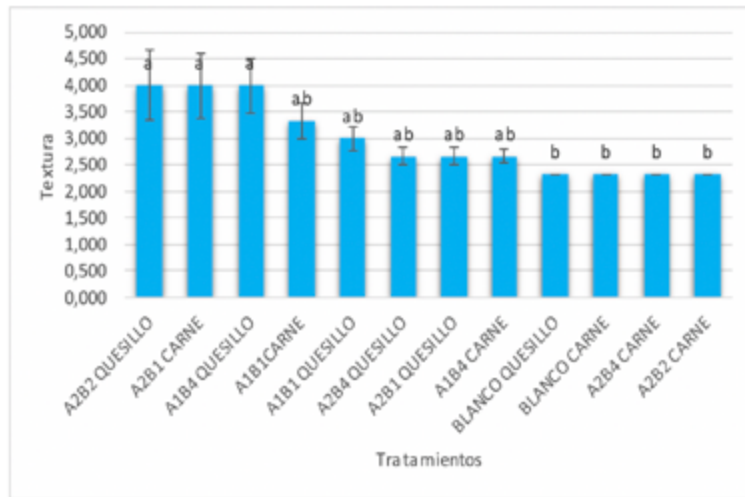


Figura 11. Textura en carne molida de res y queso fresco cubiertas con películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

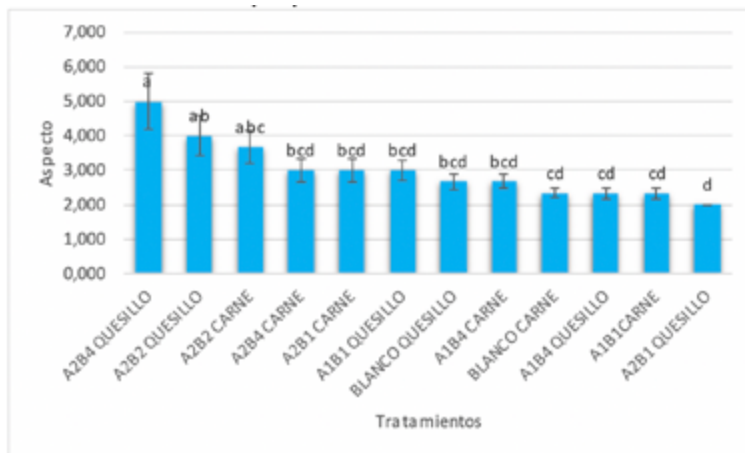


Figura 12. Aspecto en carne molida de res y queso fresco cubiertas con películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

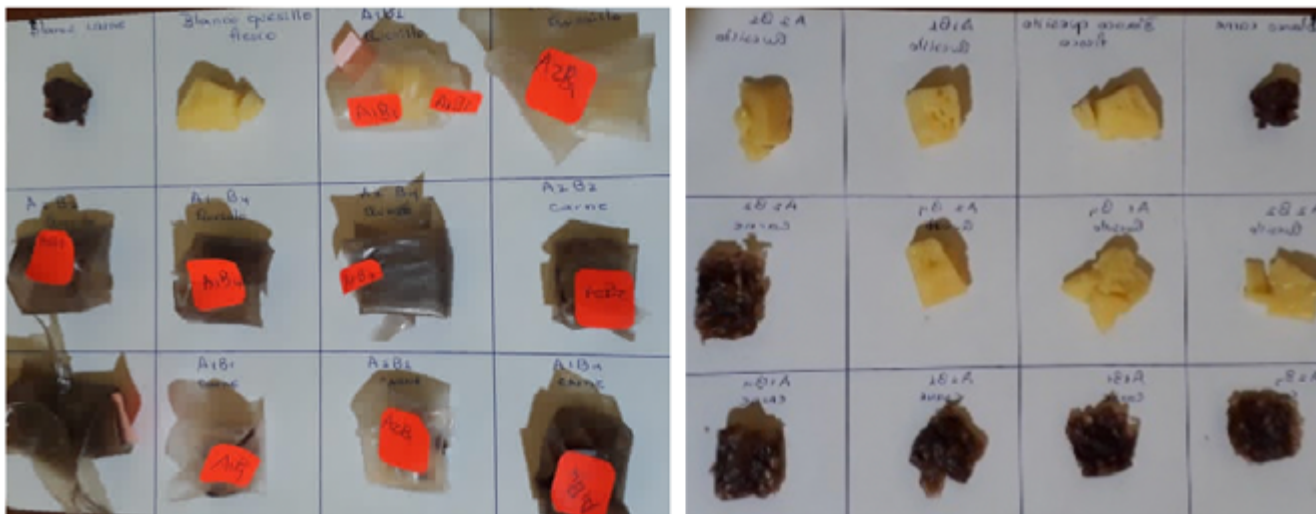


Figura 13. Características organolépticas (color, olor, textura y aspecto) de queso fresco y carne molida de res cubiertas de películas biodegradables
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se sintetizó la zeolita aplicando el método hidrotermal a las condiciones de tiempo y temperatura específicas y se logró un envejecimiento propicio para su obtención. A la zeolita obtenida se la caracterizó mediante la difracción de rayos X. De igual manera, se realizó el intercambio iónico, y los difractogramas obtenidos mostraron en su estructura mineralógica ser una zeolita faujasita tipo X, por la relación sí/al igual a 1. Así mismo, ocurrió con un sistema cristalino cúbico, grupo espacial Fd-3 y número de grupo espacial 203, de iguales características la faujasita X con plata. En referencia a las propiedades analizadas de las películas biodegradables, se determinó que el espesor y la densidad valoradas están dentro de las especificaciones para ser películas. En cuanto a la absorción de agua y biodegradabilidad, se evidenciaron valores elevados que les dan la característica de ser poco flexibles y menos resistentes, al menos en el uso de alimentos. Como complemento, se evaluaron las películas como envoltura de alimentos y ello mostró que las películas de almidón de yuca sin impregnación de plata en la zeolita fue la que menor pérdida de agua presentó. Además, al analizar las características organolépticas (color, olor, aspecto y textura) las películas elaboradas con almidón de zanahoria blanca y 0,05%, 0,025% y 0,50% de plata impregnada en la zeolita faujasita tipo X presentaron una valoración de 4 y 5, correspondiente agradable y muy agradable. Como resumen del estudio, la plata tiene grandes ventajas y en porcentajes menores al 0,5% puede ser aplicada a sistemas de soporte, como zeolitas, arcillas y sistemas poliméricos, cuya acción es importante, ya que inhibe el desarrollo de microorganismos.

Agradecimientos

Al Programa de Maestría en Química Aplicada de la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador).

Referencias

- [1] G. Espín, "Plásticos y contaminación ambiental". Academia de Ciencia de Morelos, 24 de septiembre de 2007. [En línea]. Disponible: <http://acmor.org.mx/descargas/24sep07.pdf>
- [2] A. R. Shahverdi, A. Fakhimi, H. R. Shahverdi, y S. Minaian, "Synthesis and effect of silver nanoparticles on the antibacterial activity of different antibiotics against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*", *Nanomedicine*, vol. 3, n.º 2, pp. 168-171, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2007.02.001>
- [3] S. D. F. Mihindukulasuriyay L. T. Lim, "Nanotechnology development in food packaging: a review", *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 40, n.º 2, pp. 149-167, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>
- [4] R. Balart, O. Fenollar, L. Sánchez, J. Pascual, y E. Fages, "Preparación y caracterización de nanocomposites de PP con nanoplatina para aplicaciones textiles", en X Congreso Nacional de Materiales, Donostia-San Sebastián, 18-20 de junio de 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.mondragon.edu/cnm08/Abstract/232.pdf>
- [5] J. W. Rhim, H. M. Park, y C. S. Ha, "Bio-nanocomposites for food packaging applications", *Prog. Polym. Sci.*, vol. 38, n.º 10-11, pp. 1629-1652, 2013.
- [6] J. J. Camacho, H. P. Cobos, "Síntesis y modificación de zeolitas tipo A y tipo X para evaluar la adsorción de fosfatos a partir de soluciones acuosas", pp. 22-23, 2017
- [7] M. J. Jiménez-Cedillo, M. T. Olgún y C. Fall, "Adsorption kinetic of arsenates as water pollutant on iron, manganese and iron-manganese-modified clinoptilolite-rich tuffs", *J. Hazard. Mater.*, vol. 163, n.º 2-3, pp. 939-945, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.049>
- [8] L. Vele, "Determinación del comportamiento térmico de la zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y su almidón aplicando calorimetría diferencial de barrido (DSC)", trabajo de grado, Universidad del Azuay, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9496>
- [9] M. Valle, "Elaboración y caracterización de películas multicapa de almidón de maíz y carboximetilcelulosa reforzadas con nanofibras de algodón", tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, 2018. [En línea]. Disponible: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/25747>
- [10] B. A. Valdez-Valdez, "Efecto de un bioempaque eco-friendly con características antimicrobianas y antioxidantes a base de fibra de cítricos y extracto de orégano, sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de *Cyprinus carpio*", tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México, México, 2018. [En línea]. Disponible: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/68343>
- [11] A. Rosales, "Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el mayo-abril 2016", tesis, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, 2016.
- [12] I. Antunes Gonzalez, "Characterization of a biodegradable starch based film application on the preservation of fresh spinach", tesis de grado, Universidad de Lisboa, Portugal, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/12114/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20In%C3%AAs%20Gonzalez.pdf>
- [13] N. Ocampo Cachay, "Obtención de una película antimicrobiana biodegradable a partir de suero de leche y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*), para envasado de queso fresco", tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú, 2019. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1731?show=full>
- [14] L. E. Guzmán, D. Acevedo, L. Romero y J. Estrada, "Elaboración de una película comestible a base de colágeno incorporado con nisina como agente antimicrobiano", *Inf. Tecnol.*, vol. 26, n.º 3, pp. 17-24, 2015.
- [15] L. Rodríguez-Turienzo, "Evaluación de recubrimientos comestibles proteicos aplicados al salmón del Atlántico (*Salmo salar*)"

- congelado: estudio de diferentes formulaciones y tratamientos tecnológicos”, tesis de grado, Universidad de Compostela, España, 2011. [En línea]. Disponible: <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/3703>
- [16] M. M. J. Treacy y J. B. Higgins (eds.), *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites*. London: Elsevier, 2001. [En línea]. Disponible: http://www.iza-structure.org/books/Collection_4ed.pdf
- [17] H. Y. Zhou, X. G. Chen, M. Kong, C. S. Liu, D. S. Cha, and J. F. Kennedy, “Effect of molecular weight and degree of chitosan deacetylation on the preparation and characteristics of chitosan thermosensitive hydrogel as a delivery system”, *Carbohydr. Polym.*, vol. 73, n.º 2, pp. 265-273, 2008.
- [18] A. F. Souza, L. Behrenchsen, S. J. Souza, F. Yamashita, F. V. Leimann y M. A. Shirai, “Production and characterization of starch composite films with silver loaded zeolite”, *Int. Food Res. J.*, vol. 25, n.º 3, pp. 1309-1314, 2018. [En línea]. Disponible: [http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20\(03\)%202018/\(58\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20(03)%202018/(58).pdf)
- [19] M. P. Stevens, “Polymer additives: Part I. Mechanical property modifiers”, *J. Chem. Educ.*, vol. 70, n.º 6, pp. 444-448, 1993. <https://doi.org/10.1021/ed070p444>
- [20] A. J. Garcés Vargas y Y. T. Hernández Alba, “Evaluación de películas poliméricas basadas en almidón de maíz, ácido poliláctico y polivinil alcohol como alternativa para la sustitución de polímeros convencionales a nivel de laboratorio”, trabajo de grado, Fundación Universidad de América, 2020. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7790>
- [21] L. Jokassta y P. Astudillo, “Comparación de dos métodos de extracción de almidón de Colocasia esculenta (Malanga blanca) para la obtención de un polímero biodegradable”, tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/13256>
- [22] S. Caetano, N. Lopes, T. M. Costa, A. Brandelli, E. Rodrigues, S. Flôres, F. Cladera-Olivera, “Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds”, *Food Packag. Shelf Life*, vol. 16, June, pp. 138-147, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.006>
- [23] J. Miranda, “Reacciones y sus mecanismos en la degradación de polímeros”, tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, México, 2015. [En línea]. Disponible: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18230/25-1-16842.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [24] M. Castillo, D. Tandazo, A. Landázuri, L. Piedra, E. Pineda, A. Riofrío, D. Hualpa, V. Bravo, E. Cumbicus, “Evaluación de la calidad higiénico-sanitaria y determinación de las características organolépticas y físico-químicas del queso que se expenden en los mercados de la Ciudad de Loja”, 2008. [En línea]. Disponible: https://www.uib.es/digitalAssets/177/177920_2.pdf
- [25] M. León, A. Orduz y M. Velandia, “Composición fisicoquímica de la carne de ovejo, pollo, res y cerdo”, *@limentech, Cienc. y Tecnol. Aliment.*, vol. 15, n.º 2, p. 62, 2018.