



Influencia de aceites esenciales en las características de una biopelícula elaborada con almidón de cáscara de yuca

Influence of essential oils on the characteristics of a biofilm made with cassava husk starch

Influência dos óleos essenciais nas características de um biofilme feito com amido de casca de mandioca

Autor

- ✉ **Sonia Nathaly Giler Intriago**¹
sonia.giler@utm.edu.ec
- ✉ **Lisbeth Mercedes Anchundia Velez**²
lanchundia9357@utm.edu.ec
- ✉ **Felipe Arturo Jadán Piedra**²
felipe.jadan@utm.edu.ec
- ✉ **Virginia Sánchez Mendoza**²
virginia.sanchez@utm.edu.ec
- ✉ **Carlos Jadán Piedra**³ *
virginia.sanchez@utm.edu.ec

¹Programa de Posgrado en Ingeniería Química, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

²Carrera Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

³Carrera de Agroindustria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ESPAM-MFL, Calceta, Ecuador.

* Autor para correspondencia.


Editor Académico

Jesús Miguel Contreras Ramírez 

Citación sugerida: Giler Intriago, S. N., Anchundia Velez, L. M., Jadán Piedra, F. A., Sánchez Mendoza, V. y Jadán Piedra, C. (2024). Influencia de aceites esenciales en las características de una biopelícula elaborada con almidón de cáscara de yuca. *Revista Bases de la Ciencia*, 9(2), 42-58. DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i2.6053>

Recibido: 28/08/2023
Aceptado: 15/02/2024
Publicado: 20/08/2024

Resumen

 La cáscara de yuca constituye un residuo alimentario que se presenta como una alternativa viable para la fabricación de empaques biodegradables. La incorporación de aceites esenciales con actividad antimicrobiana en los empaques biopoliméricos permite la obtención de materiales activos que incrementan el tiempo de vida útil del alimento. En esta investigación se utilizó almidón de cáscara de yuca INIAP 650 para la elaboración de una película biodegradable para ser utilizada como empaque alimentario. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas, incluyendo el espesor, la densidad, la humedad y la solubilidad en agua, ácido (HCl) y base (NaOH), propiedades ópticas (color) y biodegradabilidad. Las películas se prepararon utilizando la técnica de fundido (casting) con la adición de glicerol como plastificante. En la etapa final del proceso, se incorporaron aceites esenciales de orégano y lavanda por separado, así como sus mezclas. Los resultados indican que la humedad y densidad de la película no se ven influenciados por la adición de aceites esenciales, por el contrario, la solubilidad en H₂O, HCl y NaOH se incrementa ante la presencia de aceites esenciales, siendo proporcional a la concentración para el HCl y NaOH. El color de la película tiende hacia la oscuridad con valores considerablemente más bajos que los obtenidos a partir de almidón de yuca. La biodegradabilidad de las películas a los 21 días alcanzó una desintegración de hasta un 50% con relación a su peso inicial. Los resultados indican que las películas elaboradas representan una nueva alternativa para aplicaciones de envasado activo de alimentos.


Palabras clave: cáscara de yuca, empaque bioactivo, lavanda, orégano

Abstract

Cassava peel constitutes a food waste that is presented as a viable alternative for the manufacture of biodegradable packaging. The incorporation of essential oils with antimicrobial activity in biopolymeric packaging allows the obtaining of active materials that increase the shelf life of the food. In this research, INIAP 650 cassava peel starch was used to prepare a biodegradable film to be used as food packaging. Physicochemical properties were evaluated, including thickness, density, humidity and solubility in water, acid (HCl) and base (NaOH), optical properties (color), and biodegradability. The films were prepared using the casting technique with the addition of glycerol as a plasticizer. In the final stage of the process, essential oils of oregano and lavender were incorporated separately, as well as their mixtures. The results indicate that the humidity and density of the film are not influenced by the addition of essential oils; on the contrary, the solubility in H₂O, HCl and NaOH increases in the presence of essential oils, being proportional to the concentration for HCl and NaOH. The color of the film tends towards darkness with values considerably lower than those obtained from cassava starch. The biodegradability of the films after 21 days reached a disintegration of up to 50% in relation to their initial weight. The results indicate that the manufactured films represent a new alternative for active food packaging applications.

Keywords: cassava peel, bioactive packaging, lavender, oregano

Resumo

 A casca de mandioca constitui um resíduo alimentario que se apresenta como alternativa viável para a fabricação de embalagens biodegradáveis. A incorporação de óleos essenciais com atividade antimicrobiana em embalagens biopoliméricas permite a obtenção de materiais ativos que aumentam a vida útil dos alimentos. Nesta pesquisa, o amido de casca de mandioca INIAP 650 foi utilizado para preparar um filme biodegradável para ser utilizado como embalagem de alimentos. Foram avaliadas propriedades físico-químicas, incluindo espessura, densidade, umidade e solubilidade em água, ácido (HCl) e base (NaOH), propriedades ópticas (cor) e biodegradabilidade. Os filmes foram preparados utilizando a técnica de casting com adição de glicerol como plastificante. Na etapa final do processo foram incorporados separadamente os óleos essenciais de orégano e lavanda, bem como suas misturas. Os resultados indicam que a umidade e a densidade do filme não são influenciadas pela adição de óleos essenciais; Pelo contrário, a solubilidade em H₂O, HCl e NaOH aumenta na presença de óleos essenciais, sendo proporcional à concentração de HCl e NaOH. A cor do filme tende ao escuro com valores consideravelmente inferiores aos obtidos com a fécula de mandioca. A biodegradabilidade dos filmes após 21 dias atingiu uma desintegração de até 50% em relação ao seu peso inicial. Os resultados indicam que os filmes fabricados representam uma nova alternativa para aplicações em embalagens ativas de alimentos.

Palavras-chave: casca de mandioca, embalagem bioativa, lavanda, orégano





INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) se cultiva en zonas tropicales (desde el nivel del mar hasta los 1800 m.s.n.m). Es uno de los cuatro alimentos básicos después del arroz, el trigo y el maíz (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, 2010). En los últimos años se han realizado varios estudios con almidón de yuca para la elaboración de películas biodegradables a ser utilizadas como empaques alimentarios (Travalini et al., 2019; Pérez-Vergara et al., 2020; Adame et al., 2024). Esta nueva aplicación puede ayudar a la mejora de la rentabilidad de la cadena agroindustrial, especialmente en países de África, Asia y América Latina donde su cultivo es importante, además de aliviar la contaminación ambiental causada por el plástico convencional, que alcanzó una producción de 335 millones de toneladas en 2016 con un crecimiento continuo hasta llegar a los 367 millones de toneladas en 2020 (Plastics Europe, 2021), y 400 millones de toneladas en 2022 (Plastics Europe, 2023), así, para el año 2050 se estima que 12 billones de toneladas de residuos plásticos estarán en océanos y vertederos (Naciones Unidas, 2018).

Acorde a los últimos registros de la FAO, para el año 2022 se cosecharon 32.043.055 de hectáreas de yuca a nivel mundial, con un rendimiento de 10,31 toneladas por hectárea, lo que resultó en una producción aproximada de 330 millones de toneladas (FAOSTAT, 2024). El incremento de cultivos de yuca trae consigo un aumento de los residuos generados, los mismos que si no se eliminan adecuadamente generan un problema medioambiental. Se han estudiado nuevas aplicaciones para la cáscara de yuca, que es el principal residuo agroindustrial de este cultivo, su valorización para la producción de biocarbón (Odeyemi et al., 2023), precursores de biocombustibles (Ernest Mbamalu & Yakub Mohammed, 2024), bioaceite (Lopes et al., 2024) y biopolímeros (Zhang et al., 2024), son algunas de las aplicaciones.

Varios estudios con almidón de yuca tradicional aplican aceites esenciales como componentes antimicrobianos para obtener un empaque activo y biodegradable (Zhou et al, 2021; Perdana et al, 2021; Souza et al, 2013). Entre estos, los aceites esenciales de orégano (*oreganum vulgare*) y lavanda (*lavandula officinalis*) ayudan a prevenir el deterioro microbiano, porque son una fuente de ingredientes bioactivos como carvacrol, p-cimeno linalool y cariofileno (Pelissari et al., 2009; Kwiatkowski et al., 2019) que poseen actividad antimicrobiana contra *S. enteritidis*, *E. coli* y *S. aureus* (Marchese et al., 2017).

Teniendo en cuenta el uso de aceites esenciales para la elaboración de empaques activos en almidón de yuca tradicional (Hernández et al., 2024; Shi et al., 2024; Hernández et al., 2023) y que las propiedades fisicoquímicas de la película varían entre el origen botánico de la materia prima utilizada, el tipo de plastificante y las condiciones de procesamiento (Piñeros-Hernandez et al., 2017), el objetivo de este estudio fue analizar el impacto de la incorporación de aceites esenciales de orégano y lavanda en las propiedades fisicoquímicas, ópticas y biodegradabilidad de una película de almidón obtenida a partir de cáscara de yuca certificada (INIAP-650).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La yuca certificada INIAP-650 fue proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) estación Portoviejo, Ecuador. Los aceites esenciales de lavanda y orégano fueron obtenidos comercialmente en SVA Organics. El hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico utilizado fueron de la marca comercial Merck, el glicerol empleado fue de grado alimentario.



Aislamiento del almidón de cáscara de yuca.

Se utilizó el método de molienda húmeda descrito por Zou et al., 2021 para aislar el almidón. Se lavaron y pelaron los tubérculos de yuca frescos, separando la cáscara para triturlarla en un molino. La suspensión obtenida se filtró a través de un tamiz de malla de 125 μm enjuagando con agua destilada en repetidas ocasiones, posteriormente se drenó el agua destilada del lavado para obtener el sedimento. El almidón resultante se recogió y se secó a temperatura ambiente (30°C) por 48 horas. Las muestras fueron molidas y tamizadas a través de una malla de 75 μm y almacenadas a temperatura ambiente hasta su uso.

Preparación de la película

Se realizó mediante la técnica de fundido. Se utiliza una mezcla de almidón de cáscara de yuca INIAP 650 y glicerol (3:1), en 100ml de agua destilada, la mezcla es llevada a 80 °C en agitación constante (250 rpm) y modificación del pH hasta valores alcalinos. Durante el proceso, se añaden concentraciones variables de aceites esenciales, según lo especificado en la Tabla 1, y se incluye una muestra control en la que no se adicionan aceites esenciales (Pelissari et al., 2009). La mezcla homogénea es vertida en placas de metacrilato hasta su secado en estufa (35 °C, 24 h). Una vez solidificada la película se desprende de la placa para análisis.

Tabla 1. Diseño experimental de películas a base de almidón de cáscara de yuca y aceites esenciales.

Tratamiento	Aceite Esencial	
	Lavanda %	Orégano %
1	0,1	0,1
2	0,1	0,25
3	0,1	0,5
4	0,25	0,1
5	0,25	0,25
6	0,25	0,5
7	0,5	0,1
8	0,1	0
9	0,25	0
10	0,5	0
11	0	0,1
12	0	0,25
13	0	0,5
14	0	0

Caracterización de la película de almidón de cáscara de yuca con aceites esenciales

Espesor y densidad

El espesor se midió en 14 puntos aleatorios con un calibrador digital (Truper, modelo No. CALDI-6MP), con sensibilidad de 0,01 mm. Se tomó como espesor el valor promedio obtenido (Shahrampour et al., 2020; Kanmani & Lim, 2013).

Para determinar la densidad, se cortaron y pesaron películas de 3 x 3 cm. Se calculó el volumen multiplicando base por altura por espesor, se obtuvo la densidad de acuerdo a la ecuación 1 (Pérez-Vergara et al., 2020; Flores Fidelis et al., 2022).

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$



Contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó por el método gravimétrico. Las muestras de películas se cortaron en piezas de 3 x 3 cm y fueron pesadas (M_o). Las películas se secaron a 105°C en estufa (Memmert SN30, Alemania), hasta peso constante (M_f). El porcentaje de contenido de humedad se obtuvo de acuerdo a la ecuación 2 (Pérez-Vergara et al., 2020).

$$\text{Contenido de humedad}(\%) = \frac{M_o - M_f}{M_o} \times 100$$

Solubilidad en agua

La solubilidad en agua se midió según el método descrito por Vishnu Priya et al., (2021), con modificaciones menores. Las películas secas se cortaron en tamaños de 3 x 3 cm y se pesaron (W_1). Posteriormente, las películas se sumergieron en 50 mL de agua destilada durante 24h a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo, las muestras se secan y pesan (W_2). El porcentaje de solubilidad se obtuvo según la ecuación 3 (Pérez-Vergara et al., 2020).

$$\text{Solubilidad en agua}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Solubilidad en disoluciones alcalinas (NaOH) y ácidas (HCl)

La solubilidad de la película en soluciones alcalinas se determinó mediante la introducción de una muestra de 3 x 3 cm previamente pesada (P_i), dentro de una solución de 50 ml de NaOH 1N, por 24h a temperatura ambiente. Proceso similar se realizó con una película de iguales dimensiones sumergida en HCl 1 N, bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura, para determinación de la solubilidad en medio ácido. Posterior a esto las películas son retiradas, secadas y pesadas (P_f). Para la obtención del porcentaje de solubilidad se utilizó la ecuación 4 (Pérez-Vergara et al., 2020).

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) * 100$$

Color

El color de las películas se evaluó en 3 partes diferentes de cada una de las mismas, utilizando un colorímetro portátil CR-400/410 (Konica Minolta, Japón), calibrado según el fabricante. Las películas se cortaron en tamaños de 5 x 5 cm. Los parámetros CIELab L^* , a^* , b^* fueron medidos para obtener la diferencia de color (ΔE) (ecuación 5) e índice de blancura (WI) (ecuación 6)

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$



Donde L, representa luminosidad, a, coordenada cromática de verde a rojo y b, coordenada cromática de azul a amarillo. Los valores de L₀ (92,46), a₀ (-0,33), y b₀ (3,15) son valores estándar de la placa blanca (fondo) (Pérez-Vergara et al., 2020).

Biodegradabilidad

Se realizaron pruebas de biodegradabilidad según el método descrito por Piñeros-Hernández (2016), con modificaciones. Se pesaron muestras de películas de 3x3 cm y se enterraron en compost orgánico comercial con humedad inicial del 9%, a 1-2 cm de profundidad. Después de 7, 14 y 21 días, se recolectaron muestras de película, se retiró el suelo adherido con un cepillo fino, se fotografiaron y se pesaron. La prueba se realizó en condiciones aeróbicas. Se registró la temperatura ambiental y la humedad. La pérdida de peso como una medida de biodegradabilidad de las películas se calculó según la ecuación 7.

$$\text{Degradación de los films(\%)} = \frac{M_o - M_f}{M_o} \times 100$$

Donde Mo representa el peso antes del compostaje y Mf después de 7, 14 y 21 días de compostaje.

Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado por medio de un análisis de varianza de un factor (ANOVA) con múltiples comparaciones post hoc, utilizando la prueba Turkey HSD, con el programa SigmaPlot versión 14.5. Las diferencias se consideraron significativas para p<0,05. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Espesor y densidad

Se obtuvieron películas con espesores que varían entre 0,16 ± 0,0026 mm y 0,20 ± 0,0011 mm, con diferencias significativas con respecto a la muestra control 0,19 ± 0,0015 mm (tabla 2), debido al laminado manual de las películas, variaciones que disminuirían en un proceso mecanizado. Espesores similares fueron previamente reportados en un trabajo de investigación en el que fueron utilizadas películas obtenidas a partir de una mezcla de almidón de yuca con carragenina, sin la adición de aceites esenciales (de Lima Barizão et al., 2020); y en un estudio con películas activas de almidón de papa con aceite esencial de canela. Las películas obtenidas en este estudio presentaron una excelente remoción de las placas de metacrilato donde fueron colocadas para ser secadas después del proceso de fundición (casting). Esto puede ser resultado de la presencia de aceites esenciales que mejoran la resistencia a la tracción (Guo et al., 2022), comportamiento distinto al reportado por de Lima Barizão et al. en cuyo trabajo no se usaron aceites esenciales y en el cual se señala dificultad al momento de retirar la película de la caja Petri (de Lima Barizão et al., 2020).

La densidad de la película oscila entre 1,062 ± 0,052 g/cc a 1,542 ± 0,098 g/cc; ambos valores no presentan diferencias significativas con respecto a la muestra control (1,344 ± 0,131 g/cc), siendo un parámetro sin afectación por la presencia de aceites esenciales de lavanda y orégano. Resultados similares se encontraron en películas formadas con aceite esencial de hinojo, quitosano y almidón modificado (E1450), donde no se observan diferencias significativas al incrementar la concentración aceites esenciales en proporciones 1:3, 1:2: 1:1 con respecto al almidón modificado, obteniendo valores entre 1.42 ± 0.03 a 1.50 ± 0.02 g/cc. (Long et al., 2022).



Tabla 2. Espesor y densidad de películas a base de almidón de cáscara de yuca con y sin aceites esenciales. Resultados expresados en g/cc ± desviación estándar.

Tratamiento	Aceite Esencial		Espesor	Densidad
	Lavanda %	Orégano %	mm	g/cc
1	0,1	0,1	0,18 ± 0,0004 ^a	1,062 ± 0,052 ^a
2	0,1	0,25	0,19 ± 0,0015 ^b	1,488 ± 0,134 ^b
3	0,1	0,5	0,19 ± 0,0001 ^b	1,379 ± 0,102 ^{abc}
4	0,25	0,1	0,19 ± 0,0029 ^b	1,542 ± 0,098 ^b
5	0,25	0,25	0,20 ± 0,0011 ^c	1,143 ± 0,101 ^{ac}
6	0,25	0,5	0,19 ± 0,0018 ^b	1,257 ± 0,094 ^{abc}
7	0,5	0,1	0,19 ± 0,0015 ^b	1,249 ± 0,102 ^{abc}
8	0,1	0	0,19 ± 0,0038 ^b	1,524 ± 0,137 ^b
9	0,25	0	0,17 ± 0,0004 ^d	1,380 ± 0,088 ^{abc}
10	0,5	0	0,16 ± 0,0026 ^e	1,280 ± 0,111 ^{abc}
11	0	0,1	0,17 ± 0,0023 ^d	1,375 ± 0,058 ^{abc}
12	0	0,25	0,18 ± 0,0019 ^a	1,142 ± 0,053 ^{ac}
13	0	0,5	0,17 ± 0,0002 ^d	1,264 ± 0,092 ^{abc}
14	0	0	0,19 ± 0,0015 ^b	1,344 ± 0,131 ^{abc}

Diferentes letras (a - c), muestran diferencias estadísticamente significativas entre las densidades y espesor (a - e), de películas con diferentes concentraciones de aceites esenciales. (p<0,05).

Contenido de humedad

La tabla 3 muestra los valores de humedad de las películas con aceites esenciales de lavanda y orégano. Los valores oscilan entre 10,25 ± 1,62 % y 25,06 ± 1,77 %. Los resultados indican que un aumento de la concentración de aceites esenciales no supone una disminución de la humedad, a excepción del ensayo 7 y 1 que presenta valores más bajos que la muestra control, es así que los aceites esenciales en general no afectan los valores de humedad en las concentraciones ensayadas, estando este parámetro influenciado por el glicerol principalmente, con carácter hidrófilo que tiene una gran capacidad de retención de agua (Long et al., 2022).



Tabla 3. Humedad de películas a base de almidón de cáscara de yuca con y sin aceites esenciales. Resultados expresados en porcentaje \pm desviación estándar.

Tratamiento	Aceite Esencial		Humedad
	Lavanda %	Orégano %	%
1	0,1	0,1	10,25 \pm 1,62 ^a
2	0,1	0,25	13,46 \pm 0,72 ^{ac}
3	0,1	0,5	14,44 \pm 0,88 ^{ac}
4	0,25	0,1	25,06 \pm 1,77 ^b
5	0,25	0,25	17,46 \pm 1,37 ^c
6	0,25	0,5	20,67 \pm 1,77 ^{bc}
7	0,5	0,1	12,79 \pm 1,46 ^a
8	0,1	0	19,09 \pm 1,29 ^c
9	0,25	0	22,03 \pm 1,37 ^b
10	0,5	0	18,20 \pm 0,78 ^c
11	0	0,1	24,52 \pm 2,54 ^b
12	0	0,25	17,86 \pm 1,68 ^c
13	0	0,5	20,05 \pm 1,42 ^{bc}
14	0	0	18,56 \pm 2,07 ^c

Diferentes letras (a - c) muestran diferencias estadísticamente significativas entre las humedades de películas con diferentes concentraciones de aceites esenciales. ($p < 0,05$)

Valores similares de humedad (8,60 a 20,03%) fueron reportados por (Pérez-Vergara et al., 2020), en una película de almidón de yuca con cera de abeja como plastificante en cantidades crecientes, cuyo estudio determinó que el contenido de plastificante es inversamente proporcional a la humedad, debido al carácter hidrófobo de esta. En el presente estudio no se modificó el porcentaje de plastificante, sin embargo, la adición de aceites esenciales también de carácter hidrófobo no supuso una reducción en la máxima concentración ensayada (muestra 6) con respecto a la muestra control. Este comportamiento probablemente tenga que ver con la baja proporción de aceite esencial usado. Un estudio de (Long et al., 2022) mostró un comportamiento similar al no encontrar diferencias significativas en el porcentaje de humedad al incrementar concentraciones de aceite esencial de hinojo en una película de quitosano y almidón modificado (E1450).

Solubilidad en agua

Los valores de solubilidad en agua de las películas de almidón de cáscara de yuca con aceites esenciales oscilan entre $6,90 \pm 0,34$ y $30,95 \pm 3,37$ (tabla 4). En general, se observó que para la mayoría de las muestras no existen diferencias significativas en este factor, exceptuando la película con 0,1% de lavanda ($6,90 \pm 0,34$) y la muestra control ($11,81 \pm 0,98$). Los resultados demuestran que el uso de aceites esenciales incrementa la solubilidad de la película en agua, este comportamiento probablemente se deba a que los aceites esenciales, al incorporarse en el biopolímero, ocupan un porcentaje de su masa total y, dado que son insolubles en agua, la fracción de masa soluble se reduce. Esto ocasiona una degradación más rápida del material, lo que a su vez aumenta la solubilidad en comparación con la muestra control, cuya masa es completamente soluble en agua, debido a esto empacar alimentos con un alto porcentaje de humedad disminuiría el tiempo de vida útil del empaque, se observó también que el empleo de mayores concentraciones de aceites esenciales no es proporcional al incremento de la solubilidad de las películas.



Un comportamiento similar se obtuvo en un estudio comparativo en el uso de aceite esencial libre y encapsulado de orégano contenido en una película de proteína de soya, donde se evidenció un incremento significativo de la solubilidad ante la adición de aceite esencial de orégano libre, pasando de 39,3 (control) a 61,5 (con presencia de aceite esencial de orégano) (dos Santos Paglione et al., 2019), sin embargo, en un estudio de almidón de yuca con quitosano demostró reducciones significativas en la solubilidad de 26 ± 2 a 18 ± 1 % tras la adición del aceite esencial de orégano (1g/100g suspensión), (Hernández et al., 2023), por lo que se hace necesario realizar más investigaciones. Sin embargo, se puede deducir que la presencia de aceites esenciales modifica significativamente la solubilidad en agua de la película, los incrementos o reducciones estarían más bien asociados a la hidrofobicidad del aceite esencial empleado (Vianna et al., 2021).

Tabla 4. Solubilidad al agua de películas a base de almidón de cáscara de yuca con y sin aceites esenciales. Resultados expresados en porcentaje \pm desviación estándar.

Tratamiento	Aceite Esencial		Solubilidad H ₂ O
	Lavanda %	Orégano %	%
1	0,1	0,1	23,61 \pm 1,96 ^a
2	0,1	0,25	17,89 \pm 2,94 ^a
3	0,1	0,5	21,43 \pm 3,37 ^a
4	0,25	0,1	27,50 \pm 3,54 ^a
5	0,25	0,25	27,50 \pm 3,54 ^a
6	0,25	0,5	23,61 \pm 1,96 ^a
7	0,5	0,1	20,63 \pm 2,24 ^a
8	0,1	0	6,90 \pm 0,34 ^b
9	0,25	0	19,69 \pm 2,89 ^a
10	0,5	0	25,65 \pm 3,00 ^a
11	0	0,1	19,90 \pm 1,63 ^a
12	0	0,25	30,95 \pm 3,37 ^a
13	0	0,5	27,05 \pm 1,03 ^a
14	0	0	11,81 \pm 0,98 ^c

Diferentes letras (a - c) muestran diferencias estadísticamente significativas entre solubilidades de películas con diferentes concentraciones de aceites esenciales. ($p < 0,05$)

Solubilidad en soluciones alcalinas y ácidas

La solubilidad de la película en soluciones 1 N de NaOH y al HCl se muestra en la tabla 5. La solubilidad en NaOH permite evaluar el comportamiento de la película ante la presencia de un alimento o una solución alcalina ($\text{pH} > 7$). Los resultados obtenidos a las 24 horas muestran porcentajes que oscilan entre $4,55 \pm 0,00\%$ a $13,39 \pm 1,26\%$, evidenciando un incremento en la solubilidad de las películas a medida que aumenta la proporción de aceite empleada (ensayos del 1-7).



Tabla 5. Solubilidad a soluciones alcalinas y ácidas de películas a base de almidón de cáscara de yuca con y sin aceites esenciales. Resultados expresados en porcentaje \pm desviación estándar.

Tratamiento	Aceite Esencial		Solubilidad a Soluciones Alcalinas (NaOH)	Solubilidad a Soluciones Ácidas (HCl)
	Lavanda %	Orégano %	% 24 horas	% 24 horas
1	0,1	0,1	5,41 \pm 0,21 ^a	13,33 \pm 0,00 ^a
2	0,1	0,25	4,88 \pm 0,17 ^a	18,82 \pm 1,66 ^b
3	0,1	0,5	9,61 \pm 1,29 ^b	2,22 \pm 0,00 ^c
4	0,25	0,1	4,55 \pm 0,00 ^a	27,50 \pm 3,54 ^d
5	0,25	0,25	5,72 \pm 0,23 ^{ac}	21,11 \pm 1,57 ^b
6	0,25	0,5	6,27 \pm 0,55 ^c	9,17 \pm 1,18 ^{ac}
7	0,5	0,1	13,39 \pm 1,26 ^d	26,79 \pm 2,53 ^d
8	0,1	0	8,55 \pm 0,77 ^b	14,29 \pm 0,00 ^a
9	0,25	0	5,90 \pm 0,49 ^{ac}	11,13 \pm 0,58 ^{ac}
10	0,5	0	6,07 \pm 0,26 ^{ac}	24,04 \pm 1,36 ^f
11	0	0,1	8,35 \pm 0,49 ^b	12,13 \pm 0,52 ^{ac}
12	0	0,25	13,3 \pm 1,26 ^d	30,38 \pm 0,54 ^g
13	0	0,5	9,76 \pm 0,34 ^e	21,40 \pm 0,49 ^b
14	0	0	5,16 \pm 0,56 ^a	20,00 \pm 0,00 ^b

Diferentes letras (a - g) muestran diferencias estadísticamente significativas entre solubilidades de películas con diferentes concentraciones de aceites esenciales. ($p < 0,05$)

La solubilidad al HCl permite evaluar el comportamiento de la película ante la presencia de un alimento o una solución ácida ($\text{pH} < 7$). A las 24 horas varía entre $2,22 \pm 0,00\%$ a $30,38 \pm 0,54\%$. Existe una gran variabilidad de los resultados obtenidos, sin embargo, se observa una tendencia a un incremento de la solubilidad proporcional al incremento de concentración de aceites esenciales. Estudios del efecto de aceites esenciales en la estabilidad de películas ante soluciones ácidas y alcalinas son necesarios, estando la mayoría direccionados únicamente hacia la solubilidad en agua, o la solubilidad en soluciones ácidas y alcalinas sin la presencia de aceites esenciales, en lo que respecta a los autores del presente artículo no se han encontrado estudios similares.

Color

Medidas de los parámetros del color L^* , a^* , b^* , diferencia de color (ΔE), e índice de blancura (WI) se muestran en la Tabla 6. Los valores de luminosidad (L^*) varían entre $29,33 \pm 0,87$ y $57,81 \pm 1,18$, resultados considerablemente más bajos que los obtenidos en una película elaborada a partir de almidón de yuca ($87,69$ a $91,03$) (Pérez-Vergara et al., 2020). Los valores de a^* y b^* oscilan entre $9,43 \pm 1,54$ y $18,85 \pm 0,40$, y $12,37 \pm 0,81$ y $24,68 \pm 0,79$, respectivamente, este último similar a los valores obtenidos del trabajo antes mencionado ($11,33$ - $20,52$). Los parámetros de los valores a^* y b^* sugieren que el color de la película tiende a rojo – amarillo.



Tabla 6. Parámetros de color (L^* , a^* , b^*) diferencia de color (ΔE) e índice de blancura (WI) de películas de almidón de cáscara de yuca INIAP 650 con y sin aceites esenciales de lavanda y orégano. Resultados adimensionales \pm desviación estándar.

N° de Ensayo	Aceite Esencial		L^*	a^*	b^*	ΔE	WI
	Lavanda %	Orégano %					
1	0,1	0,1	55,85 \pm 3,13	11,09 \pm 1,23	24,33 \pm 0,64	43,83 \pm 3,19 ^{ab}	48,37 \pm 3,19 ^{AB}
2	0,1	0,25	52,96 \pm 1,34	12,20 \pm 0,51	24,68 \pm 0,79	46,72 \pm 0,99 ^{ab}	45,48 \pm 1,00 ^{AB}
3	0,1	0,5	50,86 \pm 3,00	12,80 \pm 0,65	23,57 \pm 1,37	48,22 \pm 2,25 ^a	43,98 \pm 2,26 ^A
4	0,25	0,1	51,20 \pm 1,21	13,31 \pm 0,47	24,06 \pm 0,23	48,23 \pm 1,08 ^a	43,98 \pm 1,08 ^A
5	0,25	0,25	55,65 \pm 1,28	11,16 \pm 0,5	23,75 \pm 0,37	43,73 \pm 1,05 ^{ab}	48,46 \pm 1,06 ^{AB}
6	0,25	0,5	56,92 \pm 2,41	10,54 \pm 1,01	23,92 \pm 0,17	42,60 \pm 2,19 ^b	49,59 \pm 2,20 ^{AB}
7	0,5	0,1	51,94 \pm 1,19	12,40 \pm 0,43	23,79 \pm 0,48	47,24 \pm 1,03 ^a	44,95 \pm 1,03 ^A
8	0,1	0	55,48 \pm 0,95	9,43 \pm 1,54	21,52 \pm 1,72	42,47 \pm 1,89 ^b	49,63 \pm 1,83 ^B
9	0,25	0	55,75 \pm 1,01	10,96 \pm 0,48	23,37 \pm 0,21	43,42 \pm 1,00 ^{ab}	48,77 \pm 0,99 ^{AB}
10	0,5	0	57,81 \pm 1,18	10,46 \pm 0,36	23,42 \pm 0,44	41,58 \pm 0,94 ^b	50,62 \pm 0,95 ^B
11	0	0,1	54,11 \pm 1,85	11,39 \pm 0,85	23,34 \pm 1,28	44,93 \pm 1,76 ^{ab}	47,25 \pm 1,75 ^{AB}
12	0	0,25	56,71 \pm 1,14	10,40 \pm 0,56	23,18 \pm 0,14	42,37 \pm 1,14 ^b	49,80 \pm 1,14 ^{AB}
13	0	0,5	29,33 \pm 0,87	18,85 \pm 0,40	12,37 \pm 0,81	66,63 \pm 0,70 ^c	25,81 \pm 0,96 ^C
14	0	0	51,25 \pm 6,49	11,46 \pm 1,66	21,38 \pm 1,46	46,74 \pm 5,66 ^a	44,86 \pm 5,13 ^A

Diferentes letras (a - c, A - C) muestran diferencias estadísticamente significativas en el color de películas con diferentes concentraciones de aceites esenciales. ($p < 0,05$)

El índice de blancura de la película varía entre $43,98 \pm 1,08$ y $50,62 \pm 0,95$ encontrándose diferencias significativas entre estos. Los valores bajos de L^* , en conjunto con los valores medios de WI sugieren un acercamiento a películas oscuras.

Los valores obtenidos en el total de la diferencia de color (ΔE); oscilan entre $41,58 \pm 0,94$ y $66,63 \pm 0,70$, observándose diferencias significativas entre estos. Estudios realizados con aceite esencial de orégano muestran reducciones significativas de transparencia a medida que se aumentan las concentraciones (dos Santos Caetano et al., 2018; Šuput et al., 2016), sin embargo, con los datos presentados en este estudio no es posible establecer una relación directa entre el uso de aceites esenciales de orégano y lavanda con el color, debido a que un incremento en la concentración de estos (ensayos del 1 al 5) no presentan diferencias significativas con la muestra control, si encontrándose diferencias significativas en la concentración más alta (ensayo 6) y también en la concentración más baja (ensayo 8) con respecto al control.



















En general, varios estudios indican que la incorporación de aceites esenciales causa una reducción de la transparencia de la película con el consecuente aumento de la opacidad cuya medida depende del aceite esencial (Atarés & Chiralt, 2016).

Biodegradabilidad

La tabla 7 muestra un registro fotográfico con los cambios físicos de las muestras, después de haber permanecido 7, 14 y 21 días enterrados en compost comercial, sin el efecto de la pluviometría, al estar en un ambiente cerrado. En general la biodegradabilidad se incrementa con el tiempo. A partir de los 7 días se observan cambios en la tonalidad y la estructura que evidencian el inicio del proceso de biodegradación, a los 21 días los valores de desintegración oscilan entre el 5 y el 50%, en algunos casos se presentó dificultad en la toma de pesos debido a la adhesión de tierra a las películas que no fue posible retirarla manualmente. Esto está en línea con lo establecido por la "Ley Orgánica ecuatoriana para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso en el Comercio" que establece que un material puede ser considerado como biodegradable si en un lapso de 24 meses se degrada completamente. Acorde a la Organización Internacional de Normalización (ISO) para ser considerado biodegradable la masa inicial del biopolímero se debe reducir en un 90% después de seis meses en condiciones de compostaje a 58 °C, (Amin et al., 2022), por lo que sería necesario regularizar los ensayos a estas condiciones para proporcionar resultados normados internacionalmente. Adicionalmente algunas investigaciones indican que la incorporación de compuestos activos provoca una biodegradabilidad más rápida, por ejemplo, la adición de extractos de yerba mate y flor de Jamaica en películas de almidón de yuca (Ceballos et al., 2020) y maíz mejoraron la biodegradabilidad (Gutiérrez et al., 2019).

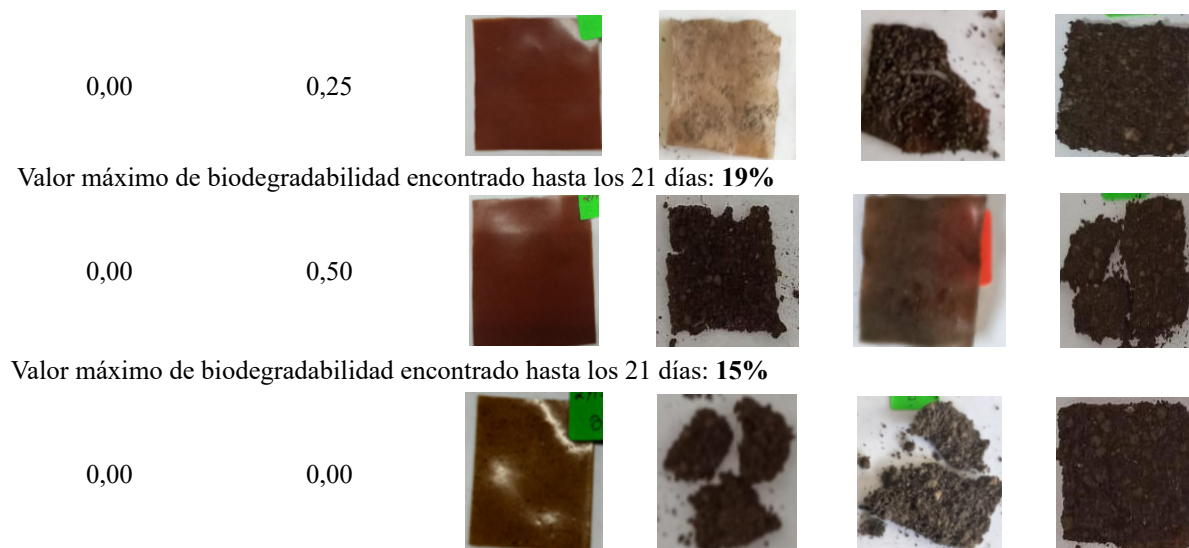
Tabla 7. Respuestas observadas en la biodegradabilidad de películas a base de almidón de cáscara de yuca con y sin aceites esenciales a los 7, 14 y 21 días.

Aceite Esencial		Tiempo			
Lavanda %	Orégano %	Día 0	7 días	14 días	21 días
0,1	0,1				
Valor máximo de biodegradabilidad encontrado hasta los 21 días: 13%					
0,1	0,25				
Valor máximo de biodegradabilidad encontrado hasta los 21 días: 12%					
0,1	0,50				
Valor máximo de biodegradabilidad encontrado hasta los 21 días: 15%					
0,25	0,1				

Nota: Dificultad en la toma de datos



0,25	0,25				
Valor máximo de biodegradabilidad encontrado hasta los 21 días: 50%					
0,25	0,50				
Valor máximo de biodegradabilidad encontrado hasta los 21 días: 17%					
0,50	0,1				
Nota: Dificultad en la toma de datos					
0,1	0,00				
Valor máximo de biodegradabilidad encontrado hasta los 21 días: 13%					
0,25	0,00				
Valor máximo de biodegradabilidad encontrado hasta los 21 días: 5%					
0,50	0,00				
Nota: Dificultad en la toma de datos					
0,00	0,1				
Nota: Dificultad en la toma de datos					



Nota: Dificultad en la toma de datos

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra el efecto del empleo de aceites esenciales de lavanda y orégano en las propiedades fisicoquímicas, ópticas y biodegradabilidad de una película a partir de almidón de cáscara de yuca INIAP 650. Las películas analizadas están en concordancia con la Ley Orgánica Ecuatoriana para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso en el Comercio. La presencia de aceites esenciales de lavanda y orégano incrementa la solubilidad de la película en H₂O, no ampliando este factor de manera proporcional con el aumento de la concentración de aceites esenciales. La solubilidad de las películas ante la presencia de disoluciones 1 N NaOH y HCl tiende a incrementar de forma proporcional al aumento de las concentraciones de aceites esenciales. La evaluación del color muestra que las películas tienden hacia la oscuridad, no siendo posible encontrar una relación entre la concentración de aceites esenciales de orégano y lavanda con la modificación del color. Por último, la humedad y la densidad de la película no se altera ante la presencia de los aceites esenciales estudiados. Este estudio confirma que el desarrollo de películas con nuevas matrices como el almidón de cáscara de yuca con aceites esenciales son una alternativa para el desarrollo de un material de empaque para la industria alimentaria.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría expresar nuestro agradecimiento a Nexy Mariela Mendoza Zambrano y Carlos Hernán Ruiz Vera, por su colaboración en la experimentación realizada en esta investigación.



REFERENCIAS

- Adame, M. Y., Wang, Y., Shi, C., Aziz, T., Al-Asmari, F., Sameeh, M. Y., Cui, H., & Lin, L. (2024). Fortification of pullulan/cassava starch-based edible films incorporated with LC-EO nanoparticles and the application for beef meat preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279(135629), 135629. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135629>
- Amin, U., Khan, M. K. I., Maan, A. A., Nazir, A., Riaz, S., Khan, M. U., Sultan, M., Munekata, P. E. S., & Lorenzo, J. M. (2022). Biodegradable active, intelligent, and smart packaging materials for food applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 33(100903), 100903. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100903>
- ASTM International. (2017). Standard test methods for water vapor transmission of materials. *ASTM INTERNATIONAL Helping Our World Work Better*. <https://www.astm.org/e0096-00.html>
- Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>
- Ceballos, R. L., Ochoa-Yepes, O., Goyanes, S., Bernal, C., & Famá, L. (2020). Effect of yerba mate extract on the performance of starch films obtained by extrusion and compression molding as active and smart packaging. *Carbohydrate Polymers*, 244(116495), 116495. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116495>
- de Lima Barizão, C., Crepaldi, M. I., Junior, O. de O. S., de Oliveira, A. C., Martins, A. F., Garcia, P. S., & Bonafé, E. G. (2020). Biodegradable films based on commercial κ -carrageenan and cassava starch to achieve low production costs. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165(Pt A), 582–590. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.150>
- dos Santos Caetano, K., Almeida Lopes, N., Haas Costa, T. M., Brandelli, A., Rodrigues, E., Hickmann Flôres, S., & Cladera-Olivera, F. (2018). Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.006>
- dos Santos Paglione, I., Galindo, M. V., de Medeiros, J. A. S., Yamashita, F., Alvim, I. D., Ferreira Grosso, C. R., Sakanaka, L. S., & Shirai, M. A. (2019). Comparative study of the properties of soy protein concentrate films containing free and encapsulated oregano essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 22(100419), 100419. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100419>
- Ernest Mbamalu, E., & Yakub Mohammed, I. (2024). Co-valorisation of cassava peel and rice husk to biofuel precursor via intermediate pyrolysis: Kinetics, thermodynamic and pyrolytic oil characterisation. *Waste Management Bulletin*, 2(4), 194–208. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.11.004>
- FAO. (2010). La Yuca - Food and Agriculture Organization. FAO. <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s01.pdf>
- FAOSTAT. (2024). Producción de cultivos y ganado. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Flores Fidelis, J. C., Marchi, L. B., Scapim, M. R. S., Gobetti, N. D., Yamashita, F., & Giriboni Monteiro, A. R. (2022). Development of biodegradable films containing pomegranate peel extract and potassium sorbate. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 160(113302), 113302. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113302>
- Guo, Y., Cui, Y., Cheng, M., Zhang, R., Zhao, Z., Wang, X., & Guo, S. (2022). Development and properties of active films based on potato starch modified by low-temperature plasma and enriched with cinnamon essential oil coated with nanoparticles. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 172(114159), 114159. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114159>



- Gutiérrez, T. J., Toro-Márquez, L. A., Merino, D., & Mendieta, J. R. (2019). Hydrogen-bonding interactions and compostability of bionanocomposite films prepared from corn starch and nano-fillers with and without added Jamaica flower extract. *Food Hydrocolloids*, 89, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.058>
- Hernández, M. S., Ludueña, L. N., & Flores, S. K. (2023). Citric acid, chitosan and oregano essential oil impact on physical and antimicrobial properties of cassava starch films. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5(100307), 100307. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100307>
- Hernández, M. S., Ludueña, L. N., & Flores, S. K. (2024). Combined effect of oregano essential oil and glycerol on physicochemical properties of antimicrobial films based on chitosan and acetylated cassava starch. *Food Hydrocolloids*, 156(110259), 110259. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110259>
- Kanmani, P., & Lim, S. T. (2013). Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. *Food Chemistry*, 141(2), 1041–1049. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.103>
- Kwiatkowski, P., Łopusiewicz, Ł., Kostek, M., Drożdżowska, E., Pruss, A., Wojciuk, B., Sienkiewicz, M., Zielińska-Bliźniewska, H., & Dołęgowska, B. (2019). The antibacterial activity of lavender essential oil alone and in combination with octenidine dihydrochloride against MRSA strains. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(1), 95. <https://doi.org/10.3390/molecules25010095>
- Long, H., Bi, Y., Pu, L., Xu, W., Xue, H., Fu, G., & Prusky, D. (2022). Preparation of chitosan/ fennel seed essential oil/ starch sodium octenyl succinate composite films for apple fruit preservation. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 167(113826), 113826. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113826>
- Lopes, T. de S., Alves, J. L. F., Delmiro, T. M., Calixto, G. Q., de Oliveira, K. F. S., Barbosa, A. da S., Voigt, E. L., Melo, D. M. de A., & Braga, R. M. (2024). From cassava peel (*Manihot esculenta*) to hydrocarbon-rich bio-oil: Catalytic flash pyrolysis as a new valorization route. *Biomass & Bioenergy*, 190(107432), 107432. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107432>
- Marchese, A., Arciola, C. R., Barbieri, R., Silva, A. S., Nabavi, S. F., Tsetegho Sokeng, A. J., Izadi, M., Jafari, N. J., Sutar, I., Daglia, M., & Nabavi, S. M. (2017). Update on monoterpenes as antimicrobial agents: *A particular focus on p-cymene*. *Materials*, 10(8), 947. <https://doi.org/10.3390/ma10080947>
- Naciones Unidas. (2018). *Día Mundial del Medio Ambiente: La lucha contra la contaminación por plásticos es responsabilidad de todos*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>
- Odeyemi, S. O., Iwuozor, K. O., Emenike, E. C., Odeyemi, O. T., & Adeniyi, A. G. (2023). Valorization of waste cassava peel into biochar: An alternative to electrically-powered process. *Total Environment Research Themes*, 6(100029), 100029. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100029>
- Pelissari, F. M., Grossmann, M. V. E., Yamashita, F., & Pineda, E. A. G. (2009). Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch-chitosan films incorporated with oregano essential oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(16), 7499–7504. <https://doi.org/10.1021/jf9002363>
- Perdana, M. I., Ruamcharoen, J., Panphon, S., & Leelakriangsak, M. (2021). Antimicrobial activity and physical properties of starch/chitosan film incorporated with lemongrass essential oil and its application. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 141(110934), 110934. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110934>
- Pérez-Vergara, L. D., Cifuentes, M. T., Franco, A. P., Pérez-Cervera, C. E., & Andrade-Pizarro, R. D. (2020). Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS Journal*, 21, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.09.002>





- Piñeros-Hernandez, D., Medina-Jaramillo, C., López-Córdoba, A., & Goyanes, S. (2017). Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 63, 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.034>
- PlasticsEurope. (2021). Plastics: the Facts 2021. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf>
- Plastics Europe. (2023). Plastics – The fast facts 2023. <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/Plastics-the-fast-Facts-2023.pdf>
- Registro oficial 354. (2020). Tercer suplemento, Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/1.-Ley-de-plasticos-R.Oficial.-21.12.2020-Comprimido.pdf>
- Shahrapour, D., Khomeiri, M., Razavi, S. M. A., & Kashiri, M. (2020). Development and characterization of alginate/pectin edible films containing Lactobacillus plantarum KMC 45. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 118(108758), 108758. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108758>
- Shi, C., Jia, L., Tao, H., Hu, W., Li, C., Aziz, T., Al-Asmari, F., Sameeh, M. Y., Cui, H., & Lin, L. (2024). Fortification of cassava starch edible films with Litsea cubeba essential oil for chicken meat preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 276(133920), 133920. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133920>
- Souza, A. C., Goto, G. E. O., Mainardi, J. A., Coelho, A. C. V., & Tadini, C. C. (2013). Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 54(2), 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.017>
- Šuput, D., Lazić, V., Pezo, L., Markov, S., Vaštag, Ž., Popović, L., Radulović, A., Ostojić, S., Zlatanović, S., & Popović, S. (2016). Characterization of starch edible films with different essential oils addition. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(4), 277–286. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2016-0008>
- Tongdeesontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., Sriburi, P., & Rachtanapun, P. (2012). Mechanical and physical properties of cassava starch-gelatin composite films. *International Journal of Polymeric Materials*, 61(10), 778–792. <https://doi.org/10.1080/00914037.2011.610049>
- Travalini, A. P., Lamsal, B., Magalhães, W. L. E., & Demiate, I. M. (2019). Cassava starch films reinforced with lignocellulose nanofibers from cassava bagasse. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 1151–1161. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.115>
- Vianna, T. C., Marinho, C. O., Marangoni Júnior, L., Ibrahim, S. A., & Vieira, R. P. (2021). Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 1803–1819. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.170>
- Vishnu Priya, N., Vinitha, U. G., & Meenakshi Sundaram, M. (2021). Preparation of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with Plectranthus amboinicus essential oil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 34(102021), 102021. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102021>
- Zhang, Y., Xie, J., Ellis, W. O., Li, J., Appaw, W. O., & Simpson, B. K. (2024). Bioplastic films from cassava peels: Enzymatic transformation and film properties. *Industrial Crops and Products*, 213(118427), 118427. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118427>

Zhou, Y., Wu, X., Chen, J., & He, J. (2021). Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 574–583. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067>

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Autor	Contribución
Nathaly Giler Intriago	Metodología, investigación, borrador original, revisión y edición, software: SigmaPlot 15.0.
Lisbeth Anchundia Vélez	Metodología, investigación, borrador original, revisión y edición, software: SigmaPlot 15.0.
Felipe Jadán	Conceptualización, validación.
Carlos Jadán Piedra	Conceptualización, metodología, supervisión, investigación, borrador original, revisión y edición, software: SigmaPlot 15.0.
Virginia Sánchez Mendoza	Revisión y Edición

