

Efecto de gelatina y aceite esencial de mandarina en películas de almidón de maíz

Luis Cedeño-Sares^{1*}, María Yáñez-Romero², Thayana Nuñez-Quezada³,
Nathaly Montalván-Guamán⁴, Marilyn Rogel-Preciado⁴

Resumen

La investigación se orienta a la obtención de películas biodegradables para mantener y conservar la calidad de los alimentos. Se utiliza almidón de maíz, que por su característica hidrofílica requiere la adición de gelatina; y, aceite esencial de cáscara de mandarina (AE), por su naturaleza hidrofóbica. Para la obtención del AE, se aplica el método Clavenger; y, el método Casting para la elaboración de las películas, formuladas mediante un diseño experimental tipo factorial k^n de 3^2 , con concentraciones de gelatina al 2.5%, 3.75% y 5% p/v; y, AE al 0.3%, 0.4% y 0.5% v/v; se mantienen constantes: almidón 5% y glicerol 3%. Los resultados de las variables de respuesta (Solubilidad, Humedad y WVP), se interpretan a través del análisis estadístico ANOVA, y se visualizan en el diagrama de Pareto y gráfico Superficie de Respuesta. Los mismos que reflejan que, a mayor porcentaje de gelatina, las películas experimentan un incremento en sus variables de respuesta; y, a mayor porcentaje de AE se genera una disminución. No obstante, la interacción de los dos factores afecta significativamente ($p < 0.05$) en la disminución de la solubilidad. El modelo de regresión determinado para %Solubilidad, %Humedad y WVP, arrojan un R^2 de 98.64%, 98.62% y 97.05%, respectivamente.

Palabras claves: biopolímero, película, almidón de maíz, gelatina, aceite esencial, permeabilidad, solubilidad.

Effect of gelatin and tangerine essential oil on corn starch films

Abstract

The research is aimed at obtaining edible-biodegradable films to maintain and preserve the quality of food. Corn starch is used, which due to its hydrophilic characteristic requires the addition gelatin; and mandarin peel essential oil (AE), which due to its hydrophobic nature reduces permeability. To obtain the essential oil, the Clavenger method is applied; and the Casting method is used for its elaboration films and are formulated using a factorial experimental design k^n of 3^2 , with 2.5%, 3.75% and 5% w/v gelatin concentrations; and essential oil at 0.3%, 0.4% and 0.5% v/v; the constants are maintained: 5% starch and 3% glycerol. The response variables (solubility, humidity and WVP), are evaluated through the statistical analysis of ANOVA and are displayed on the Pareto diagram and Response Surface Graph. These, in turn, reflect that, at a higher percentage of gelatin, the films experience an increase in their response variables; and, at a higher percentage of essential oil, a decrease is generated. However, the interaction of the two factors significantly ($p < 0.05$) affects the decrease in solubility. The regression model determined for the (%) solubility, (%) humidity and WVP, yield an R^2 of 98.64%, 98.62% and 97.05%, respectively.

Keywords: Biopolymer, film, corn starch, gelatin, essential oil, permeability, solubility.

Recibido: 27 de diciembre de 2022

Aceptado: 10 de marzo de 2023

¹Ingeniera en Alimentos, Facultad Ciencias Químicas y de la Salud, Universidad Técnica de Machala, Docente Investigador.

²Ingeniero Químico, Facultad Ciencias Químicas y de la Salud, Universidad Técnica de Machala, Docente Investigador.

³Doctora Bioquímica Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Universidad Técnica de Machala, Docente Investigador.

⁴Ingeniera en Alimentos, Facultad Ciencias Químicas y de la Salud, Universidad Técnica de Machala, Investigador.

*Autor de correspondencia: lcedeno@utmachala.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria constantemente está empeñada en elaborar nuevos y mejores empaques para la protección y conservación de los alimentos, a fin de, que estos mantengan su frescura y permanezcan por mayor tiempo sin ser afectados por agentes externos (Al-Hassan & Norziah, 2012).

Los empaques elaborados a partir de materiales biodegradables y/o comestibles, se han desarrollado con el fin de extender la vida útil de los productos alimenticios y a la vez aprovechar su funcionabilidad como: soporte de agentes antimicrobianos; antioxidantes o nutrientes; para disminuir la velocidad de migración de humedad y lípidos; o, el transporte de gases y solutos. Uno de estos materiales es el almidón que se caracteriza por su alta disponibilidad, bajo costo y biodegradabilidad (Ramos et al., 2016); y pueden ser obtenidos a partir de sustancias poliméricas como el maíz, yuca, papa, etc. (López et al., 2018).

Gran número de especies vegetales poseen alto contenido de almidón y pueden ser una fuente potencial para su obtención. Los almidones existen de manera abundante en la naturaleza y representan un recurso renovable, biodegradable y económico; además, constituyen el principal carbohidrato de reserva de las plantas de hojas verdes (Cedeño Sares et al., 2021).

Las películas biodegradables se pueden obtener de proteínas, polisacáridos, lípidos o la combinación de estos componentes. (Fakhoury et al., 2012; Solano et al., 2018). Los polisacáridos y proteínas tienen buenas propiedades mecánicas y son efectivas como barreras ante el oxígeno y el dióxido de carbono (Acosta et al., 2015); no obstante, por ser hidrofílicos es necesaria la combinación con lípidos, para reducir la permeabilidad al vapor de agua; y, con glicerol, para dar flexibilidad y plasticidad a la película (Acosta et al., 2015; Al-Hassan & Norziah, 2012).

La investigación se orienta a la elaboración de una película biodegradable, con base de almidón de maíz, por su amplia disponibilidad en el mercado, costos bajos y biodegradabilidad (Díaz, 2015). Al no ser un componente termoplástico se requiere mejorar sus propiedades físicas y mecánicas utilizando aditivos naturales (Al-Hassan & Norziah, 2012; Wang et al., 2017); en este caso, la gelatina,

el glicerol y el aceite esencial de la cáscara de mandarina, en diferentes porcentajes; en busca de la fórmula que viabilicen adecuadas propiedades físicas y de barrera tales como: porcentaje de solubilidad, humedad y permeabilidad al vapor de agua (WVP).

En la elaboración de la película, a pequeña escala, se utiliza el método Casting; para la obtención del aceite esencial, la hidrodestilación tipo Clavenger; y, se emplea el diseño experimental de tipo factorial k^n de 3^2 , para evaluar la incidencia de los factores porcentajes de gelatina y aceite esencial, sobre las variables de respuesta (%Solubilidad, %Humedad y WVP) de las formulaciones obtenidas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ALMIDÓN DE MAÍZ.

En la caracterización fisicoquímica del almidón de maíz comercial para determinar: porcentaje de humedad, se aplica el método AOAC 925.10; contenido de ceniza, se utiliza la norma AOAC 923.03; porcentaje de fibra, se emplea el método WEENDE; y, contenido de proteína, se aplica el método DUMAS. La grasa contenida en el almidón se halla a través de la metodología descrita por la norma AOAC 203.06; y, el porcentaje de carbohidratos se determina por cálculo matemático.

Para la determinación de propiedades funcionales se procede con el pesaje de 1 g de almidón en base seca, en una balanza analítica RADWAG ASR 220.R2 PLUS, para ser introducido en un tubo de centrifuga (previamente llevado a peso constante); al cual, se le adiciona 25 mL de agua destilada a 60°C. La suspensión se somete a baño maría a 60°C, en una plancha modelo CIMAREC por el lapso 30 minutos; y, se procede con la agitación a los primeros 10 minutos de iniciado el proceso.

Al finalizar el tiempo, la solución es llevada a una centrifugadora marca Corning LSE a 2500 rpm, durante 15 minutos. Se separa el sobrenadante (almidón soluble) para determinar el volumen total (V). De manera inmediata, una muestra de 10 mL del sobrenadante es colocada en una caja Petri (previamente llevada a peso constante) y sometida a 70°C durante 16 horas para su secado.

Finalmente, se registra el peso de la caja de Petri, con el material soluble, y el tubo de centrífuga que contuvo el gel (almidón insoluble).

Las ecuaciones utilizadas para las propiedades funcionales se detallan a continuación:

Índice de Absorción de Agua (IAA)

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g bs)}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Índice de Solubilidad del almidón (ISA)

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g bs)} - \text{Peso de solubles (g)}} \quad \text{Ec. (3)}$$

Poder de Hinchamiento (PH)

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)} * \frac{\text{Volumen del sobrenadante (mL)}}{10}}{\text{Peso de la muestra (g bs)}} \quad \text{Ec. (2)}$$

OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE MANDARINA (C. RETICULATA L.)

Se obtiene el aceite esencial de la cáscara de mandarina (AE) por hidrodestilación, mediante un equipo tipo Clevenger (León Méndez et al., 2015); para ello, se utiliza el pericarpio de 150 mandarinas preseleccionadas, con grado de madurez comercial, indicado por el índice de color IC=11 (Bello et al., 2018); adquiridas en Santa Rosa - El Oro – Ecuador. Dentro del balón de 2000ml se coloca 200g de cáscara de mandarina picada y se adiciona 1100mL de agua destilada. Luego, la mezcla es llevada a calentamiento y se controla la temperatura por un tiempo de 3 horas. Finalmente se obtiene dos fases: aceite esencial y agua. Finalizada la extracción del aceite esencial, se almacena en envases ámbar a 4°C, hasta su posterior utilización.

Para calcular el rendimiento (%R) del AE se utiliza la ecuación 4, aplicada por León Méndez et al., (2015) en hidrodestilación.

$$\%R = \frac{W_{AE}}{W_{MV}} * 100 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde: WAE es el volumen final del aceite esencial (mL); WMV es el peso en (g) inicial del material vegetal; y, 100 es el factor matemático.

La determinación de la densidad relativa del aceite esencial (DR), se aplica la metodología de Franco Torres (2015) y sus modificaciones; en el procedimiento se emplea un picnómetro de 10mL, se seca en una estufa, modelo MEMMERT, a 105°C

por tres horas; y, luego se coloca en un desecador hasta su uso. El peso se registra en una balanza analítica, modelo RADWAG ASR 220.R2 PLUS; conocido su peso, se vierte 10 mL de aceite esencial a 25°C, y se registra nuevamente su peso. Este procedimiento se realiza por triplicado y se aplica la siguiente fórmula:

$$DR \left(\frac{g}{mL} \right) = \frac{P1 (g) - P2 (g)}{V1 (mL)} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde: P1 es el peso del picnómetro + muestra (g); P2 es el peso del picnómetro (g); y, V1 es el volumen del aceite esencial (mL).

PELÍCULAS DE ALMIDÓN DE MAÍZ, GELATINA Y ACEITE ESENCIAL DE MANDARINA

DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental tipo factorial k^a de 3² (Criollo Feijoo, 2018) se aplica para evaluar la incidencia de las variables %gelatina (2.5%, 3.75% y 5%, p/v) y %AE (0.3%, 0.4% y 0.5%, v/v), de las soluciones formuladas, sobre los valores de %Humedad, %Solubilidad y WVP, manteniendo constantes los porcentajes de almidón (2.5%) y glicerol (3%). El orden experimental aleatorio se obtiene mediante el programa Statgraphics Centurión Versión XV.II

ELABORACIÓN DE LAS PELÍCULAS

Para la elaboración de las películas se aplica el método Casting según (Díaz, 2015) con algunas modificaciones. Las soluciones de almidón y gelatina son mezcladas en proporción 1:1; las concertaciones de almidón de maíz 5% (p/v) y glicerol 3% (p/v) se mantienen constantes en todos los tratamientos. La solución de almidón de maíz al 5 % (p/v) se agita en una placa térmica, modelo CIMAREC, hasta alcanzar los 70°C, a 300 rpm, por 30 min, con el fin de gelatinizar el almidón (Xing et al., 2018). La solución de gelatina con niveles de 2.5%; 3.75%; 5% (p/v) se agita en una placa térmica, modelo DLAB MS7H550-S, hasta alcanzar la temperatura de 80°C, a 300 rpm, por 10 minutos; se mezclan las soluciones, con agitación constante. Luego, se adiciona 3% (p/v) glicerol y seguido el tween 80 hasta alcanzar el

0.2% (p/v), con agitación constante hasta llegar a 40°C. Se añade el AE en niveles de 0.3%, 0.4% y 0.5% v/v; y, la disolución se coloca en una batidora manual de inmersión, modelo MOOKA FAMILY, que se homogeniza a temperatura ambiente durante 5 min; seguidamente se vierte la mezcla viscosa en moldes antiadherentes y se lleva a la estufa, modelo MEMMERT, a 70°C, por 3 horas (Díaz, 2015). Las películas se mantuvieron en un desecador a temperatura (25°C) y humedad relativa (0%) controlada.

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y DE BARRERA

Los valores de solubilidad, se realiza por inmersión de la película en agua, según Morales Yanchapaxi (2014). En un vaso de precipitación 100mL se colocan muestras de películas de 2 x 2cm sumergidas en 50mL de agua destilada; se deja reposar a temperatura ambiente, por 24 horas, sin agitación. Trascorrido el tiempo, se filtra para obtener la película no solubilizada, y se seca el material insoluble en estufa a 105°C, durante 24 horas. El porcentaje de solubilidad (%S) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\%S = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde: P_i es el peso seco inicial de la muestra (g); y, P_f es el peso seco final de la muestra, después de ser solubilizada (g)

El contenido de humedad de las películas se determina mediante secado directo en base a Indrianti et al., (2018); se pesa 0.15g de muestra en cápsulas de porcelana, previamente secadas en estufa a 105°C, durante 24 horas. El peso es registrado antes y después de 24 horas de secado; y, el porcentaje de humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_f - m} * 100 \quad \text{Ec. (7)}$$

La WVP sigue la metodología de Anchundia et al., (2016); Ayquipa Cuellar, (2018) y sus modificaciones. Se colocan las películas en la parte superior de copas de permeabilidad, en cuyo interior

se adiciona 15 mL de agua destilada, se registra el peso en una balanza analítica, modelo RADWAG ASR 220.R2 PLUS, se coloca en un desecador, a humedad relativa de 0% y temperatura de 25°C. Se registra el peso cada 90 min por un lapso de 8 horas, y con la información resultante se calcula la WVP a través de la ecuación 8 (Marzo, 2010). El espesor se determina con un calibrador Vernier Caliper, marca PRETUL capacidad 152,4 mm- 6"; para el promedio de las mediciones obtenido se mide en mm, para cada una de las películas.

$$\begin{aligned} \text{WVP} &= (\text{Permeación} * \text{Espesor}) = \frac{\text{WVTR} \left(\frac{\text{moles}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right)}{(P_{A1} - P_{A2}) \text{kPa}} * \text{mm} \\ &= \frac{\text{g} * \text{mm}}{\text{h} * \text{m}^2 * \text{kPa}} \quad \text{Ec. (8)} \end{aligned}$$

$$P_{A1} = P_{A2} - (P_{A2} - P_{AO}) e^{\left(\frac{\text{WVTR} \cdot R \cdot T \cdot Z}{P_{A2} \cdot D} \right)} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde: WVTR, velocidad de transmisión del vapor de agua; P_{A1} es la presión en la superficie interior del film; P_{A2} es la presión atmosférica total del sistema (Pa); P_{AO} , presión de la superficie del agua = $4.84 T^2 - 52.24 T + 1449.63$ (T en °C); R, constante universal de los gases (8.314 J/K. mol); T, temperatura (°K); Z, altura de la capa de aire (m); D, difusividad del agua en aire (m^2/s) = $22.441 * 10^{-3} T^{2.8696}$ (T en °K).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN DE MAÍZ.

La composición química del almidón nativo de maíz comercial (ANM) con respecto al almidón nativo de banano variedad Cavendish (ANBc) (Armijos & Ramírez, 2022) y almidón nativo de semilla de aguacate variedad Fuerte (ANAf) (Macas & Vidal, 2022), reflejan diferencias debido a su naturaleza botánica (ver tabla 1).

La diferencia del porcentaje de carbohidratos entre los tres almidones nativos es baja; el ANM es un poco mayor al ANBc y poco menor ANAf. El porcentaje de grasa y ceniza del ANM es menor al ANBc y ANAf. El porcentaje de proteína del ANM es mucho menor al ANBc y ANAf. El porcentaje de fibra del maíz es menor al ANBc y mayor al ANAf. Finalmente, el porcentaje de humedad es mayor al ANBc y ANAf.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del almidón de maíz comercial

TIPO DE ALMIDÓN	Carbohidratos	Grasa	Proteína	Fibra	Ceniza	Humedad
MAÍZ	85.8830 ± 0.1150 ^a	0.0366 ± 0.0116 ^a	1.0600 ± 0.0458 ^a	1.2566 ± 0.0416 ^a	0.1400 ± 0.0400 ^a	11.6900 ± 0.1228 ^a
BANANO	84.3970 ± 0.2250 ^b	0.40000 ± 0.1732 ^b	2.0000 ± 0.0854 ^b	1.5433 ± 0.0351 ^b	1.2330 ± 0.0513 ^b	10.8033 ± 0.0.1015 ^b
SEMILLA DE AGUACATE	86.3533 ± 0.2059 ^c	0.3533 ± 0.0251 ^c	3.6366 ± 0.0404 ^c	0.6000 ± 0.1000 ^c	85.8830 ± 0.0153 ^c	85.8830 ± 0.1015 ^c

Mediá aritmética de tres repeticiones ± desviaciones estándar. Las mediá en las columnas con letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05). La igualdad de la primera letra en cada columna significa que hay una diferencia significativa en el volumen de AA (p<0.05).

EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE MANDARINA (C. RETICULATA L.)

El rendimiento de la extracción del AE da como resultado un promedio de 1.38% ±0,004; perteneciente a diez corridas experimentales, con un tiempo de extracción de 3 horas, para un volumen de 2.38 ±0.008mL; caso similar obtiene Saldaña and Paseli (2015) al aplicar el mismo método de destilación tipo Clevenger, y obtiene un rendimiento de 1.31%, para un volumen de 0.66 mL. La densidad relativa determinada es $\rho = 0.8345 \text{ g/mL} \pm 0.0006$, resultados similares obtuvo Argote Vera et al., (2017), $\rho = 0.86 \text{ g/mL}$;

sin embargo Saldaña and Paseli (2015), en su experimento, obtuvo una $\rho = 1.4740 \text{ g/mL}$, debido al tipo de destilación empleado y la variedad del fruto.

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y DE BARRERA DE LAS PELÍCULAS.

Mediante el diseño factorial 3² se generan 20 tratamientos, y se realizan siguiendo un orden aleatorio. En la tabla 2 se muestra el orden del diseño experimental, los valores medios y el error estándar para cada variable.

Tabla 2. Diseño experimental y valores medios de las propiedades físicas y de barrera de las películas obtenidas a diferentes porcentajes de Gelatina y Aceite Esencial de Mandarina variedad C. Reticulata l. (n = 3). El error estándar se muestra entre paréntesis.

TRATAMIENTOS			VARIABLES			TRATAMIENTOS			VARIABLES		
EXP.	% GEL.	% A.E.	HUMEDAD (%)	SOLUBILIDAD (%)	WVP (g mm/m ² h kPa)	EXP.	% GEL.	% A.E.	HUMEDAD (%)	SOLUBILIDAD (%)	WVP (g mm/m ² h kPa)
1	5	0.4	24.48731 ¹ ± 0.003	25.3256 ¹ ± 0.0012	0.002663 ² ± 0.0139	11	5	0.4	24.31833 ¹ ± 0.003	25.0865 ¹ ± 0.0145	0.002689 ² ± 0.0126
2	3.75	0.5	15.11321 ¹ ± 0.004	16.3652 ¹ ± 0.00101	0.001623 ³ ± 0.0125	12	3.75	0.5	15.99873 ¹ ± 0.0034	15.0652 ¹ ± 0.00110	0.001581 ³ ± 0.0625
3	3.75	0.3	22.12131 ¹ ± 0.0045	22.5469 ¹ ± 0.0012	0.002265 ² ± 0.0101	13	3.75	0.3	22.87613 ¹ ± 0.0025	22.5358 ¹ ± 0.0012	0.002254 ⁴ ± 0.0135
4	3.75	0.4	18.31343 ¹ ± 0.003	18.6854 ¹ ± 0.0013	0.001858 ³ ± 0.0251	14	3.75	0.4	18.28817 ¹ ± 0.003	18.5896 ¹ ± 0.0013	0.001901 ³ ± 0.0114
5	2.5	0.4	16.11031 ¹ ± 0.003	17.9854 ¹ ± 0.0010	0.001894 ³ ± 0.0115	15	2.5	0.4	16.01034 ¹ ± 0.002	17.0896 ¹ ± 0.00125	0.001801 ³ ± 0.0125
6	5	0.5	20.22311 ¹ ± 0.002	20.1325 ¹ ± 0.00125	0.002156 ² ± 0.0110	16	5	0.5	21.23141 ¹ ± 0.003	20.1428 ¹ ± 0.0013	0.002114 ² ± 0.012
7	2.5	0.3	18.17813 ¹ ± 0.0035	19.1259 ¹ ± 0.0754	0.002089 ² ± 0.0115	17	2.5	0.3	19.11495 ¹ ± 0.001	19.5256 ¹ ± 0.0012	0.002014 ² ± 0.0110
8	5	0.3	27.22413 ¹ ± 0.002	28.0569 ¹ ± 0.00658	0.002861 ¹ ± 0.0118	18	5	0.3	27.48932 ¹ ± 0.001	28.7589 ¹ ± 0.00678	0.002898 ¹ ± 0.0124
9	3.75	0.4	17.98713 ¹ ± 0.003	18.0896 ¹ ± 0.00101	0.001805 ³ ± 0.0117	19	3.75	0.4	18.43211 ¹ ± 0.0034	18.5864 ¹ ± 0.00121	0.001714 ³ ± 0.0147
10	2.5	0.5	10.73114 ¹ ± 0.0025	15.4586 ¹ ± 0.00652	0.001526 ³ ± 0.0178	20	2.5	0.5	10.14123 ¹ ± 0.001	15.5689 ¹ ± 0.00112	0.001645 ³ ± 0.0127

GEL: Gelatina; A.E.: Aceite Esencial; WVP: Permeabilidad al Vapor de Agua. Valores en la misma columna, con diferentes letras difieren estadísticamente (p < 0.05)

La solubilidad es una característica principal de las películas, ya que de ello depende la conservación de su integridad en ambientes húmedos (Bustamante Limones & Peralta Ávila, 2018). El %Solubilidad en agua se eleva al incorporar gelatina a las películas de almidón de yuca y maíz, sin aceite

esencial, debido a la absorción de moléculas de agua por parte de la proteína, que tiene contenido elevado de aminoácidos hidrófilos, conforme lo expresan en sus trabajos investigativos Cárdenas, (2016); León et al., (2018).

En la tabla 3, representado en el diagrama de

Pareto (fig. 1a) los factores A, B, A² y AB, arrojan una diferencia significativa (p < 0.05) en la solubilidad de las películas. Esto se debe a que la matriz es altamente estable y con la capacidad de retener los compuestos hidrofóbicos del AE, lo que

genera una reducción de las secciones hidrofílicas que interactúan con las moléculas del agua, en las películas de maíz-gelatina; estableciéndose similitud entre los datos de este trabajo y los encontrados en Jamróz et al., (2018).

Tabla 3. Significación estadística del efecto de las variables independientes sobre las variables respuesta. Las cifras indican el valor p.; NS., indica no significativo

FUENTE DE VARIACIÓN	VARIABLES		
	SOLUBILIDAD (%)	HUMEDAD (%)	WVP (g mm/m ² h kPa)
A : GEL.	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
B:A.E.	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
A ²	< 0,0001	0,0065	< 0,0001
AB	0,0001	NS	0,0437
B ²	NS	NS	NS

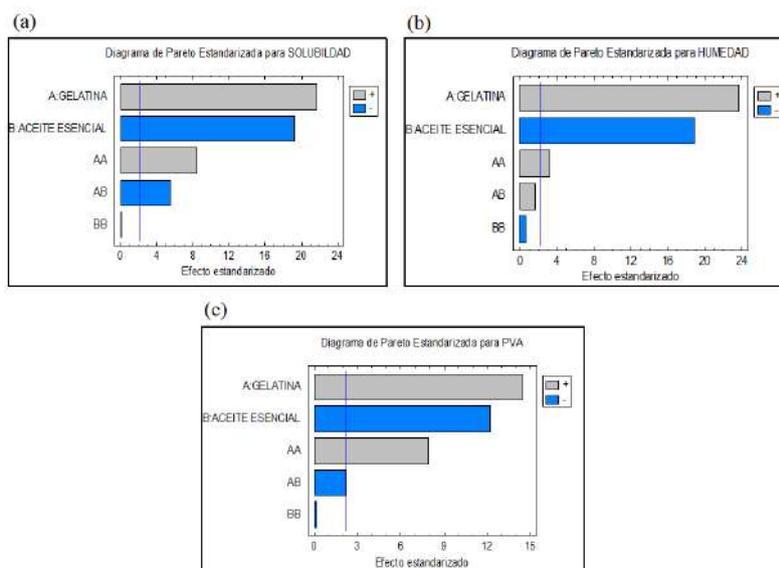
NS: p > 0.05; WVP: Permeabilidad del Vapor de Agua

Los porcentajes de %Humedad en las películas de almidón se elevan al añadir gelatina pero se reducen gradualmente con la incorporación de sustancias hidrófugas (Riaz, Lagnika, Luo, Dai, et al., 2020; Riaz, Lagnika, Luo, Nie, et al., 2020); en tanto que, al adicionar aceites esenciales de canela, clavo de olor u orégano estos porcentajes disminuyen debido a su carácter hidrofóbico, según los trabajos investigativos de Acosta et al., (2015).

contenido de humedad de las películas elaboradas. Caso opuesto se refleja en el factor AB (p > 0.05), ya que el aumento del %Gelatina adicionado a la formulación incrementa el contenido de humedad. Al-Hassan & Norziah, (2012) manifiestan que la adición de gelatina a las películas de almidón conduce a la interacción con las cadenas de almidón que rompen la red de enlaces de hidrógeno entre cadenas de almidón formando redes mixtas, debido a que la gelatina es catiónica y muchos de los polisacáridos son aniónicos; además, sus cadenas poliméricas son hidrofílicas (Asiyanbi et al., 2017).

Como se observa en la tabla 3, representado en el diagrama de Pareto (fig. 1b), los factores A, B y A² inciden significativamente (p < 0.05) en el

Figura 1. Diagrama de Pareto Estandarizado para variable de respuesta: (a) %Solubilidad; (b) %Humedad; y, (c) WVP. (Software Statgraphics Centurion XVI.I).



Acosta et al., (2015); Gamarra, (2017) señalan que la disminución de WVP en las películas de almidón y gelatina, con mayores concentraciones de aceites esenciales, se produce debido al incremento de su naturaleza hidrofóbica; puesto que, el proceso de transmisión del vapor de agua está en dependencia del balance de interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas de la matriz polimérica, así como su microestructura (Acosta et al., 2016).

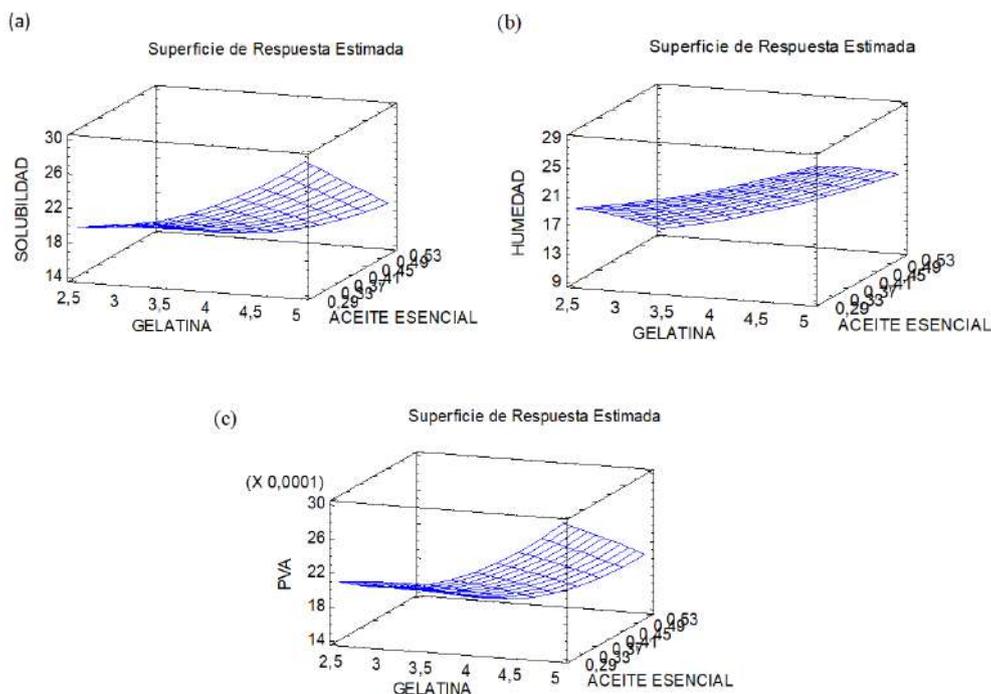
Conforme se visualiza en la tabla 3, representado en el diagrama de Pareto (fig. 1c), la interacción de los factores A, B, A² y AB, si influyen significativamente ($p < 0.05$) en la WVP de las películas. Además, Johar & Ahmad, (2012); Sánchez González et al., (2011) determinan que al utilizar aceites cítricos se puede obtener una mayor hidrofobicidad, por el limoneno, también presente en la cáscara de mandarina. Por el contrario, (Šuput et al., 2016), en películas de almidón cuyos valores

de WVP se vieron incrementados debido a la presencia de gelatina en la formulación aumentado la hidrofilidad de las películas.

ANÁLISIS DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA CON RESPECTO A LAS VARIABLES DE RESPUESTA

El diagrama Superficie de Respuesta Estimada permite visualizar la interacción del %Gelatina y %AE, mostrando la relación entre los dos factores estudiados y su efecto combinado en las variables de respuesta (%S, %H y WVP) en base al modelo ajustado. Los valores óptimos con relación a %Gelatina y %AE es de 3.0% y 0.5% permiten disminuir el % de solubilidad de la película; mientras que para disminuir el % de humedad es de 2.5% y 0.5%; y, finalmente, para la disminuir la WVP es de 3.17% y 0.5%.

Figura 2. Superficie de Respuesta Estimada para variable de respuesta: (a) %Solubilidad; (b) %Humedad; y, (c) WVP. (Software Statgraphics Centurion XVI.I).



ANÁLISIS DEL MODELO AJUSTADO

Con base en las ecuaciones del modelo ajustado de cada variable de respuesta %Humedad, %Solubilidad y WVP, visualizadas en la tabla 4, se registran altos valores de coeficientes de regresión R² ajustados, desde 95.9921% hasta 98.1566 %;

es decir, que estos modelos pueden ser empleados para diseñar películas mixtas a base de almidón nativo de maíz y gelatina, con la adición de AE, con propiedades físicas y de barrera deseadas, dentro de los límites de trabajo de esta investigación.

Tabla 3. Ecuaciones del modelo ajustado de cada variable de respuesta %Humedad, %Solubilidad y WVP.

ECUACIÓN DEL MODELO AJUSTADO (VALOR DEL R ² AJUSTADO %)	
PORCENTAJE DE HUMEDAD. (R ² = 98,1327)	% HUMEDAD = 30,0207 - 2,40956*A - 31,6675*B + 0,638758*A ² + 3,16178*A*B - 20,6168*B ²
PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD (R ² = 98,1566)	% SOLUBILIDAD = 26,9114 - 4,2285*A + 3,98545*B + 1,41934*A ² - 8,9165*A*B - 2,57821*B ²
WVP (gmm/m ² h kPa) (R ² = 95,9921)	WVP = 0,00394483 - 0,00102952*A - 0,000318869*B + 0,000206194*A ² - 0,000557*A*B - 0,000882143*A ²

IV. CONCLUSIONES

La composición proximal del almidón comercial de maíz se encuentra dentro de los límites de la normativa NTE INEN 2051:2013. La hidrodestilación aplicada a las cáscaras de mandarina variedad C. Reticulata L., para la extracción del AE, se obtuvo un rendimiento del 1.38% ±0.004; y, una densidad relativa de ρ = 0.8345 g/mL ±0.0006.

La concentración de gelatina y AE, obtenido por hidrodestilación, afectan significativamente (p<0,05) las propiedades físicas y de barrera de las películas formuladas.

Los modelos matemáticos determinados son propuestas para la formulación y obtención de películas a base de almidón nativo de maíz y gelatina con adición de aceites esencial de cáscara de mandarina, puesto que, cumplen satisfactoriamente con los %Solubilidad, %Humedad y WVP, necesarios para garantizar la obtención de un óptimo producto, según el uso que se desee hacer de las mismas, lo cual permitiría incrementar la información en el campo de películas biodegradables y potenciar el empleo de esta fuente de almidón.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, S., Chiralt, A., Santamarina, P., Rosello, J., González-Martínez, C., & Cháfer, M. (2016). Antifungal films based on starch-gelatin blend, containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 61, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.008>

Acosta, S., Jiménez, A., Cháfer, M., González-Martínez, C., & Chiralt, A. (2015). Physical properties and stability of starch-gelatin based films as affected by the addition of esters of fatty

acids. *Food Hydrocolloids*, 49, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.015>

Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H. (2012). Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.015>

Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización Física de Películas Comestibles a Base de Cáscara de Plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutricion*, 43(4), 394–399. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>

Argote Vera, F. E., Suarez Montenegro, Z. J., Tobar Delgado, M. E., PEREZ ALVAREZ, J. A., HURTADO BENAVIDEZ, A. M., & DELGADO OSPINA, J. (2017). Evaluación de la capacidad inhibitoria de aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(Edición Especial 2), 52. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\).593](https://doi.org/10.18684/bsaa(15).593)

Armijos, B., & Ramírez, A. (2022). Elaboración de películas a partir de almidón oxidado de banano variedad Cavendish y celulosa microcristalina como alternativa a films flexibles. In *Repositorio Universidad Técnica de Machala*. Universidad Técnica de Machala.

Asiyanbi, T. T., Bio-Sawe, W., Idris, M. A., & Hamed, A. M. (2017). Gelatin-polysaccharide based materials: A review of processing and properties. *International Food Research Journal*, 24.

- Ayquipa Cuellar, E. (2018). *Caracterización Física de Películas Comestibles Obtenidas de Mucílago de Cáscara de Tuna (Opuntia spp) y Almidón de Cáscara de Papa (Solanum tuberosum)*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Bello, F., Eyman, L., Almirón, N., Cocco, A., & Torres, F. (2018). Cartillas para determinar el índice de color de mandarinas y naranjas. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1–20.
- Bustamante Limones, R. E., & Peralta Ávila, M. B. (2018). Caracterización de biopolímero obtenido a partir de leche de vaca y almidón de yuca [Universidad de Guayaquil]. In *Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/28021>
- Cárdenas, J. (2016). *Films biodegradables activos de almidón-gelatina. Efecto de la oxidación del almidón* [Universitat Politècnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/68651>
- Cedeño Sares, L. A., Díaz-Torres, R., Casariego-Año, A., Arias-Toro, D., & Yáñez-Romero, M. (2021). Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*M. Sapientum* L.) variedad Cavendish. *Cumbres*, 7(1), 9–20. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v7n1a1>
- Criollo Feijoo, J. L. (2018). *Propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles elaboradas a base de almidón de banano* [Universidad Técnica de Machala]. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14183/1/E-4816_SAN MARTIN LARREA LADY DIANA.pdf
- Díaz, R. (2015). *Films biodegradables antimicrobianos a base de almidón y gelatina*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Fakhoury, F. M., Maria Martelli, S., Canhadas Bertan, L., Yamashita, F., Innocentini Mei, L. H., & Collares Queiroz, F. P. (2012). Edible films made from blends of manioc starch and gelatin - Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. *LWT - Food Science and Technology*, 49(1), 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.017>
- Franco Torres, Y. L. (2015). *Evaluación del proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de citrus aurantifolia (limón sutil) citrus sinensis (naranja) y citrus nobilis (mandarina) mediante hidrodestilación*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Gamarra Reyes, A. B. (2017). *Efecto de la concentración de aceite esencial de clavo de olor en la cobertura comestible a base de gelatina - almidon y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general en bayas de a* [Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/2885>
- Indrianti, N., Pranoto, Y., & Abbas, A. (2018). Preparation and characterization of edible films made from modified sweet potato starch through heat moisture treatment. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(4), 679–687. <https://doi.org/10.22146/ijc.26740>
- Jamróz, E., Juszczak, L., & Kucharek, M. (2018). Development of starch-furcellaran-gelatin films containing tea tree essential oil. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(42), 2–9. <https://doi.org/10.1002/app.46754>
- Johar, N., & Ahmad, I. (2012). Morphological, thermal, and mechanical properties of starch biocomposite films reinforced by cellulose nanocrystals from rice husks. *BioResources*, 7(4), 5469–5477. <https://doi.org/10.15376/biores.7.4.5469-5477>
- León, I., Camacho, J., Zazueta, A., Calderon, P., Fitch, N., Jacobo, M., Sánchez, E., & Aguilar, P. (2018). Desarrollo y Caracterización de Películas Comestibles Elaboradas a Partir de Almidón Acetilado por Extrusión y Gelatina. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos Desarrollo*, 3, 714–720.

- León Méndez, G., Osorio Fortich, M. del R., & Martínez, E. S. R. (2015). Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L. *Revista Cubana de Farmacia*, 49(4), 742–750. <http://scielo.sld.cu>
- López, O. V., Castillo, L. A., Farenzena, S., Pintos, E., Rodríguez, M. S., García, M. A., & Villar, M. A. (2018). Película biodegradable de almidón de maíz termoplástico y quitosano con actividad antimicrobiana empleada como envase activo. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0423>
- Macas, D., & Vidal, M. (2022). *Estudio de propiedades físicas y de barrera de películas de almidón oxidado de semilla de aguacate Hass y celulosa microcristalina*. Universidad Técnica de Machala.
- Marzo, I. (2010). *Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles bbasadas en zeína* [Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/2203>
- Morales Yanchapaxi, E. M. (2014). *Caracterización de Películas, Elaborados a partir de Harina de Quinoa (Chenopodium quinoa, Willd), Almidón Modificado de Yuca (Manihot esculenta) y Montmorillonita*. Escuela Politécnica Nacional.
- Ramos, M., Valdés, A., Beltrán, A., & Garrigós, M. (2016). Gelatin-Based Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Coatings*, 6(4), 41. <https://doi.org/10.3390/coatings6040041>
- Riaz, A., Lagnika, C., Luo, H., Dai, Z., Nie, M., Hashim, M. M., Liu, C., Song, J., & Li, D. (2020). Chitosan-based biodegradable active food packaging film containing Chinese chive (*Allium tuberosum*) root extract for food application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.078>
- Riaz, A., Lagnika, C., Luo, H., Nie, M., Dai, Z., Liu, C., Abdin, M., Hashim, M. M., Li, D., & Song, J. (2020). Effect of Chinese chives (*Allium tuberosum*) addition to carboxymethyl cellulose based food packaging films. *Carbohydrate Polymers*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115944>
- Saldaña, H., & Paseli, C. (2015). *Estudio Comparativo y Evaluación del Rendimiento de dos Tecnologías de Extracción de Aceites Esenciales de Naranja, Mandarina y Tangelo*. Universidad ESAN.
- Sánchez González, L., Cháfer, M., Hernández, M., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2011). Antimicrobial activity of polysaccharide films containing essential oils. *Food Control*, 22(8), 1302–1310. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.02.004>
- Solano, L., Alamilla, L., & Jimenez, C. (2018). *Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados* (pp. 21, 30–42). TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- 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), 277–285. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2016-0008>
- Wang, K., Wang, W., Ye, R., Liu, A., Xiao, J., Liu, Y., & Zhao, Y. (2017). Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations. *Food Chemistry*, 216, 209–216. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.08.048>
- Xing, J. jie, Li, D., Wang, L. jun, & Adhikari, B. (2018). Temperature thresholds and time-temperature dependence of gelatinization for heat-moisture treated corn starch. *Journal of Food Engineering*, 217, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.019>