



Degradación de la Colofonia por Radiación Ultravioleta del Tipo UV-A

Oscar Rendon-Heredia^{1,*}, Salomón Ramiro Vásquez-García¹

¹Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
Morelia, Michoacán, 58060, México.

*1719011B@umich.mx

Resumen

La colofonia es una resina natural obtenida de la exudación de las oleorresinas de pino, constituida por ácidos resínicos del tipo abiético y pimárico los cuales son susceptibles a reacciones de foto-oxidación por incidencia de radiación ultravioleta. Este tipo de ácidos confieren excelentes propiedades en la formación de películas, recubrimientos y microencapsulación, cabe mencionar que la radiación más perjudicial para los polímeros es la luz UV motivo por el cual se determinará su grado de degradabilidad para valorar sus funciones de uso bajo condiciones con este tipo de radiación. En el presente trabajo, se presentan los resultados experimentales sobre el estudio de degradación de películas de colofonia a diferentes tiempos de exposición con radiación ultravioleta del tipo A. Este estudio demostró que la radiación UV-A promueve la formación de hidroperóxidos, seguida de cambios en el grupo carbonilo los cuales produjeron cambios físicos y químicos en las películas de colofonia.

Palabras claves: Colofonia, UV, UV-A, degradación, foto-oxidación.

Abstract

Rosin is a natural resin, obtained from the exudation of pine oleoresins, made up of resin acids of the abietic and pimaric type, which are susceptible to photo-oxidation reactions due to the incidence of ultraviolet radiation. These types of acids confer excellent properties in the formation of films, coatings and microencapsulation. It is worth mentioning that the most damaging radiation for polymers is UV light, which is why their degree of degradability will be determined in order to evaluate their functions of use under conditions with this type of radiation. In the present work, the experimental results on the degradation study of rosin films at different exposure times with type A ultraviolet radiation are presented. Finally, it was proved that UV-A radiation promotes the formation of hydroperoxides, followed by changes in the carbonyl group which achieved physical and chemical changes in the rosin.

Keywords: Rosin, UV, UV-A, degradation, photo-oxidation.

Recibido: 03 de enero de 2023. Aceptado: 10 de marzo de 2023. Publicado: 14 de abril 2023.



1. Introducción

La resina también denominada trementina natural, resina de pino, colofonia o rosin es una resina natural obtenida de la destilación de las oleorresinas de las cortezas de pino [1]. Este producto natural renovable está constituido por componentes químicos como terpenos volátiles, no volátiles y componentes sólidos, los cuales hacen que adquiera una textura gruesa y pegajosa [2]. Desde el punto de vista químico la colofonia es un biopolímero constituido en un 90% por ácidos abiéticos y pimáricos, los cuales tienen un carboxilo unido a una estructura multicíclica apolar. Su reactividad está condicionada al grupo ácido -COOH y a sus enlaces dobles -C=C- (conjugados o no) de su estructura multicíclica, por los cuales se generan reacciones de esterificación, descarboxilación, formación de dímeros con ácidos dicarboxílicos y reacciones de isomerización. Hoy en día, sus aplicaciones y la de sus derivados están relacionados con su capacidad de formar una capa o barrera que ralentiza o detiene la difusión de compuestos dañinos o de otros que se pretenden dosificar [3]. Por otra parte, la intemperie daña las resinas por la exposición a la radiación solar, la temperatura y la humedad, entre estos factores, la radiación solar es, con mucho, la causa principal de la degradación de la colofonia, ya que calienta e inicia la degradación fotoquímica del polímero [4]. Esta energía contiene en su espectro a la radiación ultravioleta del tipo A, que es una forma de radiación no ionizada responsable de tener un efecto fotoquímico dentro de la estructura de los polímeros, debido a la excitación de los fotones que generan radicales libres [5]. Por consiguiente, la radiación ultravioleta origina la degradación de los polímeros a través de la pérdida significativa de sus propiedades físico-mecánicas que son importantes para su aplicación [6]. Debido a que no se cuenta con estudios sobre el comportamiento de degradación de la colofonia con luz ultravioleta del tipo A, el presente estudio aborda la interacción que existe entre éstos dos, mediante un análisis por pérdida de peso, microscopia óptica, espectroscopia por transformada de Fourier (FTIR) y ángulo de contacto.

2. Antecedentes

2.1 Composición química de la colofonia

La colofonia está compuesta por una mezcla de ácidos del tipo carboxílicos hidrogenofenánicos alcoholados y en menor proporción de componentes no ácidos (derivados hidroxilados) [7], mostrados en la Fig. 1. El ácido abiético se caracteriza por la presencia de un grupo isopropílico en la posición 7 y dobles enlaces conjugados en las posiciones 7-8 y 8-9, mientras que el tipo pimárico tiene grupos vinilo y metilo en la posición 7 [8]. En todos ellos, el grupo carboxilo está unido a un carbono terciario. Los ácidos resínicos son susceptibles a reacciones de isomerización por calor, por tratamiento ácido y a la oxidación en presencia de aire u oxígeno [9].

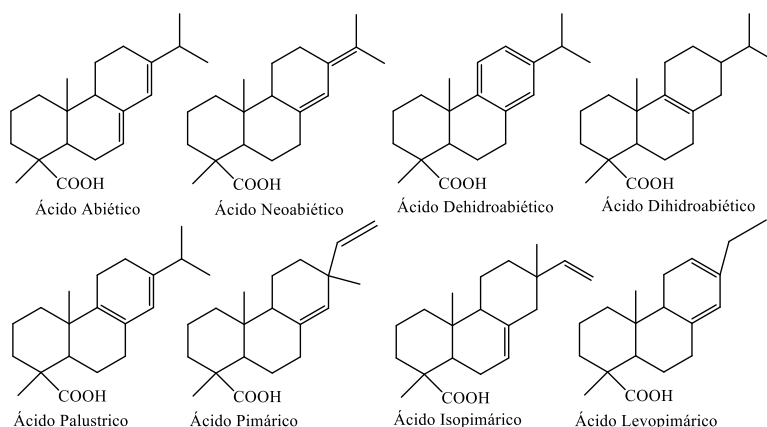


Fig 1. Estructuras moleculares de los principales ácidos resínicos presentes en la colofonia.



La colofonia se presenta como un sólido frágil, disgregable y con tonalidades amarillentas que van desde un amarillo pálido hasta un rojo oscuro, su color depende de la fuente y del método de procesamiento [10] Fig. 2. Es soluble en ésteres, éteres e hidrocarburos aromáticos, alifáticos y clorados. Tiene un peso molecular promedio de 300 g/mol y una temperatura de transición vítrea (T_g) de 30 °C, valor superior al que cabría esperar para su peso molecular, debido a la rigidez de su estructura. Su punto de reblandamiento (SP) está entre los 70 - 80 °C y su punto de fusión (T_f) entre 71 - 95 °C [11].



Fig 2. Aspecto de la colofonia.

2.2 Degradación por radiación

La radiación ya sea del tipo de energía elevada (rayos X, rayos β , rayos γ), luz visible o radiación ultravioleta (UV), puede penetrar en las largas cadenas poliméricas y producir una escisión de cadena por medio de la rotura de enlaces [12]. Las radiaciones producen diversos problemas al polímero como la ramificación de las cadenas, dicho fenómeno provoca el entrecruzamiento entre las ramificaciones transformando al material en un producto frágil, por lo que la reticulación o el entrecruzamiento de ciertas estructuras poliméricas, no en todos los casos afectan a las propiedades del material, en algunas ocasiones el irradiar a un polímero tiene un fin claro y específico como el volverlo resistente a la degradación, obtener un material duro, mayor impermeabilidad, entre otras mejoras. El producto final depende del tipo de radiación aplicada y el control de la irradiancia [13]. Una de las características fundamentales de la luz UV es su factibilidad para producir saltos de nivel en átomos que terminan provocando reacciones químicas en la molécula afectada. Por tanto, su investigación se orienta a producir fenómenos de auto-oxidación del material para estudiar el nivel de fragmentación y degradación al que se puede llegar antes de la disposición final del desecho [14].

2.3 Foto-degradación

El proceso por el cual la luz UV ocasiona alteraciones en las propiedades físicas y químicas de los polímeros, se denomina foto-degradación [15]. Los cambios casi imperceptibles a la exposición de radiación ultravioleta son acumulados lentamente, para conducir a efectos visibles como el cambio de color, grietas superficiales y modificaciones en sus propiedades mecánicas y eléctricas [16].



3. Materiales

3.1 Materiales

Los materiales usados para la elaboración de las películas de colofonia fueron: colofonia estándar como lo especifica el certificado de calidad emitido por el proveedor, obtenida de la procesadora de resinas “La Soledad” S.A. de C.V., Morelia, Michoacán. Etanol (1-butanol) marca Sigma-Aldrich (Saint Louis, MO, USA), glicerina (popano-1,2,3- triol) marca Sigma-Aldrich (Saint Louis, MO, USA). Para la elaboración de las películas se usaron moldes de 38.5 cm x 29 cm x 2 cm con diámetro de 2 y 1.5 cm marca WILTON (Connecticut, USA), y para la exposición con luz ultravioleta se utilizaron barras de luz UV del tipo púrpura, iluminación LED UV-A, longitud de onda de trabajo de 365-395 nm, potencia 10W, marca UVRADI (Beijín, China).

4. Metodología

4.1 Obtención de las películas mediante moldeado

1. *Pre calentamiento*: Sobre una película de aluminio, se añade una carga previamente pesada de colofonia en polvo. Se coloca de manera uniforme en el molde para conseguir una superficie regular. Se programa una temperatura de calentamiento en el rango de 100 ± 10 °C y se deja por un tiempo de 20 a 35 minutos para que el material se caliente y empiece a fundir.
2. *Moldeo*: Una vez que el material inició su fundición se cerraron los moldes para evitar la oxidación de la colofonia y prevenir que se presente un cambio de color. La temperatura que se utilizó fue constante (la misma en todas las etapas).
3. *Enfriamiento*: Como etapa final de la formación de películas, los moldes calientes se trasladaron a una zona plana de enfriamiento a temperatura ambiente con la finalidad de obtener una película sin deformaciones. El tiempo de enfriamiento fue de 1 min. El espesor obtenido de las películas estuvo en un rango de 0.5 - 1 mm.

4.2 Exposición a radiación UV

Se realizaron pruebas preliminares con barras de luz UV-A con longitudes de onda de 395 nm y 365 nm marca UVRADI con el propósito de tener un mayor conocimiento de los periodos de tiempo en que se usaría el equipo y dar seguimiento a la foto-degradación de las películas. Se elaboraron películas de 1.5 cm de diámetro y se colocaron en la cámara de envejecimiento apartándola de la luz visible. Los tiempos de exposición en la cámara de envejecimiento fueron: 2, 6, 12 y 24 horas, para obtener un rastreo de los grupos orgánicos durante la foto-degradación, dándoles seguimiento posteriormente, mediante análisis FTIR y microscopía óptica. Determinadas las condiciones de foto-degradación con las barras de luz UV-A, un total de 120 muestras con diámetro de 1.5 cm independientemente del espesor se han sometido a exposición de rayos UV-A de 0 a 720 h en la cámara de envejecimiento.



5. Técnicas de caracterización

5.1 Degradación por Radiación UV-A

Las pruebas de degradación a las que fueron sometidas las muestras se realizaron en una cámara de envejecimiento de acuerdo con el método por Iguardia [17] con la modificación de llevar las muestras a condiciones controladas de temperatura, con una duración de 30 días.

5.2 Microscopio Óptico

Se utilizó un microscopio óptico modelo GZ6 marca Leica Microsystems para llevar un monitoreo de las características morfológicas de las películas de colofonia con el fin de encontrar agrietamientos o algún tipo de degradación parcial en las superficies de las películas de colofonia sin y con exposición de luz UV-A. Las películas se colocaron en el portamuestra y con un aumento de 100X se tomaron las fotografías.

5.3 Equipo FTIR

Para la identificación de los grupos funcionales presentes en las películas de colofonia irradiadas y los cambios que se pudieron presentar, se utilizó un espectrómetro infrarrojo modelo Spectrum 400 marca Perkin Elmer, con un accesorio de Reflectancia Total Atenuada (ATR) con punta de diamante en un rango de 4000 cm^{-1} a 650 cm^{-1} y 4 barridos.

5.4 Goniómetro

El análisis de ángulo de contacto se realizó por medio de un goniómetro y el software imageJ para el procesamiento de datos. La determinación se realizó a temperatura ambiente.

6. Resultados experimentales

6.1 Reducción en peso de la colofonia

Se realizó el ensayo de degradación UV-A bajo condiciones controladas a 120 muestras, los resultados que se presentan fueron calculados mediante la ecuación (1); Así mismo, los cambios en el peso de las películas de colofonia, se determinaron con una balanza analítica marca VELAB modelo VE-210 con precisión de $\pm 0.1\text{ mg}$, los pesos de todas las muestras antes y después de cada proceso oxidativo se muestran en la gráfica presentada en la Fig. 3, además en la Fig. 4 se presenta la gráfica de barras de error la cual indica el error estimado o la incertidumbre para dar una idea de cuán precisa fue la medición de los pesos de las muestras.

$$\% \text{ Wt} = 100 - \left(\frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \right) \quad (1)$$

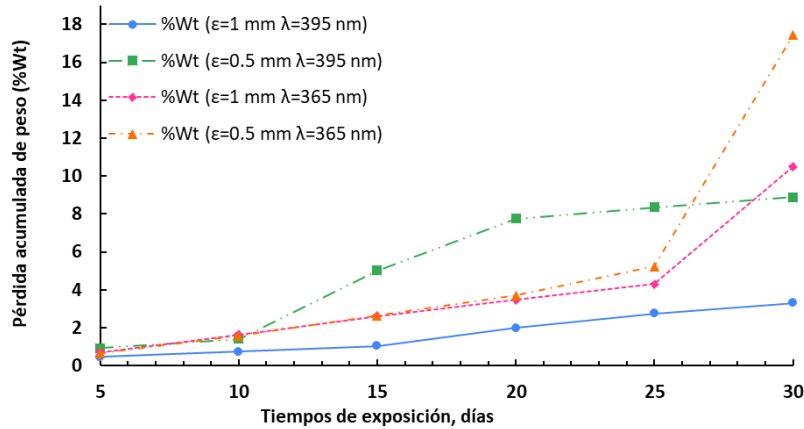


Fig 3. Pérdida acumulada de peso (%Wt) vs exposición en días a $\lambda=365$ nm y $\lambda=395$ nm con muestras de dos espesores.

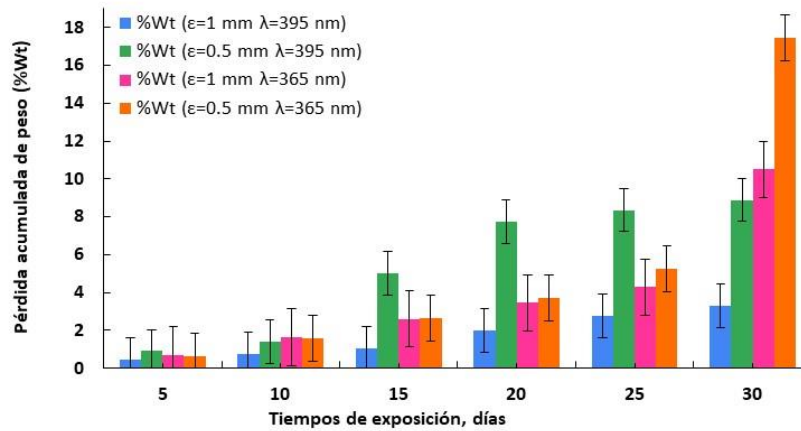


Fig 4. Barras de error de la pérdida acumulada de peso (%Wt) vs exposición en días a $\lambda=365$ nm y $\lambda=395$ nm con muestras de dos espesores.

Las películas con menor espesor presentan una mayor degradación a comparación con las de mayor espesor ($0.5 \text{ mm} > 1 \text{ mm}$) independientemente si son irradiadas a 395 o 365 nm. Al incrementar la energía de radiación, esto es de 395 a 365 nm la degradación es mayor independiente del espesor de las películas, adicionalmente las películas de 0.5 mm irradiadas a una longitud de onda de 395 nm y 365 nm resultaron con una pérdida de peso del 8.8 y 17.4% respectivamente.

6.2 Análisis del color por microscopía óptica

Para el monitoreo de la morfología de las películas de colofonia expuestas a diferentes tiempos a radiación ultravioleta se optó por el uso del microscopio óptico con el fin de encontrar señales de degradación. La Fig. 5 y 6 muestran las fotografías tomadas con un aumento total de 100X a las superficies de las películas de colofonia a 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días de exposición, con dos espesores (0.5 y 1 mm) y dos diferentes tipos de irradiación ($\lambda=395$ y 365 nm). Adicionalmente al final de cada serie se presenta una fotografía con la ampliación y plastificación de la superficie (por efecto de edición de las fotos) del último tratamiento de 30 días de exposición, para los dos espesores de películas, por lo tanto, f) 30 es ampliada para cada tipo de radiación.

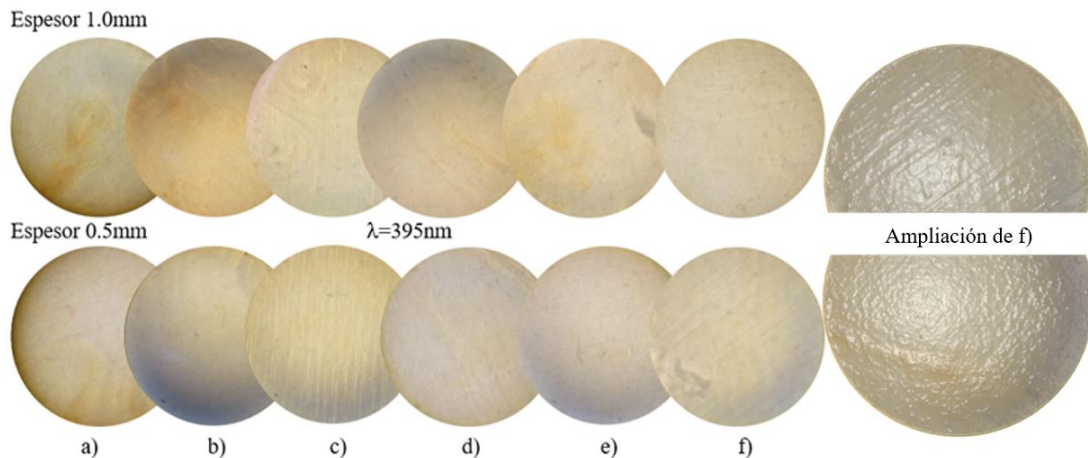


Fig. 5. Fotografías de películas de colofonia con espesor de 1 y 0.5 mm a una exposición con radiación UV-A de 395 nm a diferentes días: a) 5, b) 10, c) 15, d) 20, e) 25, f) 30 y ampliación de f).

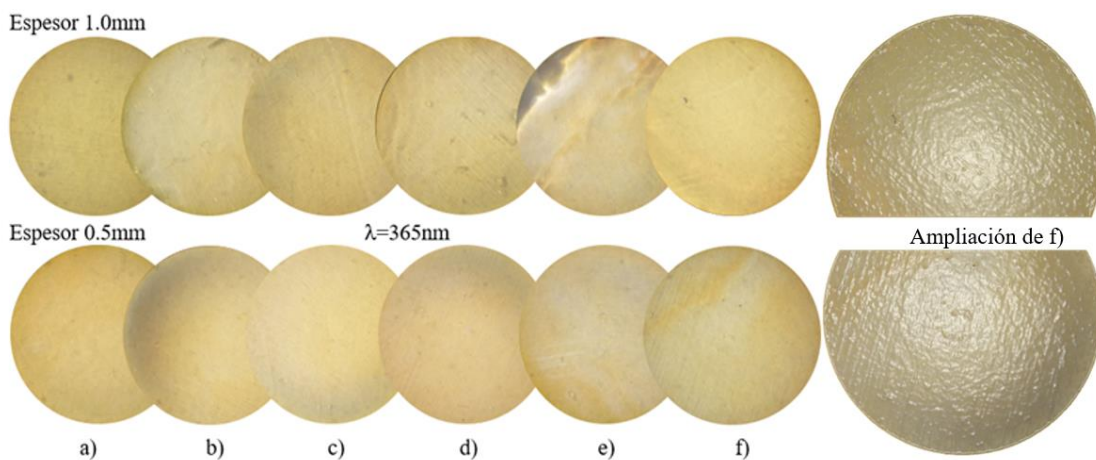


Fig. 6. Fotografías de películas de colofonia con espesor de 1 y 0.5 mm a una exposición con radiación UV-A de 365 nm a diferentes días: a) 5, b) 10, c) 15, d) 20, e) 25, f) 30 y ampliación de f).

En este caso se observa que las películas de menor espesor presentan una mayor decoloración que las de mayor espesor ($0.5\text{ mm} > 1\text{ mm}$), esto en función en que se incrementó el tiempo de exposición e independientemente de la radiación. Adicionalmente en la Fig. 6, se puede observar que en los últimos tiempos de exposición (mayor a 20 días) se observa la presencia de cambios morfológicos en su superficie, como son imperfecciones superficiales que van desde pequeñas líneas de pérdida de material hasta huecos en la muestra, esto indica la alta interacción que presenta la radiación UV-A a $\lambda= 365\text{ nm}$ con la superficie y lo cual coincide con los resultados obtenidos anteriormente por pérdida de peso, donde una mayor energía de radiación muestra un mayor efecto sobre la pérdida de peso.

El cambio de color de un tono intenso a un más claro fue más evidente después de los 30 días para $\lambda= 395\text{ nm}$ y después de los 20 días para $\lambda= 365\text{ nm}$. Al incrementarse la energía de la radiación (de 395 o 365 nm) las diferencias de las degradaciones se observan como rugosidades (observar las ampliaciones de la Fig. 5 y 6). En la ampliación de la Fig. 5 ($\lambda= 395\text{ nm}$) y Fig. 6 ($\lambda= 365\text{ nm}$) se observa que existe una



mayor rugosidad en la muestra de menor espesor (0.5 mm). Donde entre pares se observa una mayor diferencia de espesor para la muestra irradiada con $\lambda = 395$ nm

6.3 Análisis por FTIR

Uno de los métodos propuestos para el estudio del avance de la foto-degradación en las películas de colofonia es por medio de la medición de factores como los grupos carbonilos e hidroperóxidos por medio de la obtención del espectro infrarrojo [18].

En la Fig. 7 se presenta el espectro IR de la colofonia sin tratamiento de degradación, la cual revela señales características de hidrocarburos alifáticos y grupos funcionales contenidos en sus moléculas.

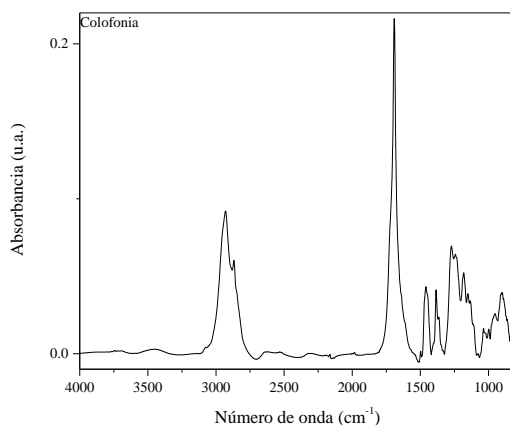


Fig 7. Espectro IR de la colofonia.

En la Fig 8 se superponen todos los espectros IR obtenidos a partir del análisis FTIR de las películas de colofonia irradiadas con radiación UV-A tanto a 395 nm como a 365 nm, donde se observan cuatro zonas de interés de acuerdo a sus bandas características como es el grupo carbonilo a 1692 cm^{-1} , hidroperóxidos entre 3300 - 3600 cm^{-1} , las señales en el rango de 3000 a 2800 cm^{-1} y la zona en el rango de 1500 - 800 cm^{-1} esto con el fin de comparar los espectros IR obtenidos de la exposición completa a la radiación UV-A de las películas de colofonia.

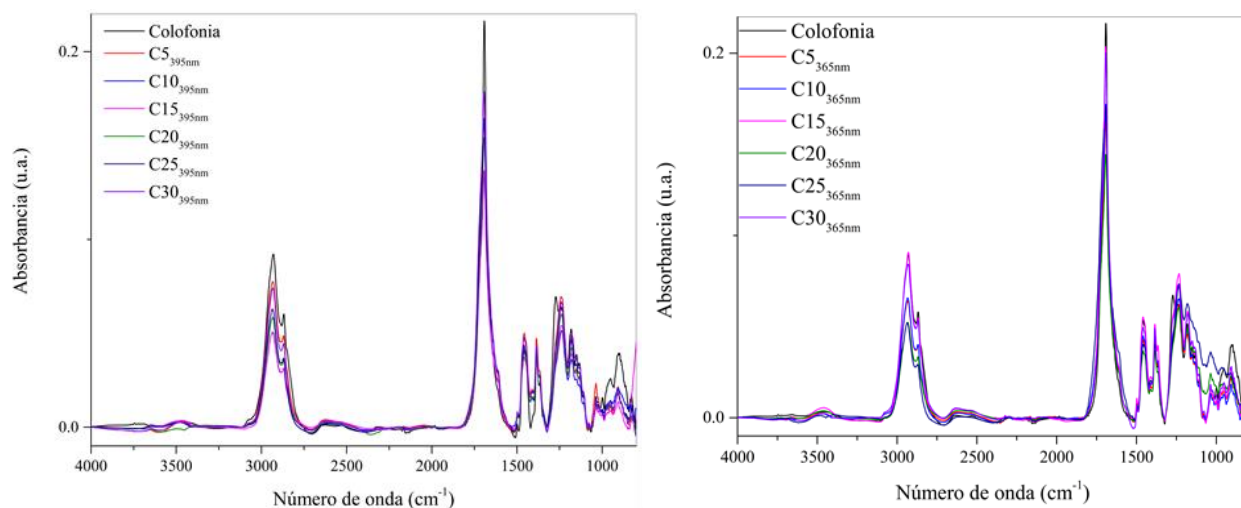


Fig 8. Superposición de todos los espectros IR de las películas de colofonia irradiadas de izquierda a derecha de 395 a 365 nm, tratadas de 0 a 30 días (Colofonia, C5, C10...C30).



Al observar los gráficos de la Fig. 8 se pueden determinar cuatro zonas diferenciables en el espectro IR, lo cual posibilitó la evaluación de las asociaciones, cambios y crecimientos de los grupos funcionales producto del avance de la foto-degradación a 395 nm y 365 nm.

En la Fig 9 se visualiza la ampliación de las zonas de interés para cada una de las longitudes de onda empleada.

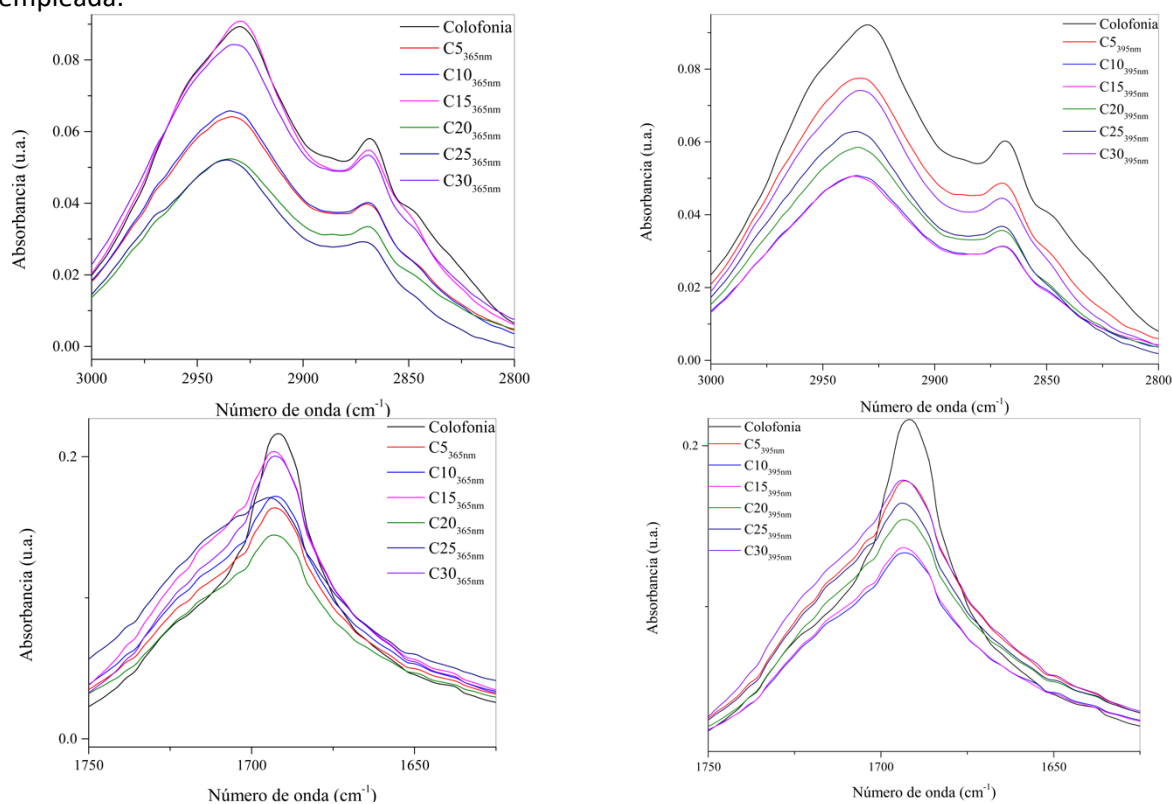


Fig 9. Ampliación de señales en las zonas de interés de las películas irradiadas a 395 y 365 nm.

En la etapa inicial del proceso de foto-degradación se puede observar un crecimiento gradual de la banda correspondiente al grupo carbonilo, $C=O$, no obstante en la zona de hidroperóxidos $-COOH$ ($3300-3600\text{ cm}^{-1}$) se visualizan algunos espectros que presentaron ruido debido a las pequeñas irregularidades en la interacción de la radiación UV-A con la superficie de las películas, sin embargo, es posible observar que existe una tendencia en la formación de los hidroperóxidos a los 15 días ($15C_{365nm}$) y 30 días ($30C_{395nm}$).

Los resultados obtenidos de las películas mostraron que las señales vibracionales del grupo carbonilo cuando no es expuesta la colofonia a radiación ultravioleta aparece a 1692 cm^{-1} y conforme transcurre el tiempo la banda se va recorriendo gradualmente, Fig. 10. Es importante observar la banda carbonilo, hidroperóxidos y las zonas en el rango de $2800-3000\text{ cm}^{-1}$ y $1500-800\text{ cm}^{-1}$ en el proceso de foto-oxidación que pueden llegar a un punto máximo (para $15C_{365nm}$ y $30C_{395nm}$), donde se presentan variaciones previo a la transferencia de energía que existe en los grupos funcionales [19]. Después de 5 días de exposición, se comienzan a visualizar cambios vibracionales de los grupos hidroxilo aproximadamente un estiramiento de $3600-3300\text{ cm}^{-1}$. Cuando se llegó a 15 días de exposición a 365 nm, el estiramiento del hidroxilo es más intenso. Así, con este análisis gráfico por FTIR de las películas de colofonia se pudo constatar la acción del deterioro de las muestras de colofonia bajo la acción de la radiación ultravioleta UV-A, particularmente la de 365 nm.

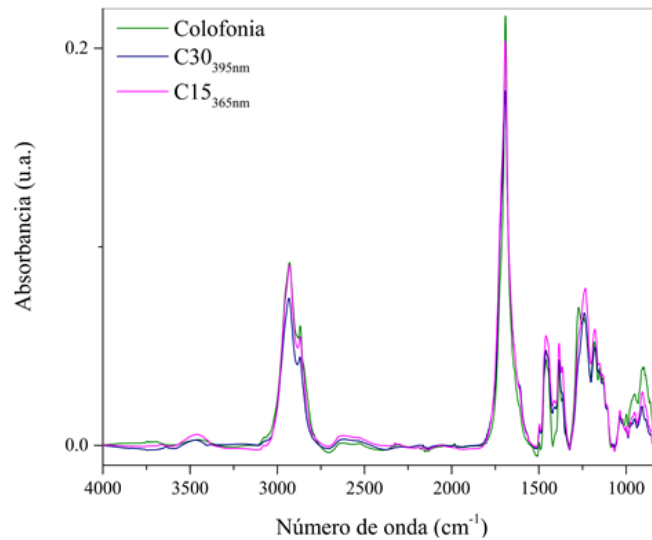


Fig 10. Espectros IR de las películas de colofonia que presentaron una degradación máxima bajo radiación UV-A.

Posteriormente se calculó el índice de carbonilo (IC) con la ecuación (2), y se realizó un promedio en tres lecturas del área para la señal correspondiente a enlaces C=O que se forman en las películas de colofonia, Fig. 11.

$$IC = \frac{\text{Área del pico carbonilo entre } (1600-1800)\text{cm}^{-1}}{\text{Área de referencia } 1692\text{ cm}^{-1}} \quad (2)$$

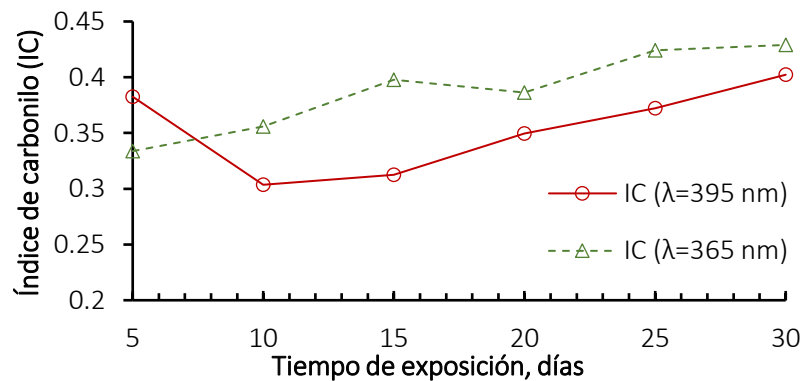


Fig 11. Índice de carbonilo con respecto al tiempo de exposición de las películas de colofonia con radiación UV-A a 395 y 365 nm.

Cuando el IC alcanza un punto crítico el polímero empieza a perder su flexibilidad y se fragmenta con un mínimo esfuerzo [20]. Como se observa en este caso de cuantificación, el índice de carbonilo (IC) presenta un comportamiento ascendente, pero no en todos los casos, debido a que el área no equivale exactamente al valor real de la concentración de los grupos carbonilos dado a que la línea base afecta el área de las bandas [21]. El crecimiento de la banda de carbonilo fue evaluado a partir del quinto día. La tendencia de la gráfica representa la proporcionalidad directa entre el tiempo de exposición y el aumento del grupo carbonilo el cual resulta ser un indicativo del envejecimiento del material.

6.4 Análisis por ángulo de contacto

Un ángulo menor a 90° es indicativo de que el líquido tiene la capacidad de humectar al sólido, al ser el ángulo mayor, el líquido no humecta al sólido y en casos muy raros, cuando el ángulo es igual a 0° el líquido se expande y humecta totalmente a el sólido, a esto se le llama mojado perfecto [22].

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1, en ella se observa como el valor del ángulo de contacto de las películas presentan una disminución en el ángulo de contacto al aumentar el tiempo de exposición con la luz UV-A en las películas de colofonia, lo que indica que el carácter de las películas es ligeramente más hidrofílico que la colofonia en estado puro.

Días	θ (°)			
	$\lambda=365 \text{ nm}$		$\lambda=395 \text{ nm}$	
	$\xi= 1 \text{ mm}$	$\xi= 0.5 \text{ mm}$	$\xi= 1 \text{ mm}$	$\xi= 0.5 \text{ mm}$
0	57.72°	58.66°	57.75°	58.66°
5	42.03°	48.66°	55.17°	55.83°
10	42.85°	45.14°	54.50°	53.26°
15	45.98°	47.57°	53.85°	49.02°
20	35.25°	43.02°	52.03°	45.29°
25	38.12°	44.00°	51.87°	47.36°
30	37.48°	33.06°	46.19°	46.30°

Tabla 1. Medidas del ángulo de contacto en las películas de colofonia a diferentes longitudes de onda.

En la Fig. 12 y 13 se observan los cambios del ángulo de contacto de las películas expuestas a radiación UV-A obtenidos por el método de la gota sésil.

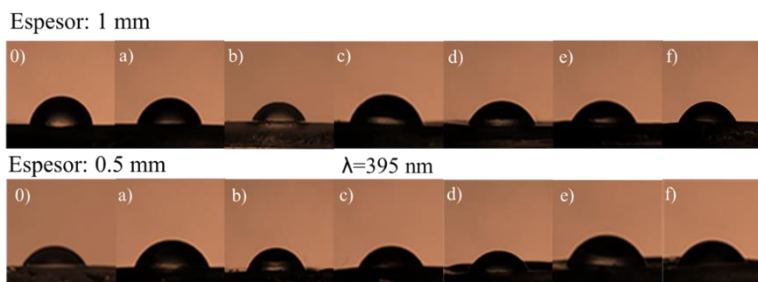


Fig 12. Ángulo de contacto de películas de colofonia de espesor de 1.0 y 0.5 mm, a tiempos de exposición con radiación UV-A de $\lambda=395 \text{ nm}$, a diferentes días: 0) Blanco, a) 5, b) 10, c) 15, d) 20, e) 25 y f) 30.

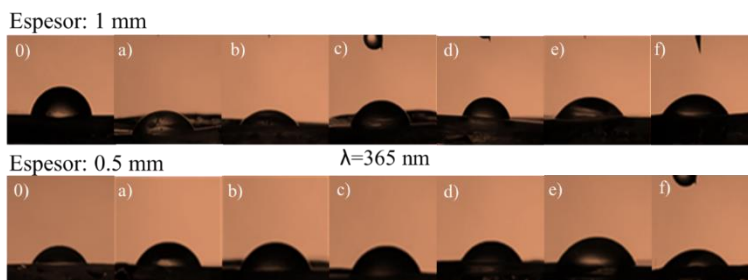


Fig 13. Ángulo de contacto de películas de colofonia de espesor de 1.0 y 0.5 mm, a tiempos de exposición con radiación UV-A de $\lambda=365 \text{ nm}$, a diferentes días: 0) Blanco, a) 5, b) 10, c) 15, d) 20, e) 25 y f) 30.



En la Fig. 14 se presenta la gráfica de “Tiempo de exposición (Días) vs Ángulo de contacto”, esto con la finalidad de facilitar la observación, comparación y comprensión del comportamiento del ángulo de contacto mediante el método de la gota sésil.

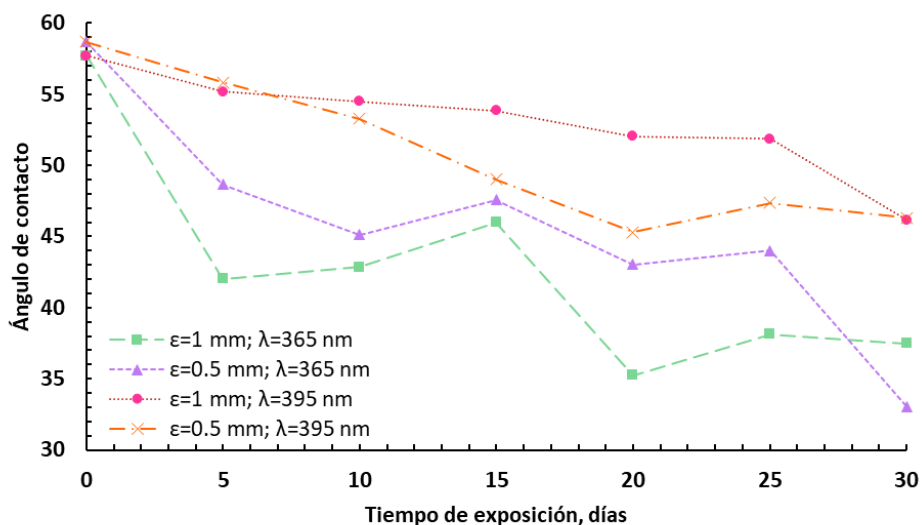


Fig 14. Gráfica comparativa de los ángulos de contacto a diferentes tiempos de exposición UV-A.

Un aumento a la exposición UV-A de las películas produce una disminución progresiva en el ángulo de contacto a una longitud de onda más corta ($\lambda=365$ nm) genera una superficie más hidrofílica (reduce el ángulo), lo que probablemente se debe a la presencia de grupos hidroxilos OH (oxidación de la superficie) sobre éstas. Adicionalmente, es más intensa la degradación y formación de grupos polares superficiales en muestras con mayor espesor con fuentes de irradiación de mayor energía ($\lambda=365$ nm). En este sentido, las fuentes de radiación de menor energía ($\lambda=395$ nm) tienen una mayor tendencia a generar una degradación e hidrofobicidad en muestras de menor espesor.

7. Conclusiones

La radiación UV-A en el rango de 320-400 nm, interacciona con los dobles enlaces carbono-carbono de la molécula, percibiéndose con más intensidad cambios superficiales y estructurales al incrementar el tiempo de exposición de las muestras. Los resultados obtenidos reconocieron que la radiación UV-A altera las propiedades físicas y químicas de la colofonia, una reducción en el peso atribuida a la escisión de las cadenas, un cambio de coloración, una disminución en el ángulo de contacto y un aumento en las señales del grupo carbonilo en función de los tiempos de exposición a la radiación respaldaron las alteraciones producidas por la radiación UV-A siendo un factor desencadenante del proceso de degradación, que modifica químicamente los dobles enlaces carbono-carbono y el grupo carboxilo.

Por la acción de la radiación UV-A la degradación fue atribuida a una reacción de foto-oxidación, donde los grupos carbonilo analizados por FTIR presentaron una banda de absorción mayor. Adicionalmente, el índice de carbonilo (IC) aumentó durante el proceso de foto-oxidación, mediante este parámetro se pudo constatar la degradación de las películas de colofonia. Las películas de colofonia incrementaron las señales del grupo carbonilo a los 15 días para 365 nm y a los 30 días para 395 nm, además de la formación de grupos hidroperóxidos.



El ángulo de contacto de cada una de las películas fue menor (la superficie más hidrofílica) en función del tiempo. Este comportamiento fue mayor en las muestras de mayor espesor. Sin embargo, la hidrofílicidad se puede notar más fácilmente en las superficies de menor espesor.

8. Agradecimientos

ORH agradece a la Facultad de Ingeniería Química y a la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por todas las facilidades brindadas para el desarrollo de este estudio.

9. Referencias

- [1] Ortega M. M, Garrido S. Suárez M. A., Pedro Camacho y Samuel Martínez. “*Guía básica de trabajos de resinación en pinares. España: ministro de agricultura, alimentación y medio ambiente*”, Dpto. Técnico de la Asociación de Forestales de España (PROFOR)., Madrid, España, 2013.
- [2] Stacey, R. J., Cartwright, C. R., & McEwan, C., “*Chemical characterization of ancient mesoamerican ‘copal’ resins: preliminary results*”, *Archaeometry*, 48(2), 323-340, USA, 2006.
- [3] De Gracia M, M., “*Estratificación de colofonia con glicerina: estudio cinético y fenomenológico*”, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2009.
- [4] Landry, V., & Blanchet, P., “*Weathering resistance of opaque PVDF-acrylic coatings applied on wood substrates. Progress in Organic Coatings*”, *Journal of Composite Materials*, 75, 2012, p. 494–501.
- [5] Gilchrest-B. A & Tang A., “*Regulation of keratinocyte growth factor gene expression in human skin fibroblasts*”, *Journal of Dermatol Sci*, 11, 1, 1996, p.41-50.
- [6] Singh, B. and Sharma, N., “*Mechanistic Implications of Plastic Degradation Polymer Degradation and Stability*”, *Materials Sciences and Applications*, 8, 1, p. 561-584, 2008.
- [7] Martínez Olvera, R. C., “*Determinación de condiciones experimentales en la fase de purificación de oleoresina de pino para la producción de brea con calidad comercial*”, FITECMA, Morelia, Michoacán, 2017.
- [8] Zinkel, D. Russell, J., “*Naval Stores. Production, Chemistry and Utilization*”, New York, USA, 1989.
- [9] Kugler, S., Ossowicz, P., Malarczyk-Matusiak, K., Wierzbicka, E., “*Advances in Rosin-Based Chemicals: The Latest Recipes, Applications and Future Trends*”, *Molecules*, 24, p.1651, 2019.
- [10] Peñaranda Castillo, M. P., “*Estudio experimental del proceso de producción de resina maleica a partir de colofonia*”, Universidad de los Andes, Cundinamarca, Colombia 2003.
- [11] Soltes, E. J., Zinkel, D. F., “*Chemistry of Rosin*”, *Naval Stores*, p. 262-331, 1989.
- [12] Springer, G.S., “*Environmental Effects on Composite Materials*”, Vol. 1–3, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA, 1984.
- [13] Callister, D. W., *Materials Science and Engineering. An Introduction*, John Wiley and Sons, USA, 2003.
- [14] Blaga, A. and Yamasaki, R.S., *Journal of Materials Science*, 8, p.654–666, 1973.
- [15] Chin, J.W., Nguyen, T. and Aouadi, K., *Journal of Composites Technology and Research*, 19, p.205–213, 1997.
- [16] Iguardia Arrivillaga, C. H. *Síntesis y caracterización de bioplásticos a partir de almidón de banana verde (Musa sapientum variedad Cavendish)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, San Carlos, Guatemala, 2013.
- [17] Ranby, B. and Rabek, J.F., “*Photodegradation, Photo-Oxidation and Photostabilization of Polymers*”, John Wiley and Sons, London, 1975.
- [18] Paladines Romero, A. G., “*Evaluación de la incorporación de plásticos aditivados con prodegradantes en el reciclaje de polietileno*”, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador, 2016.



- [19] Rabek, J. F., *“Polymer Degradation Mechanisms and experimental methods”*, Springer, 12,5, p.45, 1994.
- [20] Ángeles López Y. G., y Gutiérrez Mayen, A. M., *“Efecto de la oxidación de películas plásticas en su funcionalidad”*, Integración en Ingeniería Química. Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, CDMX, México, 2014.
- [21] Hepburn, D.M., Kemp, I.J. and Cooper, J.M., *“Polymer Degradation and Stability”*, 70: p. 245–251,2000.
- [22] Muñoz Jiménez, L., *“Estudio del Efecto de la Incorporación Superficial de Nanopartículas de Plata Sobre las Propiedades Físicas y Antimicrobianas de Películas Multicapa y Oxo-Degradables”*, Centro de Investigación en Química Aplicada, Coahuila, México, 2016.