

Extracción de aceites esenciales de Ricinus communis y su aplicación como coadyuvante en la liberación de fármacos en polímeros base poliuretano conteniendo aminoácidos

Extraction of Essential Oils from *Ricinus communis* and Their Application as Adjuvants in Drug Release from Polyurethane-Based Polymers Containing Amino Acids

Edgar Eugenio Soc González¹, Karla Alejandra Rivera Barrera², Humberto Cruz Ramírez² y Antonio Martínez Richa²

- ¹Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala: Guatemala: Email: edgar.gonzalez4131@gmai.com
- ²Departamento de Química, Universidad de Guanajuato, Noria Alta s/n, Guanajuato, Gto. 36050. México: Emails: fionita@ugto.mx, richa@ugto.mx

Resumen

Se llevó a cabo la síntesis de polímeros base poliuretano conteniendo aminoácidos mediante la reacción entre PCL-diol y diisocianato de hexametileno incorporando seis aminoácidos diferentes, para evaluar su efecto sobre las propiedades, térmicas, mecánicas y de liberación de fármacos de los poliutretanos, siendo ciprofloxacina como fármaco elegido. Los estudios de liberación se llevaron a cabo a pH 5 y pH 12. Los poliuretanos y sus derivados se caracterizaron mediante espectroscopía FT-IR y calorimetría diferencial de barrido, además de pruebas específicas de las matrices para liberación de fármacos. Finalmente se evidenció que los polímeros sintetizados permitieron la liberación de ciprofloxacina en diversos perfiles, lo cual se asocia a su estructura y propiedades inherentes de cada aminoácido. Asimismo, se realizaron pruebas para extracción por método Soxhlet del aceite esencial de muestras de *Ricinus communis*, obteniendo buenos rendimientos del aceite extraído. El extracto se caracterizó y se espera probar a futuro su eficacia como como coadyuvante en la liberación de fármacos.

Palabras clave: Poliuretanos, aminoácido, aceite esencial, liberación de fármacos

Introducción

Los polímeros son macromoléculas formadas por la repetición sucesiva de unidades estructurales denominadas monómeros, enlazadas entre sí mediante enlaces covalentes. Los monómeros que utilizas para la cadena polimérica pueden ser de varios tipos y, para su correcta incorporación a la cadena polimérica, deben poseer al menos dos sitios de enlace que determinarán tanto su funcionalidad como la estructura del polímero resultante. Si bien existen polímeros inorgánicos, como aquellos basados en átomos de silicio, fósforo, boro, azufre, oxígeno, nitrógeno, entre otros. el presente estudio se enfocará en los polímeros orgánicos, caracterizados por un esqueleto estructural constituido principalmente por átomos de carbono (Martínez, 1983). Los polímeros pueden clasificarse en dos grandes grupos según su mecanismo de síntesis: polímeros de adición y polímeros de condensación. Los polímeros de condensación involucran a las familias de los poliésteres, poliamidas, policarbonatos, polietilentereftalato, resinas fenólicas y los poliuretanos (PUs) (Beltrán y Marcilla, 2011), siendo estos últimos el objeto principal de este trabajo.

Los PUs se obtienen mediante la reacción entre un poliol y un diisocianato, lo que les confiere propiedades químicas y físicas dependiendo de sus monómeros a utilizar, ya sea un poliol lineal o ramificado y un diisocianato alifático o aromático, convirtiéndolos en materiales muy versátiles de interés científico e industrial (Akindoyo et al, 2016). Cuentan con un amplio uso en la industria como recubrimientos, espumas y adhesivos, y recientemente en el campo de la biomedicina se ha investigado su aplicación en sistemas como matrices de liberación de fármacos. Estudios han demostrado que el desempeño de los PUs en liberación de fármacos a un pH determinado son eficaces en condiciones específicas, lo cual representa una estrategia prometedora en el diseño de materiales con aplicaciones biomédicas (Gulmez et al., 2021).

En el grupo de investigación en polímeros del Dr. Martínez Richa, se ha desarrollado la síntesis de PCL diol a partir de dietilenglicol y ε–caprolactona mediante biocatálisis, con el objetivo de obtener este monómero



VOLUMEN 37 XXX Verano De la Ciencia ISSN 2395-9797

www. jovenesenlaciencia.ugto.mx

como precursor en la producción de PUs. Este enfoque biotecnológico promueve una química más sostenible, al ofrecer una vía más eficiente y ambientalmente amigable en comparación con los métodos tradicionales. Además, la biocatálisis ha demostrado ser una herramienta versátil en diversas industrias, incluyendo la farmacéutica, alimentaria y energética, debido a su alta especificidad, selectividad y bajo impacto ambiental (Arroyo, Acebal y Mata, 2014). Así mismo la implementación de un material renovable como es el uso del aceite esencial de *Ricinus communis L*. (Higuerilla) representa una ventaja sostenible y selectiva para la obtención de polímeros.

El estudio de la higuerilla resulta de particular interés debido a que posee un rápido crecimiento y a sus propiedades fisicoquímicas favorables, continúa siendo una especie poco explorada. En años recientes, el aceite extraído de sus semillas ha mostrado un amplio potencial de aplicación en diversas áreas, destacando especialmente en la síntesis de polímeros, como PUs, poliésteres, poliamidas y polímeros epóxicos. Su incorporación ha demostrado mejorar significativamente las propiedades físicas, térmicas y mecánicas de estos materiales, lo que amplía sus posibilidades de uso en sectores como la industria y la biomedicina (Chatterjee y Chakraborty, 2020).

La higuerilla es una planta que abunda en diferentes países tales como India, Estados Unidos, Brasil, Nigeria, China, África y México. En México se encuentra principalmente en estados como Jalisco, Chiapas, Guanajuato, Veracruz, Oaxaca y Michoacan (Salimon et. Al, 2010). Una de las grandes características de la planta es la cantidad de aceite esencial que se puede extraer de las semillas de higuerilla (alrededor del 38.74%), su alto porcentaje de germinación de semillas, su utilidad debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antihelmínticas, insecticidas, diuréticas y antiinflamatorias (Nemudzivhadi y Masoko, 2014). El aceite esencial extraído de la higuerilla cuenta con un gran porcentaje ácido ricinoléico, con altos contenidos de grupos acetilo e hidroxilo, con un alto índice de yodo, índice de saponificación, viscosidad característica y gravedad específica, comparable con otros tipos de aceites (Ogunniyi, 2006).

El método de extracción sólido-líquido mediante Soxhlet se emplea en la obtención de aceites esenciales de diferentes plantas, incluyendo las semillas de higuerilla. El proceso se fundamenta en la exposición continua de la muestra sólida a disolventes orgánicos (como etanol y cloroformo), seleccionados por su alta afinidad y solubilidad hacia los compuestos lipofílicos presentes en la matriz vegetal. A través de ciclos repetidos de reflujo y sifoneo, facilitados por el calentamiento y la agitación constante, se logra la transferencia del aceite desde el sólido al disolvente. La extracción se realiza en tiempos que varían de 2 a 8 horas. Tras concluir la extracción sólido-líquido se procede a filtrar, y el disolvente es eliminado al vacío en un rotavapor. El material se seca y el extracto se pesa para calcular el rendimiento.

Sección experimental

Extracción de aceite esencial Ricinus communis

Se recolectaron semillas de *Ricinus communis* en las áreas aledañas de la Universidad de Guanajuato, campus Noria Alta. Los criterios para la recolección fueron: semillas completamente secas y plantas maduras. Posterior a ello se le extrajo la cáscara a cada una de las semillas hasta obtener aproximadamente 1 kg de las mismas, se secaron por 24 horas, para el experimento de extracción no. 1 (EGA01) las semillas se procesaron sin triturar, para el resto de las extracciones las semillas se trituraron para maximizar el área de extracción. Se extrajo el aceite esencial por medio del uso del Soxhlet de 250mL, el cual se puso en reflujo por un máximo de 8 horas con el disolvente en constante agitación. Se hicieron pruebas de extracción con etanol (extracciones EGA01 a EGA04) y con cloroformo (EGA05). Para obtener el aceite se elimina el disolvente y se seca el material por 24 horas a 60 grados. Se calculó la densidad correspondiente, se obtuvo el porcentaje de rendimiento de extracción en base al peso del aceite extraído con respecto al peso de la materia vegetal utilizada.



VOLUMEN 37 XXX Verano De la Ciencia ISSN 2395-9797

www.jovenesenlaciencia.ugto.mx







Figura 2. Soxhlet de 250mL utilizado para extracción..



Figura 3. Semillas utilizadas para extracción.

- Recuperación de solventes de extracción

Luego de la obtención de extractos del aceite esencial, se recuperaron los disolventes utilizados por destilación simple. El disolvente se recuperó en un vaso de precipitados. Las muestras de aceite colectado se numeran de acuerdo a la siguiente nomenclatura: EGET01 corresponde a la muestra extraída con etanol recuperado en la extracción no.1 (EGA01), así sucesivamente hasta la extracción no.4 (EGET04). Para la quinta extracción EGCL05 se utilizó cloroformo. A partir del volumen y peso del extracto se calculó el porcentaje de rendimiento de la extracción.



Figura 4. Destilación simple de disolvente

- Caracterización de solventes recuperados y aceite esencial de Ricinus communis:

Las muestras tomadas anteriormente se analizaron por medio de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR), obteniendo los espectros correspondientes, en donde se tomaron en cuenta las señales características para los grupos funcionales de las moléculas para concluir en la presencia del compuesto analizado y los posibles contaminantes.



Figura 5. Extractos de aceite esencial y solventes.



Figura 6. FT-IR con caracterización de aceite y solventes.



- Obtención de poliuretanos conteniendo aminoácidos

La obtención de los poliuretanos se llevó a cabo en 2 pasos: primero se partió de cantidades estequiométricas de PCL-diol y diisocianato de hexametileno (HDI), empleando 1,2-dicloroetano como disolvente y octoato de estaño como catalizador. La reacción se lleva a cabo en 2 horas. Para el segundo paso se añadió trietilamina y el aminoácido correspondiente, por 4 horas. En ambos procesos se mantuvo una temperatura de 80°C y agitación constante. Terminada la reacción y aún estando a temperaturas cercanas a la indicada, se vertió en placas de teflón y se dejó evaporar el solvente por 12 a 16 horas. En general se obtienen películas flexibles, traslúcidas, blanquecinas. Se obtuvieron muestras de PUs con arginina, histidina, glicina, cisteína, ornitina y lisina.



Figura 7. Realización de películas Pus.



Figura 8. Películas secas de Pus.

- Caracterización por FT-IR

Al obtener las películas de PUs con aminoácidos contenidos, completamente secas, se caracterizaron mediante espectroscopía infrarroja (FT-IR). Se empleó un espectrómetro Perkin-Elmer Two en el rango de 4000-650 cm⁻¹, mediante la técnica de ATR.



Figura 9. Equipo de espectroscopía infrarroja.

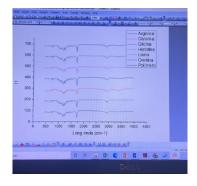


Figura 10. Espectros FT-IR obtenidos.

- Pruebas mecánicas

Las propiedades mecánicas de los PUs obtenidos para cada aminoácido se midieron a partir de muestras de 1 cm de ancho. A cada una de ellas se les midió el espesor en mm con el Equipo Mitutoyo Absolute, se enumeraron los espesores y se realizaron pruebas mecánicas con el equipo Shimadzu, en donde se midió el desplazamiento (mm) contra la fuerza aplicada (N), se recolectaron los datos y se graficaron, dando como resultado un desplazamiento característico para cada uno de los aminoácidos estudiados. El final de la prueba se obtenía cuando la tira de PUs se degradaba y sufría ruptura.



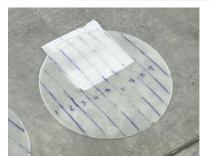


Figura 11. Películas de poliuretanos PUs



Figura 13. Equipo para mediciones mecánicas Shimadzu.



Figura 12. Equipo Mitutoyo Absolute.



Figura 14. Resultado de pruebas mecánicas en PUs conteniendo aminoácidos.

- Análisis por calorimetría diferencial de barrido

Los termogramas se obtuvieron en un equipo Mettler Toledo DSC3 usando velocidades de calentamiento y enfriamiento de 10 $^{\circ}$ C/min.

- Liberación de ciprofloxacina en poliuretanos conteniendo aminoácidos a diferentes pH

Se prepararon muestras de PUs con aminoácidos conteniendo 1.0% en peso de ciprofloxacina. Los análisis de liberación se llevaron a cabo en una celda de cuarzo a pH básico (pH12) y en una solución ácida a pH 5. Se midió la liberación del fármaco a 270nm por 24 horas, tomando mediciones cada 30 segundos, para al final graficar la liberación de los mismos y obtener la gráfica de liberación del fármaco en Y versus el tiempo en X.



Figura 15. Proceso de pesado de ciprofloxacina.



Figura 16. Proceso de síntesis de PUs conteniendo ciprofloxacina.



Figura 17. Presentación de Ciprofloxacina con HCl.



Resultados y discusión

Extracción de aceite de la planta Ricinus communis

En la figura 18 se presentan los espectros FT-IR correspondientes al aceite esencial de *Ricinus communis* para las cinco extracciones realizadas. En todos los espectros se observa una banda prominente alrededor de 1700 cm⁻¹, atribuida al grupo carboxilo (C=O), característico del ácido ricinoleico, principal componente del aceite de higuerilla. Asimismo, se identifican señales en 2800 cm⁻¹ y 2900 cm⁻¹, asociadas a las vibraciones de los grupos metilo (–CH₃) y metileno (–CH₂–), respectivamente. La banda en 1100 cm⁻¹ se relaciona con las vibraciones de la cadena alifática de 18 carbonos y también puede asociarse a la presencia de un grupo hidroxilo (–OH) secundario unido al carbono adyacente al grupo carboxílico. En el espectro correspondiente a la muestra EGA05 se observa una señal intensa en 750 cm⁻¹, debida al enlace C-Cl de cloroformo residual. Se ha sugerido que la presencia de cloroformo residual podría favorecer la oxidación del aceite esencial y alterar su apariencia, generando una coloración más oscura (Sierra, 2024).

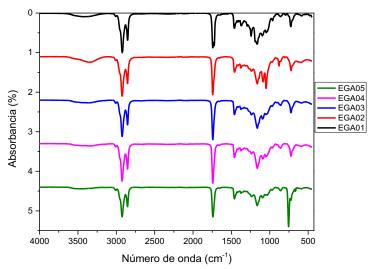


Figura 18. Espectro FT-IR del aceite esencial de Ricinus communis, obtenido por extracción con etanol y cloroformo (EGA01 a EGA05).

En la Tabla 1 se presentan los porcentajes de rendimiento obtenidos en cinco extracciones sucesivas del aceite esencial de *Ricinus communis*.

Las primeras cuatro extracciones se realizaron utilizando etanol como disolvente, mientras que en la quinta se utilizó cloroformo. Los rendimientos obtenidos varían entre 3.90% y 44.39%. El valor más bajo (3.90%) se atribuye, principalmente al hecho de que, en esa extracción, las semillas no fueron molidas, lo cual limita la superficie de contacto y, por tanto, la eficiencia del proceso de extracción, en todas las extracciones también hubo un problema del equipo debido a una leve fuga en el sistema de sifoneo del equipo Soxhlet. En contraste, los rendimientos más altos pueden explicarse por factores como la naturaleza del solvente, sus propiedades fisicoquímicas, y las características genéticas y ambientales propias del material vegetal utilizado. Los resultados obtenidos son consistentes con los valores reportados en la literatura. Así se observa que los valores son comparables con los reportados por Villegas (2019), quién reportó un rendimiento de 50.95% en la extracción de aceite de Ricinus communis utilizando isopropanol como disolvente. Asimismo, los rendimientos aquí obtenidos se consideran favorables, dado que la mayoría de las especies vegetales presentan contenidos de aceite esencial entre 0.01% y 10.00% (SENA, 2012). Estos resultados respaldan el potencial del aceite de higuerilla para futuras aplicaciones industriales y científicas, como las exploradas en el presente estudio.



Tabla 1. Extracción de aceite esencial de Ricinus communis por medio de Soxhlet.

Extracción	Gramos (g) de semillas utilizadas	No. sifoneos realizados	Tratamiento utilizado	Aceite extraído (g)	%PR*
EGA01	35.56	0	Ninguno	1.39	3.90
EGA02	39.80	1	Semillas trituradas	10.46	26.27
EGA03	7.80	2	Semillas trituradas	3.46	44.39
EGA04	42.02	3	Semillas trituradas	12.84	30.55
EGA05	35.03	7	Semillas trituradas	11.88	33.80

^{*}Porcentaje de rendimiento

Determinación de la densidad de los aceites extraídos

En la tabla 2 se reportan los valores de densidad obtenidas para la extracción de las distintas repeticiones de los aceites; en el caso de la extracción 1, el aceite extraído fue mínimo, por lo cual no fue posible el cálculo de esta. Al comparar los resultados de la densidad de los aceites 2 al 5, existe cierta dispersión en los mismos, siendo el caso de EGA03 el que presenta el valor más pequeño.

Tabla 2. Densidades experimentales de aceite esencial de Ricinus communis extraído.

Extracción	Solvente	Densidad	mL extraídos
EGA01	Etanol	N/D*	<1.00
EGA02	Etanol	0.92	3.00
EGA03	Etanol	0.80	4.00
EGA04	Etanol	0.92	14.00
EGA05	Cloroformo	0.99	12.00

Espectros de Infrarrojo de PUs

En la Figura 19 se observan los espectros IR de los PUs sintetizados, los cuales no muestran cambios importantes debido a la adición de los aminoácidos. En 1750 cm-1 se observa señal la señal característica del estiramiento del carbonilo del éster. Otra señal para el grupo carboxilo se observa para el enlace C-O entre 1400 y 1300 cm-1, y en 1300 y 1200 cm-1 hay una banda ancha, característica de torsión / estiramiento del mismo. Por último, se observa una señal de mayor intensidad en el rango de 1300 y 1050 cm-1, debidas al grupo alquilo.



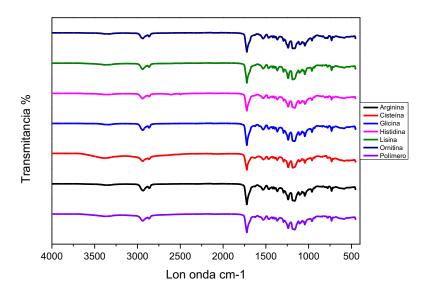


Figura 19. FT-IR de PUs con aminoácidos añadidos.

Propiedades mecánicas de los PUs conteniendo aminoácidos

En la Figura 20 se observan las curvas de esfuerzo-deformación para los diferentes poliuretanos sintetizados con aminoácidos. El poliuretano sin aminoácidos presenta las propiedades esperadas para un termoplástico elastomérico, debido principalmente a la presencia de segmentos blandos. De las muestras analizadas, aquella que contiene arginina pudo ser elongado hasta 100 mm más que la muestra de poliuretano. Las demás muestras son para polímeros con bajas propiedades elastoméricas. Ha sido reportado que las propiedades elastoméricas de los PUs se disminuyen en presencia de aminoácidos y ciertos fármacos (Pérez et al, 2023), lo que se traduce a un comportamiento de un termoplástico convencional. La muestra de poliuretano con lisina es el que tiene un valor menor de elongación a la ruptura, seguido de las muestras con glicina, ornitina e histidina respectivamente (ver inset de la Figura 20).

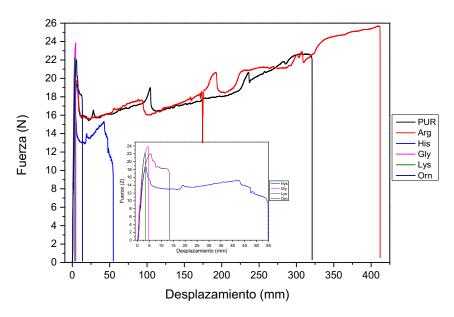


Figura 20. Curvas de tensión-elongación para los polímeros con aminoácidos.



Calorimetría diferencial de barrido

En la Figura 21 se muestran los termogramas de las muestras de PUs conteniendo aminoácidos. En la Tabla 3 se muestran los resultados cuantitativos en base a los termogramas. En la figura 21a se observa la fusión de las diversas muestras durante el primer calentamiento. Se observa que el punto de fusión T_{m1} de las muestras con aminoácido son superiores al PU sin aminoácidos, lo que indica el efecto en la fusión de la incorporación de los aminoácidos a la cadena del PU. Se espera que debido a la existencia de interacciones como puentes de hidrógeno aportan estabilidad en el polímero (Gutiérrez, 2006). Para las muestras de poliuretano conteniendo glicina y cisteína se observan picos más estrechos, lo cual es indicador de PUs con mayor cristalinidad y con menor interferencia estructural. Por otra parte, para el caso de los poliuretanos de la muestra de PU sin aminoácidos y las que contienen histidina, arginina y lisina se observan señales más anchas, lo que indica menor cristalinidad con una morfología más heterogénea (Prieto, 2007). En la figura 21b se observan las señales debidas al proceso de cristalización por enfriamiento. En la fase de enfriamiento se observa el punto de cristalización (Tc) variable debido al ordenamiento parcial que se ha formado al disminuir la temperatura, en los cuales los segmentos duros son los que principalmente aportan al ordenamiento (Katime, 2018). En el caso de cisteína, lisina y ornitina, debido a los grupos SH y cadenas laterales (respectivamente) se pudieron generar interacciones intermoleculares, por lo tanto, un impacto significativo en la Tc obtenida, es decir, una Tc a una temperatura elevada. Las muestras de PU y las que contienen glicina y arginina presentan un valor de Tc inferior a 0 °C. Con respecto a las temperaturas de fusión (T_{m2}) observadas durante el segundo calentamiento (figura c), los valores de temperatura y entalpía de fusión son muy parecidos, siendo el caso de la muestra con ornitina el de mayor valor de Tm y de entalpía de fusión.

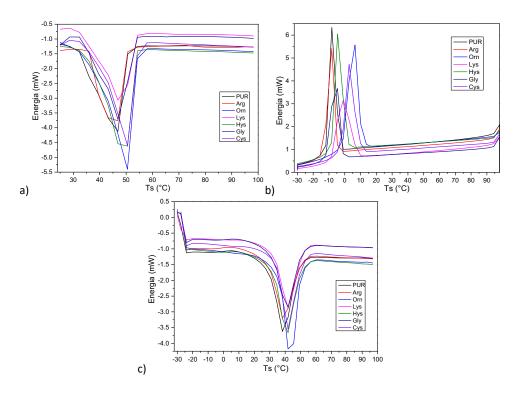


Figura 21. Termogramas de las muestras de poliuretano conteniendo aminoácidos agregados.

El porcentaje de cristalinidad (**Xi**) presentado es variable en cada uno de los casos, cada uno con propiedades diferentes acorde a la naturaleza del aminoácido agregado (Solís, 2006); sin embargo cinco de los seis los PUs con aminoácidos presentan un valor de **Xi** superior al polímero base, la cisteína, histidina y ornitina aumentaron su cristalinidad, lo que sugiere que son aminoácidos que no afectan o favorecen el ordenamiento molecular por interacciones específicas, como puentes de hidrógeno y otras fuerzas intermoleculares. Con respecto a arginina, lisina y glicina, con tamaños pequeños y con posibilidades de no inducir desorden en el polímero, pudieron no haber afectado estructuralmente en forma significativa a la cadena polimérica.



Tabla 3. Propiedades térmicas polímeros con aminoácidos.

Muestra	T _{m1}	ΔH °C	Тс	ΔH °C	T _{m2}	ΔH °C	Xi (%)
PUR	35.41	32.27	-4.19	33.68	29.70	40.37	25.03
Cys	41.34	51.93	8.67	45.34	34.80	43.90	27.22
Gly	38.46	40.13	-2.92	35.21	31.66	41.95	26.02
Hist	39.83	48.02	0.69	40.36	32.84	43.49	27.01
Lys	38.26	43.61	8.41	42.90	32.70	39.66	24.60
Orn	40.67	52.48	10.42	44.47	36.45	44.13	27.36
Arg	36.52	32.68	-5.59	33.87	29.65	41.18	25.58

Estudios de liberación controlada

En la figura 22 se muestran las gráficas de liberación de ciprofloxacina a diferentes pH para las muestras sintetizadas. En a) se observa la liberación a pH 5. Se observa que el poliuretano sin aminoácido es el que más cantidad de fármaco libera con respecto a las muestras con aminoácido. De estas muestras, el PU con ornitina fue el que muestra una liberación mayor y constante con respecto al tiempo, seguido de los PUs que contienen histidina, arginina y glicina. Una probable explicación es que a pH 5 los aminoácidos se encuentran en su forma catiónica, y el fármaco se encuentra protonado, lo cual implica que la liberación del fámaco es súbita y no gradual, tal y como se observa en la gráfica. Sin embargo, a un pH básico (imagen b) los aminoácidos y el fármaco se encuentran en forma aniónica. Se observa el siguiente orden de liberación del fármaco en pH básico: PU con glicina > cisteína > ornitina > arginina > lisina > histidina. Debido a que se tienen condiciones básicas, no existen interacciones fuertes entre aminoácido y ciprofloxacina, lo que favorece la liberación de fármaco en el medio. Cabe destacar el comportamiento de arginina, que, al tener un grupo parcialmente protonado a este pH, existe una unión con el fármaco, sin embargo, conforme pasa el tiempo (1 hora) la zona se desprotona y finalmente se libera el fármaco de manera súbita (Gutiérrez, 2006). Como se ha visto, la utilización de PUs y aceite esencial de Higuerilla han sido útiles como sistemas transportadores de fármacos, creando ambientes sinérgicos, sin mostrar citotoxicidad, con buenas propiedades de adsorción de proteínas y buenos sistemas de liberación controlada de fármacos (Gulmez et al, 2021), por ello la importancia del estudio de la liberación del fármaco en polímeros base poliuretano conteniendo aminoácidos.

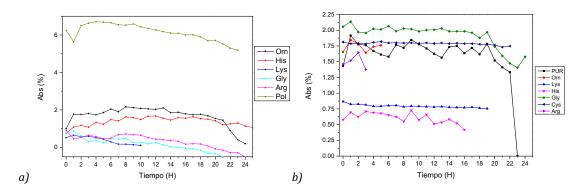


Figura 22. Curvas de liberación de ciprofloxacina en PUs conteniendo aminoácidos a diferentes valores de pH.

Conclusiones

El efecto de la incorporación de aminoácidos a la red polimérica de los PUs modificó de manera importante la morfología del poliuretano estudiado, y esto se refleja en las propiedades térmicas de los mismos. Estos cambios generan variaciones en las temperaturas de fusión $(T_{m1} \ y \ T_{m2})$ además de la temperatura de cristalización (T_{c}) y el porcentaje de cristalinidad, indicando que los grupos funcionales de los aminoácidos influyen directamente en el ordenamiento estructural del polímero.



VOLUMEN 37 XXX Verano De la Ciencia ISSN 2395-9797

www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Otros cambios se observan en las propiedades mecánicas, con la pérdida de las propiedades elastoméricas debido a la presencia de aminoácidos de la mayoría de las muestras.

Los polímeros sintetizados mostraron diferentes perfiles de liberación de ciprofloxaciona, con diferencias notorias en la cantidad de fármaco liberado en medios ácidos y básicos.

La presencia de grupos funcionales característicos, puede ser objetivo de múltiples reacciones para la síntesis de diferentes compuestos relacionados a polímeros. Se ha visto que es de utilidad en la realización de mezclas "PLA/AHDI/ARE" en diferentes proporciones, y que éste ha ayudado a mejorar las propiedades mecánicas del polímero, se observó una mejoría en la tenacidad, sus propiedades mecánicas aumentaron marcadamente su porcentaje de deformación (López, 2015). Además en ciertos estudios se ha visto que la aplicación del aceite esencial de Higuerilla en sistemas de liberación de fármacos puede ser aplicado de manera eficaz, debido a que Basar et al, 2025, aplicaron los mismos para el tratamiento del dolor e inflamación en ratas de laboratorio, dando resultados positivos, sugiriendo el uso potencial de polímeros biodegradables con la implementación de aceites esenciales de Higuerilla para la liberación de fármacos.

Se espera que en un trabajo futuro se incluya el uso del aceite esencial de *Ricinus communis* en estas muestras. En otros estudios se ha visto que el aceite de Higuerilla es adecuado para el tratamiento del dolor e inflamación en ratas de laboratorio, por lo que su adición a sistemas de liberación de fármacos puede ser considerado adecuado para tratamientos terapéuticos (Basar et al, 2025).

Bibliografía/Referencias

- Akindoyo, J. O., Beg, M. D. H., Ghazali, S., Islam, M. R., Jeyaratnam, N., & Yuvaraj, A. R. (2016). Polyurethane types, synthesis and applications a review. RSC Advances, 6(115), 114453–114482. doi:10.1039/c6ra14525f American Chemical Society. (s/f). Herman Mark and
- Arroyo, M; Acebal, C; y Mata, I. (2014). Biocatálisis y biotecnología. Arbor. 190(768):a156. DOI: https://doi.org/10.3989/arbor.2014.768n4010
- Basar, M; Imran, M; Furqan, M; Anwar, F; Saleem, A; Madni, A; Ahmad, Z; Sharif, A; Akhtar, B; Shakoor, U. y Khan, A. (2025). Olive oil and castor oil-based self-nanoemulsifying drug delivery system of flurbiprofen can relieve peripheral pain and inflammation through reduction of oxidative stress and inflammatory biomarkers: a comprehensive formulation and pharmacological insights.
- Baudrit, J; Sibaja, M; Hernández, M. y Alvarado P (2006). Síntesis y caracterización de redes elastoméricas de Poliuretano (EPU) utilizado en la elaboración de calzado. II. Utilización de modelos matemáticos. Redes elastoméricas de PU. Redes elastoméricas de PU. 7(3) recuperado de: https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/08/2006-vega.pdf
- Beltrán, M. y Marcilla, A. (2011). Estructura y propiedades de los polímeros. Tecnología de polímeros. Recuperado de: https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/9a3163bc-dd36-4f3d-9b37-cd88c8abf30d/content
- Chaterjee, I. y Chakraborty, K. (2020). Polímeros y compuestos derivados del aceite de ricino como materiales sostenibles y biomateriales degradables: estado actual y tendencias emergentes. Biomacromolecules. 21(12). DOI: 10.1021/acs.biomac.0c01291
- Gulmez, F; Yercan, A; Kacaaga, B. y Guner S. (2021). Películas de poliuretano a base de aceite de ricino / PEG sensibles a pH para la administración de fármacos.
- Katime, I. (2018). Fusión y cristalización de mezclas de polímeros. Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales. 19(2):55-68.
- Gutiérrez, C. (2006). Aminoácidos y proteínas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de: https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_bioquimica/Unidad_5.pdf
- López, K. (2015). Efecto de la incorporación de aceite de ricino epoxidado sobre las propiedades químicas, físicas y mecánicas de mezclas PLA/Almidón. [Tesis de licenciatura]. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Martínez, G. (1983). Polímeros. Ciencias 4(1):18-24. Recuperado de: https://www.revistacienciasunam.com/es/139-revistas/revista-ciencias-4/1083-pol%C3%ADmeros.html



VOLUMEN 37 XXX Verano De la Ciencia

ISSN 2395-9797

www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

- Nemudzivhadi, V y Masoko, P (2014). In vitro assessment of cytotoxicity, antioxidant and antiinflamatory activities of Ricinus communis (Euphorbiaceae) leaf extracts. Complementary and Alternative Medicine.
- Pérez, E; Palomino, J; Barrera, K. y Martínez, A. (2023). Poliuretanos: revisión bibliográfica y resultados experimentales obtenidos en la síntesis y caracterización de poli(ester-urano-urea)s. Jóvenes en la ciencia. Vol 27.
- Prieto, E. (2007). Estudio de las transiciones térmicas del almidón y el almidón termoplásticos mediante análisis térmicos (DSC y TGA). [Tesis de licenciatura]. Universidad de Los Andes.
- Sachinkumar, V. (s.f). Factors affecting IR Absorption frequency. PES Modern College of Pharmacy.

 Recuperado de: https://es.slideshare.net/slideshow/factors-affecting-ir-absorption-frequency/172001642
- Salimon, J; Azleemamohdnoor, D; Nazrizawati A; Mohdifirdaus, M. y Oraishah, A. (2010). Fatty acid composition and physicochemical properties of Malaysian castor vean *Ricinus communis* L. seed oil. Sains Malays. 39(1):761-764.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2012). Introducción a la industria de los aceites esenciales de plantas medicinales y aromáticas. SENA. Recuperado de: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales _aromaticas/pdf/ACEITES%20ESENCIALES%20EXTRAIDOS%20DE%20PLANTAS%20MEDICINA LES%20Y%20AROMATICAS.pdf
- Sierra, L (2024). Ventajas y desventajas de los métodos de extracción de aceites esenciales. Scribd. Recuperado de: https://es.scribd.com/document/513802423/VENTAJAS-Y-DESVENTAJAS-DE-LOS-METODOS-DE-EXTRACCION-DE-ACEITES-ESENCIALES
- Solís, F. (2006). Determinación de las propiedades mecánicas estáticas y dinámicas de polipropileno y polietilen terftalato en función del tamaño de crista y estudio de la cristalización secundaria. [Tesis de maestría]. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- The Open University (TOU), (2025). Análisis de etanol mediante espectroscopia IR. TOU. Recuperado de: https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=83459§ion=2.2.1
- Villegas, J. (2019). Extracción de aceite de Higuerilla (Ricinus Communis) con cuatro alcoholes disolventes a novel de laboratorio, Jaen Cajamarca. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Jaén.