



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

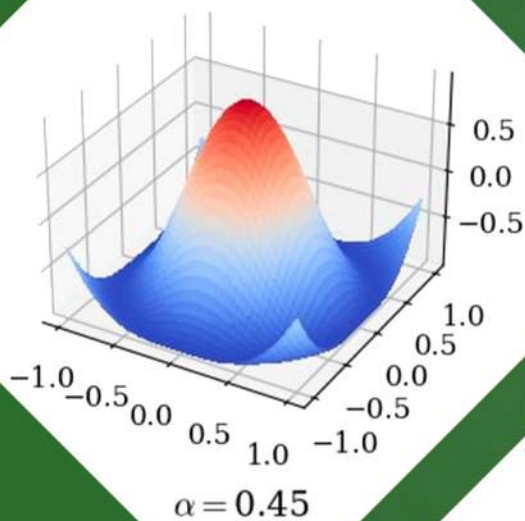
JOBS

Journal of Basic Sciences

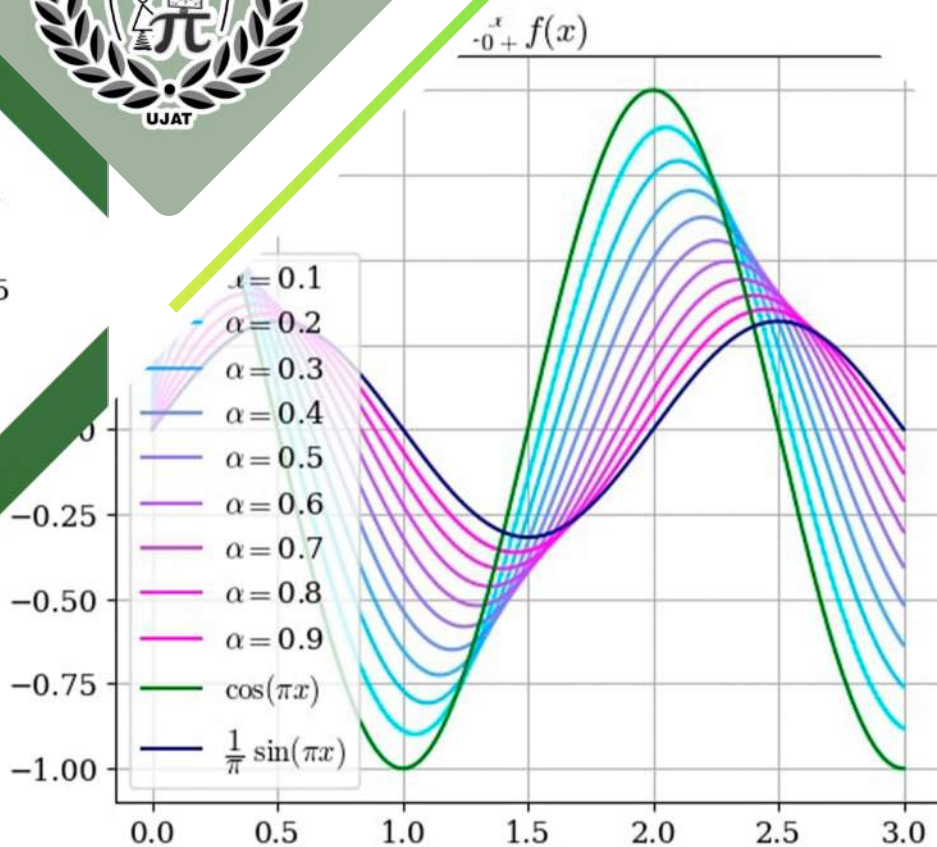
DACB • UJAT



$f(x, y) (\alpha = c)$



$-0^x + f(x)$



Con el número 30 del Journal of Basic Sciences, se inicia el volumen 11 de esta revista correspondiente al año 2025. El carácter multidisciplinario de esta revista, permite enriquecer su contenido con perspectivas variadas que abordan diversas problemáticas en el área de las ciencias básicas y disciplinas afines.

De esta forma, se presenta una contribución que desarrolló generalizaciones en cálculo multivariable para llegar a nuevas diferenciales totales fraccionarias, las cuales juegan un papel importante en la modelación de gran número de fenómenos. Por otro lado, se incluye también una aportación que trata sobre el desarrollo de un método para resolver la ecuación de transporte conservativa en dominios específicos, incluyendo su validación y prueba para demostrar sus capacidades.

Se incluye además, un reporte encaminado a mejorar la calidad de imágenes, mediante técnicas de discretización numérica presentando una evaluación cualitativa y cuantitativa de los resultados obtenidos. En otro orden de ideas, se centra la atención hacia el estudio de sistemas aleatorios y la complejidad en su modelación, mostrando un estudio inferencial para un proceso de Poisson mixto, que lleva a la obtención de expresiones para densidad predictiva.

Es innegable que el aprendizaje de las matemáticas representa un reto actual que no debe soslayarse. En este sentido, se incluye un estudio que muestra la relación entre el desarrollo de la memoria de trabajo y el aprendizaje de identidades trigonométricas por parte de jóvenes del nivel medio superior, mostrando los subcomponentes necesarios en el razonamiento para el aprendizaje de este tema. En otra contribución relativa a la matemática educativa, se presenta una propuesta para atender el aprendizaje de los polígonos por estudiantes de bachillerato, mediante una serie de actividades diseñadas ex profeso que permiten una mejora en la comprensión de la temática.

En un contexto diferente, está el estudio dirigido a evaluar la actividad antibacteriana de extractos de plantas del género *Cecropia*, de uso tradicional en el sureste mexicano, correlacionando esta propiedad con el perfil fitoquímico analizado. Se presenta además, una contribución encaminada a analizar el impacto, que en los últimos años, han ocasionado derrames petroleros en el sureste mexicano, con especial énfasis en la afectación a cultivos agrícolas.

La atención de problemas de salud está dada a través de dos artículos que forman parte de este número. Por un lado, se comparó la resistencia a la insulina a través de índices específicos en momentos anteriores y durante la pandemia de COVID-19; en otro aporte, se analiza la relación entre diversos factores de riesgo asociados a la población joven y la enfermedad de Chagas. Mientras que en el área de la ciencia de los materiales, se incluye una propuesta para la obtención de derivados de poliuretano, con un método eficiente y compacto.

De esta forma el Journal of Basic Sciences acerca a sus lectores al amplio panorama del quehacer científico.

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Lic. Guillermo Narváez Osorio.
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea.
Secretario de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez.
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión,
Divulgación Científica y Tecnológica

Directorio Divisional División Académica de Ciencias Básicas

Dra. Hermicenda Pérez Vidal.
Directora

Dr. Luis Manuel Martínez González.
Coordinador de Investigación

M.C. Abel Cortazar May.
Coordinador de Docencia

L.Q. Esmeralda León Ramos.
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

CONSEJO EDITORIAL

- **Dr. Carlos Ernesto Lobato García.** Editor en Jefe. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0003-3734-7780>
- **Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.** Gestor Editorial. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-5344-1430>

COMITÉ EDITORIAL

- **Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz.** Editora Asociada. Actuaría. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0002-1791-5621>
- **Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú.** Editora Asociada. Ciencias de la Computación. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0007-7839-9014>
- **Dr. José Arnold González Garrido.** Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-1135-4050>
- **Dr. José Luis Benítez Benítez.** Editor Asociado. Física. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0009-0000-0561-5029>
- **Mtro. Guillermo Chávez Hernández.** Editor Asociado. Geofísica. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-3555-9678>
- **Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé.** Editora Asociada. Matemáticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-7342-0888>
- **Dra. Nancy Romero Ceronio.** Editora Asociada. Química. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-8169-3811>

JOURNAL OF BASIC SCIENCES, Vol. 11, Núm. 30, abril de 2025, es una publicación continua cuatrimestral, editada por la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040. <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs>. Editor Responsable de la Revista: Carlos Ernesto Lobato García. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-052110084000-203, ISSN: 2448-4997, ambos otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de enero de 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación y de esta Casa Editora.

Las publicaciones respaldadas con el sello editorial de la UJAT no podrán utilizarse para entrenar modelos de IA generativa, a menos de que haya una declaración expresa, tanto de la Universidad como de los autores y/o herederos.

CONTENIDO

	Pag.
On Riemann-Liouville Operators for Functions of One and Several Variables	1-15
An unstructured finite-volume method for the two-dimensional conservative transport equation	16-31
Impacto de la discretización numérica del modelo de variación total de eliminación de ruido	32-44
Inferencia bayesiana sobre el parámetro de intensidad de un proceso de Poisson mixto-gamma	45-59
Memoria de trabajo y desempeño en demostración de identidades trigonométricas: Un modelo de ecuaciones estructurales	60-68
La visualización en la construcción de polígonos regulares por estudiantes de educación Media Superior	69-83
Perfil químico del extracto hidroalcohólico de <i>Cecropia</i> spp y su actividad antimicrobiana	84-92
Afectaciones en cultivos de Veracruz y Tabasco por derrame de petróleo en los últimos seis años	93-105

Evaluación de la resistencia a la insulina mediante el índice TyG: comparación prepandemia y pandemia de COVID-19	106-114
Relationship between risk factors and prevalence of Chagas disease in young people in Tabasco, Mexico	115-125
Metodología eficiente y compacta para la síntesis de Poliuretanos y Poliuretano-ureas Segmentados	126-135

Metodología eficiente y compacta para la síntesis de Poliuretanos y Poliuretano-Ureas Segmentados

López-Aguilar C.D.¹, Sánchez-Lombardo I., Paulin-Fuentes J.M.¹, López-González R.², Saavedra-Díaz R.O.^{1*}, Hernández-Córdova R.^{1}** 

¹Laboratorio de Ciencias Biomédicas y Química-Física, División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, CP. 86690 Cunduacán, Tabasco, México.

²Laboratorio de Nanotecnología, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, CP. 86690 Cunduacán, Tabasco, México.

*rafael.saavedra@ujat.mx, **roberto.hernandezc@ujat.mx

Resumen

Los poliuretano-ureas segmentados (PUU) son polímeros termoplásticos empleados en ingeniería de tejidos, debido a su biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades mecánicas ajustables. La síntesis de PUU se realiza mediante el método de prepolímero. En este trabajo, se desarrolló una metodología eficiente y compacta para la síntesis de PUU, utilizando PCL-diol, HMDI y BDA, optimizando tiempos mediante un secado rápido y condiciones controladas de síntesis. Los resultados mostraron un material flexible, homogéneo y semicristalino. El análisis por FTIR confirmó la estructura del PUU, destacando las bandas características de los grupos uretano y urea. Por su parte el análisis térmico (TGA) evidenció una alta estabilidad térmica, identificando etapas de descomposición relacionadas con los segmentos rígidos y suaves. La metodología propuesta logró reducir el tiempo, obteniendo materiales con propiedades estructurales y térmicas equivalentes a las reportadas en la literatura, lo que la posiciona como alternativa eficiente para la obtención de PUU para aplicaciones biomédicas.

Palabras claves: *Análisis térmico; poliuretano-urea; termoplástico.*

Abstract

Segmented polyurethane-ureas (PUU) are thermoplastic polymers used in tissue engineering due to their biocompatibility, biodegradability, and adjustable mechanical properties. PUU synthesis is carried out using the prepolymer method. In this work, an efficient and compact methodology for PUU synthesis was developed, employing PCL-diol, HMDI, and BDA, optimizing time through rapid drying and controlled synthesis conditions. The results revealed flexible, homogeneous, and semicrystalline material. FTIR analysis confirmed the PUU structure, highlighting the characteristic bands of urethane and urea groups. Thermal analysis (TGA) demonstrated high thermal stability, identifying decomposition stages associated with rigid and soft segments. The proposed methodology significantly reduced the synthesis time, producing materials with structural and thermal properties equivalent to those reported in the literature, positioning it as an efficient alternative for PUU production in biomedical applications.

Keywords: *Thermal analysis; polyurethane-urea; thermoplastic.*

Recibido: 09 de diciembre de 2024, Aceptado: 28 de marzo de 2025, Publicado: 30 de abril de 2025

1. Introducción

La ingeniería de tejidos es un campo enfocado en restaurar, mantener o mejorar tejidos u órganos dañados mediante el uso de células, moléculas de señalización y materiales que funcionen como andamios [1]. Uno de los principales retos de esta disciplina ha sido el reemplazo parcial de tejidos perdidos por accidentes o padecimientos médicos, utilizando una combinación de células vivas y andamios para fomentar la formación de nuevo tejido [2]. En la actualidad, los materiales más utilizados están constituidos a partir de polímeros que imitan las características del órgano o tejido original. Estos materiales deben cumplir con propiedades clave, como biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades mecánicas similares a las del órgano o tejido de origen [1], [3].

Desde década de 1960, se han empleado polímeros de origen natural en aplicaciones biomédicas. Sin embargo, en la actualidad, los polímeros sintéticos son ampliamente utilizados debido a su alta viabilidad, reproducibilidad y prolongado tiempo de vida útil. Entre los más utilizados se encuentran los poliésteres alifáticos lineales, como el alcohol polivinílico (**PVA**), la poli(ϵ -caprolactona) (**PCL**) y el ácido poliláctico (**PLA**), entre otros. Estos polímeros pueden combinarse con otros compuestos para desarrollar nuevos materiales con propiedades específicas que los hacen aptos para la ingeniería de tejidos, como los poli(uretanos) segmentados (**PU**) y los poli(uretano-ureas) segmentados (**PUU**) [4].

Los PU y PUU son polímeros termoplásticos cuyas propiedades dependen de los componentes utilizados en su composición. Para obtener polímeros lineales, es indispensable utilizar monómeros difuncionales. Estos materiales se sintetizan mediante la reacción entre grupos hidroxilo (**-OH**) e isocianato (**-NCO**), mientras que las poliureas se sintetizan a partir de la reacción entre una amina primaria (**-NH₂**) e isocianato (**-NCO**). En aplicaciones biomédicas, su estructura está compuesta por una disposición lineal y alternada de segmentos rígidos (*hard segment*, **HS**) y segmentos suaves (*soft segment*, **SS**). Los HS, responsables de conferir rigidez a la estructura, están formados por isocianatos y extensores de cadena de bajo peso molecular, los cuales pueden ser dioles o diaminas en el caso de los uretanos y las ureas, respectivamente. Por otro lado, SS proporcionan flexibilidad y están compuestos por dioles de alto peso molecular [5], [6].

En general, la reacción entre un alcohol y un isocianato se ven favorecidas con temperaturas entre 80°C - 100°C, sin embargo, con el uso de un catalizador la cantidad de tiempo y energía utilizada disminuye considerablemente; los catalizadores básicos promueven la reacción al interactuar con H del alcohol, en cambio, los catalizadores ácidos se unen al isocianato para que se produzca un ataque nucleofílico, para este trabajo se ha optado por un catalizador metálico que funcione como ácidos de Lewis.[7]

La concentración del catalizador y la temperatura son aspectos que influyen en las propiedades finales del PUU, debido a la alta reactividad de los isocianatos estos pueden generar reacciones secundarias con los grupos NH de los uretanos y ureas formados produciendo grupos alofanatos y biurets, estas son reacciones promovidas por temperaturas superiores a los 110°C y el exceso de catalizador, la presencia de estas estructuras son indeseables para la mayoría de casos incluyendo esta investigación, sin embargo, al sintetizar PU con estas estructuras de manera planificada se ha visto un aumento considerable en la resistencia, elasticidad y tenacidad del material.[8], [9].

La síntesis de PUU puede realizarse mediante dos enfoques principales: el método de un paso y el método de prepolímero. El método de un paso consiste en hacer reaccionar todos los reactivos simultáneamente, lo que resulta en un proceso más rápido, aunque con menor control sobre la estructura final. Por el contrario,

el método de prepolímero implica primero la formación de cadenas cortas constituidas por la unión entre el macrodiol y el isocianato, seguido de la adición del extensor de cadena. Este último método permite un mayor control estructural, aunque incrementa el tiempo de reacción [1]. Adicionalmente, las condiciones de síntesis son determinantes para el resultado final, debido a la alta reactividad del isocianato. Este compuesto reacciona fácilmente con alcoholes y aminas, lo que resulta ideal para la formación del polímero deseado; sin embargo, también puede reaccionar con agua presente en el ambiente, generando ácido carbámico, el cual es inestable y se descompone en amina y dióxido de carbono. Por esta razón, es crucial mantener un entorno de síntesis controlado, libre de humedad y oxígeno [10].

La síntesis convencional de PU y PUU se realiza típicamente en reactores de tres bocas, requiriendo etapas preliminares de secado de reactivos que incrementan significativamente el consumo de materiales (hasta un 15 a 20 % adicional) y prolongan el proceso a aproximadamente 72 h, incluyendo la preparación inicial. Ante esta problemática, el presente estudio propone desarrollar un protocolo optimizado para la síntesis de PUU que reduzca sustancialmente el tiempo de reacción, mientras mantenga un control preciso de los parámetros de polimerización. La validación del método se realiza mediante análisis comparativo de las propiedades estructurales (FTIR) y térmicas (TGA) del polímero obtenido con respecto a los resultados reportado en la literatura, evaluando principalmente los grupos característicos y la estabilidad térmica.

2. Metodología Experimental

2.1 Materiales

Se utilizaron los siguientes reactivos, Policaprolactona-diol (**PCL-diol**, $M_n \sim 2000$), Metilenbis(ciclohexil isocianato) (**HMDI**), 1,4-diaminobutano (**BDA**), dimetilformamida anhidra (**DMF**) y octoato de estaño-II (**Sn(Oct)₂**), todos de la marca Sigma-Aldrich.

2.2 Métodos

2.2.1 Síntesis de PUU

La síntesis del PUU se llevó a cabo utilizando el método de prepolímero mostrado en la Figura 1, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

Previo al inicio de la síntesis, la PCL-diol se secó en una línea de Schlenk bajo presión reducida a 90 °C durante 30 minutos. Para la síntesis, se utilizó un matraz balón de dos bocas de 250 mL, equipado con un tapón y un adaptador conectado a atmosfera inerte de N₂ mediante la línea de Schlenk, y sumergiendo en un baño de aceite. La reacción se llevó a cabo empleando una relación molar de 1:2:1 (PCL-diol:HMDI:BDA). La PCL-diol seca se disolvió en DMF al 10 % p/v, mezclado con catalizador de estaño al 0.01 % en peso, manteniendo la mezcla a 40°C durante 30 minutos para garantizar su homogeneización. Posteriormente se añadió el HMDI por goteo, calentando la mezcla a 75 °C durante 3 horas. Luego, se dejó a temperatura ambiente por 1 hora, tras lo cual se agregó la BDA como extensor de cadena, dejando la reacción por 1 hora adicional. Finalmente, la reacción se completó calentándola a 75 °C durante una hora más. El PUU se precipitó en agua fría y se sometió a tres lavados con una solución de etanol y agua al 50%. Finalmente, se secó a 80 °C durante 12 horas.

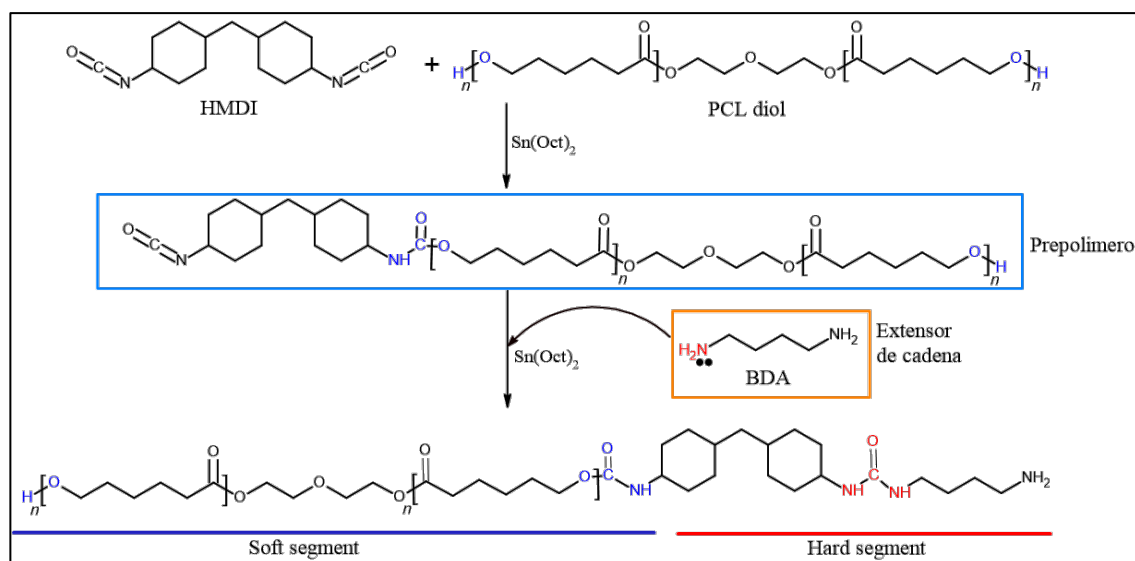


Figura 1. Mecanismo de reacción para la síntesis de PUU.

2.2.2 Obtención de película de PUU

El PUU (previamente seco) se disuelve en DMF a una concentración del 5 % a 80 °C durante 1 hora, manteniendo la solución con agitación vigorosa. Posteriormente, se trasladó a un baño ultrasónico a 70 °C por 30 minutos. La solución se vierte en un molde de silicona y se seca en horno a 60 °C durante 24 horas.

2.2.3 Caracterización FTIR

Se obtuvieron los espectros de las películas formadas, utilizando el equipo Thermo Scientific Nicolet™ iS™ 50 FTIR, mediante la técnica de Reflectancia Total Atenuada (ATR-FTIR), en un intervalo de 400 – 4000 cm^{-1} con 60 scans.

2.2.4 Caracterización TGA

La caracterización termogravimétrica se realizó en un equipo Setaram Labsys EVO 1110. Muestras de película de entre 7 y 10 mg fueron analizadas en el intervalo de temperatura de 35 a 600 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Se utilizó gas argón para mantener una atmósfera inerte.

3. Resultados y Discusión

3.1 PUU Sintetizado y Película Obtenida

En la Figura 2 A) se presenta el polímero precipitado al final de la síntesis. Se observa un material blanquecino y homogéneo con una consistencia bastante elastomérica. Se obtuvo un material alifático y soluble en DMF y DMSO. En la Figura 2 B) se muestra la película obtenida. Se observa que es traslúcida sin porosidad a simple vista, homogénea y altamente flexible, además presenta buena resistencia mecánica para su manipulación manual.

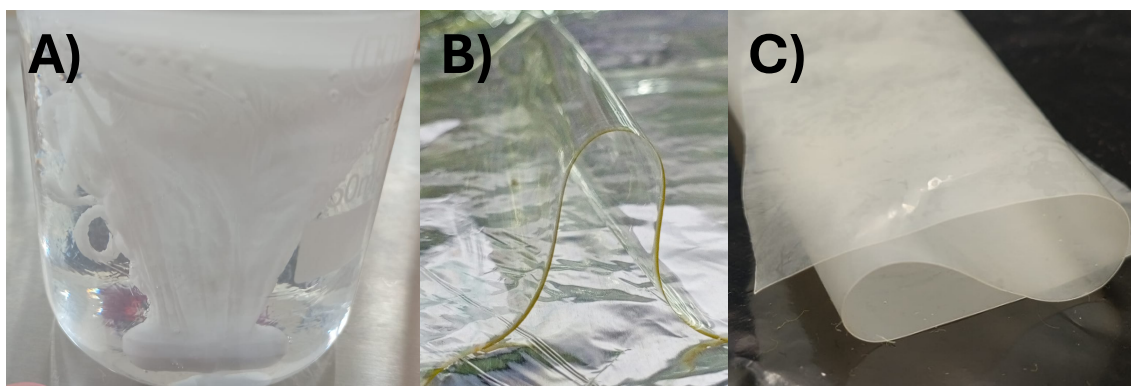


Figura 2. Polímero precipitado A), Película obtenida de PUU B), Película PUU después de dos semanas de almacenamiento C).

En la figura 2 C) se presenta la película después de al menos 2 semanas de almacenamiento. Es posible apreciar un color opaco, como se menciona en la literatura el opacamiento se debe al reacomodo de los segmentos rígidos que provocan dominios cristalinos en el bulk del material, por lo que el PUU obtenido es semicristalino[11].

3.2 Análisis por FTIR

La Figura 3 presenta el espectro FTIR de la película de PUU. Destaca la región de 1700 cm^{-1} , asociada al grupo carbonilo (C=O), característico de los grupos uretano y urea. Además, se observan bandas en 1525 , 1640 y 3330 cm^{-1} , que revelan interacciones de los carbonilos causadas por un estiramiento debido a enlaces de hidrógeno; también se identifica un pico característico del grupo urea (N-H) y las interacciones por puentes de hidrógeno entre los enlaces N-H y C=O , respectivamente. Estas interacciones están directamente relacionadas con el contenido de segmentos rígidos, lo cual concuerda con resultados previos [8]. Por otro lado, las bandas en 2863 y 2932 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de los grupos C-H alifáticos, mientras que las bandas en 1044 , 1161 y 1239 cm^{-1} están asociadas a los grupos éster.

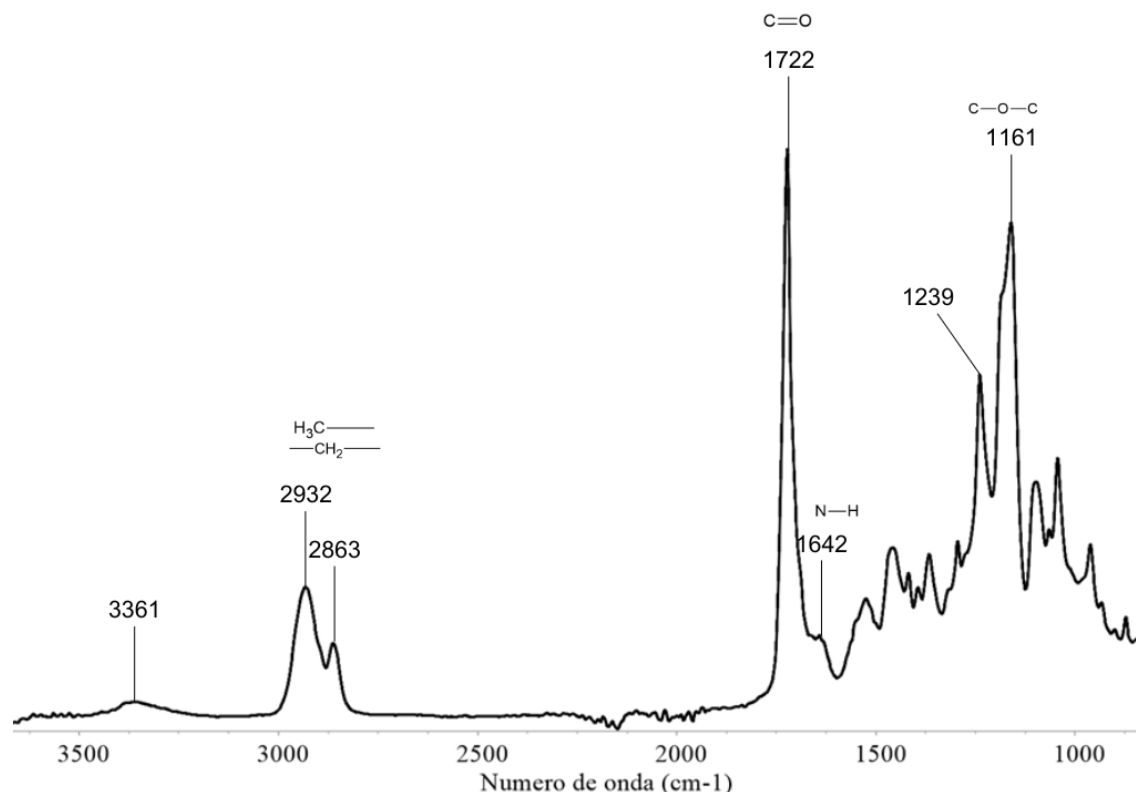


Figura. 3 Espectro ATR-FTIR de la película de PUU.

En comparación con la bibliografía consultada, donde se ha trabajado con poli(urea) y poli(uretano-ureas) con variaciones en los extensores de cadena, isocianatos o macrodioles; las bandas observadas y sus respectivas regiones son bastante similares, lo que confirma la correcta síntesis de nuestro PUU. En particular, se detecta en 1722 cm⁻¹ una señal intensa correspondiente al estiramiento de los carbonilos libres (C=O). Aunque se ha reportado que puede observarse una banda en 1964 cm⁻¹ asociada a los carbonilos enlazados (C=O con enlace de hidrógeno) [12]. Por otro lado, la presencia de dos bandas diferenciadas en 1239 y 1161 cm⁻¹, con mayor intensidad en la primera, se atribuye a los estiramientos simétrico y asimétrico del grupo éster (C-O-C).

La ausencia de bandas entre 2275 a 2250 cm⁻¹ confirma que no hay grupos isocianato sin reaccionar dentro del PUU. Sin embargo, aunque las bandas sean similares, las diferencias en los valores específicos del número de onda, dependen de la estructura química de las cadenas y de las interacciones entre los grupos funcionales que lo conforman [13], [14]. Al comparar nuestro resultado con el FTIR de la referencia base [11], se observa una similitud con el PUU que presenta un contenido de 23% de HS, el objetivo a replicar. Los números de onda 1630 y 3366 cm⁻¹ tienen intensidades de banda que dependen directamente del contenido de HS, presentando una variación de $\sim \pm 10\%$.

3.3 Análisis Térmico

El análisis térmico mostrado en la Figura 4, reveló una temperatura de descomposición inicial de 314 °C, característica de los termoplásticos a base de uretano-urea. Los resultados del análisis DTG indican que la

descomposición ocurre en tres etapas principales. Las dos primeras etapas, entre 250 °C y 335 °C, se atribuyen a los grupos uretano y urea, respectivamente. El grupo uretano presenta una temperatura de descomposición inicial cercana a los 250 °C, mientras que el grupo urea muestra una descomposición en el intervalo 320 – 335 °C [12], [13], [14]. La segunda etapa corresponde a la ruptura de los enlaces poliéster de la PCL. Finalmente, en el intervalo 400 – 500 °C, se observa la formación de alquenos de cadena corta como resultado de la etapa previa [18]. En la tabla 1 se presentan los detalles de los eventos térmicos, así como el proceso con el cuál están relacionados.

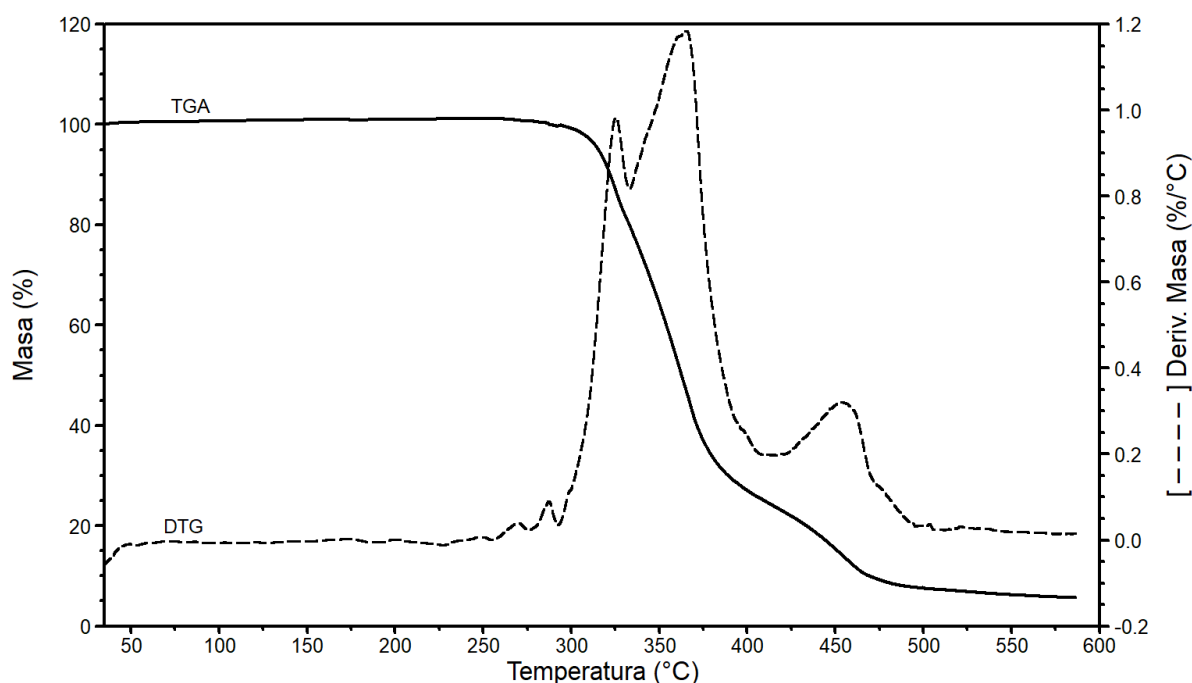


Figura 4. Análisis Termogravimétrico de la película de PUU.

Cabe destacar que las temperaturas obtenidas en el DTG pueden explicarse por las interacciones moleculares entre los HS y los SS, las cuales contribuyen a retrasar la descomposición térmica del PUU. Al final, se obtuvo un residuo de 5.63 %, correspondiente a la materia calcinada.

La pérdida de masa en las dos primeras etapas es aproximadamente 21 %, un valor ligeramente inferior al esperado teóricamente, lo cual se correlaciona con el contenido de HS. En general, los resultados muestran una notable estabilidad térmica del material.

Tabla 1. Resultado del análisis térmico.

Étapas	Rango de temperatura (°C)	Temperatura máx. (°C)	Pérdida de peso (%)	Descripción
1	254-293	287.4	1.308	Ruptura de enlaces uretano
2	293-332	325.26	19.50	Ruptura de enlaces urea
3	332-409	385.01	55.21	Ruptura de enlaces éster
4	409-496	456.73	17.41	Restos de ϵ -caprolactona

4. Conclusiones

La metodología de síntesis permitió obtener un PUU en un tiempo significativamente menor al reportado en la literatura. Logramos una reducción del 90 % en el tiempo requerido para el secado de la PCL-diol, lo cual no solo optimizó la eficiencia del proceso, sino que también contribuyó a una disminución considerable de los costos asociados. Además, el método facilita la introducción de modificaciones para mejorar aún más el rendimiento.

Se obtuvo una película de PUU traslúcida y flexible, cumpliendo con las propiedades establecidas al inicio. Estas características fueron confirmadas mediante los estudios de ATR-FTIR y TGA, cuyos resultados mostraron concordancia con los datos referenciados en trabajos previos.

El análisis ATR-FTIR corroboró la estructura química y las interacciones de los componentes del polímero. En particular, se destacaron las bandas características asociadas al contenido de HS, con un valor cercano al 23%. Por su parte, el análisis TGA evidenció las etapas principales de descomposición, las cuales corresponden a los segmentos rígidos y blandos presentes en el material sintetizado, validando su estructura y comportamiento térmico. La estabilidad térmica del PUU supera los requisitos para esterilización ($>121^{\circ}\text{C}$), mientras que su perfil de degradación controlada lo hace competitivo frente a la PCL en aplicaciones de soporte tisular [4].

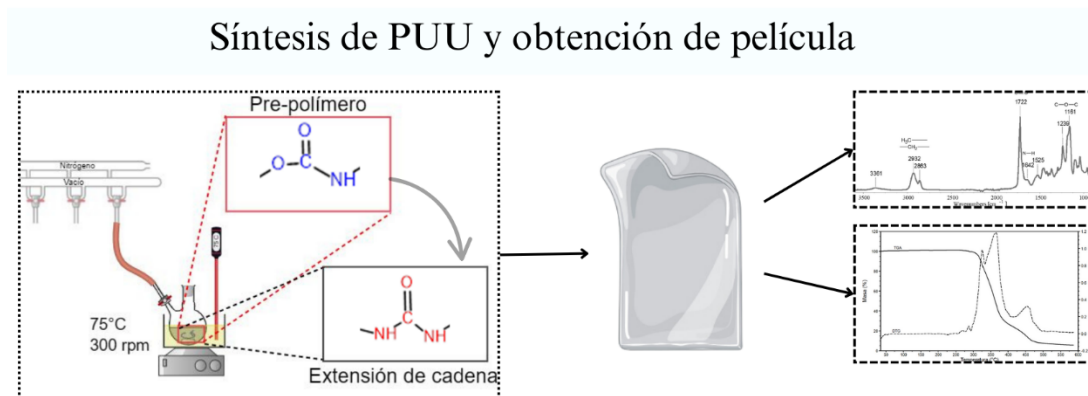
En general, los resultados obtenidos demuestran que nuestra metodología es eficiente y produce materiales con propiedades adecuadas para aplicaciones potenciales en diversas áreas.

Esto nos permite explorar nuevos trabajos de investigación en la que se busque la optimización del proceso de síntesis enfocado en química verde que contribuyan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en específico en ODS 12: Producción y Consumo Responsable al centrar el diseño de polímeros biodegradables que reduzcan el impacto ambiental de los materiales sintéticos, además de producir nuevos materiales basados en PUU aplicables en ingeniería de tejidos que sean seguros y funcionales para la salud humana que formen de las metas del ODS 3: Salud y Bienestar.[19]

5. Agradecimientos

Los autores expresamos nuestro agradecimiento al Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por su invaluable ayuda en los análisis de FTIR y TGA, realizados a través del proyecto INFR-2016-01-269701.

6. Resumen Gráfico



7. Referencias

- [1] C. Xu y Y. Hong, “Rational design of biodegradable thermoplastic polyurethanes for tissue repair”, *Bioact. Mater.*, vol. 15, pp. 250–271, sep. 2022, doi: 10.1016/j.bioactmat.2021.11.029.
- [2] A. K. Saxena, “Tissue engineering: Present concepts and strategies”, *J. Indian Assoc. Pediatr. Surg.*, vol. 10, núm. 1, p. 14, mar. 2005, doi: 10.4103/0971-9261.16069.
- [3] J. Chen, R. Dong, J. Ge, B. Guo, y P. X. Ma, “Biocompatible, Biodegradable, and Electroactive Polyurethane-Urea Elastomers with Tunable Hydrophilicity for Skeletal Muscle Tissue Engineering”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, núm. 51, pp. 28273–28285, dic. 2015, doi: 10.1021/acsami.5b10829.
- [4] D. Ozdil y H. M. Aydin, “Polymers for medical and tissue engineering applications”, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 89, núm. 12, pp. 1793–1810, 2014, doi: 10.1002/jctb.4505.
- [5] A. Santamaria-Echart, I. Fernandes, F. Barreiro, M. A. Corcuera, y A. Eceiza, “Advances in Waterborne Polyurethane and Polyurethane-Urea Dispersions and Their Eco-friendly Derivatives: A Review”, *Polymers*, vol. 13, núm. 3, Art. núm. 3, ene. 2021, doi: 10.3390/polym13030409.
- [6] M. Sobczak, “Biodegradable Polyurethane Elastomers for Biomedical Applications – Synthesis Methods and Properties”, *Polym.-Plast. Technol. Eng.*, vol. 54, núm. 2, pp. 155–172, ene. 2015, doi: 10.1080/03602559.2014.955201.
- [7] A. Delavarde *et al.*, “Sustainable polyurethanes: toward new cutting-edge opportunities”, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 151, p. 101805, abr. 2024, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2024.101805.
- [8] T. Stern, “Single-Step Synthesis and Characterization of Non-Linear Tough and Strong Segmented Polyurethane Elastomer Consisting of Very Short Hard and Soft Segments and Hierarchical Side-Reacted Networks and Single-Step Synthesis of Hierarchical Hyper-Branched Polyurethane”, *Molecules*, vol. 29, núm. 7, Art. núm. 7, ene. 2024, doi: 10.3390/molecules29071420.
- [9] E. Delebecq, J.-P. Pascault, B. Boutevin, y F. Ganachaud, “On the Versatility of Urethane/Urea Bonds: Reversibility, Blocked Isocyanate, and Non-isocyanate Polyurethane”, *Chem. Rev.*, vol. 113, núm. 1, pp. 80–118, ene. 2013, doi: 10.1021/cr300195n.
- [10] A. Mouren y L. Avérous, “Sustainable cycloaliphatic polyurethanes: from synthesis to applications”, *Chem. Soc. Rev.*, vol. 52, núm. 1, pp. 277–317, 2023, doi: 10.1039/D2CS00509C.
- [11] L. May-Hernández, F. Hernández-Sánchez, J. L. Gomez-Ribelles, y R. S. Serra, “Segmented poly(urethane-urea) elastomers based on polycaprolactone: Structure and properties”, *Journal of Applied*

Polymer Science, vol. 119, 2010. Consultado: el 24 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.32929>

[12] Y. Shi, X. Zhan, Z. Luo, Q. Zhang, y F. Chen, “Quantitative IR characterization of urea groups in waterborne polyurethanes”, *J. Polym. Sci. Part Polym. Chem.*, vol. 46, núm. 7, pp. 2433–2444, 2008, doi: 10.1002/pola.22577.

[13] F. Callejas, “Tablas de Espectroscopía Infrarroja”. Departamento de Física y Química, UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), 2000.

[14] J. Mattia y P. Painter, “A Comparison of Hydrogen Bonding and Order in a Polyurethane and Poly(urethane-urea) and Their Blends with Poly(ethylene glycol)”, *Macromolecules*, vol. 40, núm. 5, pp. 1546–1554, mar. 2007, doi: 10.1021/ma0626362.

[15] D. K. Chattopadhyay y D. C. Webster, “Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes”, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 34, núm. 10, pp. 1068–1133, oct. 2009, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002.

[16] W. H. Awad y C. A. Wilkie, “Investigation of the thermal degradation of polyurea: The effect of ammonium polyphosphate and expandable graphite”, *Polymer*, vol. 51, núm. 11, pp. 2277–2285, may 2010, doi: 10.1016/j.polymer.2010.03.033.

[17] K. Mizera, K. Sałasińska, J. Ryszkowska, M. Kurańska, y R. Kozera, “Effect of the Addition of Biobased Polyols on the Thermal Stability and Flame Retardancy of Polyurethane and Poly(urea)urethane Elastomers”, *Materials*, vol. 14, núm. 7, Art. núm. 7, ene. 2021, doi: 10.3390/ma14071805.

[18] S. T. McKenna y T. R. Hull, “The fire toxicity of polyurethane foams”, *Fire Sci. Rev.*, vol. 5, núm. 1, p. 3, abr. 2016, doi: 10.1186/s40038-016-0012-3.

[19] Naciones Unidas, “Objetivos y metas de desarrollo sostenible”, Desarrollo Sostenible. Consultado: el 27 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>