

PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y TÉRMICA DE MEZCLAS BINARIAS DE RESINA MOPA-MOPA (*ELAEGIA PASTOENSIS MORA*) Y POLICAPROLACTONA (PCL)Jose H. Mina^{1*}, Sander A. Otero¹, Carlos A. Bolaños¹, Edward F. Toro²

1: Escuela de Ingeniería de Materiales, GMC, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia

2: Programa de Ingeniería de Materiales, Grupo de Biotecnología, Universidad San Buenaventura. Santiago de Cali, Colombia.

* e-mail: jose.mina@correounivalle.edu.co



RESUMEN

En el presente artículo se estudiaron las propiedades físico-químicas y térmicas de la resina Mopa-Mopa (MM), obtenida de la yema del árbol *elaegia pastoensis Mora*, y se evaluó la influencia de la incorporación de policaprolactona (PCL) en las propiedades de mezclas binarias MM-PCL a tres diferentes porcentajes en peso (85-15, 70-30 y 55-45). El trabajo se inició con la implementación del proceso de extracción de la resina, empleando agua, y etanol como disolventes para la lixiviación de la yema. La resina MM y la PCL se mezclaron utilizando un cabezal de mezclado Mixer 30/50E. Con los resultados obtenidos en los difractogramas de rayos X se determinó la naturaleza semicristalina de la resina MM, corroborada igualmente con los termogramas DSC que revelaron la generación de un calor latente y una temperatura de fusión de aproximadamente 104 J/g y 146 °C respectivamente. Con la incorporación de la PCL se formó una mezcla predominantemente inmiscible, que se constató mediante DSC, TGA y FTIR. Finalmente, se encontró que con la mezcla binaria se incrementó la cristalinidad y la estabilidad térmica del material, vista a partir del desplazamiento del *onset* a temperaturas mayores.

Palabras Claves: Barniz de pasto, polímeros naturales, resinas vegetales, caracterización fisicoquímica

PREPARATION AND PHYSICO-CHEMICAL AND THERMAL CHARACTERIZATION OF MOPA-MOPA RESIN AND POLYCAPROLACTONE BINARY BLENDS

ABSTRACT

In this paper we studied the physico-chemical and thermal properties of the Mopa Mopa (MM) resin, obtained it from the leaf bud of the *elaegia pastoensis Mora* tree. The influence of the incorporation of polycaprolactone (PCL) on the properties of binary mixtures MM-PCL was evaluated at three different percentages weight (85-15, 70-30 and 55-45). The work began with the implementation of the resin extraction process using water and ethanol like solvents for lixiviation from the leaf bud. MM resin and PCL were mixed employing a Mixing head 30/50E. XRD results shows the semi-crystalline nature of the MM resin, also it was verified by DSC thermograms that revealed the generation of a latent heat and melting temperature of approximately 104 J/g and 146 °C respectively. DSC, TGA and FTIR results indicated that the PCL addition generated a binary mixture predominantly immiscible. In addition, it was found a displacement of the degradation onset at higher temperatures, and the crystallinity increase with the PCL added.

Keywords: Pasto resin, natural polymers, vegetal resins, physicochemical characterization

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad buena parte de los estudios de investigación en el área de los materiales poliméricos se están enfocando hacia el desarrollo de polímeros biodegradables que se caractericen por proceder de fuentes renovables como almidones, proteínas, hidroxialcanoatos, etc. y por presentar biodegradabilidad completa en condiciones de compostaje [1-3]. A diferencia de los polímeros sintéticos tradicionales, estos materiales no son dependientes del petróleo y por tanto tienen valor agregado como una alternativa viable para la producción de polímeros amigables al medioambiente.

Entre esta familia de materiales se destacan las resinas naturales que son extraídas de las plantas, debido al aprovechamiento potencial de muchas variedades existentes en el ecosistema y que se constituyen en una fuente renovable para la obtención de polímeros [2 y 4].

El Barniz de Pasto es una resina natural que se obtiene por extracción química a partir del fruto y la yema de un árbol silvestre, nativo en zonas selváticas de la cordillera andina, conocido popularmente como Mopa-Mopa (MM) y cuyo nombre científico corresponde a *elaegia pastoensis Mora*. Esta resina tiene alto potencial de biodegradabilidad por estar compuesta por biomoléculas, ha venido siendo extraída y beneficiada por generaciones de campesinos con el fin de comercializarlas como materia prima para la elaboración y/o modificación de artesanías [5 y 6].

Actualmente existen pocos trabajos científicos relacionados con la caracterización estructural de la resina mopa-mopa siendo la mayor parte de aportes estudios muy preliminares donde se evalúan algunas propiedades físicas y/o químicas en aspectos asociados a la solubilidad del material en fluidos de naturaleza orgánica (etanol, metanol) o inorgánica (agua).

Debido a lo comentado anteriormente, en este trabajo se efectúa una caracterización físico-química y térmica en la resina de Mopa-Mopa con el fin de tener una información complementaria que permita ampliar el conocimiento relacionado con las posibilidades industriales de aplicación y procesamiento de este material [7-9]. Así mismo, esta investigación incluye el estudio de la influencia de la incorporación de un poliéster biodegradable

(Policaprolactona-PCL), en las propiedades de mezclas binarias MM-PCL.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

La resina Mopa-Mopa (MM) empleada provino del beneficio de la yema del árbol *elaegia pastoensis Mora*, mediante un proceso de extracción celular hasta obtener una resina sin impurezas sólidas; la Policaprolactona (PCL) utilizada para la preparación de la mezcla binaria MM/PCL es de la referencia CAPA 6800 de la empresa *Perstorp UK Limited* de Inglaterra, este poliéster presenta un peso molecular de 80000 g/mol y se trabaja en forma de *pellets*; el etanol utilizado para la extracción fue grado absoluto con una pureza del 99,9 % y se adquirió en Genquímicos S.A.

2.2 Extracción de la Resina Mopa-Mopa

La yema obtenida del árbol *elaegia pastoensis Mora* por ser un material orgánico se almacenó a una temperatura de 5 °C, para evitar el inicio de su degradación y conservar sus propiedades iniciales. La yema de resina se sometió a extracciones con tres tipos de solventes mediante la combinación de calentamiento y solubilidad; se inició la extracción con la mezcla de la masa del soluto (MM) y el solvente, con una relación de 20 g por 150 ml respectivamente; después se calentó a 50 °C durante 15 minutos, y posteriormente se filtró; la disolución resultante se calienta entre un rango de temperaturas de 80 a 100 °C para evaporar el solvente; al extracto resultante se le agregó agua para que el remanente de alcohol reaccione y genere una resina sin el solvente, luego se retiró la resina y se dejó secar a temperatura ambiente.

2.3 Preparación de las mezclas binarias

La resina MM, previamente extraída y purificada, se mezcló con la Policaprolactona en porcentajes en peso MM/PCL de 85/15, 70/30 y 55/45; dicha composición se llevó a cabo en la cámara de mezclado de un equipo Plastograph EC PLUS modelo Mixer 30/50E – W5EHT de marca Brabender, manejándose el proceso a una temperatura constante de 80 °C y una rapidez de giro de los husillos de 40 RPM, durante un tiempo de mezcla de 10 minutos [10].

2.4 Espectroscopia Infrarrojo Transformada de Fourier (FTIR) por

Para el análisis estructural de la resina MM, la PCL y las mezclas binarias MM-PCL, se empleó un equipo de espectro-fotometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) marca Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR Spectrometer, con Cristal de ZnSe y enterferometro Michelson, provisto del accesorio para reflectancia total atenuada (ATR). El análisis fue realizado a 100 barridos y una resolución de 4 cm^{-1} .

2.5 Difracción de rayos-X (DRX)

Los patrones de difracción de rayos-X de la resina MM, la PCL y las mezclas binarias MM-PCL, se obtuvieron en un equipo Marca PANalytical, Serie X'Pert Pro, Tubo de Cobre Difractómetro de Rayos X, a 45 kV y 40 mA.

2.6 Análisis Termo gravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico se llevó a cabo en un equipo TA Instruments Ref.Q 50, en un intervalo de temperatura de 20 a $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una rapidez de calentamiento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ y en una atmósfera protectora de nitrógeno, las muestras de la resina MM, la PCL y las mezclas binarias MM-PCL tuvieron un peso promedio de 10 mg y fueron secadas previamente, en un horno, a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 horas.

2.7 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La prueba de Calorimetría Diferencial de Barrido se efectuó en un equipo TA Instruments Ref. Q 20, a un intervalo de temperatura entre -60 y $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, una rapidez de calentamiento de $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ y una atmósfera protectora de nitrógeno con un flujo de 50 ml/min. El peso promedio de las muestras a analizar fue de 10 mg y se emplearon capsulas herméticas de aluminio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Espectroscopia Infrarrojo (FTIR)

El espectro FTIR correspondiente a la resina Mopa-Mopa después de su proceso de extracción, se presenta en la Figura 1, aquí se pueden observar bandas relacionadas con: el estiramiento en tensión de enlaces carbonilos $\text{C}=\text{O}$ a 1715 cm^{-1} , estiramiento en tensión para grupos hidroxilos OH a 3395 cm^{-1} , con una señal intensa, estiramiento en tensión de enlaces $\text{C}=\text{C}$ a 1654 cm^{-1} y estiramientos

en tensión (simétrico y asimétrico) para enlaces CH , evidenciados en las bandas a 2855 y 2928 cm^{-1} .

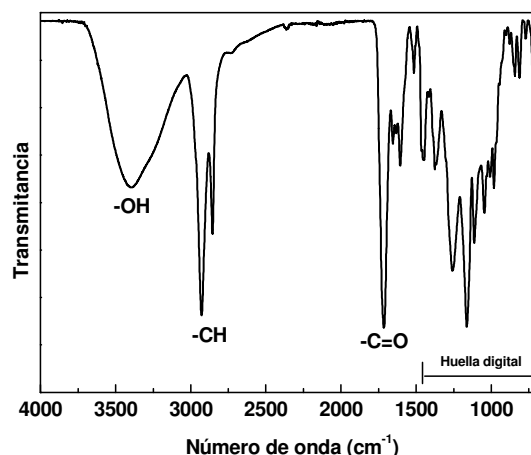


Figura 1. Espectro FTIR de la resina MM después de su proceso de extracción.

Estas señales con su correspondiente asignación se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales enlaces en un espectro FTIR de la resina MM.

Tipo de enlace	Número de onda (cm^{-1})	
	Valores exper.	Insuasty et al.[7]
Estiramiento en tensión hidroxilo - OH	3395	3452
Estiramiento asimétrico CH_2	2928	2926
Estiramiento simétrico CH_2	2855	2855
Estiramiento en tensión $\text{C}=\text{O}$	1715	1723
Estiramiento en tensión $\text{C}=\text{C}$	1654	1605

Vale la pena resaltar que estas bandas coinciden con las presentadas por Insuasty *et al.*, en el análisis por FTIR de resinas de Mopa-Mopa [7].

Para el caso de la PCL, el espectro FTIR de la Figura 2 evidencia una banda a 1753 cm^{-1} asignada a la vibración en tensión del enlace carbonilo $\text{C}=\text{O}$ presente en la unión éster típica del material, así mismo se pueden observar dos picos a 2944 y 2865 cm^{-1} relacionados con la vibración en tensión de enlaces C-H . De igual manera, vale la pena resaltar que aunque la estructura de la Policaprolactona carece de enlaces hidroxilos, en el espectro de la Figura 2 se ve una pequeña señal a 3440 cm^{-1} , que se le puede atribuir al estiramiento en tensión de grupos hidroxilos OH , debida a la presencia de

humedad en el material. Estas bandas y sus correspondientes enlaces se resumen en la Tabla 2, siendo estos valores similares a los presentados por Elzein *et al.* [11] en la caracterización de policaprolactona mediante FTIR.

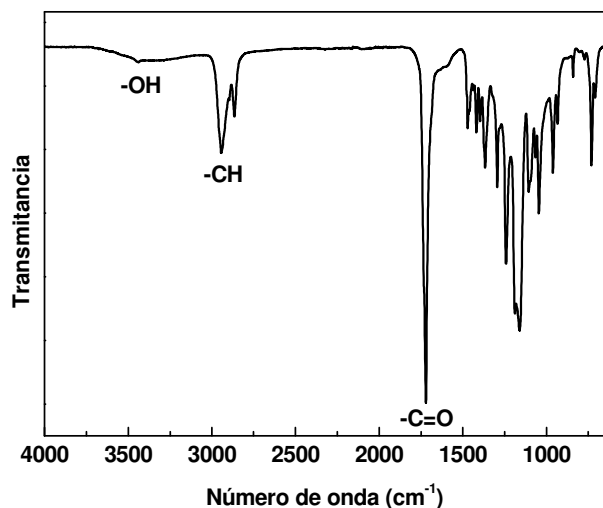


Figura 2. Espectro FTIR de la PCL.

Tabla 2. Principales enlaces en un espectro FTIR de la PCL.

Tipo de enlace	Número de onda (cm ⁻¹)	
	Valores exper.	Elzein et al. [11]
Estiramiento en tensión hidroxilo - OH (humedad remanente)	3440	-
Estiramiento -CH ₂ asimétrico	2944	2949
Estiramiento -CH ₂ simétrico	2865	2865
Estiramiento en tensión carbonilo -C=O	1721	1727
Estiramiento COC asimétrico	1242	1240
Estiramiento COC simétrico	1161	1170

En la Figura 3 se presentan los espectros FTIR para la resina MM, la PCL y las tres mezclas binarias MM-PCL. Aquí se puede observar en primer instancia, que aumentó la banda de los grupos hidroxilos en la medida que se incrementó el contenido de la resina MM en la mezcla binaria.

Por otro lado, con el fin de observar los cambios en la región de los carbonilos, en la Figura 4 se presentan los FTIR de los materiales de estudio, considerando solamente un intervalo de números de onda entre 1850 y 1600 cm⁻¹. Aquí se puede

observar que se generan ligeros corrimientos tanto de los carbonilos de la resina MM como de los de la Policaprolactona, cuando se trata de las mezclas binarias.

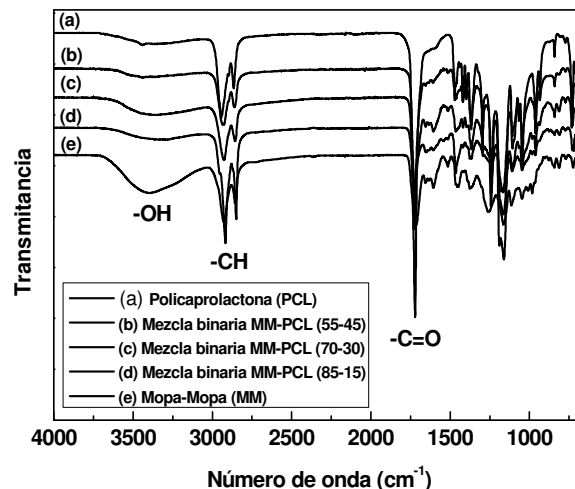


Figura 3. Espectros FTIR de la resina MM, la PCL y las tres mezclas binarias.

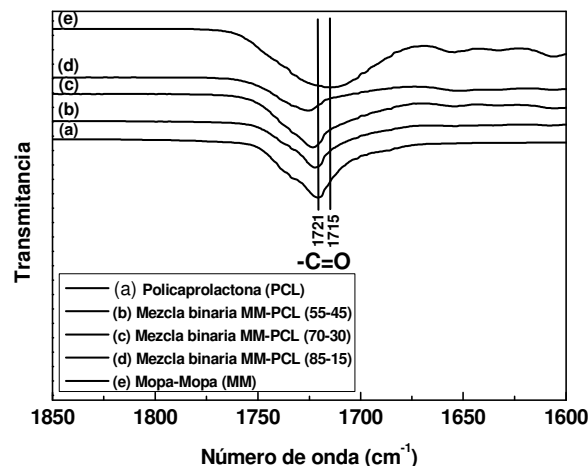


Figura 4. Espectros FTIR de la resina de MM, la PCL y las mezclas binarias MM-PCL entre 1850 y 1600 cm⁻¹.

A partir del análisis previo en el cual se estimó la presencia de grupos hidroxilo en la resina MM y grupos carbonilo en la PCL, se pudo establecer que en principio existía la posibilidad de que ocurriera la formación de enlaces de hidrogeno, a partir de la mezcla binaria de estos materiales; partiendo del conocimiento de la naturaleza de donadores de protones de los hidroxilos y la de aceptores de los carbonilos. De tal manera que teóricamente se podría esperar que las mezclas formadas pudieran tener un cierto grado de miscibilidad.

Como lo referencia Cesteros [8] diversos modos espectrales correspondientes a grupos típicamente donadores o aceptores de protones se ven notablemente afectados, tanto en su intensidad como en su posición, cuando forman parte de un enlace de hidrogeno; en este sentido, el corrimiento de la banda de los carbonilos a frecuencias menores es un indicador de la formación de tales enlaces de hidrógeno.

Esto podría indicar que es factible que pudieran haberse dado interacciones entre los materiales, que contribuyeran al establecimiento de algún pequeño grado de miscibilidad. No obstante, hay que resaltar que por lo menos para las condiciones de mezcla seguidas en este estudio, parece ser claro que la mayor tendencia en la mezcla binaria es la de formar auto asociaciones en la resina MM, de tal manera que la mezcla en términos generales se puede considerar como predominantemente inmiscible.

3.2 Difracción de rayos X (DRX)

En el difractograma de rayos-X de la Figura 6 se distinguen los picos de difracción característicos de la policaprolactona, que se generan a los ángulos 19,8, 21,3 y 23,6° 2 θ . Lo cual implica que el material posee una estructura semicristalina, como se encuentra ampliamente reportado [9, 14 y 15].

En cuanto a la resina MM, el difractograma de la Figura 5 indicó la presencia de unos planos que difractan en las posiciones correspondientes a 18,8 y 41,7° 2 θ , siendo mucho más intensa la señal asociada al primer pico. Debido a la forma del difractograma se puede pensar que la resina MM tiene un cierto grado de ordenamiento que sugiere la presencia de una estructura que podría ser semicristalina. En este sentido, hay que resaltar que tal como se discutirá más adelante, la calorimetría diferencial de barrido hecha en la resina MM indicó que el material presentó un flujo de calor endotérmico asociado a una transición de primer orden (proceso de fusión), lo cual respaldó la idea de una morfología semicristalina en el material.

Al realizar las mezclas de la resina MM y la PCL a las diferentes proporciones contempladas en este estudio, se encontró que los picos correspondientes a los materiales que conforman la mezcla binaria se mantienen y únicamente se pueden detectar ligeros corrimientos, tal como se puede observar en los difractogramas presentados en la Figura 7. De igual manera, para una mejor visualización de los

desplazamientos de los picos en la Tabla 3 se resumen los ángulos 2 θ asociados a dichas señales.

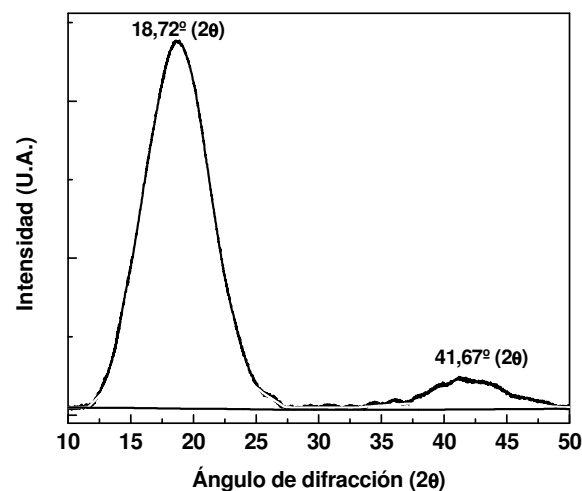


Figura 5. Difracción de rayos-X de la resina MM. Picos representativos ubicados en los ángulos 2 θ .

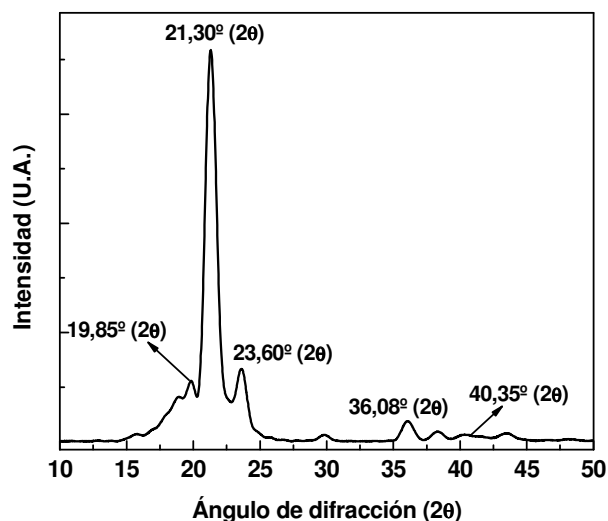


Figura 6. Difracción de rayos-X de la PCL. Picos representativos ubicados en los ángulos 2 θ .

Tabla 3. Algunos de los picos más representativos de la resina MM, la PCL y las tres mezclas binarias MM-PCL.

Material	Picos representativos (ángulo de difracción 2 θ)			
Mopa-Mopa (MM)	18,72	-	-	41,67
Mezcla binaria MM-PCL (85-15)	18,99	21,06	23,39	41,67
Mezcla binaria MM-PCL (70-30)	19,63	21,30	23,54	40,29
Mezcla binaria MM-PCL (55-45)	19,79	21,30	23,60	40,23
Policaprolactona (PCL)	19,79	21,30	23,60	40,35

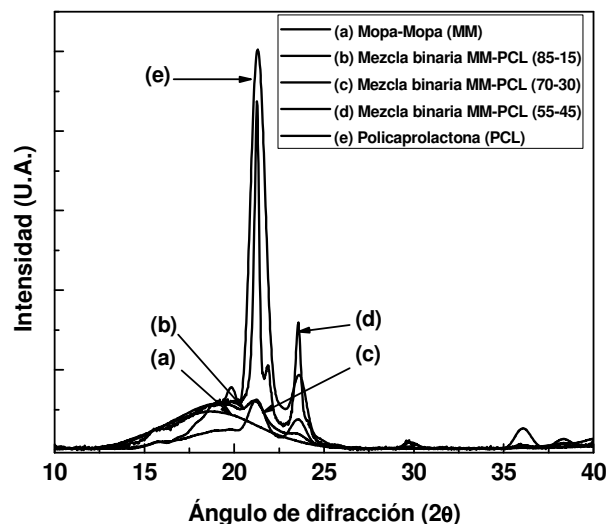


Figura 7. Difracción de rayos-X de la resina MM, la PCL y las tres mezclas binarias MM-PCL.

Con el fin de estimar un índice de cristalinidad a partir de los difractogramas de rayos-X, se siguió la metodología propuesta por Nara & Komiya [16], quienes estudiaron la morfología de almidones de maíz. Para tal efecto se estimó una zona amorfa considerando una línea base que resultó de la unión de los valles de los picos de los difractogramas; posterior a esto se evaluó la zona cristalina con base en el cálculo del área encerrada por los picos. Finalmente, el índice de cristalinidad, I_c , se determinó relacionando las áreas de las zonas cristalinas, A_c , y amorfas, A_a , tal como se especifica en la Ecuación 1.

$$I_c = \left(\frac{A_c}{A_c + A_a} \right) \times 100 \quad \text{Ec.1}$$

En la Tabla 5 se registran los datos de los índices de cristalinidad para la resina MM, la PCL y las tres mezclas binarias, estos valores indicaron que con el incremento en el porcentaje de la PCL en las mezclas binarias, se presentó un aumento en el índice de cristalinidad que fue una función directa de la cantidad de policaprolactona incorporada, pasando de 39,9 para la resina de MM hasta 45,6 % para la mezcla binaria MM-PCL (55-45).

No obstante, cabe aclarar que los índices estimados sirven solamente para fines comparativos y no se deben tomar como valores absolutos que representen la cristalinidad real de los materiales estudiados.

Tabla 5. Índice de Cristalinidad de la resina MM, la PCL y sus tres mezclas Binarias MM-PCL.

Material	Índice de cristalinidad (%)
Mopa-Mopa (MM)	39,9
Mezcla binaria MM-PCL (85-15)	42,6
Mezcla binaria MM-PCL (70-30)	43,5
Mezcla binaria MM-PCL (55-45)	45,6
Policaprolactona (PCL)	50,0

3.3 Análisis Termogravimétrico (TGA)

En la Figura 8 se presentan las curvas de análisis termogravimétrico (TGA) y su correspondiente derivada (DTG) para la resina de MM, aquí se puede observar una disminución inicial de masa a una temperatura cercana a los 100 °C, que se debe a la pérdida de componentes volátiles en el material, principalmente agua y etanol residual que posiblemente quedaron del proceso de extracción de la resina. No obstante, es importante resaltar que hasta este momento la salida de dichos componentes no implica la degradación del material y por tanto estrictamente no se podría considerar como una reducción en la estabilidad térmica del material. Conforme aumenta la temperatura a aproximadamente 230 °C se genera un decrecimiento de la masa, asociado a la eliminación de otros componentes que constituyen la resina; de acuerdo a la curva de la derivada DTG, al menos hay tres diferentes materiales en la resina MM, que generan picos a temperaturas de: 312, 378 y 450 °C y se asocian a pérdidas de masa de 18, 38 y 79 % respectivamente.

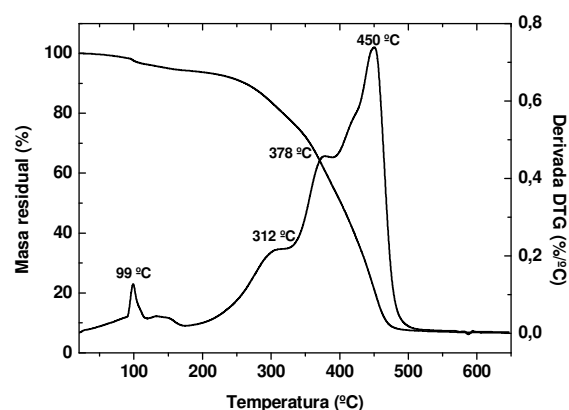


Figura 8. Pérdida de masa y derivada en el análisis termogravimétrico (TGA) de la resina MM.

En comparación con la resina MM, la

policaprolactona presentó una mayor estabilidad térmica, tal como se puede observar en las curvas de TGA y DTG presentadas en la Figura 9, donde el *onset* de la degradación se dio a temperaturas por encima de los 350 °C. De igual manera, la derivada de la curva del análisis termogravimétrico de la PCL mostró solamente un pico a 450 °C, correspondiente al punto donde hubo un máximo en la rapidez de pérdida de masa, y que se relacionó con un descenso del 62,7 %, visto como una caída casi vertical en el termograma TGA. Los resultados de esta caracterización térmica son similares a los reportados por Arbelaiz [17] igualmente en estudios hechos con PCL.

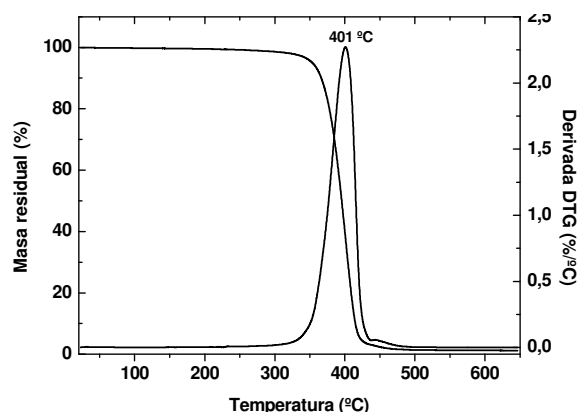


Figura 9. Pérdida de masa y derivada en el análisis termogravimétrico (TGA) de la PCL.

Los termogramas para las tres mezclas binarias MM-PCL trabajadas, se presentan en la Figuras 10 y 11. Con las curvas de TGA se puede ver que en la medida que se aumentó el contenido de policaprolactona, el inicio de la degradación de las mezclas binarias se desplazó a temperaturas mayores, indicando esto que se incrementó la estabilidad térmica del material.

De igual manera, con el análisis de la curva DTG se puede observar que se conservan los picos correspondientes a la resina MM y la policaprolactona en estado puro, que se mostraron previamente en las Figuras 8 y 9, corroborando esto la naturaleza inmiscible de las mezclas binarias. Solamente se pudo observar un ligero corrimiento del pico de la PCL a temperaturas menores, lo cual podría indicar que la resina MM promovió una disminución en la estabilidad térmica de la mezcla binaria. Así mismo, hay que destacar que el pico que exhibía la resina MM a una temperatura de 312 °C perdió intensidad para todas las mezclas binarias

trabajadas.

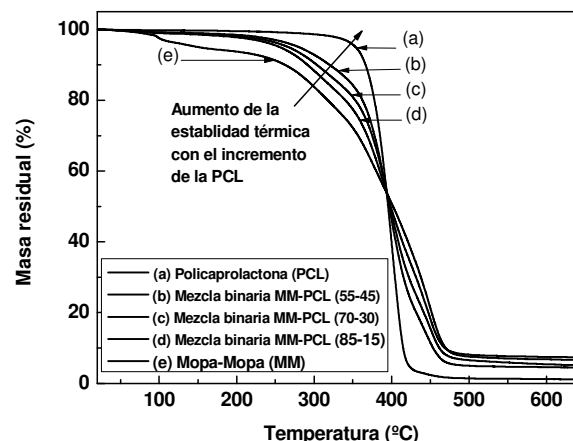


Figura 10. Pérdida de masa y derivada en el análisis termogravimétrico (TGA) de la resina MM, la PCL y las 3 mezclas MM-PCL.

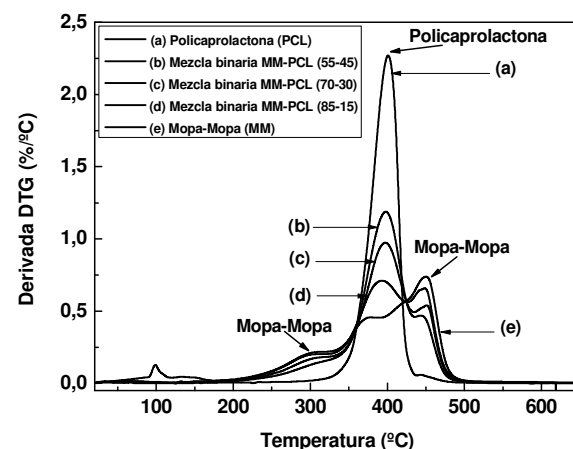


Figura 11. Derivada del análisis termogravimétrico (DTG) de la resina MM, la PCL y las tres mezclas binarias MM-PCL.

3.4 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Con el termograma correspondiente al análisis de la calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) de la resina MM, presentado en la Figura 12, se pudo observar unos picos endotérmicos asociados a transiciones de primer orden en el material, la primer señal se dio a 2 °C y podría corresponder a la fusión de agua absorbida por la resina, aquí hay que resaltar que el calentamiento en la prueba se inició a una temperatura de -50 °C, por lo cual es factible que cualquier traza de agua debió haberse solidificado en este punto. Por otro lado, a 146 °C es claro que la resina presentó su temperatura de fusión, siendo esto coherente con la estructura

semicristalina que se había preestablecido a partir del análisis de difracción de rayos-X.

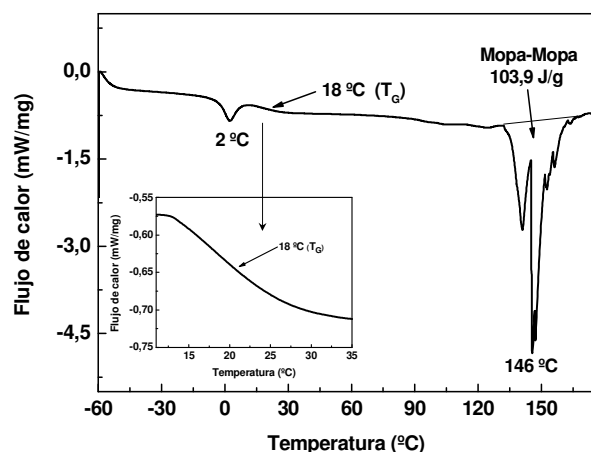


Figura 12. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) de la resina MM.

Cabe aclarar, que con el análisis termogravimétrico se evidenció que a temperaturas del orden de la de fusión de la resina MM, todavía no se presentaba degradación en el material. De igual manera, en el termograma se determinó que la temperatura de transición vítrea, a partir del análisis del cambio de la línea base del termograma, presentó un valor de 18,04 °C. En la Figura 13 se presenta el termograma correspondiente a la policaprolactona, aquí se observa un pico endotérmico de donde se deduce que la temperatura de fusión fue de 62 °C. Este termograma de la PCL se diferenció notablemente del de la resina MM por tener unos picos más definidos, lo cual como era de esperarse sugirió que la PCL fue un material más homogéneo.

En la Figura 14, se presenta el termograma de la mezcla entre la resina MM y la PCL. Aquí se puede ver que se generaron los picos endotérmicos correspondiente a cada una de las fases del material; solamente se notaron pequeños descensos en las transiciones térmicas, donde en la policaprolactona la temperatura de fusión pasó de 62 a 61 °C, mientras que en el caso de la resina MM disminuyó de 146 a 128 °C. Pese a los corrimientos, en términos generales los picos característicos tanto del MM como de la PCL se mantuvieron, indicando como ya se había establecido con TGA y FTIR, que predominantemente hay inmiscibilidad entre los componentes de la mezcla binaria.

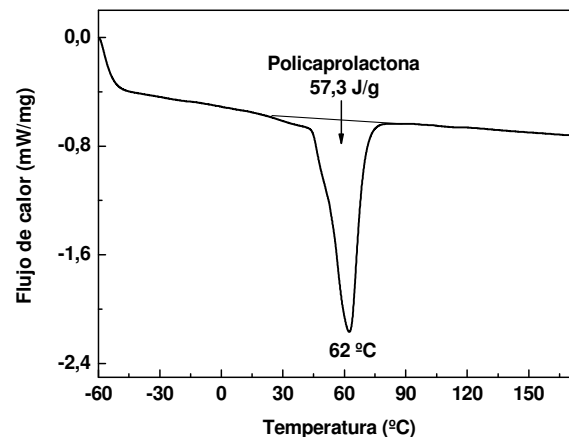


Figura 13. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) de la PCL.

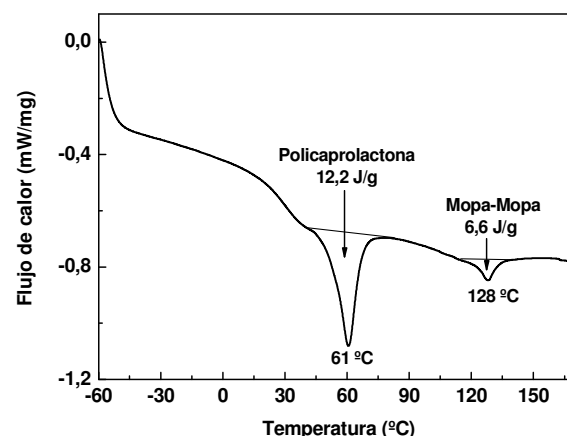


Figura 14. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) de la mezcla binaria MM-PCL (85-15).

4. CONCLUSIONES

La caracterización por DRX indicó que la resina MM presentaba un cierto grado de ordenamiento que al parecer puede implicar una estructura de naturaleza semicristalina. Por otro lado, con TGA se encontró que el material está constituido por al menos tres componentes y que la pérdida inicial se debió posiblemente a la salida de agua y/o etanol residual del proceso de extracción del material. En principio, con los resultados obtenidos se puede plantear que existe la factibilidad de que este material se pueda procesar siguiendo los métodos de transformación convencionales y que su desempeño mejore al obtener una resina MM más pura.

Los resultados de la caracterización por FTIR, TGA y DSC indicaron que las mezclas binarias MM-PCL hechas fueron predominantemente inmiscibles; esto a pesar de que por la estructura química de la resina

MM y de la PCL se podría esperar que al estar en contacto formaran enlaces de hidrógeno que repercutieran en el incremento de la miscibilidad. No obstante lo anterior, vale la pena resaltar que para las técnicas comentadas se vieron pequeños corrimientos en las transiciones correspondientes a cada fase, lo cual podría sugerir algún bajo grado de miscibilidad y/o compatibilidad entre los materiales.

La incorporación de la PCL en la mezcla Binaria MM-PCL generó un incremento en la estabilidad térmica del material, corroborado con TGA mediante el desplazamiento de la curva de pérdida de masa de las mezclas binarias hacia temperaturas mayores, en la medida que se aumentaba dicho contenido de PCL. Así mismo, la incorporación de la policaprolactona incrementó el grado de cristalinidad, determinado en los DRX hechos en las mezclas binarias.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte de la Universidad del Valle y la Universidad San Buenaventura de Santiago de Cali – Colombia.

6. REFERENCIAS

- [1]. Huang, M., Yu, J., & Ma, X. (2005). Ethanolamine as a novel plasticizer for thermoplastic starch. *Polymer Degradation and Stability* 90, 501-507.
- [2]. Guan, J., Eskridge, K., & Hanna, M. (2004). Acetylated starch-poly(lactic acid) loose-fill packaging materials. *Industrial Crops and Products* 22, 109-123.
- [3]. Villada, H. (2005). Influencia de mezclas de almidón agrio, perfil de temperatura y velocidad de tornillo de un extrusor sencillo en la producción de almidón termoplástico, su caracterización fisicoquímica, mecánica, microestructural y comportamiento durante el almacenamiento, Tesis Doctoral, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- [4]. Lai, S-M., Don, T-M., & Huang, Y-C. (2006). Preparation and Properties of Biodegradable Thermoplastic Starch/Poly(hydroxyl butyrate) Blends. *Journal of Applied Polymer Science* 100, 2371-2379.
- [5]. Cortés, C. (2000). La Lógica De La Representación En Lo Artesanal; Un Asunto De Identidad. *Revista Estudios Latinoamericanos*, No. 6-7, 42-62.
- [6]. Granda, Osvaldo. Barniz De Pasto. (1986). Proyecto Regional Nariño, Subproyecto No. 2. Pasto: Artesanías de Colombia.
- [7]. Insuasty, B., Argoti, J. C., Altarejos, J., Cuenca, G., & Chamorro, E. (2007). Caracterización Fisicoquímica preliminar de la resina del Mopa-Mopa (*Elaeagia pastoensis* Mora), Barniz de Pasto. *Scientia et Technica* Año XIII 33. 365-368.
- [8]. Cesteros, L. (2004). Aplicaciones de la FTIR al estudio de las interacciones polímero-polímero. *Revista Iberoamericana de polímeros* 5, 111-132.
- [9]. Lorenzo, A.T., Arnal, M.L., Sánchez, J.J., & Müller, A.J. (2008). Características Transitorias del Proceso de Autonucleación de Polímeros Semicristalinos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 9, 181-186.
- [10]. Martínez, G., Matos, M., Sabino, M., Urbina, D., Barrios, C., Taddei, A., Sajo, C., Arnal, M., & Müller, A. (2008). Estudio de una mezcla binaria biodegradable: policaprolactona/quitina. *Revista Iberoamericana de polímeros* 9, 313-321.
- [11]. Elzein, T., Nasser-Eddine, M., Delaite, C., Bistac, S., & Dumas, P. (2004). FTIR study of polycaprolactone chain organization at interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science* 273, 381-387.
- [12]. Lu, J., Khot, Sh., & Wool, R. (2005). New sheet molding compound resins from soybean oil. 1 Synthesis and characterization. *Polymer* 46, 71-80.
- [13]. González, M., Juanes, F., Miguez, J., González, B., Mondragón, I., & Valea, A. (2009). Mejora de la tenacidad de las resinas furánicas por copolimerización con ϵ -caprolactona. *Anales de Mecánica de la Fractura* 26, 226-231.
- [14]. Rosa, D.S., Lopes, D.R., & Calil, M.R. (2005). Thermal properties and enzymatic degradation of blends of poly(ϵ -caprolactone) with starches. *Polymer Testing* 24, 756-761.
- [15]. Choi, E., Kim, Ch., & Park, J. (1999). Structure-Property Relationship in PCL/Starch Blend Compatibilized with Starch-g-PCL Copolymer. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics* 37, 2430-2438.
- [16]. Nara, S., & Komiya, T. (1983). Studies on the Relationship Between Water-saturated State and Crystallinity by the Diffraction Method for Moistened Potato Starch. *Starch/Stärke* 35, 407-410.
- [17]. Arberlaiz, A., Fernández, B., Valea, A., & Mondragon, I. (2006). Mechanical properties of short flax fibre bundle/poly(3-caprolactone) composites: Influence of matrix modification and fibre content. *Carbohydrate Polymers* 64, 224-232.