

RESUMEN

El objetivo general de la presente tesis doctoral fue aditivar polímeros biodegradables con colofonia y sus derivados mediante el uso de técnicas de procesamiento convencionales y no convencionales. En esta tesis se presentan siete trabajos dentro de cuatro bloques de estudio que constituyeron los objetivos específicos de la investigación.

En el primer bloque de estudio se realizó una caracterización comparativa de cinco colofonias de diferentes fuentes para determinar sus propiedades y establecer las diferencias entre cada colofonia para su posterior uso y aplicación como aditivos sostenibles de polímeros biodegradables. Los resultados mostraron que las cinco colofonias analizadas tenían un contenido superior al 80 % de ácido abiético o de sus isómeros estructurales, y se diferenciaron en su propensión a absorber humedad ambiental y en su coloración. Además, todas las colofonias mostraron una estabilidad térmica hasta los 200 °C lo que permitió establecer que estos materiales naturales ser usados como aditivos en polímeros termoplásticos sin degradarse en su procesamiento.

En el segundo bloque de estudio se aditivó colofonia en matrices de polímeros biodegradables para lo cual se realizaron dos trabajos. En el primer trabajo se empleó poli (butilen adipato-co-tereftalato) (PBAT) como matriz polimérica y colofonia (GR) y un pentaeritritol éster de colofonia (UT) como aditivos. El PBAT se mezcló con las resinas en varios contenidos y las formulaciones se procesaron por extrusión y un posterior moldeo por inyección. Los resultados mostraron que GR y UT mejoraron la procesabilidad del PBAT reduciendo su entalpía de fusión y aumentando su estabilidad térmica. Además, los aditivos aumentaron o mantuvieron las propiedades mecánicas del PBAT mientras que incrementaron su hidrofobicidad. Por lo tanto, GR y UT demostraron ser aditivos ventajosos para el PBAT para reducción de costos en el procesamiento y para aplicaciones que requieren alta hidrofobicidad como en envases rígidos de alimentos que son fáciles de procesar y adecuados para la escalabilidad industrial. En el segundo trabajo se empleó poli(ϵ -caprolactona) (PCL) como matriz polimérica, y como aditivos se emplearon GR y cera de abeja (BW). Las formulaciones se prepararon por mezcla por extrusión y el procesamiento del material se llevó a cabo por una técnica no convencional que es la manufactura aditiva o impresión 3D. Se determinó que la mezcla de los dos aditivos con PCL produjo un efecto sinérgico y que esa formulación fue la más adecuada para un proceso de impresión 3D ya que se comportó mejor en el mecanismo de tracción de la impresora; y además, presentó

propiedades térmicas y mecánicas más cercanas a PCL pura. Sin embargo, cabe mencionar que la PCL y la GR tienen una buena miscibilidad.

En el tercer bloque de estudio se realizó la aditivación de materiales termoplásticos utilizando como base un polímero biodegradable de alto rendimiento ambiental y como aditivo colofonia y sus derivados. Como polímero base se empleó almidón termoplástico (TPS) y como aditivos se usaron los siguientes derivados de colofonia: colofonia sin modificar (GR), colofonia deshidrogenada (RD), colofonia modificada con anhídrido maleico (CM), pentaeritritol éster (LF) y éster de glicerol de colofonia (UG). La colofonia se mezcló con el TPS por extrusión y el procesamiento de las mezclas se llevó a cabo por moldeo por inyección. Se determinó que los derivados de la colofonia aumentaron la cohesión de la estructura del TPS. Además, se encontró que GR, CM y RD restringieron el envejecimiento de TPS después de 24 meses, y que todas las mezclas de TPS-resina se desintegraron en condiciones de compostaje durante el período de incubación termófila. Debido a las propiedades de las formulaciones se considera que los materiales preparados son aptos para aplicaciones de la fabricación de envases rígidos biodegradables de alimentos.

En el cuarto bloque se estudió la aditivación de colofonia a matrices poliméricas mediante la técnica de electropulverización. Se realizaron tres trabajos en los que se optimizó e implementó el proceso de electropulverización para la incorporación de microesferas de colofonia en matrices poliméricas. En el primer trabajo se evaluó el uso de un proceso electrohidrodinámico como método de aditivación de colofonia en matrices poliméricas y se obtuvieron tanto microesferas como microfibras de colofonia dependiendo de la concentración de la solución inicial. En el segundo trabajo se optimizó el proceso de electropulverización de colofonia a partir de 24 experimentos. Como variable de entrada se emplearon dos disolventes (diclorometano y cloroformo), cuatro caudales de solución polimérica y tres voltajes; y, como variable de salida se evaluó la distribución de tamaño de partícula y densidad de las microesferas. Las condiciones optimizadas para cada disolvente fueron aquellas en las que se logró una distribución de tamaño de microesferas estrecha y homogénea, que fueron 1 $\mu\text{L}/\text{min}$ y 10 kV para el diclorometano y 5 $\mu\text{L}/\text{min}$ y 10 kV para el cloroformo. Posteriormente, las microesferas de GR se depositaron sobre películas de PCL moldeadas por compresión para obtener sistemas bicapa. Se determinó que la capa de microesferas GR cambió considerablemente el color de la superficie de la película, redujo la transparencia y produjo un efecto de bloqueo total en la región UVB y un alto bloqueo en la región UVA. Además, la capa de microesferas presentó una hidrofobicidad regulable en función del disolvente utilizado, alcanzando valores de superficies ultrahidrofóbicas. Los resultados

obtenidos revelaron un gran potencial para procesar fácilmente sistemas bicapa con alto interés en aplicaciones agrícolas, de empaque y/o biomédicas sostenibles. Finalmente, en el tercer trabajo se usó el método optimizado de electrospraying para aditivar microesferas de colofonia sobre la capa exterior de una mascarilla quirúrgica a base de polipropileno (PP), y se determinó que el revestimiento de microesferas ayudó a mantener la hidrofobicidad original de la capa exterior de la mascarilla quirúrgica incluso después de 6 horas de uso, aumentando en el tiempo de vida útil de la mascarilla.

Los resultados de la tesis indican que la colofonia y sus derivados son versátiles como aditivos de matrices termoplásticas biodegradables y que el proceso de aditivación puede llevarse a cabo por métodos de procesamiento tanto convencionales como no convencionales. Los hallazgos del estudio son significativos porque la colofonia es un material natural obtenido de fuentes renovables, no es tóxica y es biocompatible, de modo que su uso como aditivo no solo mejora las propiedades de los polímeros biodegradables, sino que promueve el estudio y desarrollo de materiales sostenibles lo que contribuye a la disminución del impacto ambiental de los plásticos.