

RESUMEN

Los residuos de envases alimentarios contribuyen en gran medida a la actual crisis medioambiental provocada por los plásticos. Por ello, la industria alimentaria necesita soluciones de envasado más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, utilizando materiales biodegradables y activos para alargar la vida útil de los alimentos. En este sentido, la presente tesis doctoral tiene como objetivo la obtención de películas activas a base de almidón y PLA mediante la incorporación de ácidos ferúlico o cinámico como compuestos activos, con el fin de desarrollar laminados multicapa que cumplan con los requisitos de envasado de alimentos, con capacidad antibacteriana para alargar la vida útil del producto. En primer lugar, se estudiaron películas monocapa de almidón o PLA con compuestos activos y, finalmente, se diseñaron películas multicapa combinando láminas de almidón y PLA.

La incorporación de los ácidos ferúlico y cinámico a las matrices de almidón de yuca mediante el proceso de mezclado en fundido, al 1 y 2% p/p, promovió la plastificación de la película, probablemente debido a la hidrólisis parcial del polímero durante el proceso de mezclado. Esto aumentó la plasticidad y la extensibilidad de las películas, disminuyendo su rigidez y su resistencia a la rotura. La incorporación de ácidos no mejoró las propiedades de barrera de las películas, pero redujo significativamente su solubilidad en agua. Los análisis de la actividad antibacteriana de las películas frente a *Escherichia coli* y *Listeria innocua*, en medio de cultivo, revelaron que las películas con ácido cinámico eran más eficaces para inhibir el crecimiento bacteriano, y que *Listeria innocua* era más sensible a ambos ácidos que *E. coli*.

Cuando los ácidos ferúlico y cinámico se incorporaron a las matrices de PLA al 1 y al 2% mediante mezclado en fundido, las propiedades funcionales de las películas no se vieron muy afectadas. Sin embargo, los ensayos antimicrobianos in vitro con *L. innocua* y *E. coli*, no mostraron acción antibacteriana, lo que podía atribuirse a la falta de liberación efectiva de los compuestos desde la matriz de PLA. Los estudios de liberación mostraron una liberación muy limitada de los ácidos ferúlico y cinámico desde la matriz de PLA debido al estado vítreo de la matriz polimérica y a su naturaleza hidrofóbica, que limitan el hinchamiento y la relajación del polímero en contacto con medios acuosos, como muchas matrices alimentarias. Por lo tanto, para promover la liberación del compuesto activo desde la matriz de PLA, se analizaron diferentes estrategias: 1) plastificar las películas termoprocesadas con PEG 1000, 2) aumentar la concentración de los compuestos en la película, 3) procesar las películas por casting y 4) anclar los compuestos activos a la superficie de la película. La incorporación superficial se realizó por adsorción de los activos a partir de las soluciones hidro-etánicas de los compuestos activos, por pulverización de las soluciones etánicas de los compuestos sobre la superficie de la película, o por recubrimiento de las películas por electrospinning de las soluciones polímero-activo, utilizando mezclas de disolventes compatibles.

Sólo la incorporación superficial de ferúlico o cinámico en las películas de PLA dio lugar a una inhibición significativa del crecimiento bacteriano. La pulverización de las

películas de PLA con soluciones etanólicas de ácido ferúlico o cinámico permitió la formación superficial de una capa sobre concentrada de compuestos activos en las películas, con formaciones cristalinas que dio lugar a una adecuada liberación de activos para inhibir el crecimiento bacteriano. Disoluciones de PLA-ácido, utilizando mezclas de acetato de etilo (E) con dimetilsulfóxido (DMSO) o ácido acético glacial (A), fueron electrodepositadas en la superficie de las películas. Las diferencias estructurales de las capas obtenidas, asociadas al sistema solvente, determinaron el poder antimicrobiano del material. Los sistemas con DMSO produjeron fibras con una elevada superficie específica que inhibieron significativamente el crecimiento bacteriano, mientras que los sistemas con ácido acético produjeron estructuras particuladas sin actividad antimicrobiana.

Se consideró la incorporación superficial de los compuestos activos para obtener películas de tres capas PLA/almidón/PLA (PSP) con mejores propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana. Las películas cargadas superficialmente, tanto por electrospinning como por pulverización, mostraron una eficaz inhibición del crecimiento de *E. coli* y *L. innocua*, siendo las películas recubiertas por electrospinning más eficaces que las pulverizadas, lo que sugiere una mayor capacidad de liberación de los compuestos activos.

Por lo tanto, los laminados PLA/almidón/PLA, con incorporación superficial de ácidos ferúlico o cinámico, representan una buena alternativa para obtener materiales de envasado de alimentos activos, con capacidad para preservar la calidad de los alimentos y prolongar su vida útil. No obstante, son necesarios más estudios sobre la estabilidad del material y aplicaciones específicas en alimentos reales para determinar la posible aplicación industrial y la viabilidad económica de estos materiales.