



# REPROCESAMIENTO DE POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD (LLDPE) Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES PARA APLICACIONES EMERGENTES.



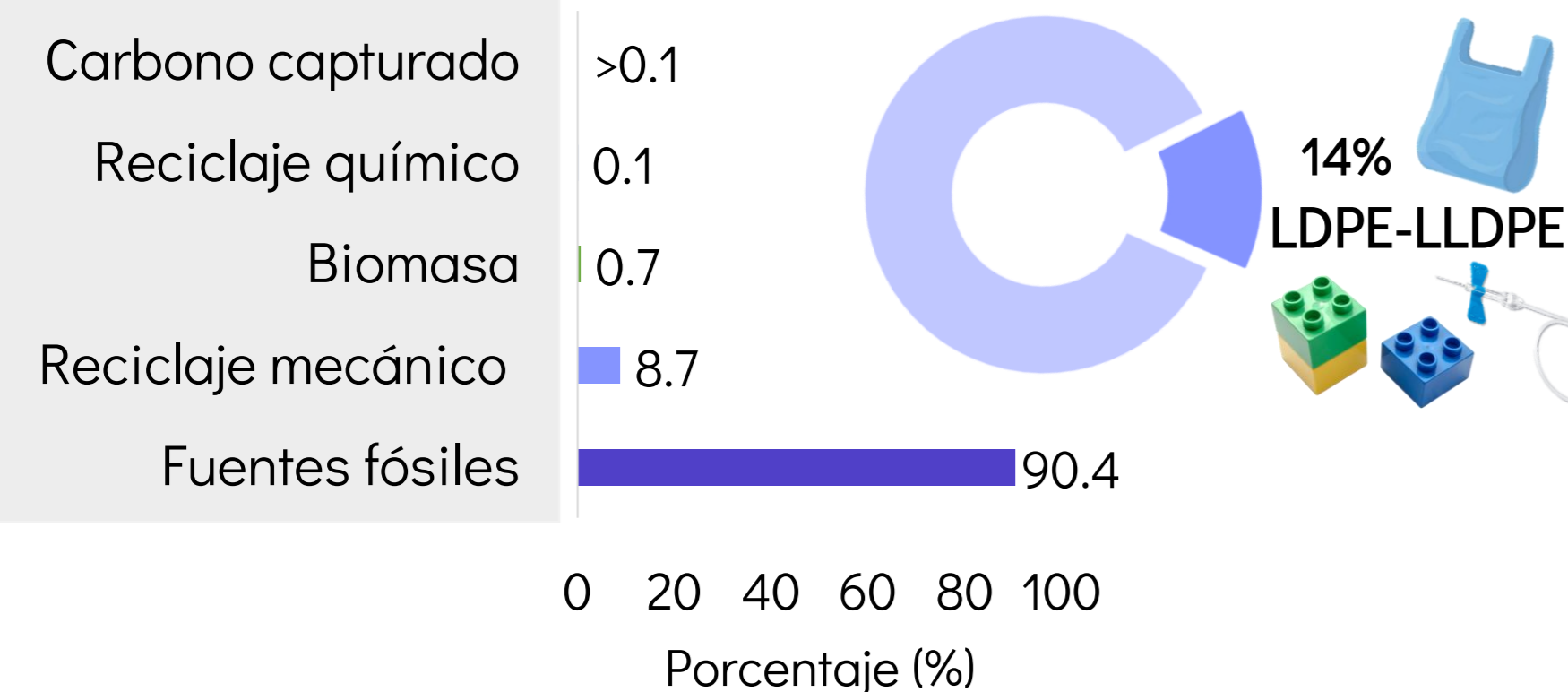
Daniela Yatsil Méndez Moreno, Cándida Anahy Cisneros Covarrubias, César Manuel Del Ángel Olarte, Alma Gabriela Palestino Escobedo.

Laboratorio de Biopolímeros y Nanoestructuras, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava No. 6, C.P. 78210 San Luis Potosí, SLP, México. [A300670@alumnos.uaslp.mx](mailto:A300670@alumnos.uaslp.mx), [mmdanielay@gmail.com](mailto:mmdanielay@gmail.com).

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales ligeros, fáciles de manejar y económicos que se utilizan comúnmente en sectores como el embalaje, la construcción, la industria automotriz, la medicina, partes eléctricas y electrónicas, productos de ocio, etc.

413.8 millones de toneladas (2023)



- Ramificaciones cortas.
- Baja cristalinidad.
- Mayor flexibilidad
- Resistencia al impacto.
- Elongación a la rotura.
- Resistencia al agrietamiento por esfuerzo ambiental.



Reciclaje mecánico: Método físico que funde y reformula el plástico sin alterar su estructura química.

Materiales vírgenes, post-consumo y post-industrial.

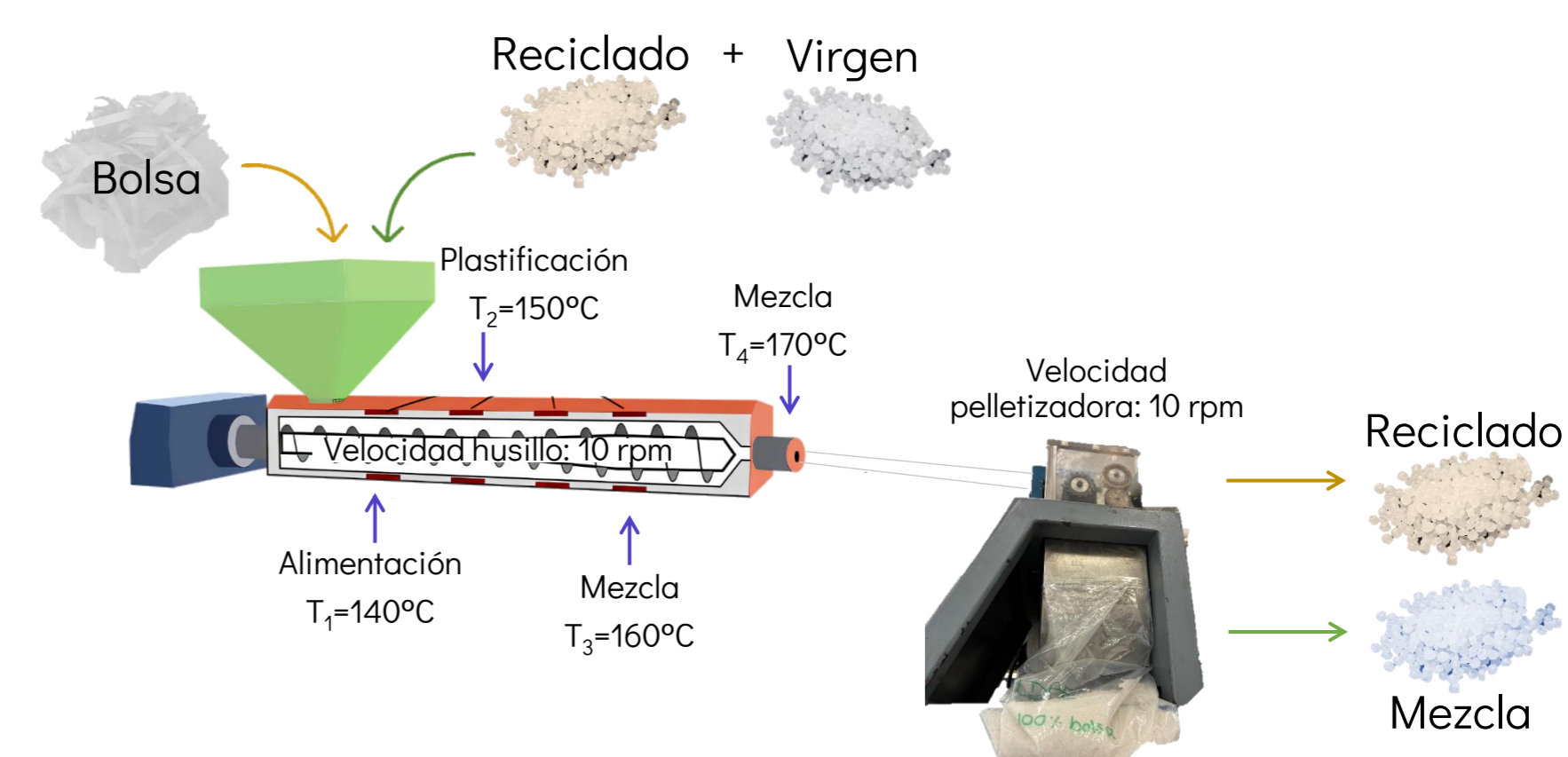


## METODOLOGÍA

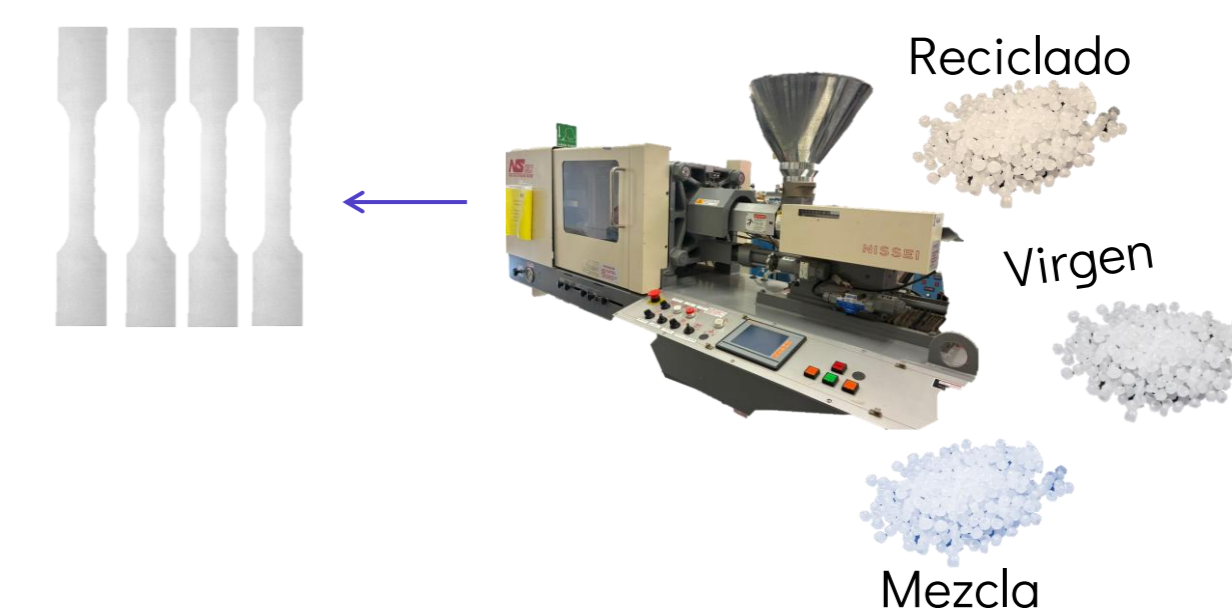
1 Acondicionamiento de la materia prima: LLDPE procesado en forma de películas y bolsas ziploc (scrap industrial).



2 Acondicionamiento para el proceso de extrusión y pelletización para LLDPE.



3 Acondicionamiento de máquina de inyección para generación de probetas.



## RESULTADOS

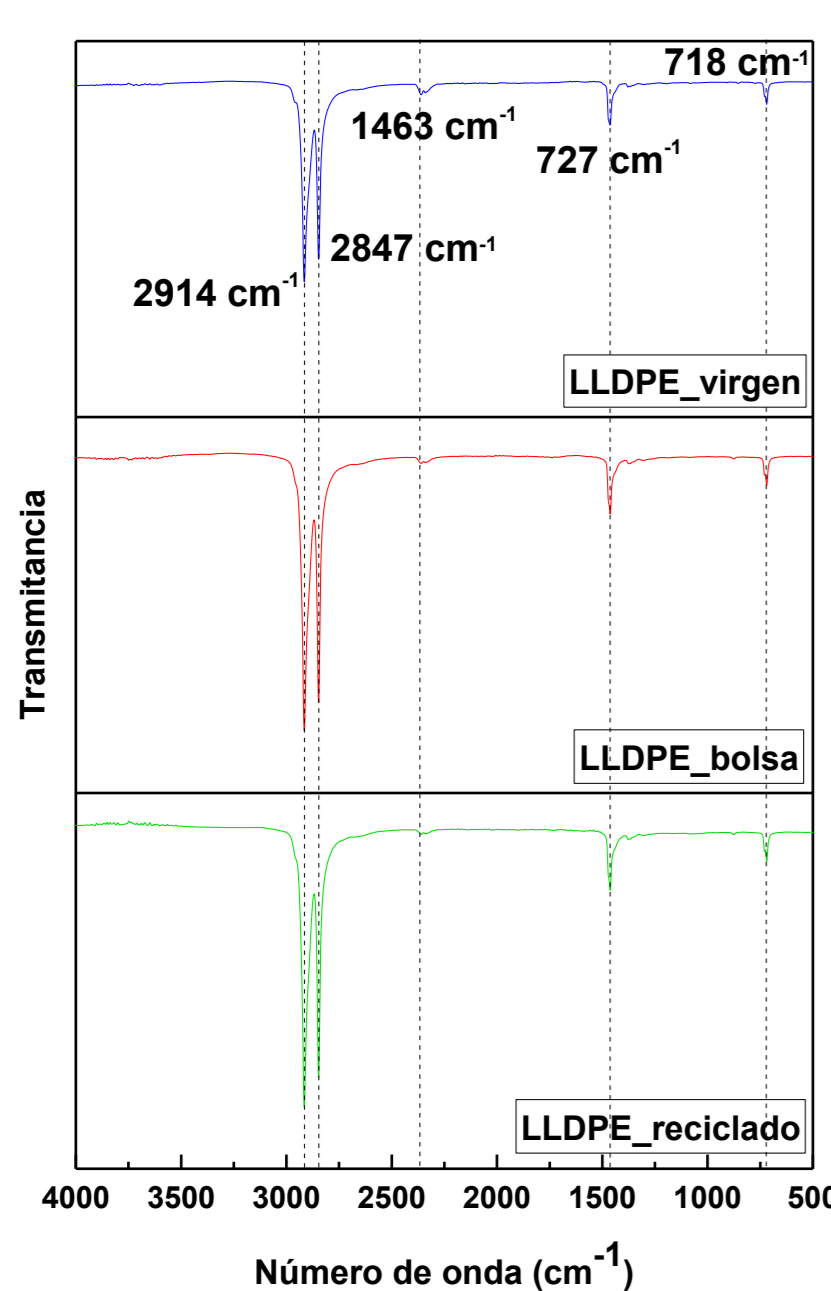


Figura 1. Espectros FTIR de LLDPE virgen, en forma de bolsa y reciclado obtenidos en el rango de 4000–500 cm<sup>-1</sup>.

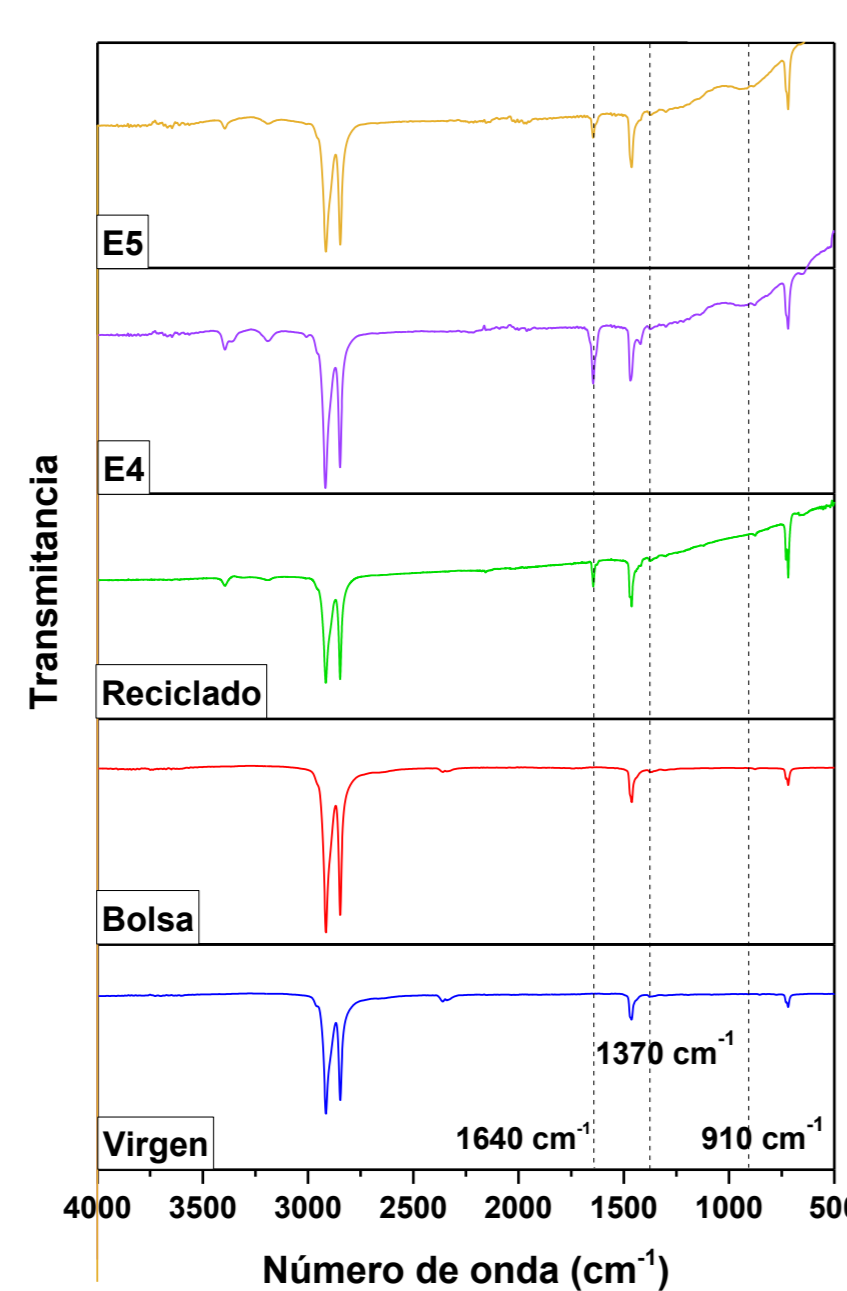


Figura 2. Comparativa de espectros FTIR de LLDPE virgen, en forma de bolsa, reciclado y formulaciones reprocesadas (E4: 80% reciclado, 4 ciclos; E5: 20% reciclado, 4 ciclos).

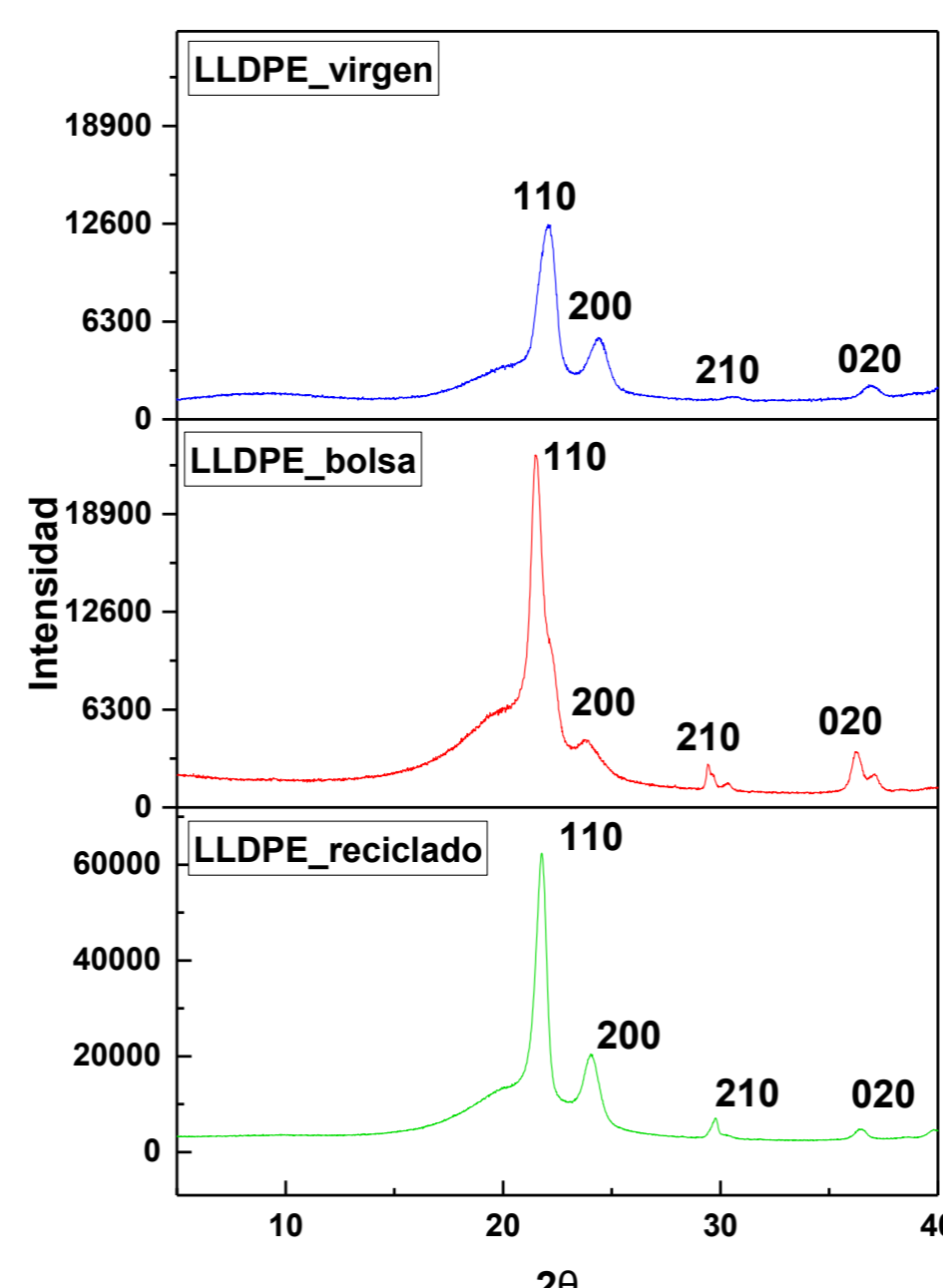


Figura 3. Difractogramas de rayos X (DRX) de LLDPE virgen, en forma de bolsa y reciclado obtenidos en el rango de 2θ = 5–40°.

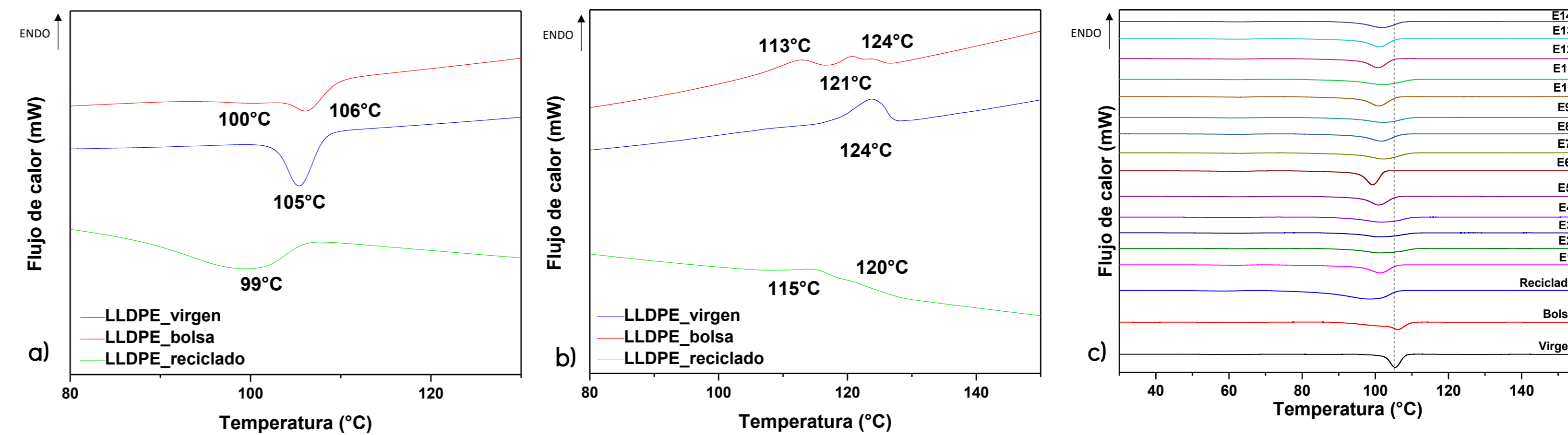


Figura 4. Termograma de calorimetría diferencial de barrido (DSC) de LLDPE virgen, en forma de bolsa y reciclado. Se muestran las mediciones en un rango de temperatura de 80 a 160 °C, evidenciando transiciones térmicas asociadas a: a) Cristalización del polímero. b) Fusión del polímero. c) y d) Comparativa de las transiciones térmicas entre los materiales de partida y las mezclas realizadas.

Diseño de superficie de respuesta con una réplica en punto central y una réplica en el punto factorial.  
Modelo lineal:  $MFI = 1.54 - (0.1543 * A) + (0.0312 * B) - [0.0560 * (A * B)]$

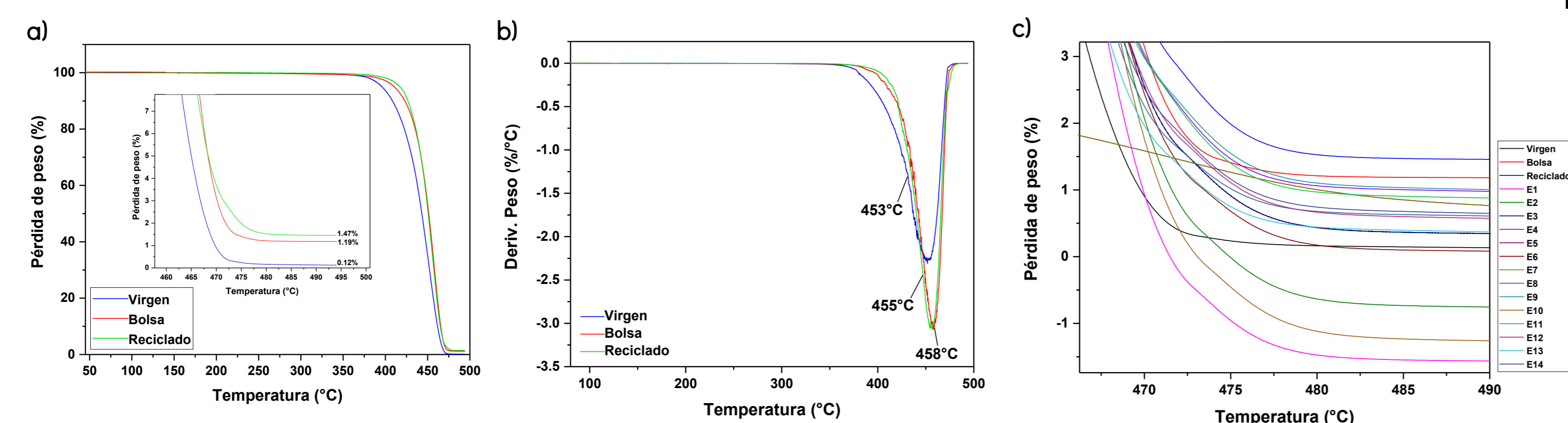
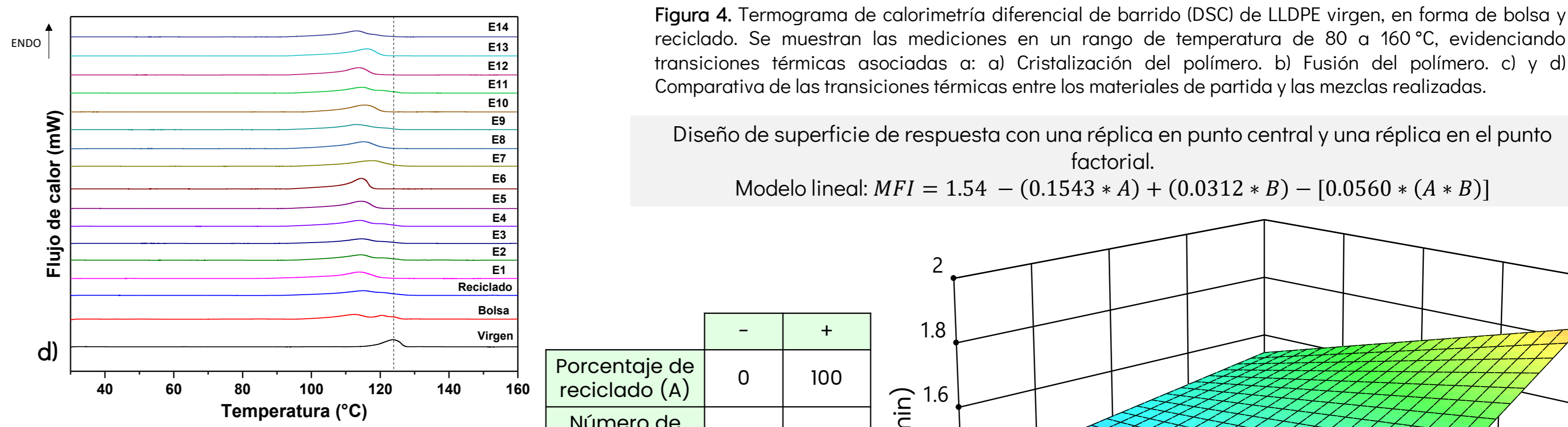


Figura 5. Análisis TGA de LLDPE virgen, en forma de bolsa y reciclado realizado bajo atmósfera de nitrógeno con una velocidad de calentamiento de °C/min. La pérdida de masa observada entre 350–500 °C corresponde a la degradación térmica del polímero, lo que permite evaluar su estabilidad térmica tras el procesamiento. a) Curva típica obtenida por análisis de TGA, con su porcentaje no degradado de la muestra de virgen, bolsa y reciclado indicando presencia de componentes inorgánicos atribuidos a algún aditivo. b) Derivada de la pérdida de peso que indica con precisión las temperaturas de degradación del LLDPE virgen, bolsa y reciclado. c) Comparativa de porcentajes no degradados de cada experimento.



Fuente	Suma de cuadrados	p	
Modelo	0.3575	0.0005	significativo
A - %reciclado	0.3284	< 0.0001	
B - # ciclos	0.0110	0.2709	
AB	0.0180	0.1668	
Residual	0.0812		
Falta de ajuste	0.0528	0.2564	no significativo
Error puro	0.0284		
Cor Total	0.4387		

Figura 6. Diseño de experimentos conformado por 14 corridas, planteado para estudiar simultáneamente el porcentaje de reciclado y el número de ciclos de procesamiento. Este diseño permite identificar interacciones entre factores y posibles efectos no lineales, además de reducir el número total de experimentos sin comprometer la calidad estadística.

## CONCLUSIONES

- FTIR y DRX confirmaron la identidad del LLDPE, identificando las bandas características de estiramiento y flexión C–H, así como los planos cristalinos propios del polímero.
- El DSC evidenció la influencia del reprocesamiento y los aditivos en la organización cristalina, mostrando temperaturas de fusión entre 113–124 °C y variaciones en la etapa de cristalización asociadas al historial térmico del material.
- El TGA mostró buena estabilidad térmica para el LLDPE virgen y reprocesado, con un único evento de degradación entre 350–500 °C, típico de la descomposición del polímero.
- El porcentaje de reciclado y los ciclos de reprocesado afectaron significativamente el MFI: más ciclos y mayor contenido reciclado → menor MFI (indica mayor peso molecular); menos ciclos y menor reciclado → mayor MFI (indica menor peso molecular).
- Los resultados confirman que el reprocesamiento modifica la estructura macromolecular y el desempeño del LLDPE, lo cual es clave para definir su viabilidad en aplicaciones como empaques o bolsas.
- Es necesario continuar con la evaluación de las propiedades mecánicas del material, particularmente la resistencia, elongación y deformación para determinar su desempeño real y su viabilidad de reincorporación en procesos de extrusión o en nuevas formulaciones de mezcla. La consolidación de estos resultados contribuirá directamente a estrategias de economía circular y sostenibilidad, al favorecer la valorización de residuos de LLDPE y promover su inserción en ciclos productivos de manera eficiente y responsable.

## AGRADECIMIENTOS

- Sistema de becas nacionales para estudios de posgrado 2024-2 SECIHTI. (CVU 2045113).
- Laboratorio de Biopolímeros y Nanoestructuras, UASLP.
- Laboratorio de procesamiento de polímeros, UASLP.
- Laboratorio de polímeros, IPICYT.
- Dra. Alma Gabriela Palestino Escobedo.
- Dr. Vladimir Alonso Escobar Barrios.

## REFERENCIAS

- Ballestar, R., Colom, X., & Cañavate, J. (2024). Comparative analysis of the effects of incorporating post-industrial recycled LLDPE and post-consumer PE in films: Macrostructural and microstructural perspectives in the packaging industry. *Polymers*, 16(7), 916. <https://doi.org/10.3390/polym16070916>.
- Ballestar, R., Prados, C., Carrillo-Navarrete, F., Cañavate, J., & Colom, X. (2022). Circular economy assessment in recycling of LLDPE bags according to European resolution, thermal and structural characterization. *Polymers*, 14(4), 754. <https://doi.org/10.3390/polym14040754>.
- PlasticsEurope. (2023). *Plastics – the Facts 2023*. <https://plasticseurope.org>.
- Fortune Business Insights. (2025). *Polyethylene (PE) Market Size, Share & Industry Analysis, By Type (HDPE/MDPE, LDPE, and LLDPE), Forecast, 2024-2032*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/es/industry-reports/polyethylene-pe-market-101584>