

## Tabla de contenido

RESUMEN.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
Tabla de contenido .....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras .....	vii
Índice de gráficos.....	viii
CAPITULO 1 Introducción .....	1
1.1 Propiedades claves para materiales de embalaje .....	1
1.2 Polímeros .....	2
1.2.1 Polímeros utilizados en embalaje.....	5
1.3 Nanocompósitos.....	6
1.3.1 Nanopartículas .....	7
1.3.2 Preparación de nanocompósitos .....	8
1.4 Propiedades mecánicas y de barrera en compuestos poliméricos.....	9
1.4.1 Permeabilidad en compuestos poliméricos .....	9
1.4.2 Permeabilidad en nanocompósitos .....	12
1.4.3 Propiedades mecánicas .....	12
1.5 Antecedentes .....	16
1.5.1 Nanocompósitos en embalaje de alimentos .....	16
1.6 Motivación .....	18
1.7 Alcances y limitaciones .....	18
CAPÍTULO 2 Objetivos .....	20
2.1 Objetivo general .....	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO 3 Metodología .....	21
3.1 Materiales.....	21
3.2 Métodos.....	21
3.2.1 Producción de GO y TrGO .....	21
3.2.2 Nanocompósitos de PA/GO y PA/TrGO .....	22
3.2.3 Caracterización y estudio de propiedades.....	22
CAPÍTULO 4 Resultados y Discusiones .....	25
4.1 Caracterización nanopartículas .....	25
4.2 Estudio de la dispersión de las nanopartículas en la matriz polimérica...26	

4.3	Propiedades de barrera.....	30
4.3.1	Permeabilidad al oxígeno.....	30
4.3.2	Permeabilidad al vapor de agua.....	37
4.4	Propiedades mecánicas.....	42
4.4.1	Módulo elástico.....	42
4.4.2	Elongación a la rotura.....	45
CAPÍTULO 5 Conclusiones.....		47
CAPÍTULO 6 Glosario y nomenclatura.....		48
6.1	Glosario de términos.....	48
6.2	Nomenclatura.....	48
CAPÍTULO 7 Bibliografía.....		49
CAPÍTULO 8 Anexos.....		53
Anexo A: Método del tiempo de retardo.....		53
Anexo B: Obtención de la permeabilidad.....		54
Anexo C: Curvas ensayo de tracción.....		55

## Índice de tablas

Tabla 1: Propiedades de distintos materiales .	5
Tabla 2: Propiedades de polímeros utilizados en embalaje.	6
Tabla 3: Propiedades del Grafeno	8
Tabla 4: Proveedores de nanocompósitos para embalaje.	17
Tabla 5: Nanocompósitos preparados.	22
Tabla 6: Razón de aspecto calculada para cada nanopartícula.	33
Tabla 7: Glosario de términos utilizados.	48
Tabla 8: Nomenclatura utilizada.	48

## Índice de figuras

Figura 1: Estructura de los polímeros. ....	3
Figura 2: Esquema de reacción por adición.....	3
Figura 3: Reacción general de condensación para poliamidas .....	4
Figura 4: Estructura de polímeros.....	4
Figura 5: Esquema de formación del Nylon 6. ....	6
Figura 6: Proceso de obtención del grafeno . ....	8
Figura 7: Etapas de la permeación. ....	9
Figura 8: Volumen libre en matriz polimérica.....	10
Figura 9: Ilustración del camino tortuoso. ....	12
Figura 10: Probeta de ensayo de tracción.. ....	13
Figura 11: Comportamiento del ensayo esfuerzo-deformación . ....	14
Figura 12: Curva típica de ensayo de tracción-deformación.....	15
Figura 13: Imágenes TEM en escala de 0,5 $\mu\text{m}$ de nanocompuestos .....	27
Figura 14: Imágenes TEM en escala de 0,2 $\mu\text{m}$ de nanocompuestos .....	28
Figura 15: Adsorción de vapor de agua en poliamida.....	40
Figura 16: Curva típica de permeación y tiempo de retardo. ....	53

## Índice de gráficos

Gráfico 1: Distribución porcentual del mercado de polímeros .....	1
Gráfico 2: Patrones de Difracción de Rayos X.....	26
Gráfico 3: Efecto de la carga de nanopartículas sobre la permeabilidad al oxígeno (PO <sub>2</sub> ) de la policaprolactama. ....	31
Gráfico 4: Efecto de carga y morfología de nanopartículas sobre la permeabilidad al oxígeno en nanocompuestos de PA6-GO.....	34
Gráfico 5: Efecto de carga y morfología de nanopartículas sobre la permeabilidad al oxígeno en nanocompuestos de PA6-TrGO600°.....	35
Gráfico 6: Efecto de carga y morfología de nanopartículas sobre la permeabilidad al oxígeno en nanocompuestos de PA6-TrGO800°.....	36
Gráfico 7: Efecto de la carga de nanopartículas sobre la permeabilidad al vapor de agua (WVTR) de la policaprolactama .....	38
Gráfico 8: Efecto de carga y morfología de nanopartículas sobre la permeabilidad al vapor de agua en nanocompuestos de PA6-TrGO600°.....	41
Gráfico 9: Efecto de la carga de nanopartículas sobre el módulo elástico para nanocompuestos de PA6 con GO y TrGO600°.....	42
Gráfico 10: Efecto de la carga y morfología de nanopartículas sobre el módulo elástico para nanocompuestos de PA6-TrGO600° con ajuste de Halpin-Tsai.....	44
Gráfico 11: Efecto de la carga de nanopartículas en la elongación a la rotura para nanocompuestos de PA6 con GO y TrGO600°.....	45
Gráfico 12: Curva obtenida mediante el método de tiempo de retardo para PA6 con 5% p/p de TrGO 600°C.....	53
Gráfico 13: Sección estacionaria de curvas obtenidas en celda de permeación mediante método de tiempo de retardo para PA6 con 3% TrGO 600°C .....	54
Gráfico 14: Curva obtenida mediante el método de vaso seco para PA6 con 7% TrGO 800°C.....	55
Gráfico 15: Curvas experimentales de esfuerzo - deformación de los compósitos de PA6-GO.....	55
Gráfico 16: Curvas experimentales de esfuerzo - deformación para nanocompuestos de PA6-TrGO600°.....	56