



POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid
Tel: 91 336 3060
info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es



Ana Lafuente Cañaveras

05 TRABAJO FIN DE GRADO

INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

EMPLEO DE DISOLVENTES EUTÉCTICOS COMO AGENTES EXTRACTIVOS Y PLASTIFICANTES SOSTENIBLES

SEPTIEMBRE 2025

Ana Lafuente Cañaveras

DIRECTORAS DEL TRABAJO FIN DE GRADO:

María González Miquel
Marina Patricia Arrieta Dillon





EMPLEO DE DISOLVENTES EUTÉCTICOS COMO AGENTES EXTRACTIVOS Y PLASTIFICANTES SOSTENIBLES

Ana Lafuente Cañaveras 21724

Tutoras:

María González Miquel

Marina Patricia Arrieta Dillon

Universidad Politécnica de Madrid

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Departamento de Ingeniería Química Industrial y Medio Ambiente

Madrid, septiembre 2025

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia por ser un pilar fundamental y siempre darme su amor incondicional, por apoyarme tanto en los momentos buenos como en los no tan buenos durante estos años de carrera y por estar ahí siempre que lo he necesitado.

También a María González y Marina P. Arrieta, mis tutoras de este trabajo, por saber guiarme en todo momento, a Emilio J. González y Andrea Sánchez por estar constantemente conmigo en el laboratorio ayudándome completamente con todo lo que he necesitado.

A mis amigos, tanto los que me acompañan desde hace años, como a los que han aparecido a lo largo de esta experiencia, por ayudarme a mantenerme constante, no rendirme nunca y hacer de este camino, uno más ameno. Y, por último, a mi pareja por recordarme la importancia de valorar cada momento de la vida, por pequeño que parezca.

RESUMEN

La industria olivarera en España es muy importante en el ámbito de la agroalimentación al ser líder mundial en la producción y en la superficie cultivada. No obstante, esta industria también genera una alta cantidad de residuos, tales como las hojas del olivo. Sin embargo, estas contienen compuestos bioactivos como la oleuropeína, que presenta propiedades interesantes como antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, etc. Por tanto, estos compuestos podrían ser utilizados en otras industrias, por lo que resulta de interés desarrollar métodos de extracción sostenibles como alternativa a los métodos tradicionales de extracción para recuperar tales compuestos polifenólicos de la biomasa.

De manera habitual, la recuperación de compuestos polifenólicos matrices vegetales se lleva a cabo mediante procesos de extracción sólido-líquido empleando disolventes orgánicos volátiles (COV) que pueden suponer un riesgo para la salud y para el medioambiente. Por esta razón, en el presente Trabajo Fin de Grado se pretende explorar el uso de disolventes eutécticos (DE) como alternativa más sostenible a los COV.

Los DE son un tipo de disolvente que resulta de la mezcla de un dador (HBD) y un aceptador de enlaces de hidrógeno (HBA), utilizando en este caso compuestos naturales como el glicerol y la prolina, la betaína o el cloruro de colina, respectivamente.

Los objetivos que persigue el trabajo son, por un lado, evaluar la capacidad extractiva de los anteriormente mencionados DE con el fin de obtener antioxidantes de las hojas de olivo y, por otro lado, estudiar si esos extractos pueden ser aprovechados como plastificantes sostenibles del poliácido láctico (PLA), un polímero biobasado y biodegradable. Para ello, se llevaron a cabo extracciones sólido-líquido, se analizaron los extractos mediante los métodos espectrofotométricos DPPH y Folin-Ciocalteu para determinar la cantidad de polifenoles extraídos y la capacidad antioxidante de los extractos, y se utilizaron como aditivos para la

obtención de bioplásticos, mediante extrusión para simular las condiciones industriales de obtención de plásticos.

Este trabajo pone de manifiesto la capacidad de los disolventes eutécticos para funcionar como agentes extractivos y plastificantes sostenibles, contribuyendo de esta forma a la valorización de los residuos agroindustriales y fomentando la bioeconomía circular.

Palabras clave: disolventes eutécticos, hojas de olivo, plastificación, PLA, extracción sólido-líquido, sostenibilidad, oleuropeína, bioplásticos, propiedades mecánicas, propiedades térmicas.

Códigos UNESCO:

3303 - Ingeniería y Tecnología Químicas

3309.03 - Antioxidantes en Los Alimentos

3328.25 - Extracción Sólido-Líquido

2304.01 - Plásticos Celulares

2211.19 - Propiedades Mecánicas

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. INDUSTRIA DEL OLIVO EN ESPAÑA.....	2
1.2. POLIFENOLES EN LAS HOJAS DE OLIVO.....	3
1.3. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO CON DISOLVENTES EUTÉCTICOS	4
1.4. DISOLVENTES EUTÉCTICOS NATURALES	5
1.5. INDUSTRIA DEL PLÁSTICO	6
1.6. PLASTIFICACIÓN DEL PLA.....	7
2. OBJETIVOS	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1. REACTIVOS	9
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	10
3.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	13
3.3.1. <i>Preparación de la biomasa</i>	13
3.3.2. <i>Preparación de los disolventes eutécticos</i>	14
3.3.3. <i>Extracción sólido-líquido</i>	15
3.3.4. <i>Análisis de los extractos</i>	16
3.3.5. <i>Plastificación de los extractos</i>	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19

4.1.	MÉTODO DPPH	19
4.2.	MÉTODO FOLIN-CIOCALTEU.....	21
4.3.	PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS	24
4.4.	ENSAYOS MECÁNICOS.....	26
4.4.1.	<i>Prueba de tracción</i>	26
4.4.2.	<i>Análisis termogravimétrico (TGA)</i>	30
5.	CONCLUSIONES	39
6.	LÍNEAS FUTURAS	41
7.	BIBLIOGRAFÍA	42
8.	PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO	45
8.1.	PLANIFICACIÓN TEMPORAL.....	45
8.2.	PRESUPUESTO	48
9.	RESPONSABILIDAD SOCIAL	51
10.	ANÁLISIS ASPECTOS LEGALES Y ÉTICOS	52
11.	CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO SOSTENIBLE	54
12.	CONGRESO IUPAC 2025	55
13.	ÍNDICE DE FIGURAS	57
14.	ÍNDICE DE TABLAS	60
15.	ABREVIATURAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS	61
16.	ANEXO	63

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Industria del olivo en España

El sector del olivo es un pilar fundamental en el sistema agroalimentario español. España es líder mundial en superficie, producción y comercio exterior gracias a la tradición olivarera del país y a una industria tecnológicamente avanzada y profesional capaz de obtener aceites de gran calidad. La producción española de aceite de oliva supone el 70% de la producción de la UE y el 45% de la mundial.

El cultivo está presente en 15 de las 17 comunidades autónomas. Andalucía es la mayor región productora con 1,67 millones de hectáreas y concentra, fundamentalmente en Jaén, su tan característico “mar de olivos”. Otras comunidades destacables en esta industria son Castilla-La Mancha y Extremadura. [1]

La industria genera principalmente aceite de oliva, mundialmente conocido por tener múltiples beneficios. No solo tiene ventajas gastronómicas, si no que recientes estudios de la Universidad de Córdoba demuestran que el aceite de oliva presenta un efecto protector contra diferentes enfermedades. [2]

Sin embargo, como bien es sabido, todas las industrias generan residuos. Entre los residuos generados en la industria olivarera se encuentran el alpeorujo, que es una mezcla de sólidos, agua y aceite, o los residuos de poda, que son empleados para otras funciones domésticas o para la generación de biomasa. Las hojas de olivo forman parte de los residuos de poda, y son ricas en polifenoles con capacidad para frenar el estrés oxidativo. Por ello, resulta de gran interés la valorización de esta biomasa mediante la recuperación de compuestos bioactivos de valor añadido, como los polifenoles, para distintas aplicaciones industriales. [3]

1.2. Polifenoles en las hojas de olivo

Los polifenoles son compuestos de origen vegetal que se encuentran en numerosos alimentos, como frutas y verduras, y presentan una elevada capacidad antioxidante. [4]

Hay muchas familias de polifenoles como pueden ser los flavonoides o las flavononas. Se va a destacar la oleuropeína, ya que es el compuesto fenólico más abundante encontrado en las hojas de olivo. [5]

La oleuropeína es un glucósido secoiridoide, un tipo de compuesto fenólico que se encuentra en altas concentraciones en las hojas de olivo, que es el responsable del sabor amargo de las aceitunas naturales y entre sus propiedades destacan:

- **Carácter antioxidante:** Consigue proteger a las células del daño que los radicales libres pueden causarle, manteniendo las células en buen estado por más tiempo. También previene de enfermedades crónicas o problemas cardiovasculares, como el colesterol LDL. [6]
- **Carácter antiinflamatorio:** Actúa inhibiendo la producción de moléculas pro-inflamatorias como la interleucina-6 (IL-6) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α). Al reducir la inflamación crónica, la oleuropeína puede ayudar en el manejo de enfermedades inflamatorias como la artritis y otras condiciones relacionadas.[7]
- **Carácter antimicrobiano:** Ha demostrado tener actividad antimicrobiana contra una amplia gama de patógenos, incluyendo bacterias, virus y hongos. Este efecto antimicrobiano hace que la oleuropeína sea un potencial agente terapéutico para combatir infecciones y fortalecer el sistema inmunológico. [7]
- **Carácter neuroprotectivo:** Puede ofrecer protección contra enfermedades neurodegenerativas. Su capacidad para reducir el estrés oxidativo y la inflamación en el cerebro sugiere que puede ser útil en la prevención de enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson. Además, se ha demostrado que la oleuropeína puede mejorar la función cognitiva y proteger las neuronas de daños. [7]

Considerando las características anteriores, resulta de gran interés recuperar la oleuropeína presente en las hojas de olivo para aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y/o de

química fina, entre otras. El método más frecuente, para la separación de polifenoles de matrices vegetales es la extracción sólido-líquido [8], que se va a emplear en este Trabajo Fin de Grado para la recuperación de la oleuropeína de las hojas de olivo. Sin embargo, los métodos clásicos de extracción sólido-líquido emplean compuestos orgánicos volátiles (COV) como disolventes, que son de origen petroquímico y tóxicos para la salud y el medio ambiente. Por ello, es necesario la búsqueda de disolventes de origen renovable y más sostenibles, como es el caso de los disolventes eutécticos que se proponen en este trabajo.

1.3. Extracción sólido-líquido con disolventes eutécticos

Como se ha mencionado anteriormente, en este Trabajo Fin de Grado se plantea el uso de disolventes eutécticos (DE) como alternativa sostenible a los disolventes orgánicos convencionales para la recuperación de antioxidantes naturales, como la oleuropeína, de las hojas de olivo. En concreto, los compuestos orgánicos volátiles (COV), pueden contribuir a la contaminación del aire en interiores y exteriores, y algunos de ellos están asociados con efectos negativos para la salud humana y el medio ambiente. [9] Estos efectos negativos han sido catalogados en normativas y leyes como el Reglamento REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas, del inglés “*Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals*”) o la Ley IPPC (Prevención y Control Integrado de la Contaminación, del inglés “*Integrated Pollution Prevention and Control*”), donde se establecen los valores límite de emisión de sustancias químicas como los COV mencionados, lo que justifica la búsqueda de disolventes alternativos. Los DE se presentan como una opción más ecológica y sostenible, proporcionando eficacia de extracción de compuestos fenólicos y otros fotoquímicos de fuentes naturales. [10]

Los DE son mezclas formadas por dos clases de compuestos, los aceptores de enlaces de hidrógeno (HBA, del inglés “*Hydrogen Bond Acceptor*”) y los dadores de enlaces de hidrógeno (HBD, del inglés “*Hydrogen Bond Donor*”). Lo característico de los DE es que los HBA y los HBD forman sistemas con interacciones que presentan una baja energía de enlace que es lo que provoca el bajo punto de fusión respecto a los componentes solos, como se muestra en la *Figura 1.1*. [11]

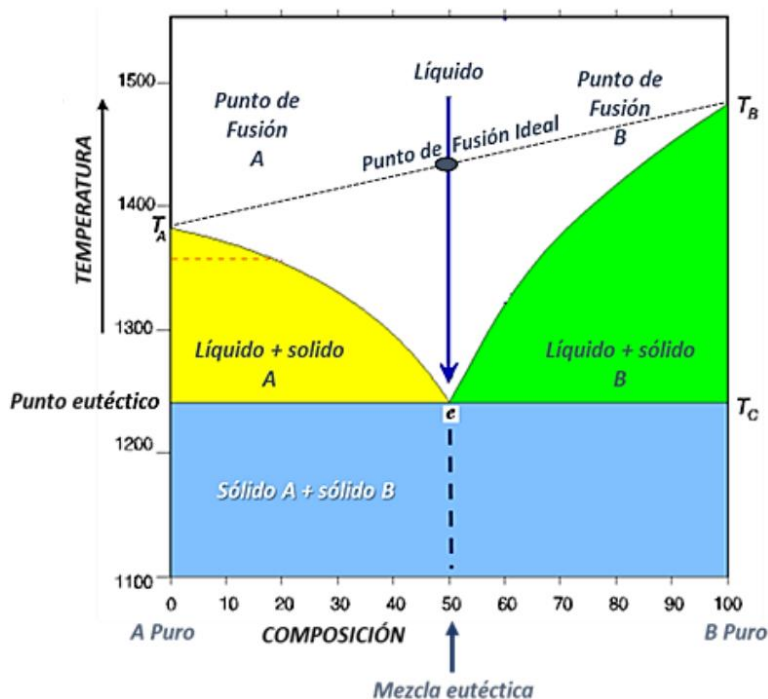


Figura 1.1. Diagrama de fases de un DE.

1.4. Disolventes eutécticos naturales

El uso de disolventes orgánicos ha sido una parte integral del proceso de producción industrial durante varias décadas. No obstante, la creciente preocupación sobre el impacto negativo de estas sustancias tanto en el medio ambiente como en la salud humana ha llevado a la necesidad de encontrar una alternativa más sostenible y ecológica.

Una de las soluciones son los disolventes eutécticos naturales (NADES, del inglés “*Natural Deep Eutectic Solvents*”). Los NADES se forman por la combinación de compuestos HBA y HBD que provienen de plantas, animales y microorganismos. El ámbito de aplicación de los NADES es infinitamente diverso, y cubre la extracción de compuestos bioactivos, la tecnología alimentaria, la catálisis enzimática, la síntesis de nanopartículas, la biotecnología y la biorremediación. Sin embargo, los NADES tienen desventajas y desafíos, como su inestabilidad térmica y electroquímica, así como la dificultad en la selección y formulación óptima para la aplicación objetivo. Sin embargo, presentan beneficios significativos en comparación con los disolventes tradicionales como, por ejemplo, que sus componentes son

baratos, accesibles, biodegradables, menos tóxicos, más biocompatibles y ajustables en sus propiedades fisicoquímicas, como la viscosidad y la densidad, lo que permite su uso para diversos métodos. [12]

1.5. Industria del plástico

Entre todas las industrias en España, la del plástico representa un 2,1% del producto interior bruto (PIB) nacional y a su vez, un 15,9% del PIB industrial y genera casi medio millón de empleos en España, por lo que es un sector con cierta importancia. [13]

Cada vez crece más la concienciación respecto a este material, y hay mucha investigación para fabricar plásticos sostenibles, dejando de lado los plásticos de origen fósiles. En 2022, en Europa la producción mayoritaria de plásticos fue de poliolefinas (PP, “polipropileno” y PE, “polietileno”) y seguido del PVC (“policloruro de vinilo”). Los plásticos más sostenibles constituyen el 19,7%, provenientes del reciclado mecánico (de pre y post-consumo (18,6%), de reciclado químico (0,1%) y de plásticos provenientes de materias primas no fósiles y de biomasa (1,0%), conocidos como biopolímeros, como se muestra en la *Figura 1.2* [14]

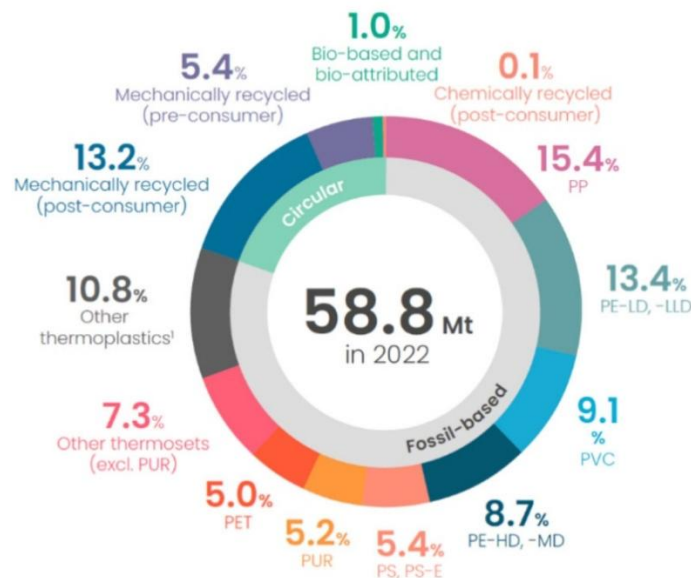


Figura 1.2. Usos del plástico en Europa en 2022. [14]

En este Trabajo de Fin de Grado, la intención es investigar más a fondo la fabricación de plásticos a partir de biomasa, que ocupa solo el 1% de la producción europea de plásticos,

adicionándolos con extractos de la hoja de olivo. Para ello, se ha seleccionado como matriz biopolimérica el poliácido láctico (PLA).

1.6. Plastificación del PLA

Debido a los numerosos problemas medioambientales que se tienen hoy en día con los plásticos, surgen alternativas más sostenibles. Una de estas opciones es el poliácido láctico (PLA), que es una alternativa en el sector de los termoplásticos. El PLA se obtiene a partir de la fermentación de vegetales, como el maíz, la yuca o la caña de azúcar y mediante polimerización del ácido láctico por policondensación para obtener un prepolímero (de baja masa molecular) que es posteriormente catalíticamente despolimerizado en un anillo cíclico intermedio (láctica) que, finalmente, es polimerizado mediante polimerización por apertura de anillo (ROP, del inglés “*Ring Opening Polymerization*”) en PLA de alta masa molar. Algunas características del PLA son:

- Material de origen renovable: el PLA es un material biobasado ya que proviene de fuentes vegetales. [15]
- Material compostable: el PLA se biodegrada en condiciones de compostaje, se convierte en abono, CO₂ y agua sin dejar rastro de microplásticos u otro tipo de residuos tóxicos. [15] [16] [17]

Sin embargo, el PLA es un material rígido y quebradizo y es por ello por lo que comúnmente se mezcla con otros aditivos como plastificantes, no sólo para obtener materiales más flexibles y dúctiles, mediante la disminución de la temperatura de transición vítrea, sino también para facilitar la procesabilidad [18]. El proceso de plastificación se realiza mezclando los pellets de PLA con el plastificante y procesándolos mediante mezclado en fundido por extrusión para obtener unos filamentos con los que se puedan crear plásticos más adelante.

2. OBJETIVOS

Los objetivos que se persiguen en este Trabajo de Fin de Grado son dos. El primer objetivo se basa en evaluar la capacidad de los disolventes eutécticos (DE) para extraer los antioxidantes presentes en los residuos de poda del olivo. Para ello, primero hay que acondicionar la biomasa, limpiándola y secándola previamente para luego triturarla. A continuación, se preparan los DE mezclando los aceptores de enlaces de hidrógeno (HBA) con los dadores de enlaces de hidrógeno (HBD) en las condiciones necesarias para crear una mezcla homogénea. En concreto, en este caso se empleará el glicerol como HBD y la prolina, la betaína y el cloruro de colina como HBA. Tras realizar la extracción sólido-líquido empleando los DE para recuperar los antioxidantes presentes en los residuos de olivo, se emplean distintas técnicas espectrofotométricas para cuantificar los antioxidantes obtenidos y determinar la capacidad antioxidante de los extractos.

El segundo objetivo de este trabajo se centra en evaluar la posibilidad de emplear los extractos de poda basados en DE como aditivos plastificantes, es decir, evaluar la capacidad plastificante de estos extractos antioxidantes basados en DE. Para ello, una vez se realizan las extracciones, se elimina el agua de los extractos mediante un rotavapor. El siguiente paso es mezclar los extractos antioxidantes basados en DE con el PLA con el bioplástico mediante extrusión. Tras este proceso se obtendrán unos filamentos plásticos con los que se realizarán pruebas mecánicas y térmicas. Estas pruebas permitirán caracterizar el comportamiento del plástico y evaluar su idoneidad para su uso en aplicaciones específicas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Reactivos

En la primera parte experimental se hace uso de varios reactivos para la preparación de los DE. En la *Tabla 1* se detalla toda la información de estos reactivos, incluyendo el nombre, fórmula química, número CAS (del inglés “*Chemical Abstracts Service*”, que es el identificador único e inequívoco para cada sustancia), su masa molecular y su pureza. También se incluye el reactivo usado en la segunda parte experimental, el políácido láctico (PLA).









Tabla 1. Reactivos utilizados.

Compuesto	Fórmula	N° CAS	Pureza	PM (g/mol)	Estado
Glicerol	C ₃ H ₈ O ₃	56-81-5	99,5%	92,09	Líquido
Prolina	C ₅ H ₉ NO ₂	147-85-3	98%	115,13	Sólido
Betaína	C ₅ H ₁₁ NO ₂	107-43-7	98%	117,15	Sólido
Cloruro de colina	C ₅ H ₁₄ ClNO	67-48-1	98%	139,62	Sólido
Acetona	C ₃ H ₆ O	67-64-1	99,5%	58,08	Líquido
Agua	H ₂ O	7732-18-5	100%	18	Líquido
PLA	[C ₃ H ₄ O ₂] _n	26100-51-6	98%	72·n	Sólido (pellets)

3.2. Materiales y equipos

En la *Tabla 2* se muestran los materiales que se han empleado a lo largo del trabajo experimental.

Tabla 2. Materiales y equipos.

Equipo	Foto	Equipo	Foto
Molinillo		Tijeras	
Estufa		Bandeja	
Papel		Agitador magnético y calentable	
Imán teflonado		Balanza analítica	

Empleo de disolventes eutécticos como agentes extractivos y plastificantes (TFG)

Frascos (500 mL)



Viales



Frascos (100 mL)



Vidrio de reloj



Espátula



Puntas de pipeta



Pipeta automática



Agitador orbital



Pipeta Pasteur



Centrífuga



Pipeta manual graduada



Frascos (10 mL)



Empleo de disolventes eutécticos como agentes extractivos y plastificantes (TFG)

Aspirador de pipeta



Agitador vórtex



Rotavapor



Baño térmico



Extrusora



Máquina de tracción



Termobalanza



3.3. Procedimiento experimental

3.3.1. Preparación de la biomasa

Antes de comenzar las extracciones, lo primero que se debe hacer es preparar la biomasa. Para ello, en primer lugar, se recogen las hojas de un olivo cultivado en Madrid, aspecto que se debe tener en cuenta porque el clima puede variar dependiendo de las diferentes comunidades y afectar la composición de la biomasa, que se muestra en la *Figura 3.1*.

Tras dejarlas secar al aire durante 24 horas, las hojas se cortan y se introducen en un horno otras 24 horas para que se sequen completamente, tal y como se muestra en las *Figuras 3.2 y 3.3*.



Figura 3.1. Hojas de olivo.



Figura 3.2. Hojas de olivo lavadas y secas.



Figura 3.3. Hojas de olivo cortadas y secadas en horno.

Una vez se tiene la biomasa seca, el último paso es triturarla con un molinillo, quedando un polvo verde que iremos introduciendo en viales más adelante, mostrado en la *Figura 3.4*. Esta biomasa triturada será conservada en un frigorífico.



Figura 3.4. Hojas de olivo trituradas.

3.3.2. Preparación de los disolventes eutécticos

Como se ha mencionado previamente, los DE constan de un aceptor de puentes de hidrógeno (HBA), que variará según cada DE, y un dador de puentes de hidrógeno (HBD), que será fijo: el glicerol. Para ello, es necesario preparar tres mezclas con una proporción molar 1:2.

- Prolina:Glicerol (1:2), lo denominaremos P:G (1:2).
- Betaína:Glicerol (1:2), lo denominaremos B:G (1:2).
- Cloruro de colina:Glicerol (1:2), lo denominaremos ChCl:G (1:2).

El procedimiento es similar para las tres mezclas. La duración aproximada de preparación es de 1 hora, en la que se pone en un baño térmico de silicona el frasco de 500 mL, en el que previamente se ha añadido la masa de glicerol (HBD) necesaria para cada mezcla y su respectivo HBA (las cantidades se muestran en la *Tabla A1*). También se introduce un imán teflonado que estará en constante agitación hasta que se forme una mezcla líquida homogénea.

Las temperaturas de formación de los DE son 80 °C para P:G, 72 °C para B:G y 65 °C para ChCl:G. Es importante tener en cuenta estas temperaturas, ya que si se sobrepasan se puede quemar el disolvente.

3.3.3. Extracción sólido-líquido

Tras la preparación de los DE, se van a llevar a cabo las extracciones sólido-líquido. Primero se van a hacer extracciones de los residuos de olivo empleando agua, glicerol y una disolución de glicerol (compuesta por 75% en volumen de glicerol y 25% en volumen de agua) como disolventes de referencia. Seguidamente, ya se procederá a realizar las extracciones de los residuos de olivo empleando los diferentes DE.

El proceso para realizar las extracciones sólido-líquido consiste en poner en contacto el polvo de hojas de olivo con el disolvente en los viales, y tras agitar manualmente para homogenizar la mezcla, se colocan los viales en el orbital durante 30 minutos a 60 °C y 900 revoluciones por minuto (rpm). Una vez transcurrido este tiempo, los viales se introducen en la centrifugadora durante 10 minutos a 4200 rpm para favorecer la separación de fases tras la extracción.

Teóricamente, tras la centrifugación, debido a la diferencia de densidades, el residuo de olivo se deposita en el fondo del vial mientras que el líquido de la extracción se mantiene en la parte de arriba. Experimentalmente se ha comprobado que eso es cierto, pero se creaba también una fina capa de residuo en la parte de arriba, que posiblemente sean los filamentos del olivo que poseen una densidad menor que la del líquido.

Teniendo esto en cuenta, con una espátula se eliminó el sólido depositado en la parte superior y con una pipeta Pasteur se fue recogiendo el líquido, intentando no coger residuo de olivo. A veces es complicado coger únicamente el líquido, ya que puede haber fragmentos de sólidos flotando en él. En este caso, se puede volver a centrifugar y repetir el proceso hasta que todo el sólido se deposite en el fondo del vial y se obtenga únicamente el extracto.

Los extractos se recogen en frascos de 100 mL (como se muestra en la *Figura 3.5*), y se reservan en un frigorífico hasta que se vayan a analizar. Los análisis se realizarán mediante técnicas espectrofotométricas para determinar la cantidad de fenoles totales y la capacidad antioxidante de los extractos.

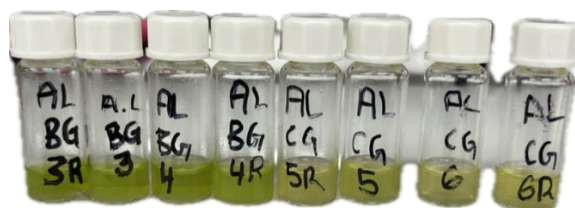


Figura 3.5. Extracciones con los DES.

3.3.4. Análisis de los extractos

Los extractos van a ser analizados mediante métodos espectrofotométricos. En concreto, el carácter antioxidante se evaluará con el método DPPH, mientras que la cantidad de polifenoles totales se determinará con el método Folin-Ciocalteu.

- **Método DPPH**

Para el análisis de los extractos se emplea el método de DPPH para determinar la capacidad antioxidante de los compuestos. Este método consiste en la captación de los radicales libres y en la cuantificación de la reacción que ocurre entre la molécula DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazina) y los compuestos antioxidantes de la muestra, estos compuestos reaccionan con los radicales libres y finalizan la reacción en cadena de su descomposición o de la oxidación de otros compuestos del medio. Esta reacción se podrá observar ya que el DPPH, que presenta un color morado intenso, pasa a tener un color amarillento. En la realización de este método se prepara 100 μ L de muestra en viales y se añaden 2,9 mL de DPPH en los tubos y se homogeniza usando el agitador vórtex. Es muy importante que el DPPH permanezca envuelto en papel aluminio para que no se estropee y pierda sus propiedades. Se dejan los viales en una caja donde no haya luz durante 30 minutos. Se ajusta el espectrofotómetro en los 515 nm, ya que ahí está su banda de absorción, es decir que es la longitud de onda de máxima absorción, y se evalúan las muestras, dejando pasar el haz de luz por ellas para que indique la absorbancia de las muestras.

- **Método Folin-Ciocalteu**

También se emplea el método de Folin-Ciocalteu para determinar la cantidad de polifenoles que se han extraído. Este método se basa en reacción entre los polifenoles y el reactivo Folin-Ciocalteu, que es una muestra de wolframato sódico (Na_2WO_4) y molibdatos (Mo^{+6}) disueltos en ácido fosfórico (H_3PO_4). Se sabe cuándo se ha dado la reacción redox, ya que pasa de un color amarillento a un azulón. Se podrá determinar la cantidad de polifenoles que haya evaluándolo con el espectrofotómetro y una recta patrón que se hace con ácido gálico ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$). Para este método también se toman viales, se añaden 100 μL de la muestra en ellas junto con 100 μL del reactivo Folin-Ciocalteu y se homogeniza con el agitador vórtex. A continuación, los viales se dejan reposar en la oscuridad durante 3 minutos. Una vez pasados estos minutos se añaden 2 mL de Na_2CO_3 al 5% a los viales, se agitan y se dejan reposar otros 30 minutos, en la oscuridad también. De manera similar al método DPPH, se ajusta el espectrofotómetro en los 765 nm, ya que ahí está su banda de absorción, es decir que es la longitud de onda de máxima absorción, y se evalúan las muestras.

3.3.5. Plastificación de los extractos

Tras haber analizado la capacidad extractiva de las muestras, se prosiguió a analizar la capacidad plastificante de las mismas de un biopolímero. Se repiten por 4 las extracciones anteriores con los DE para tener cantidad suficiente a analizar la capacidad plastificante. Una vez se tienen las extracciones, se introducen en el rotavapor (*Figura 3.6*), donde estarán 1 hora a una presión de 940 mbar y a temperatura ambiente. Este aparato ayuda a quitar el agua de las muestras, ya que el agua puede dificultar la tarea de plastificación posterior.



Figura 3.6. Rotavapor con una extracción.

Una vez deshidratadas se procede a la tarea de plastificación que realizará utilizando pellets de PLA y metiéndolo en una extrusora monohusillo (*Figura 3.7*), simulando las condiciones industriales de plastificación de plásticos.



Figura 3.7. Imagen de la extrusora usada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestran y discuten los resultados obtenidos durante la investigación, con el propósito de evaluar la eficacia de los diversos DE usados en la extracción de compuestos bioactivos desde residuos de poda de olivo y su uso posterior en la plastificación de compuestos bioactivos esenciales.

4.1. Método DPPH

Con este método espectrofotométrico se determina la actividad antioxidante que tienen los extractos obtenidos con los distintos disolventes empleados. Se adjunta en la *Tabla 3* los valores obtenidos en el laboratorio. El blanco se trata de un ensayo con metanol para poder construir la recta de calibrado.

Tabla 3. Valores obtenidos en el método DPPH en el laboratorio.

Extractos	Repetición 1		Repetición 2	
	Valor	Blanco	Valor	Blanco
Glicerol	0,370	0,6184	1,477	2,2406
Agua	1,840	2,2406	1,830	2,2406
Glicerol (75%)	0,102	0,6184	0,569	2,8069
P:G 1:2 (75%)	0,154	0,8744	0,128	0,8744
B:G 1:2 (75%)	0,260	1,6728	0,346	1,6728
ChCl:G 1:2 (75%)	0,234	1,6728	0,206	1,6728

A partir de los valores de absorbancia obtenidos en el espectrofotómetro de cada muestra y del blanco con metanol, se calcula el porcentaje de inhibición de la oxidación de DPPH, tal y como se muestran en la *Tabla 4*, siguiendo la *ecuación 1*:

$$\% \text{ de Inhibición del DPPH} = \frac{A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}}}{A_{\text{blanco}}} \cdot 100 \quad [1]$$

Tabla 4. Resultados de inhibición DPPH.

Extractos	Inhibición Rep. 1 (%)	Inhibición Rep. 2 (%)	Media (%)
Glicerol	40,12	34,08	37,10
Agua	17,88	18,33	18,11
Glicerol (75%)	83,55	79,73	81,64
P:G 1:2 (75%)	82,34	85,38	83,86
B:G 1:2 (75%)	84,45	79,30	81,87
ChCl:G 1:2 (75%)	85,99	87,70	86,84

Cuanto mayor sea el carácter antioxidante de los extractos, más amarillas tornarán las muestras, como se muestra en la *Figura 4.1*, lo que indica que habrá eliminado más radicales libres, reduciendo por tanto la cantidad de DPPH y con ello el color púrpura inicial de las muestras. En base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que el extracto más antioxidante es el obtenido con DE de cloruro de colina, ya que tiene el porcentaje de inhibición mayor, seguido del DE de prolina y por último el de betaína, aunque los tres tienen valores similares.

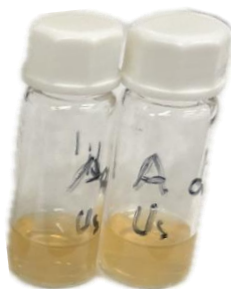


Figura 4.1. Muestras tras la evaluación con el método DPPH.

4.2. Método Folin-Ciocalteu

Este método espectrofotométrico se utiliza para determinar el contenido de compuestos fenólicos totales presentes en los extractos. Por norma general, cuanto mayor sea el contenido fenólico del extracto, mayor capacidad antioxidante tendrá, lo que se puede observar por el color azulón que adquiere la muestra, como se muestra en la *Figura 4.2*.



Figura 4.2. Muestra tras la evaluación con el método Folin-Ciocalteu.

Para determinar este contenido es importante realizar una recta de calibrado, donde se saben las concentraciones añadidas de la disolución patrón. Se detalla en la *Tabla 5* las concentraciones reales añadidas de la disolución patrón, medidas en partes por millón (ppm), y sus correspondientes absorbancias halladas con el espectrofotómetro, medidas en unidades de absorbancia (UA) y con estos valores se construye la recta de calibrado representada en la *Figura 4.3*.

Tabla 5. Absorbancias de diferentes concentraciones de la disolución patrón.

Concentración patrón (ppm)	Absorbancia (UA)
9,97	0,1484
49,85	0,3208
99,70	0,5596
199,40	0,9844
299,10	1,4018
398,80	1,8371
498,50	2,2329
598,20	2,6650
797,600	3,4416
997,00	4,5423

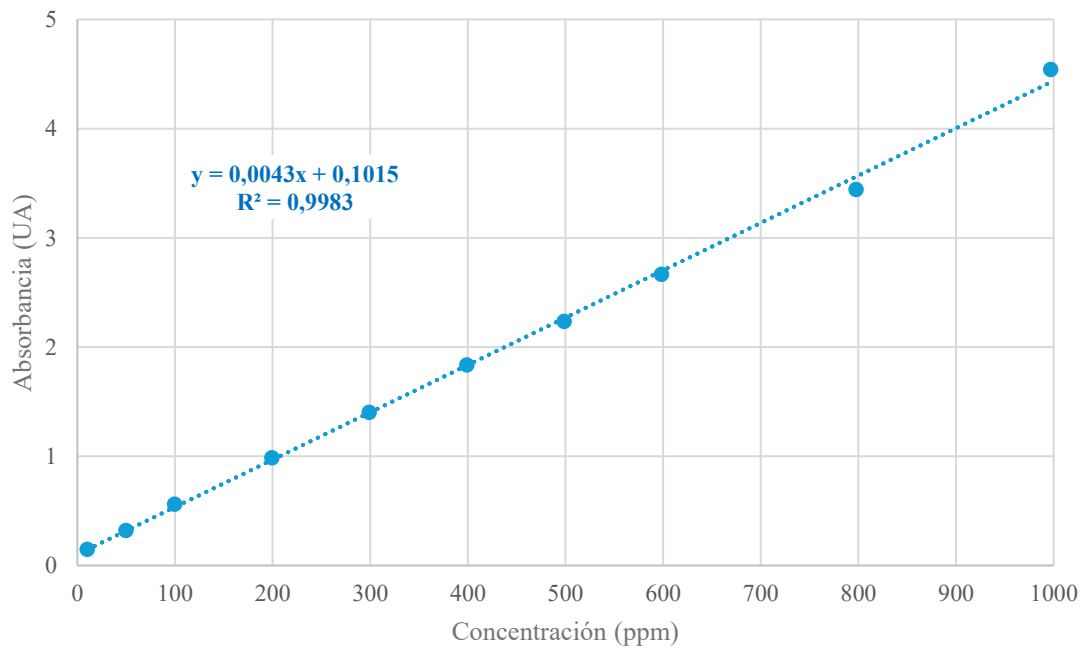


Figura 4.3. Recta de calibrado mediante el método Folin-Ciocalteu.

Empleo de disolventes eutécticos como agentes extractivos y plastificantes (TFG)

Una vez se tiene la recta de calibrado, $Abs=0,0043 \cdot Conc+0,1015$, se analizan los extractos en el espectrofotómetro, obteniéndose los resultados mostrados en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Concentración de los diferentes extractos según sus respectivas absorbancias.

Extractos	Abs Rep. 1 (UA)	Abs Rep. 2 (UA)	Media (UA)	Conc. (ppm)
Glicerol	1,089	1,1345	1,1116	234,90
Agua	0,7050	0,6884	0,6968	138,44
Glicerol (75%)	1,2140	1,4569	1,3355	286,97
P:G 1:2 (75%)	1,6680	1,2418	1,4547	314,70
B:G 1:2 (75%)	1,7830	1,6576	1,7202	376,44
ChCl:G 1:2 (75%)	1,53320	1,4516	1,4916	323,27

Se representan gráficamente los resultados obtenidos mediante ambos métodos en la *Figura 4.4*, donde de color anaranjado se muestra la capacidad antioxidante según el porcentaje de inhibición y en color azulado se muestra la cantidad de polifenoles en cada extracto en ppm.

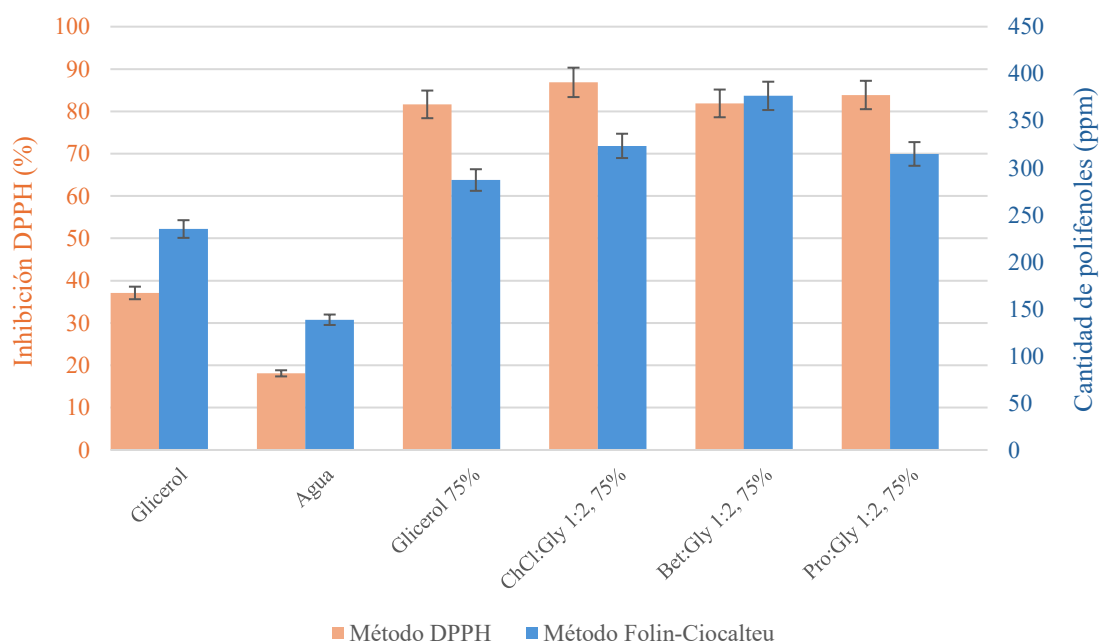


Figura 4.4. Gráfico recopilación de los resultados de ambos métodos espectrofotométricos.

El extracto con más concentración de polifenoles es el que contiene DE de betaína con una concentración de 376,44 ppm, seguido del que contiene DE de cloruro de colina con 323,27 ppm y por último el que contiene DE de prolina con 314,70 ppm. Los últimos dos tienen valores más parecidos, mientras que el de betaína es más alto. Como se ha mencionado anteriormente, el extracto más antioxidante es el obtenido con DE de cloruro de colina, seguido del DE de prolina y por último el de betaína, aunque los tres tienen valores similares.

4.3. Producción de plásticos

Tras haber analizado los extractos, se repiten las extracciones empleando los DE y se les quita el agua con el rotavapor, y una vez obtenidos los extractos deshidratados, se procede a la plastificación mediante mezclado.

Aquí se probaron dos métodos, aunque uno de ellos resultó fallido. El primer método fue intentar crear films disolviendo PLA y cloroformo, añadiendo diferentes porcentajes de los extractos para posteriormente eliminar el disolvente por evaporación y obtener un film. Los pellets de PLA y el cloroformo se sometieron a agitación hasta que el PLA se disolvió en el cloroformo (*Figura 4.5*).

Una vez disuelto se ponen en unas placas Petri con embudos encima para que se evapore el disolvente lenta y homogéneamente (*Figura 4.6*). Sin los extractos funcionó bien (*Figura 4.7*) pero con ellos no plastificaba correctamente, observándose una mezcla heterogénea (*Figura 4.8*).



Figura 4.5. Disolución PLA en cloroformo.



Figura 4.6. Disolución plastificando en placa.



Figura 4.7. Film de PLA elaborado por disolución-evaporación en cloroformo.



Figura 4.8. Ejemplos de films de PLA con los extractos de DE elaborados por disolución-evaporación en cloroformo.

El segundo método, y el método que finalmente funcionó, fue el de mezclado en fundido mediante extrusión. Para este proceso se mezclaron los extractos con el PLA (*Figura 4.9*). Tras conseguir la mezcla, se introduce la misma por la tolva de la extrusora y en el husillo de la misma se produce la mezcla homogénea debido a la temperatura y cizalla, e irá saliendo un filamento plástico con un color verde.



Figura 4.9. Mezcla PLA y extracto.

Las mezclas son del 9%p/p aproximadamente de cada uno de los extractos (*Tabla A2*).

Tras conseguir todos estos plásticos, se comienza el análisis para determinar sus características, para lo que se emplearán ensayos mecánicos y térmicos.

4.4. Ensayos mecánicos

4.4.1. Prueba de tracción

La primera prueba mecánica a la que se someten los plásticos es la prueba de tracción. Consiste en estirar el filamento hasta que rompa (*Figura 4.10*), en todo ese proceso se define la curva de tensión-deformación del material plástico, y se podrá conseguir la resistencia que tiene el plástico.



Figura 4.10. Momento de rotura del filamento en la máquina.

- **Filamentos del PLA puro**

Lo primero que se hace es analizar el PLA puro, es decir, sin ningún añadido para así luego poder ver como varían los resultados una vez se añadan el glicerol conteniendo los extractos. Se grafica la tensión frente a la deformación y sacando la pendiente de la parte lineal de dichas gráficas y haciendo la media se halla el módulo de Young que tiene dicho material. En este caso se obtiene un módulo de Young de 1953,44 MPa, con una desviación típica de 201,37 MPa. Su tensión máxima es 55,20 MPa con una desviación de 4,84 MPa y su elongación a rotura es 4,29% con una desviación de 0,50%.

- **Filamentos del extracto obtenido con DE de prolina**

Tras analizar los filamentos de prolina, se obtienen datos como la fuerza ejercida, la tensión y la deformación. Se grafica la tensión frente a la deformación y la pendiente que tenga esa gráfica será el módulo de Young para cada repetición. Al realizar el proceso para todas las repeticiones, se consigue el módulo de Young de cada una, y al hacer la media se encuentra que tiene un módulo de Young de 3644,95 MPa con una desviación típica de 995,81 MPa. Tiene un máximo de tensión de 67,03 MPa con una desviación típica de 27,71 MPa y con ella una elongación a rotura de 2,90% con una desviación de 0,63%.

- **Filamentos del extracto obtenido con DE de betaína**

Se repite el proceso para el DE de betaína y se tiene un módulo de Young medio de 1440 MPa con una desviación típica de 3122 MPa, es una desviación típica bastante menor por lo que se puede concluir que los resultados han sido más precisos. Tiene un máximo de tensión de 33 MPa con una desviación típica de 29 MPa y con ella una elongación a rotura de 3% con una desviación de 1%

- **Filamentos del extracto obtenido con DE de cloruro de colina**

Se vuelve a repetir el proceso para el DE de cloruro de colina y se tiene un módulo de Young medio de 1509 MPa con una desviación típica de 600 MPa. Tiene un máximo de tensión de 29 MPa con una desviación típica de 10 MPa y con ella una elongación máxima de 2,1% con una desviación de 0,9%

Se reúnen los datos en la *Tabla 7*, donde la E es el módulo de Young en MPa, la σ_r es la tensión máxima a la rotura en MPa también y la ε_r es la elongación a la rotura que se mide en porcentaje.

Tabla 7. Resultados de los ensayos de tracción.

	E (MPa)	σ_r (MPa)	ε_r (%)
PLA puro	1953±201	56±5	4,3±0,5
PLA-G-Prolina	3645 ±996	67±28	2,9±0,6
PLA-G-Betaina	1440 ±312	33±29	2,9±1,5
PLA-G-Cloruro de colina	1509 ±600	29±10	2,1±0,9

En las siguientes figuras se muestran estos datos gráficamente, en la *Figura 4.11* se muestran los módulos de Young de los extractos, en la *Figura 4.12* se muestran las tensiones máximas a la rotura y en la *Figura 4.13* se muestran las elongaciones a la rotura.

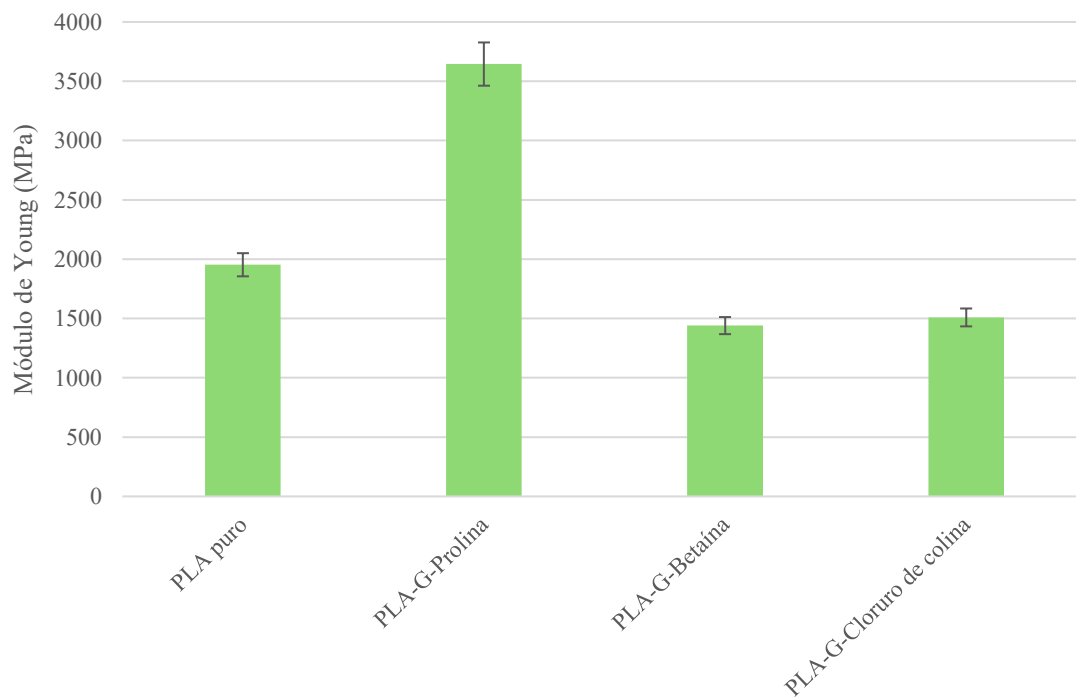


Figura 4.11. Gráfico con los módulos de Young de los filamentos obtenidos.

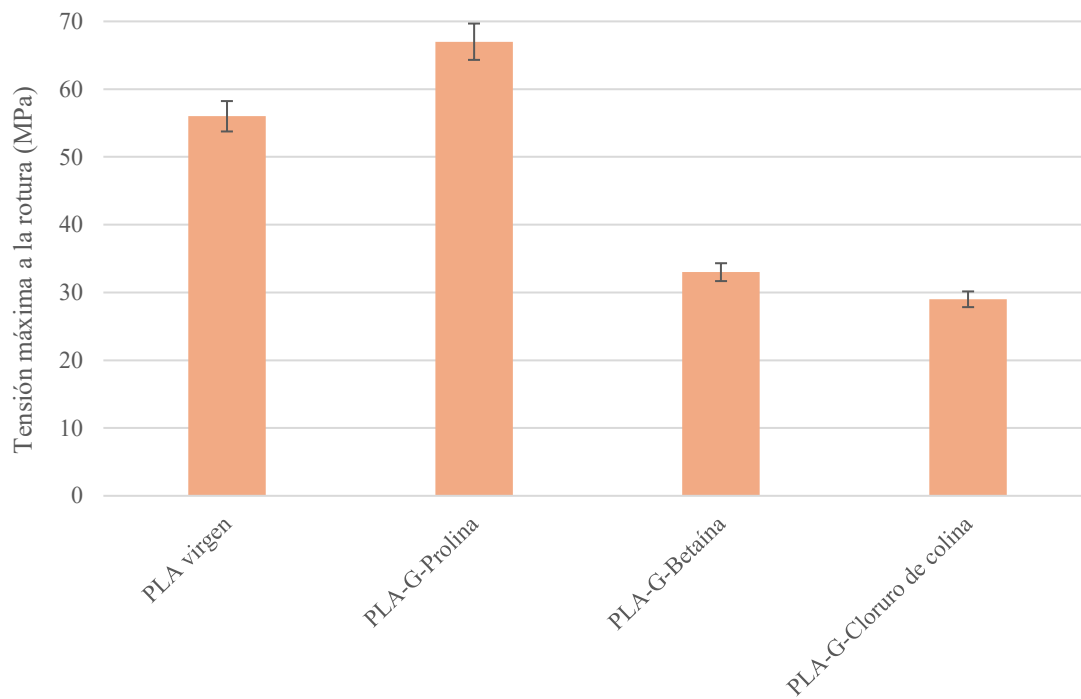


Figura 4.12. Gráfico con las tensiones máximas de los filamentos obtenidos.

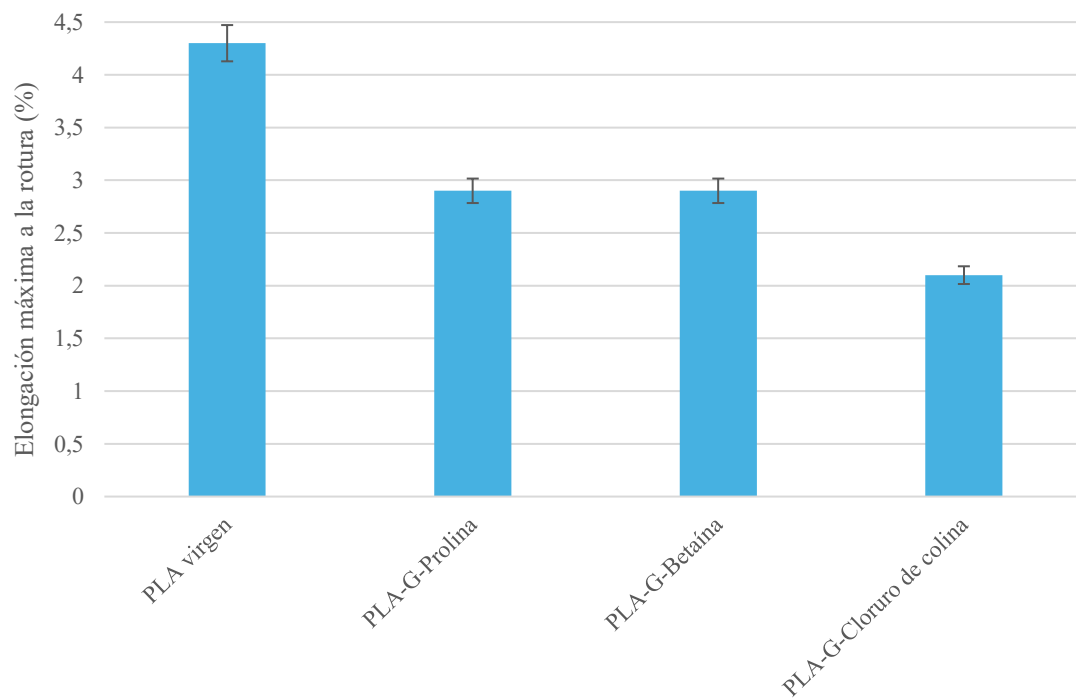


Figura 4.13. Gráfico con las elongaciones a la rotura de los filamentos obtenidos.

Por lo que se concluye que el plástico más rígido, es decir, el que se deformará menos bajo una carga aplicada, es el que tiene el módulo de Young más alto, es decir, el plástico de PLA y DE de prolina, seguido del plástico de PLA y DE de cloruro de colina, por último, del de betaína. Si bien los materiales basados en PLA y DE de cloruro de colina y DE de betaína presentan menor módulo de Young y tensión máxima, debido a cierto efecto plastificante que reduce la cohesión entre las cadenas poliméricas, todos los aditivos reducen la elongación a rotura del PLA indicando que los materiales modificados se vuelven más frágiles. Con fines comparativos, se compararon los resultados obtenidos con un filamento de PLA plastificado con glicerol ($E = 1688 \pm 245$ MPa, $\sigma_r = 52 \pm 5$ MPa y $\varepsilon_r = 5,1\% \pm 0,3\%$) y se puede concluir que el efecto plastificante típico que ejerce el glicerol en la matriz polimérica de PLA [19], se ve contrarrestado por un efecto de refuerzo que ejercen los compuestos polifenólicos en la matriz polimérica, particularmente la prolina que mejora significativamente la rigidez y la resistencia del PLA plastificado.

4.4.2. Análisis termogravimétrico (TGA)

Otra de las pruebas que se hacen es ver cómo se degradan los plásticos, a que temperatura y cuanto extracto queda en la mezcla cuando se llega a ese punto de temperatura. Esta prueba se denomina análisis termogravimétrico (TGA, del inglés “*Thermogravimetric analysis*”) y es un método de análisis térmico en el que la masa de una muestra se somete a lo largo del tiempo a un programa de temperatura a una velocidad constante (TGA dinámico).

- **TGA del PLA puro**

Cuando se ha perdido el 5% de la masa inicial, la temperatura de inicio de la degradación es de 325,21 °C y cuando la velocidad de degradación es máxima, a los 2,87%/°C, la temperatura es de 366,00 °C. Ambas temperaturas se pueden comprobar en las *Figuras 4.14* y *4.15* respectivamente.

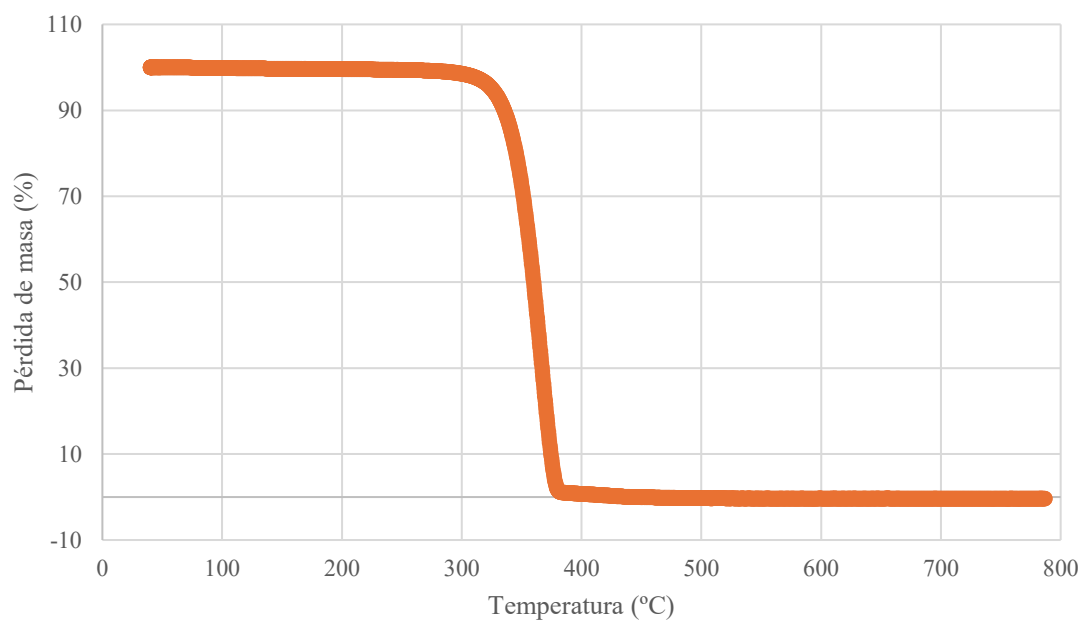


Figura 4.14. Gráfico TGA de PLA puro.

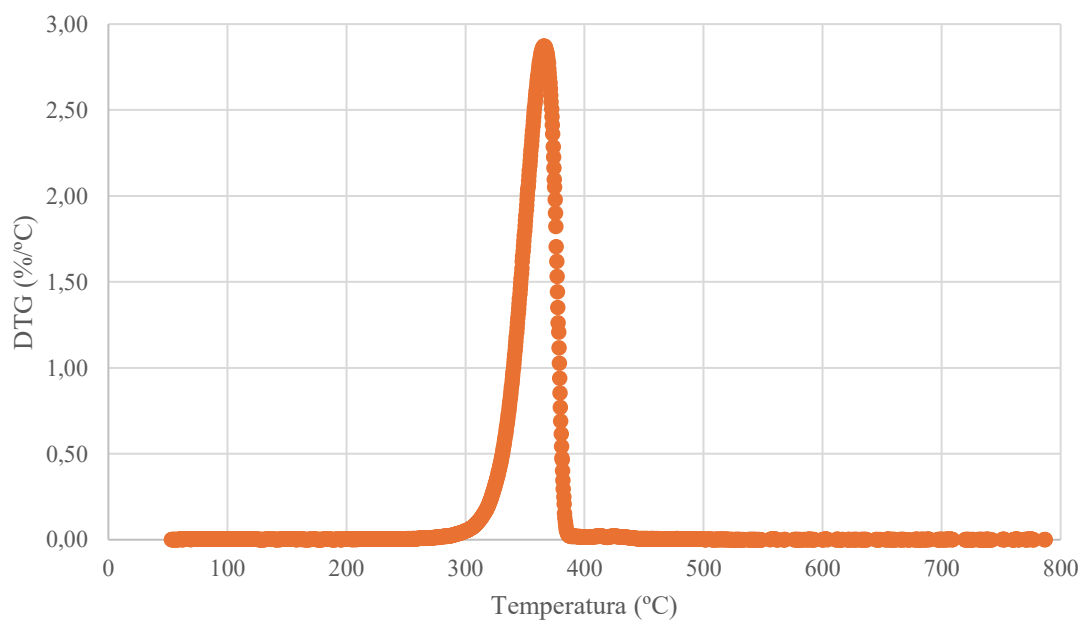


Figura 4.15. Gráfico de la derivada de TGA (DTG) del PLA puro.

- **TGA del PLA con extracto de DE de prolina**

Cuando se ha perdido el 5% de la masa inicial, la temperatura es de 81,0 °C y cuando la velocidad de degradación es máxima, la temperatura es de 217,9 °C. Ambas temperaturas se pueden comprobar en las *Figuras 4.16 y 4.17*, respectivamente. Esta disminución en la temperatura de inicio de la degradación indica que el material presenta menor estabilidad térmica, debido a que comienza la degradación del glicerol [20] y la del extracto que tienen menor estabilidad térmica.

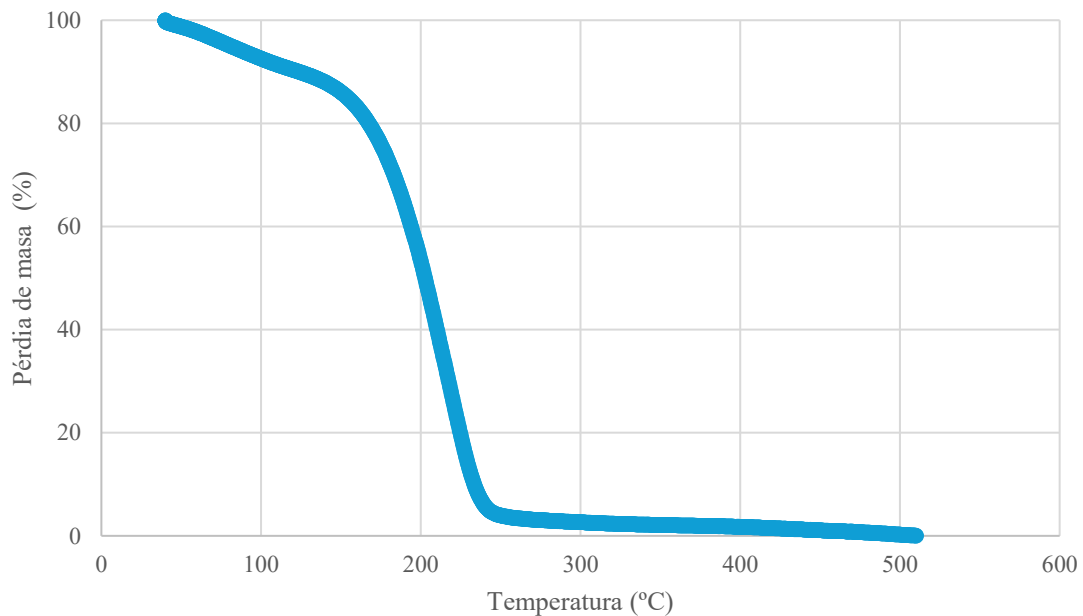


Figura 4.16. Gráfico TGA del PLA con extracto de prolina.

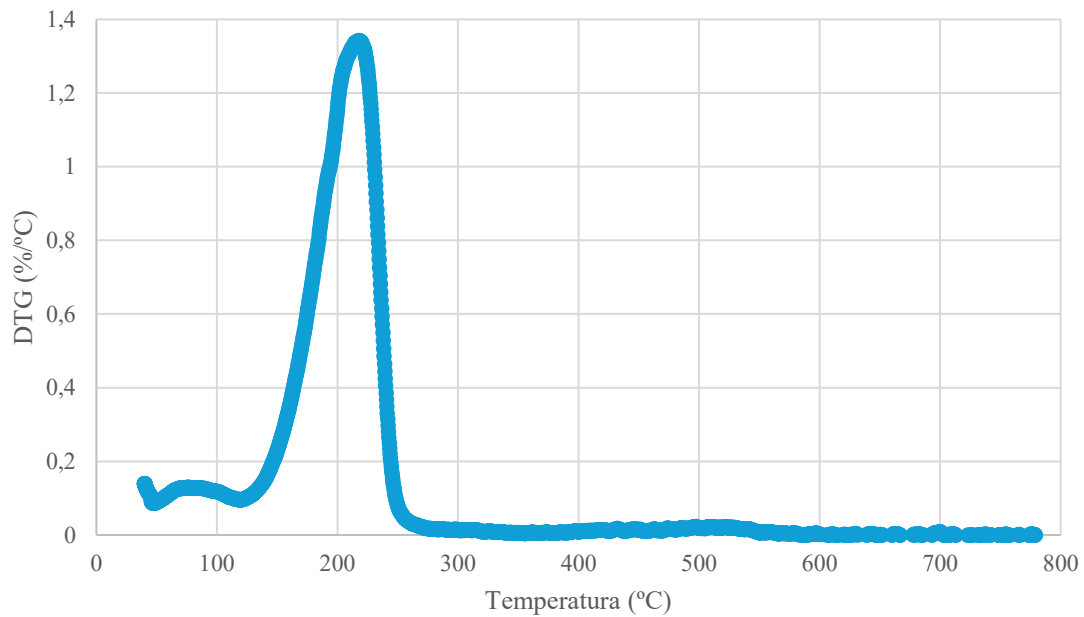


Figura 4.17. Gráfico de la derivada en el peso del TGA de PLA con extracto de DE de prolina.

- **TGA del PLA con extracto de DE de betaína**

Cuando se ha perdido el 5% de la masa inicial, la temperatura es de 268,9 °C y cuando la velocidad de degradación es máxima, la temperatura es de 357,4 °C. Ambas temperaturas se pueden comprobar en las *Figuras 4.18 y 4.19*, respectivamente.

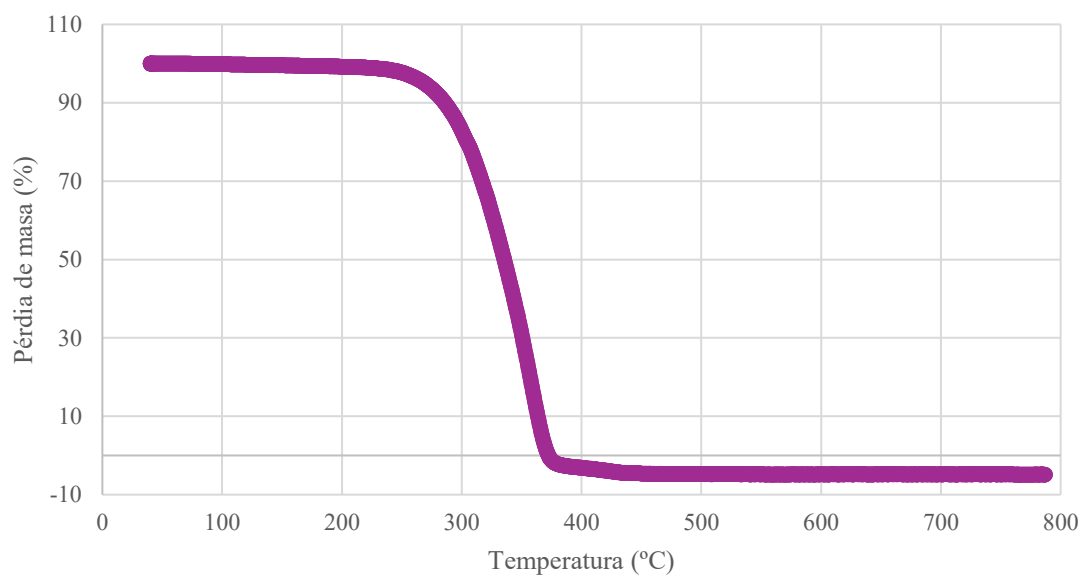


Figura 4.18. Gráfico TGA del PLA con extracto de DE de betaina.

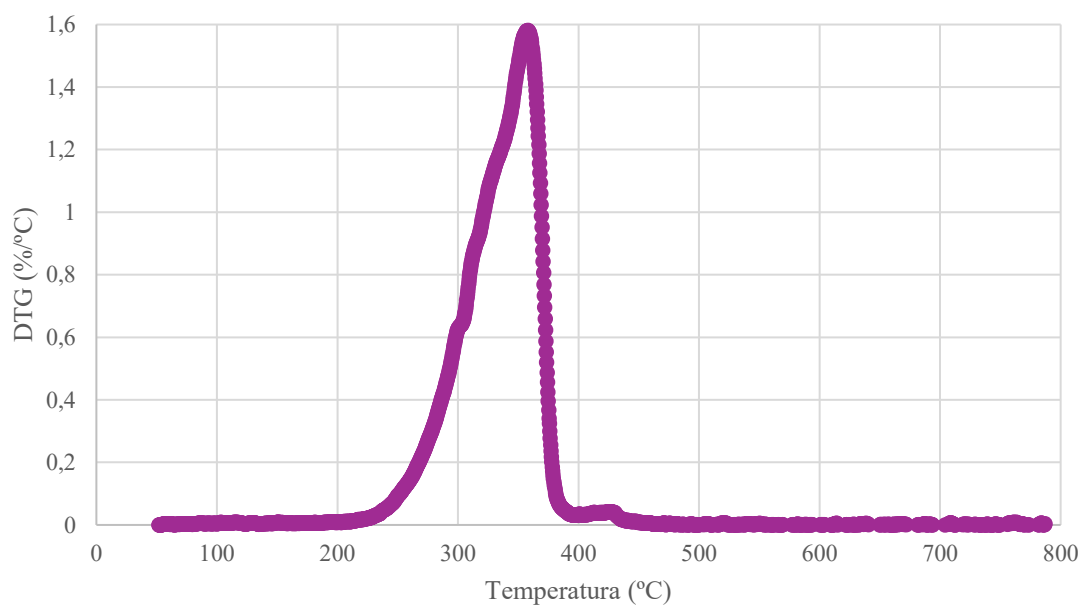


Figura 4.19. Gráfico de la derivada de TGA (DTG) del PLA con extracto de DE de betaina.

- **TGA del PLA con extracto de DE de cloruro de colina**

Cuando se ha perdido el 5% de la masa inicial, la temperatura es de 261,7 °C y cuando la velocidad de degradación es máxima, la temperatura es de 313,9 °C. Ambas temperaturas se pueden comprobar en las *Figuras 4.20 y 4.21*, respectivamente.

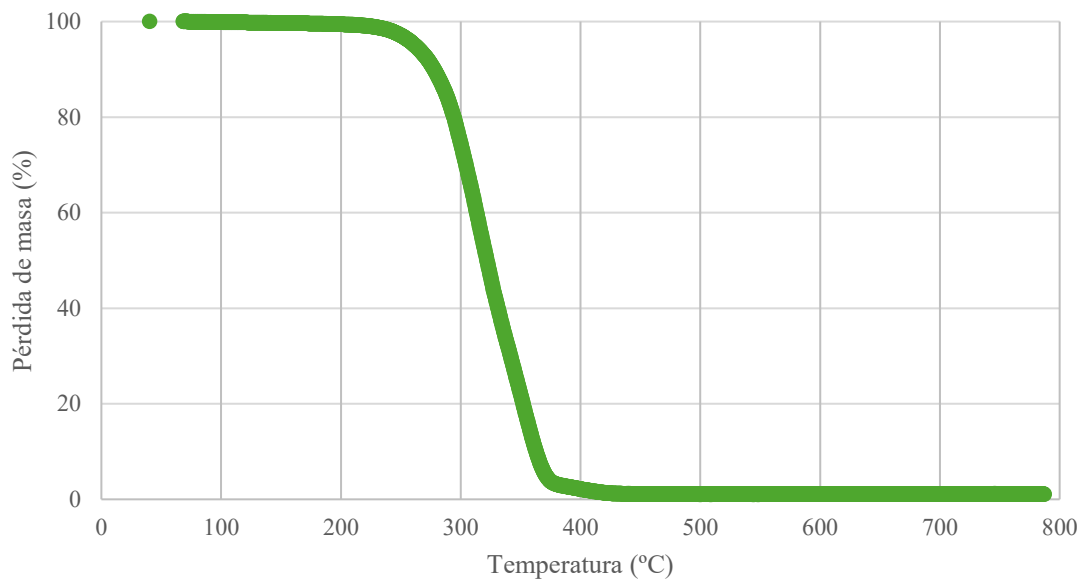


Figura 4.20. Gráfico TGA del PLA con extracto de DE de cloruro de colina.

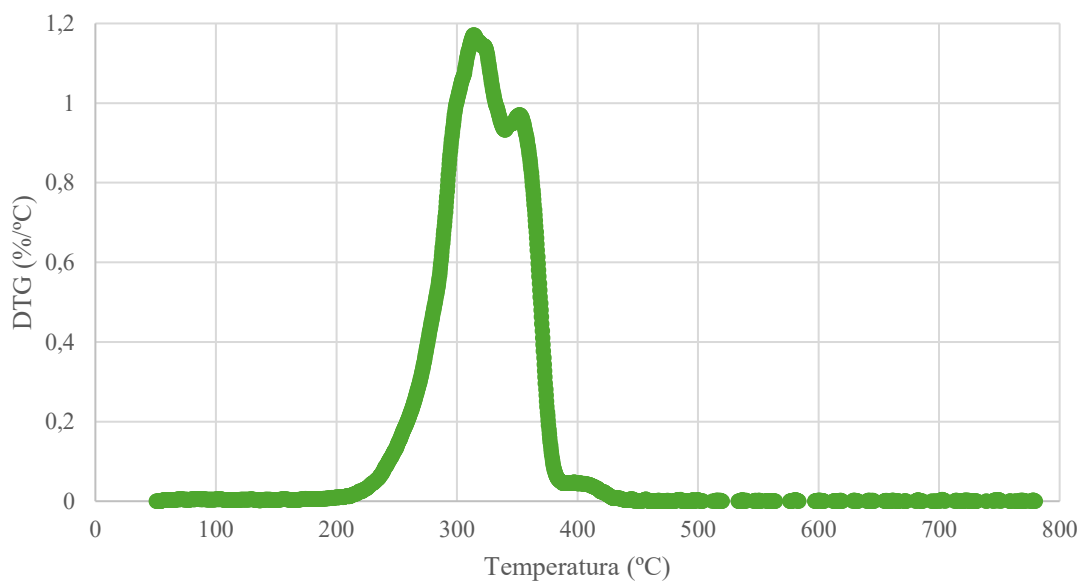


Figura 4.21. Gráfico de la derivada TGA (DTG) del PLA con extracto de DE de cloruro de colina.

- **TGA del glicerol puro**

Cuando se ha perdido el 5% de la masa inicial, la temperatura es de 98,7°C y cuando la velocidad de degradación es máxima, la temperatura es de 195,4°C. Ambas temperaturas se pueden comprobar en las *Figuras 4.22 y 4.23*, respectivamente.

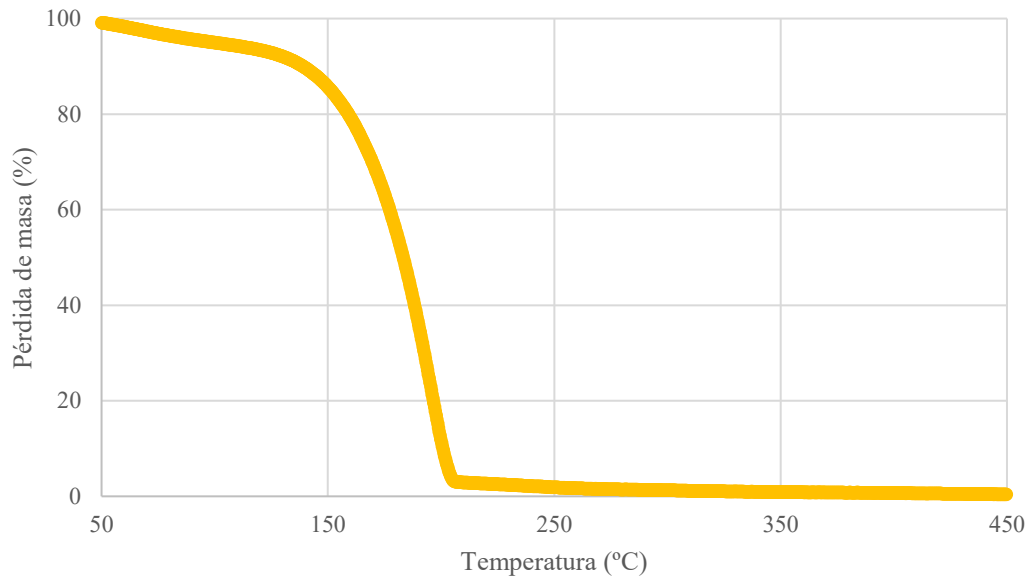


Figura 4.22. Gráfico TGA del glicerol puro.

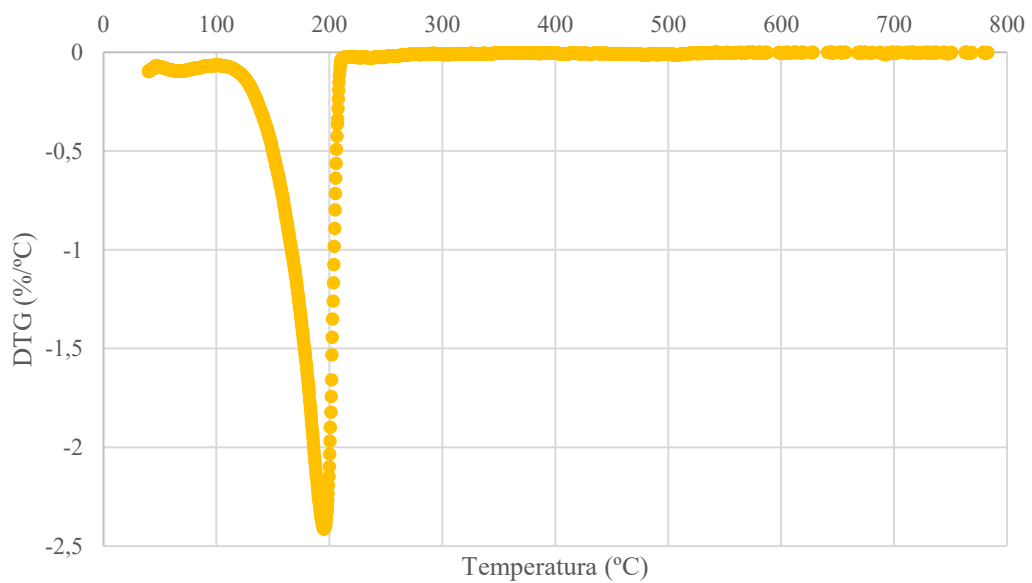


Figura 4.23. Gráfico de la curva de la derivada de TGA (DTG) del glicerol puro.

Se resume el análisis termogravimétrico en la *Tabla 8*, en ella se muestra la temperatura a la que se ha consumido el 5% de la masa ($T_{5\%}$), la temperatura a la que la velocidad de degradación es máxima ($T_{vm\acute{a}x}$).

Tabla 8. Resumen de las temperaturas del TGA para el PLA con los extractos basados en distintos disolventes.

	$T_{5\%}$ (°C)	$T_{vm\acute{a}x}$ (°C)
PLA puro	325,2	366,0
Glicerol (puro)	98,7	195,4
Prolina	81,0	217,9
Betaína	268,	357,4
Cloruro de colina	261,7	313,9

La adición de los extractos ha generado una disminución tanto de la temperatura de inicio de la degradación como de la temperatura de máxima velocidad de degradación en todos los casos. Es resultado concuerda con lo esperado ya que diversos estudios han demostrado que algunos plastificantes como el glicerol disminuyen la estabilidad térmica del PLA [21][22].

Se aprecia que el PLA que contiene extracto basado en DE de prolina es el primero en comenzar a degradarse, seguido del que contiene cloruro de colina y finalmente el de betaína, aunque estos dos últimos tienen un valor bastante similar. En cuanto a la temperatura en la que se alcanza la velocidad máxima de degradación, sigue el mismo patrón anterior, primero el PLA que contiene extracto basado en prolina, seguido del de cloruro de colina y por último el de betaína.

Todos los plásticos han disminuido su temperatura de degradación respecto al PLA puro, lo que muestra que el añadir los extractos hace el plástico menos resistente a la degradación térmica, siendo el de betaína el que menos se distancia de los valores del PLA puro y el de prolina el que más. Cabe mencionar que en el caso de los materiales de PLA que contienen

extractos basado en DE de betaína y cloruro de colina las temperaturas de inicio de la degradación son considerablemente menores que las temperaturas de proceso y/o de uso pretendido de los materiales.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han empleado tres DE formados por dos tipos de compuestos: uno de ellos es el glicerol, que actúa como HBD; mientras que, como HBA, se emplean 3 diferentes, prolina, la betaína y el cloruro de colina, para estudiar su efecto. Tras realizar las extracciones sólido-líquido de las hojas de olivo y el análisis de los extractos, se puede confirmar que hay algunos DE con mejores características.

En cuanto a la capacidad extractiva, se emplea el método DPPH para determinar la capacidad antioxidante de los extractos. En concreto, el extracto obtenido con el DE de cloruro de colina es el que mayor porcentaje de inhibición presenta, con un valor de 87%. Aunque no resulta muy distante de los extractos obtenidos con el DE de prolina y de betaína, cuyos valores de inhibición son 84% y 82%, respectivamente.

Respecto a la evaluación de la cantidad de polifenoles extraídos de las hojas del olivo en cada extracto, se lleva a cabo con el método Folin-Ciocalteu. En este caso, el extracto que presenta un mayor contenido de polifenoles es el obtenido con DE de betaína, con un valor de 376 ppm. Los otros extractos obtenidos con el DE de cloruro de colina y de prolina tienen un valor de 323 ppm y 315 ppm, respectivamente.

A la hora de mezclar PLA con los extractos, plastificarlos y estudiar sus propiedades mecánicas y térmicas, se observa que el plástico más rígido, es decir, el que tiene el mayor módulo de Young, es el obtenido con el DE de prolina, destacando considerablemente con un valor de 3006 MPa frente al plástico obtenido con el DE de cloruro de colina y de betaína con un valor similar entre ellos de 1509 MPa y 1440 MPa, respectivamente. En cuanto a la tensión máxima que pueden aguantar antes de romper, también destaca el extracto con DE de prolina con un valor de 67 MPa frente a los del DE de betaína y de cloruro de colina con valores de 33 MPa y 29 MPa, respectivamente. Se puede concluir que en el PLA con el extracto obtenido con DE de prolina, el cual supera al PLA puro en el módulo de Young en aproximadamente

1000 MPa y en la tensión máxima a la rotura en 10 MPa, el extracto ejerce un efecto de refuerzo. La propiedad de la elongación máxima a la rotura es la única en la que el PLA puro lidera con un valor de 4% frente a los demás plásticos, demostrando que los DE con los extractos no consiguen mejorar la flexibilidad del PLA. Sin embargo, la elongación a la rotura de los plásticos con los extractos de los DE de prolina y betaína tienen un valor del 3% y el del DE de cloruro de colina tiene un valor de 2%, demostrando que se contrarresta el efecto plastificante provocado por el glicerol con el efecto de refuerzo que generan los extractos. De todas maneras, aunque se añadan los extractos con el PLA, se debe tener en cuenta que cierta cantidad del extracto se pierde durante el proceso térmico de transformación.

6. LÍNEAS FUTURAS

Como líneas futuras, se propone profundizar en resolver ciertos problemas que han ido surgiendo durante la experimentación, así como seguir avanzando en los procesos de extracción y plastificación.

El proceso de extracción podría verse mejorado analizando diferentes DE con otros HBA y HBD para evaluar sistemáticamente el efecto de sus estructuras sobre la capacidad de extracción y actividad antioxidante. Yendo más lejos, se podrían implementar modelos predictivos sobre los resultados que van a tener los diferentes DE para así ahorrar recursos y reducir el impacto medioambiental.

En cuanto a la plastificación, para verificar que no hay separación de fases entre la matriz polimérica y el glicerol-extracto se podría realizar una caracterización microestructural de los materiales, por ejemplo, mediante microscopía electrónica de barrido. Asimismo, para comprobar la capacidad activa antioxidante de los materiales finales, se podría realizar ensayos de migración específica, ensayando los mismos en contacto con simulantes alimentarios y su posterior determinación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH utilizado en el presente trabajo. Por otra parte, para evitar la pérdida de extracto durante el proceso térmico, se podrían encapsular los extractos para protegerlos de dicha degradación térmica. La manera de proceder a este encapsulamiento puede ser en fibras de PLA por *electrospinning* (en español, electrohilado), que es una técnica en la que se fabrican fibras muy finas utilizando una disolución polimérica a la que se le aplica un campo eléctrico a temperatura ambiente.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s. f.). *Aceite de oliva, aceituna de mesa y aceite de orujo de oliva*. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite>
- [2] Universidad de Córdoba. (2011). *Prueban los beneficios antienvjecimiento del aceite de oliva mediante el estudio de las proteínas plasmáticas*. <https://www.uco.es/servicios/comunicacion/actualidad/item/73612-aceite>
- [3] Matute, G., & Torrecilla, J. S. (2012). *Aprovechamiento y valorización de los residuos del olivar*. *Agricultura*, 951, 336–341. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2012_951_336_341.pdf
- [4] CTNC (Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación) (2023). *Qué son los polifenoles y para qué sirven*. <https://ctnc.es/que-son-los-polifenoles-y-para-que-sirven/>
- [5] Vogel, P., Kasper Machado, I., Garavaglia, J., Terezinha Zani, V., De Souza, D., & Morelo Dal Bosco, S. (2015). Polyphenols Benefits of olive leaf (*Olea europaea* L) to human health. En *Nutrición Hospitalaria* (31:1427-1433). Course of Nutrition, Centro Universitário UNIVATES. <https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v31n3/58originalotros09.pdf>
- [6] Lucena, C. (2023). *Oleuropeína Qué es y Qué Beneficios Tiene (Cooperativa Lucena)*. <https://cooperativ lucena.es/oleuropeina/>
- [7] Ignacio, J. (2024). *Descubre los beneficios de la oleuropeína: el compuesto estrella del OLIVO*. Atalaya Agroalimentaria, S.L. <http://aceitunasdeshidratadas.com/noticias/oleuropeina/#:~:text=La%20oleurope%C3%ADna%20ha%20demostrado%20tener,y%20fortalecer%20el%20sistema%20inmunol%C3%B3gico.>

- [8] Sánchez Ferrer, L. (2022). *Estudio del comportamiento térmico y mecánico de mezclas de PLA con distintos plastificantes* (Trabajo Fin de Grado, Universidad Pública de Navarra). Repositorio Académico de la Universidad Pública de Navarra. <https://academica-e.unavarra.es/server/api/core/bitstreams/7e5e21e1-fd04-44a6-9fa6-aeecfb30804/content>
- [9] Santos, P. G. (2024). *Compuestos orgánicos volátiles COV, ¿Qué son y cómo monitorizarlos?* Envira. <https://envira.es/por-que-importante-monitorizar-vocs-compuestos-organicos-volatiles/>
- [10] Hielscher Ultrasound Technology. (s. f.). *Disolventes eutécticos profundos para una extracción muy eficaz*. Hielscher Ultrasonics. <https://www.hielscher.com/es/extraction-with-deep-eutectic-solvents.htm>
- [11] Torres Palacio, P. C. (2021). *Síntesis, propiedades, caracterización y aplicaciones químicas de novedosos disolventes eutécticos profundos: DES (Deep Eutectic Solvents)* [Tesis Doctoral, Universitat de Lleida]. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/673075/Tpctp1de2.pdf;jsessionid=95D18246EF00021CE205610369A0DF1F?sequence=3>
- [12] Carreón-Hidalgo, J. P., Ruiz-Peralta, M. L., & Corona-Jiménez, E. (2024). *Solventes eutécticos profundos naturales: Aplicaciones en biotecnología y otros sectores industriales*. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2024/07/Carreon-Hidalgo-et-al.pdf>
- [13] Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE). (2024). *EsPlásticos presenta la primera estrategia de la industria española del sector: innovación y circularidad para potenciar un pilar esencial de la economía nacional*. <http://feique.org/esplasticos-presenta-la-primer-estrategia-de-la-industria-espanola-del-sector-innovacion-y-circularidad-para-potenciar-un-pilar-esencial-de-la-economia-nacional/>
- [14] Interempresas. (2023). *Radiografía del sector de los plásticos en Europa y España*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/575880-Radiografia-del-sector-de-los-plasticos-en-Europa-y-Espana.html>

[15] PrimeBiopol. (s.f.). *Plástico PLA: qué es y para qué se utiliza*. <https://primebiopol.com/plastico-pla-que-es-y-para-que-se-utiliza/>

[16] Drumright RE, Gruber PR, Henton DE. Polylactic acid technology. *Advanced Materials*. 2000;12(23):1841-1846 [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(200012\)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-4095(200012)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E)

[17] Jamshidian M, Tehrany EA, Imran M, Jacquot M, Desobry S. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies. *Compr Rev Food Sci F*. 2010;9(5):552-571. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x

[18] Martin and Averous. Poly(lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. *Polymer*. Volume 42, Issue 14, June 2001, Pages 6209-6219. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00086-6)

[19] Plasticization of Biodegradable Poly(Lactic Acid) by Different Triglyceride Molecular Sizes: A Comparative Study with Glycerol. *J Polym Environ* (2018) 26:1160–1168 DOI 10.1007/s10924-017-1012-7

[20] Glycerol-oligo(lactic acid) bioresins as fully biobased modifiers for poly(Lactic acid): synthesis, green chemistry metrics, and the modified PLA film Properties. *Journal of Polymers and the Environment* (2024) 32:641–657 <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02987-8>

[21] Shanshan Lv et al. Effect of glycerol introduced into PLA based composites on the UV weathering behavior. *Construction and Building Materials*. Volume 144, 30 July 2017, Pages 525-531. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.209>

[22] Arrieta et al. Combined Effect of Poly(hydroxybutyrate) and Plasticizers on Polylactic acid Properties for Film Intended for Food Packaging. *J Polym Environ* (2014) 22:460–470 DOI 10.1007/s10924-014-0654-y

8. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO

8.1. Planificación temporal

Se recopila toda la información sobre la planificación de las sesiones tanto teóricas como experimentales en la *Tabla 9*, que posteriormente se muestra en el diagrama de Gantt representado en la *Figura 8.1*.

Tabla 9. Planificación temporal del trabajo 2014-2025.

	Inicio	Fin	Días
Asignación TFG	13 sept.	21 oct.	38
Reuniones	25 nov.	24 jun.	3
Reunión de planificación	25 nov.	25 nov.	1
Reunión de análisis de datos e introducción parte de plásticos	19 feb.	19 feb.	1
Reunión seguimiento y últimos detalles	24 jun.	24 jun.	1
Documentación	1 nov.	28 feb.	10
Estudio sobre los temas a tratar en el TFG	1 nov.	3 nov.	3
Estudio de los métodos de extracción de los DE	16 dic.	17 dic.	2
Estudio sobre la caracterización del PLA	24 feb.	28 feb.	5
Experimentación	27 nov.	21 mar.	100
Preparación de la biomasa	27 nov.	29 nov.	3
Preparación de los DE	3 dic.	9 dic.	7
Realización de extracciones	11 dic.	13 feb.	64
Formación de plásticos	24 feb.	21 mar.	26

Empleo de disolventes eutécticos como agentes extractivos y plastificantes (TFG)

	Inicio	Fin	Días
Análisis de los resultados	20 mar.	10 jun.	73
Análisis de los DE por diferentes métodos	20 mar.	22 abr.	33
Análisis de los plásticos	2 may.	10 jun.	40
Elaboración de la memoria	26 dic.	28 jul.	215
Redacción	26 dic.	7 jul.	194
Correcciones	7 jul.	28 jul.	21
Fin y entrega del TFG	30 jul.	30 jul.	1

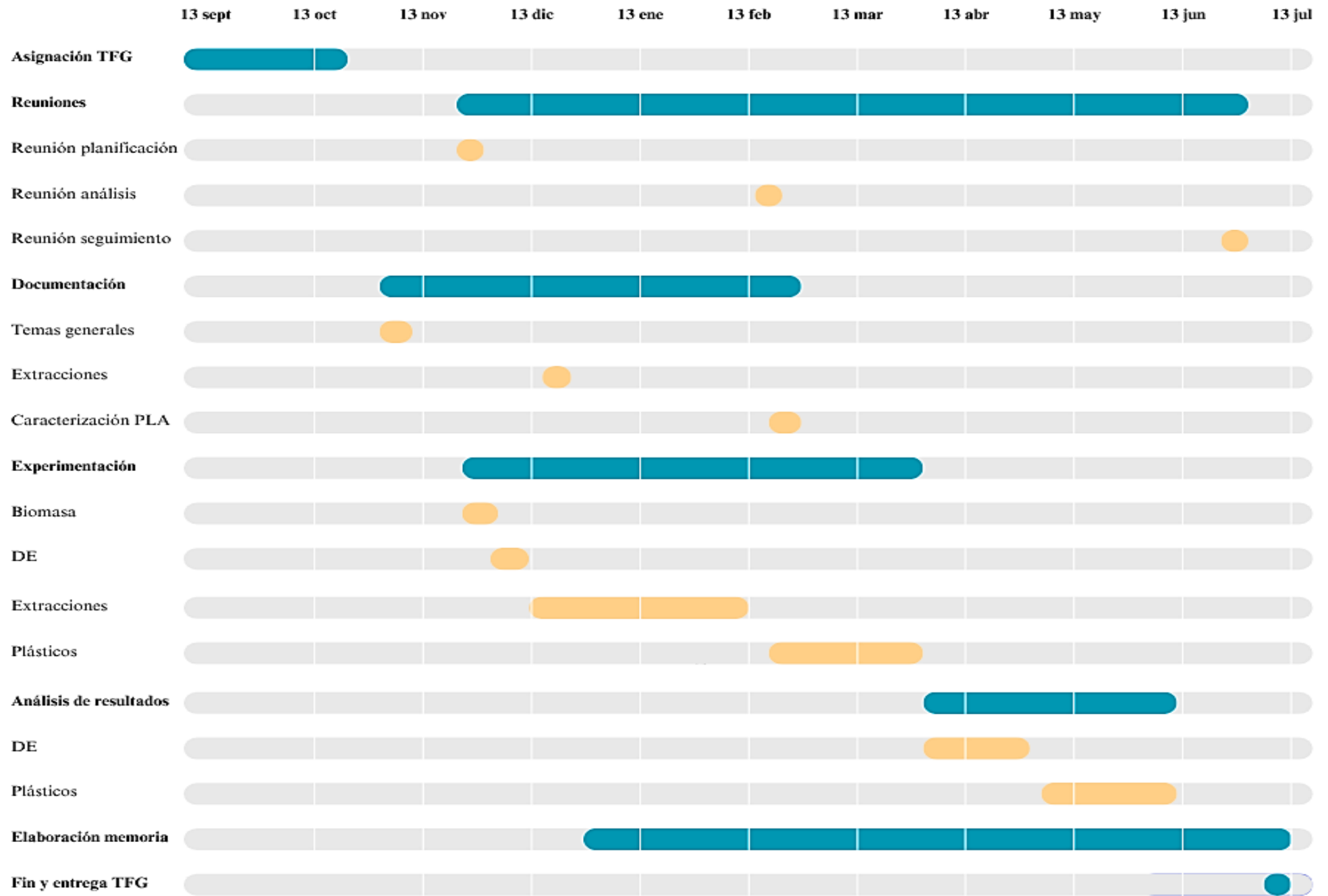


Figura 8.1. Diagrama de Gantt del trabajo.

8.2. Presupuesto

En cuanto al presupuesto se tiene lo mostrado en la *Tabla 10*. La amortización de los equipos se estima en 12 años.

Tabla 10. Presupuesto del material usado en el trabajo.

Equipos	Precio por unidad (€/ud)	Unidades	Amortización (€/año)	Tiempo de uso (días)	Coste total (€)
Molinillo	20,00	1	1,67	1	0,005
Estufa	3000,00	1	250,00	1	0,68
Agitador magnético	150,00	1	12,50	4	0,14
Imán	15,00	3	3,75	4	0,41
Balanza analítica	400,00	1	33,33	7	0,64
Frascos 500 mL	16,00	3	4,00	5	0,05
Frascos 100 mL	3,00	10	2,50	5	0,03
Viales	43,00	30	107,50	5	1,47
Vidrio de reloj	2,00	1	0,17	5	0,002
Espátula	12,00	1	1,00	5	0,01
Pipeta automática	400	1	33,33	2	0,18
Orbital	2500,00	1	208,33	2	1,14
Pipeta Pasteur	3,00	3	0,75	5	0,01
Centrifugadora	2000,00	1	166,67	3	1,37
Agitador vórtex	170,00	1	14,17	1	0,04
Rota vapor	2500,00	1	208,33	1	0,57
Baño térmico	130,00	2	21,67	1	0,06
Extrusora	4000,00	1	333,33	3	2,74
Máquina de tracción	5000,00	1	416,67	1	1,14
Espectrofotómetro	30000,00	1	2500,00	2	13,70
Total					24,39

A continuación, se calculan el presupuesto de la mano de obra, es decir, del alumno, de los tutores y de los ayudantes en este trabajo y el presupuesto de los reactivos. Se muestran en las *Tablas 11 y 12*.

Tabla 11. Presupuesto de la mano de obra en el trabajo.

Persona	Trabajo (h)	Salario (€/h)	Coste total (€)
Tutores	50	24	1200,00
Alumno	400	18	7200,00
Ayudantes	60	20	1200,00
Total			9600,00

Tabla 12. Presupuesto de los reactivos usados en el trabajo.

Reactivos	Precio total (€/g o mL)	Cantidad usada (g o mL)	Coste total (€)
Agua destilada	0,006	1000	6,00
Glicerol	0,085	38,61	3,28
Prolina	0,679	8	4,43
Betaína	0,772	8	6,18
Cloruro de colina	0,116	10	1,16
Acetona	0,049	1000	49,00
Hojas de olivo	0,047	20	0,94
PLA	0,235	300	70,50
Total			141,49

Finalmente, se recopilan todos estos gastos como los costes directos del trabajo y los costes indirectos serán aproximadamente un 10% de los directos. Por lo que el presupuesto final del trabajo es 10742,47€, como se muestra en la *Tabla 13*.

Tabla 13. Presupuesto final del trabajo.

Tipo de Coste	Coste total (€)
Costes directos	9765,88
Material	24,39
Mano de obra	9600,00
Reactivos	141,49
Costes indirectos	976,59
Total	10742,47

9. RESPONSABILIDAD SOCIAL

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es el fomento del concepto de la sostenibilidad a partir de la valorización de residuos agrícolas, en este caso concreto, de hojas de olivo. La sustitución de disolventes orgánicos volátiles por disolventes eutécticos naturales permite minimizar el impacto ambiental de la operación de extracción puesto que a la vez se va promoviendo el uso de compuestos biodegradables, no tóxicos y de origen renovable.

También, el diseño de bioplásticos sostenibles a partir de PLA (plástico biobasado y biodegradable) y extractos naturales se propone como alternativa a los plásticos procedentes del petróleo y como una línea de trabajo para llegar a obtener materiales más respetuosos con el entorno que nos rodea.

Toda la trayectoria del trabajo se ha desarrollado teniendo en cuenta los criterios de seguridad, la minimización de residuos en laboratorios y la buena utilización de los recursos, por eso, la realización de este trabajo pone de manifiesto que la innovación en ingeniería química puede ir de la mano de los principios de sostenibilidad medioambiental y responsabilidad social.

10. ANÁLISIS ASPECTOS LEGALES Y ÉTICOS

Todos los disolventes que se usen en la industria química tienen que cumplir las normas vigentes locales, nacionales o internacionales. En España hoy en día, para la protección de la salud humana y disminuir las emisiones contaminantes de las industrias se tienen el Reglamento REACH o la Ley IPPC. El reglamento REACH aplica a todas las sustancias químicas presentes en la vida diaria y los requisitos son para cumplir con las disposiciones del REACH las empresas deben identificar y gestionar los riesgos asociados a las sustancias que fabrican y comercializan en la Unión Europea. Deben demostrar cómo usar dichas sustancias de manera segura y comunicar toda aquella información relativa a las medidas de gestión de riesgos a las partes implicadas. La Ley IPPC tiene por objetivo evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto. Todos los DE usados en este Trabajo de Fin de Grado cumplen con las normativas, tanto a la hora de su formación como en la hora de su desecho.

Los plásticos formados también es importante que cumplan la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular en donde se busca reducir la generación de residuos, es especial los plásticos de un solo uso, por ello es importante promover la fabricación de plásticos sostenibles que procedan de fuentes más respetuosas con el medioambiente que los plásticos derivados del petróleo, que se puedan reutilizar en el futuro y/o que sean compostables.

Combinando ambos, a la hora de fabricar cualquier sustancia o material es esencial que las empresas proporcionen información transparente sobre la fabricación de los mismos y sobre sus posibles riesgos. También hay que asegurarse que el empleo que otorgue la empresa sea

uno ético en donde no se lleven a cabo condiciones laborales injustas promoviendo un espacio seguro tanto física como mentalmente para los trabajadores.

11. CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO SOSTENIBLE

Este Trabajo de Fin de Grado se compromete con varios de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) que figura dentro de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, y propone soluciones sostenibles en los dos ámbitos principales, que son el medioambiente y la industria.

El uso de biomasa proveniente de residuos agrícolas, las hojas de olivo, y su valorización a partir de procesos de extracción más limpias colabora directamente con el ODS número 12: Producción y Consumo Responsables, ayudando así a promover un uso eficiente de los recursos y a estar alineados con la reducción de los residuos agrícolas. Dichas extracciones también colaboran con el ODS número 3: Salud y Bienestar ya que la extracción de oleuropeína tiene propiedades antiinflamatorias y antioxidantes que favorece a la salud humana.

El uso de disolventes eutécticos en sustitución de los disolventes orgánicos volátiles hace reforzar el compromiso con el ODS 13: Acción por el Clima, disminuyendo también la emisión de compuestos tóxicos, y promoviendo de tal forma unos procesos químicos más sostenibles y respetuosos con el medioambiente.

Igualmente, el desarrollo de bioplásticos a partir de PLA, un polímero biodegradable de origen renovable con la adición de aditivos naturales que derivan de residuos vegetales, colabora con el ODS número 9: Industria, Innovación e Infraestructura, y el ODS número 12: Producción y Consumo Responsables, ya que ayuda a desarrollar soluciones más sostenibles para la industria de los materiales mediante la producción y consumo sostenibles. Por último, implementar principios de sostenibilidad dentro de la investigación científica mediante el trabajo que aquí se presenta colabora con el ODS número 4: Educación de Calidad, ya que permite la formación de profesionales que sean conscientes del impacto social que pueda tener la ingeniería y también del impacto medioambiental en sí.

12. CONGRESO IUPAC 2025

Cabe destacar que los resultados obtenidos en este Trabajo de Fin de Grado han sido presentados en el 50.º Congreso Mundial de la IUPAC (*50th IUPAC World Chemistry Congress 2025*), celebrado del 14 al 19 de julio de 2025 en Kuala Lumpur, Malasia. El abstract enviado y el póster expuesto en el congreso se muestran en las *Figuras 12.1 y 12.2*, respectivamente.

Abstract Reference: 1810
Category: Poster
Cluster I – Green Chemistry



FUNCTIONALIZATION OF BIOFILMS WITH ANTIOXIDANT EXTRACTS FROM OLIVE LEAVES USING GLYCEROL-BASED GREEN SOLVENTS

Emilio J. González*, **Andrea Sánchez-Monedero**, **Ana Lafuente**, **Jaime Tiemblo**, **Marina P. Arrieta**.
*Dpto. Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Madrid,
C/ José Gutiérrez Abascal 2, Madrid, 28006, Spain*
**Corresponding author: ej.gonzalez@upm.es*

Abstract

The fabrication of biofilms based on Poly (lactic acid) (PLA) with antioxidant properties represents an important advancement in the development of sustainable and functional materials. PLA, a biodegradable polymer, is a promising alternative to petrochemical plastics, with applications in packaging, agriculture, medicine, textiles, and automotive industries¹. Incorporating antioxidants into biofilms reduces free radical damage, improving product quality and shelf life, while natural compounds and sustainable methods support environmental protection and the circular economy.

Figura 12.1. Cabecera del abstracto del trabajo expuesto en la asamblea IUPAC.



FUNCTIONALIZATION OF BIOFILMS WITH ANTIOXIDANT EXTRACTS FROM OLIVE LEAVES USING GLYCEROL-BASED GREEN SOLVENTS

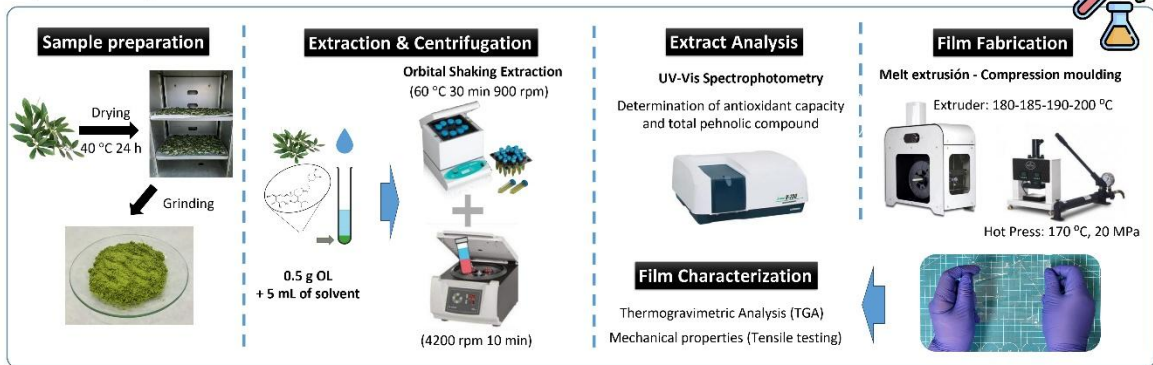
Emilio J. González*, Andrea Sánchez-Monedero, Ana Lafuente, Jaime Tiemblo, and Marina P. Arrieta.
Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid, E-28006 Madrid, Spain

*Corresponding author: ej.gonzalez@upm.es

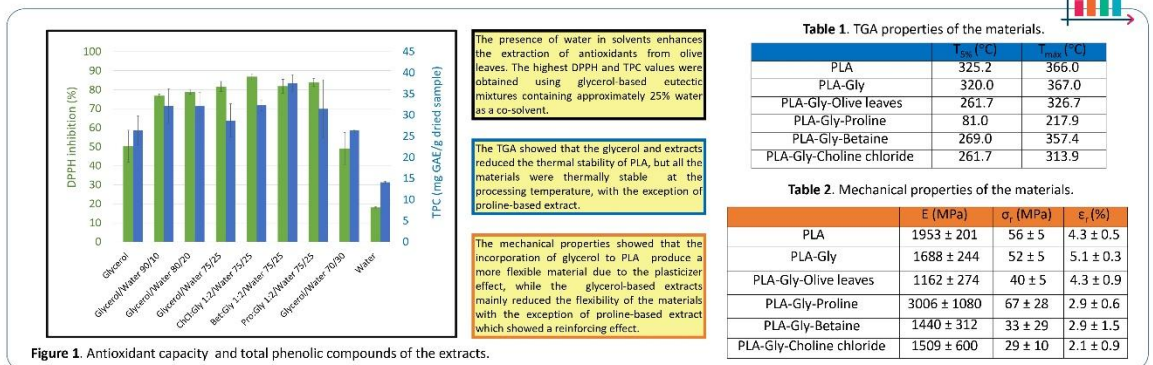
Objective

The aim of this work is to develop a sustainable methodology for obtaining antioxidant biopolymers by incorporating bioactive compounds extracted from olive leaves into a PLA-based polymer matrix. To achieve this, an extraction process using glycerol and glycerol-based eutectic mixtures (proline, chloride choline, or betaine + glycerol (1:2) was optimized, and the resulting extracts were integrated into biodegradable PLA based-films, which were subsequently evaluated in terms of their thermal and mechanical properties (Young's modulus, E, maximum mechanical strength, σ_m , and elongation at break, ϵ_b).

Experimental procedure



Results



Conclusions

- Both glycerol and glycerol-based eutectic mixtures containing water as a co-solvent are potential solvents for extracting antioxidants from olive leaves.
- The highest extraction efficiencies were achieved using glycerol-based eutectic mixtures with 25% water.
- Glycerol plasticized the PLA biopolymeric matrix increasing the flexibility of the final materials.
- The glycerol-based extracts were successfully incorporated into the PLA matrix by melt extrusion simulating the industrial processing conditions.
- Although the glycerol-based extracts reduced the thermal stability of PLA, the materials were mainly thermally stable at the processing temperature as well as the intended used temperature.

Acknowledgements

Grant PID2022-1419650B-C22 and PID2021-123753NA-C32 funded by MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 and by 'ERDF A way of making Europe,' by the 'European Union.'



53rd IUPAC General Assembly (53GA)
12th - 16th July 2025

50th World Chemistry Congress (50WCC)
14th - 19th July 2025




Figura 12.2. Poster del trabajo expuesto en la asamblea IUPAC.

13. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de fases de un DE.	5
Figura 1.2. Usos del plástico en Europa en 2022. [14]	6
Figura 3.1. Hojas de olivo.....	13
Figura 3.2. Hojas de olivo lavadas y secas.	13
Figura 3.3. Hojas de olivo cortadas y secadas en horno.	13
Figura 3.4. Hojas de olivo trituradas.....	14
Figura 3.5. Extracciones con los DES.	16
Figura 3.6. Rotavapor con una extracción.	18
Figura 3.7. Imagen de la extrusora usada.	18
Figura 4.1. Muestras tras la evaluación con el método DPPH.....	20
Figura 4.2. Muestra tras la evaluación con el método Folin-Ciocalteu.	21
Figura 4.3. Recta de calibrado mediante el método Folin-Ciocalteu.....	22
Figura 4.4. Gráfico recopilación de los resultados de ambos métodos espectrofotométricos.	23
Figura 4.5. Disolución PLA en cloroformo.	24
Figura 4.6. Disolución plastificando en placa.....	25
Figura 4.7. Film de PLA elaborado por disolución-evaporación en cloroformo.....	25

Figura 4.8. Ejemplos de films de PLA con los extractos de DE elaborados por disolución-evaporación en cloroformo.	25
Figura 4.9. Mezcla PLA y extracto.	26
Figura 4.10. Momento de rotura del filamento en la máquina.	26
Figura 4.11. Gráfico con los módulos de Young de los filamentos obtenidos.	28
Figura 4.12. Gráfico con las tensiones máximas de los filamentos obtenidos.	29
Figura 4.13. Gráfico con las elongaciones a la rotura de los filamentos obtenidos.	29
Figura 4.14. Gráfico TGA de PLA puro.	31
Figura 4.15. Gráfico de la derivada de TGA (DTG) del PLA puro.	31
Figura 4.16. Gráfico TGA del PLA con extracto de prolina.	32
Figura 4.17. Gráfico de la derivada en el peso del TGA de PLA con extracto de DE de prolina.	33
Figura 4.18. Gráfico TGA del PLA con extracto de DE de betaína.	34
Figura 4.19. Gráfico de la derivada de TGA (DTG) del PLA con extracto de DE de betaína.	34
Figura 4.20. Gráfico TGA del PLA con extracto de DE de cloruro de colina.	35
Figura 4.21. Gráfico de la derivada de TGA (DTG) del PLA con extracto de DE de cloruro de colina.	35
Figura 4.22. Gráfico TGA del glicerol puro.	36
Figura 4.23. Gráfico de la curva de la derivada de TGA (DTG) del glicerol puro.	36
Figura 8.1. Diagrama de Gantt del trabajo.	47

Figura 12.1. Cabecera del abstracto del trabajo expuesto en la asamblea IUPAC.55

Figura 12.2. Poster del trabajo expuesto en la asamblea IUPAC.56

14. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reactivos utilizados.	9
Tabla 2. Materiales y equipos.	10
Tabla 3. Valores obtenidos en el método DPPH en el laboratorio.	19
Tabla 4. Resultados de inhibición DPPH.....	20
Tabla 5. Absorbancias de diferentes concentraciones de la disolución patrón.	22
Tabla 6. Concentración de los diferentes extractos según sus respectivas absorbancias.....	23
Tabla 7. Resultados de los ensayos de tracción.	28
Tabla 8. Resumen de las temperaturas del TGA para el PLA con los extractos basados en distintos disolventes.	37
Tabla 9. Planificación temporal del trabajo 2014-2025.....	45
Tabla 10. Presupuesto del material usado en el trabajo.	48
Tabla 11. Presupuesto de la mano de obra en el trabajo.....	49
Tabla 12. Presupuesto de los reactivos usados en el trabajo.....	49
Tabla 13. Presupuesto final del trabajo.....	50
Tabla A1. Pesos para la realización de los DES.....	63
Tabla A2. Pesos para la producción de plásticos.....	63

15. ABREVIATURAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS

DE: Disolvente Eutéctico

HBA: Aceptor de Puentes de Hidrógeno (del inglés “*Hydrogen Bond Acceptor*”)

HBD: Donante de Puentes de Hidrógeno (del inglés “*Hydrogen Bond Donor*”)

UE: Unión Europea

COV: Compuesto Orgánico Volátil

REACH: Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas (del inglés “*Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals*”)

IPPC: Prevención y Control Integrados de la Contaminación (del inglés “*Integrated Pollution Prevention and Control*”),

NADES: Disolvente Eutéctico Natural (del inglés “*Natural Deep Eutectic Solvents*”)

PLA: Poli ácido láctico

CO₂: Dióxido de carbono

°C: Grados Celsius

rpm: Revoluciones por Minuto

mL: Mililitros

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo

nm: Nanómetros

μL: Microlitros

mbar: Milibares

ppm: Partes por Millón

UA: Unidades de Absorbancia

MPa: Megapascales

TGA: Análisis Termogravimétrico (del inglés “*Thermogravimetric Analysis*”)

DTG: Termogravimetría Diferencial (del inglés “*Differential Thermogravimetric*”)

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

16. ANEXO

Tabla A1. Pesos para la realización de los DES.

	P:G (1:2)	B:G (1:2)	ChCl:G (1:2)
Masa Glicerol (g)	12,800	12,589	13,217
Masa Disolvente (g)	8,000	8,002	10,001
Porcentaje en peso de disolvente en el DES	38,46%	38,86%	43,07%

Tabla A2. Pesos para la producción de plásticos.

	Glicerol	P:G (1:2)	B:G (1:2)	ChCl:G (1:2)
Masa PLA (g)	70,03	70,02	70,00	70,00
Masa Extracto (g)	7,02	6,46	7,09	7,13
Porcentaje en peso de disolvente en el plástico	9,11%	8,45%	9,20%	9,24%