



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

**TEMA:** DESARROLLO DE BOLSAS BIODEGRADABLES PARA AGROCULTIVO A PARTIR DE CÁSCARA DE BANANO DE RECHAZO (*Musa balbisiana*) Y ESTUDIO DE LA LIBERACIÓN CONTROLADA DE COMPUESTOS ACTIVOS EN EL SUELO.

**AUTOR:** MICHELLE JÁCOME FONSECA.

**DIRECTOR:** Dr. Rer. Nat., Ph.D RODRÍGUEZ  
MAECKER, ROMAN NICOLAY.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

---

OBJETIVOS

---

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

---

RESULTADOS

---

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

# INTRODUCCIÓN



Producción mundial PEBD de  
70 millones toneladas/año



Consumo mundial plaguicidas  
químicos de 3 millones kilos/año



**CONTAMINACIÓN  
DE SUELOS POR  
PLAGUICIDAS**



Residuos agroindustriales.



El banano de rechazo representa 7.05 ton/ha/año, lo cual corresponde a \$881,15 por hectárea por año en pérdidas.



Orégano



Palo santo



Muña



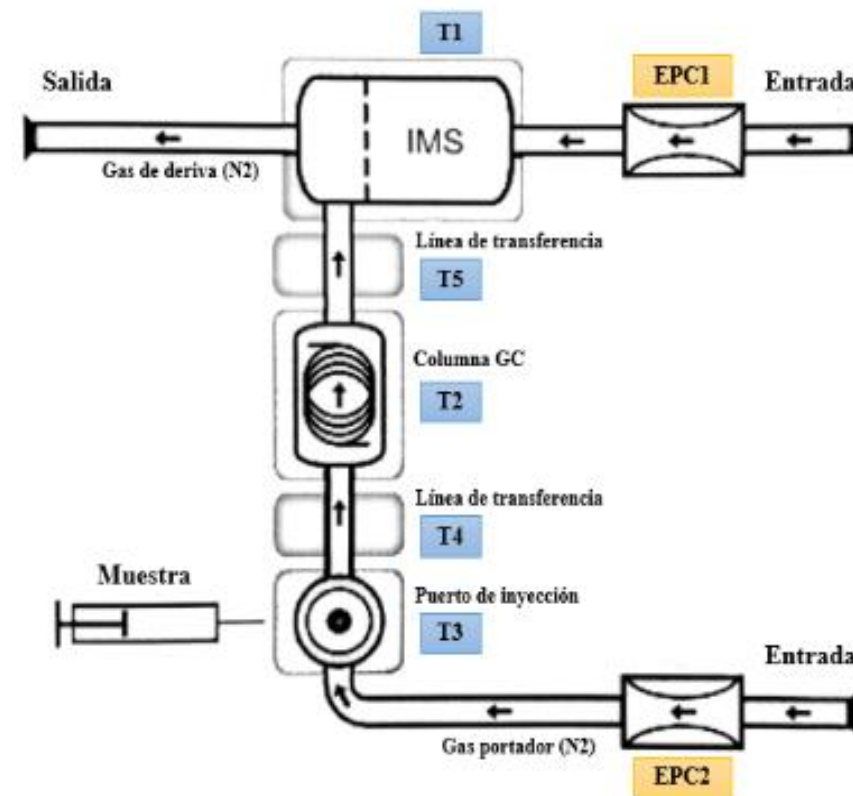
ACEITE  
ESENCIAL



Fresco, dulce y exótico,  
con un aroma leñoso  
almonado que regenera  
el ánimo y limpia  
la mala energía.  
Aceite esencial 100% puro



## Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de movilidad iónica (GC-IMS).



# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

---

**OBJETIVOS**

---

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

---

RESULTADOS

---

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

# OBJETIVOS

Desarrollar bolsas biodegradables para agrocultivo a partir de cáscara de banano de rechazo y estudiar la liberación controlada de compuestos activos en el suelo.

Acondicionar los residuos de banano de rechazo para su utilización como materia prima en el desarrollo de bolsas de agrocultivo biodegradables.

Elaborar bolsas biodegradables en bicapa impregnadas individualmente con aceite esencial de orégano, muña y palo santo.

Determinar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y biodegradabilidad de las películas biodegradables impregnadas con aceite esencial.

Evaluar el envejecimiento de las bolsas de agrocultivo enterradas en suelo mediante espectrofotometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

Estudiar la liberación de los aceites esenciales de las bolsas de agrocultivo en el suelo mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de movilidad iónica (GC-IMS).

# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

---

OBJETIVOS

---

**METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

---

RESULTADOS

---

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---



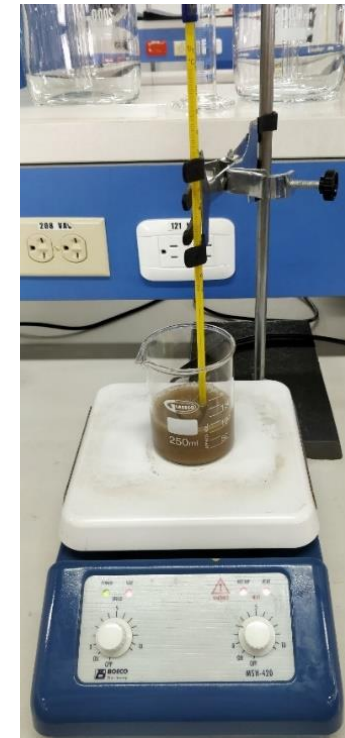
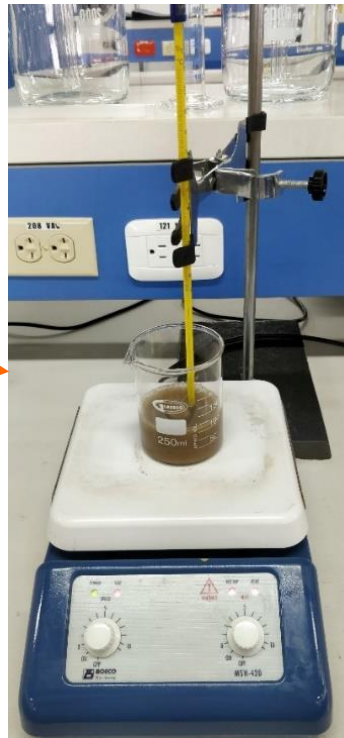
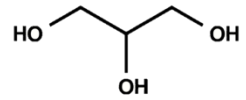
# ACONDICIONAMIENTO DEL BANANO VERDE DE RECHAZO (*Musa balbisiana*).



# ELABORACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES PARA AGROCULTIVO.

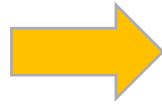
Primera capa.

Segunda capa.



# CONFORMACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES PARA AGROCULTIVO.

Termosellado



# PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.

Solubilidad en agua (%).



$$\% S = \frac{[W_o - W_f]}{W_o} * 100 \%$$

Donde

$W_o$ : peso inicial de la película expresada como materia seca (g).

$W_f$ : peso del residuo desecado sin disolver la película (g).

## Permeabilidad al vapor de agua (WVP).

$$WVP = \frac{w}{t \cdot A} \times \frac{x}{\Delta P}$$



Donde:

WVP: permeabilidad al vapor de agua  $\left(\frac{g}{s \times m \times Pa}\right)$

w: peso ganado (g)

x: espesor de la película (m)

t: tiempo (s)

A: área de la película expuesta (m<sup>2</sup>)

$\Delta P$ : diferencia de presión parcial de vapor entre la atmósfera y sílica gel (2642 Pa a 22 °C)

## Contenido de humedad (%MC).



## Espesor.



# PROPIEDADES MECÁNICAS.

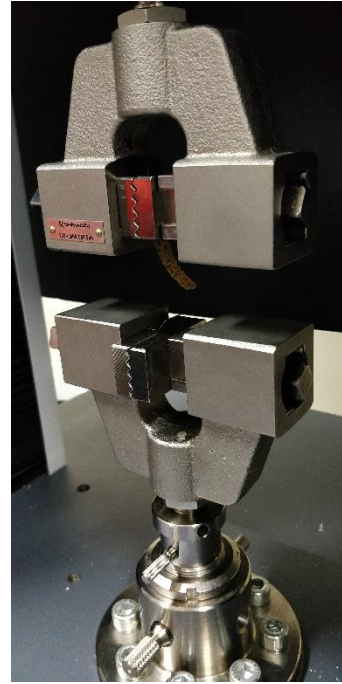
Resistencia a la tracción (TS).

$$TS = \frac{P}{A}$$

Donde

P: fuerza (N).

A: área (mm).



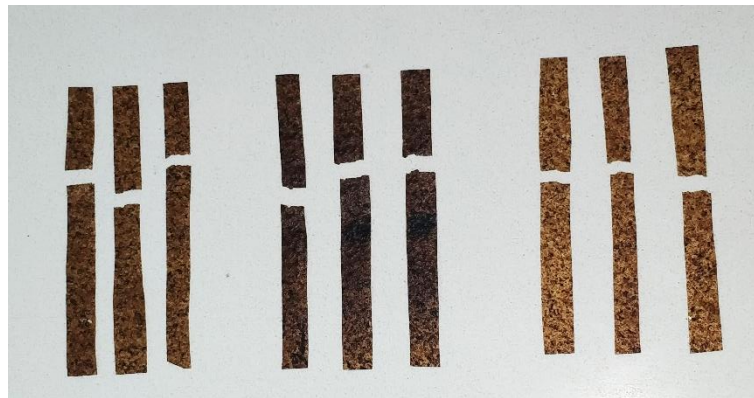
Porcentaje de elongación (%E).

$$E = \frac{[L_f - L_o]}{L} * 100 \%$$

Donde

$L_o$ : longitud inicial (mm).

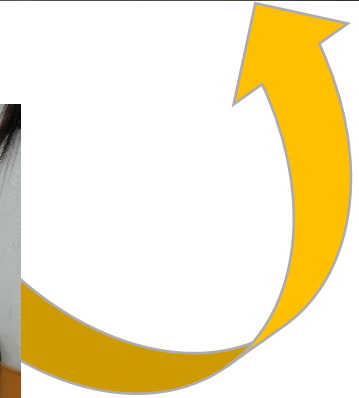
$L_f$ : longitud final (mm).



# BIODEGRADABILIDAD EN SUELO.



$$\%BD = \frac{\text{peso inicial } (W_o) - \text{peso final } (W_f)}{\text{peso inicial } (W_o)} * 100 \%$$





# PROPIEDADES TÉRMICAS.

## Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).



### Condiciones de operación

Atmósfera	Nitrógeno
Tipo de calentamiento	Dinámico
Velocidad de calentamiento	10 °C/min
Temperatura inicial	25 °C
Temperatura final	400 °C

## Análisis termogravimétrico (TGA).



### Condiciones de operación por etapa

Etapa 1	Temperatura inicial del horno a 25 °C, en una atmosfera de N <sub>2</sub>
Etapa 2	Calentamiento del horno de 25 °C a 600 °C a 10 °C/min
Etapa 3	Cambio de atmosfera, N <sub>2</sub> por aire, a una temperatura de 600 °C
Etapa 4	Calentamiento del horno de 600 °C a 750 °C a 10 °C/min
Etapa 5	Temperatura del horno constante a 750 °C durante 3 min
Etapa 6	Disminución de la temperatura del horno hasta alcanzar los 40 °C

# ESTUDIO DE ENVEJECIMIENTO DE BOLSAS PARA AGROCULTIVO.

Espectrofotometría Infrarrojo de Transformada de Fourier (FTIR).



## Condiciones de operación

Temperatura ambiental	20 °C ± 5 °C
Resolución espectral	0,5 cm <sup>-1</sup>
Longitud de onda	4000 cm <sup>-1</sup> hasta 600 cm <sup>-1</sup>
Accesorio de reflexión total atenuada ATR	
Tratamiento del espectro	Suavizado, corrección línea base, normalización.

# SIEMBRA DE TOMATE RIÑÓN (*Solanum lycopersicum*) Y MUESTREO.

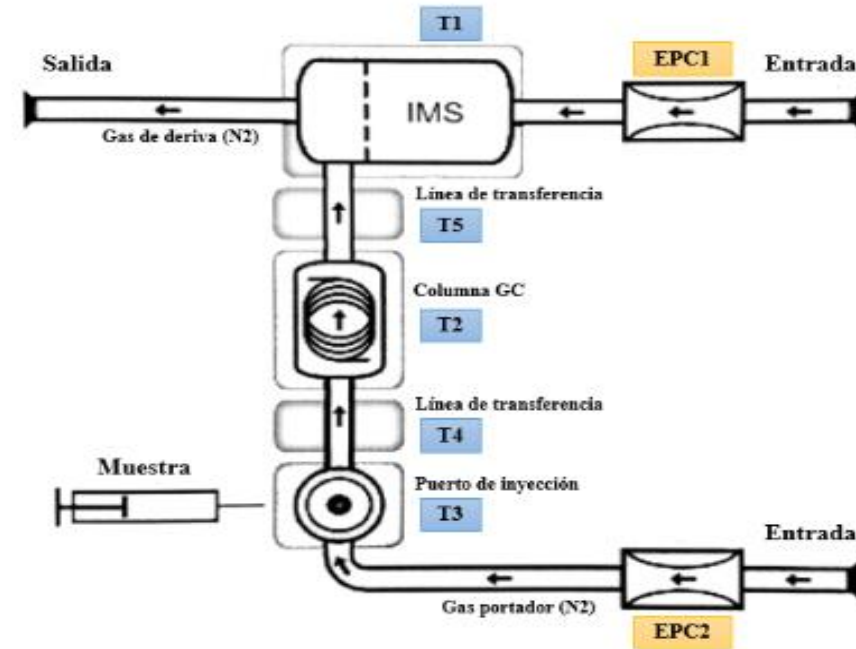


# DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL MULTINIVEL.

Factores	Niveles	Codificación
Aceite esencial (especie)	Muña (AE M)	1
	Orégano (AE O)	2
	Palo santo (AE PS)	3
Dirección (°)	0°	0
	120°	120
	240°	240
Distancia (cm)	0,5	0,5
	1,5	1,5
Tiempo de medición (día)	Semana 1	1
	Semana 2	2
	Semana 3	3
	Semana 4	4

# ESTUDIO DE DIFUSIÓN DE COMPUESTOS ACTIVOS EN EL SUELO.

Analizador de compuestos volátiles (GC-IMS).



## Condiciones de operación

Columna	Gas	T1	T2	T3	T4	T5	EPC1	EPC2
MCC	N <sub>2</sub>	50	65	80	80	50	100	10

# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

---

OBJETIVOS

---

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

---

**RESULTADOS**

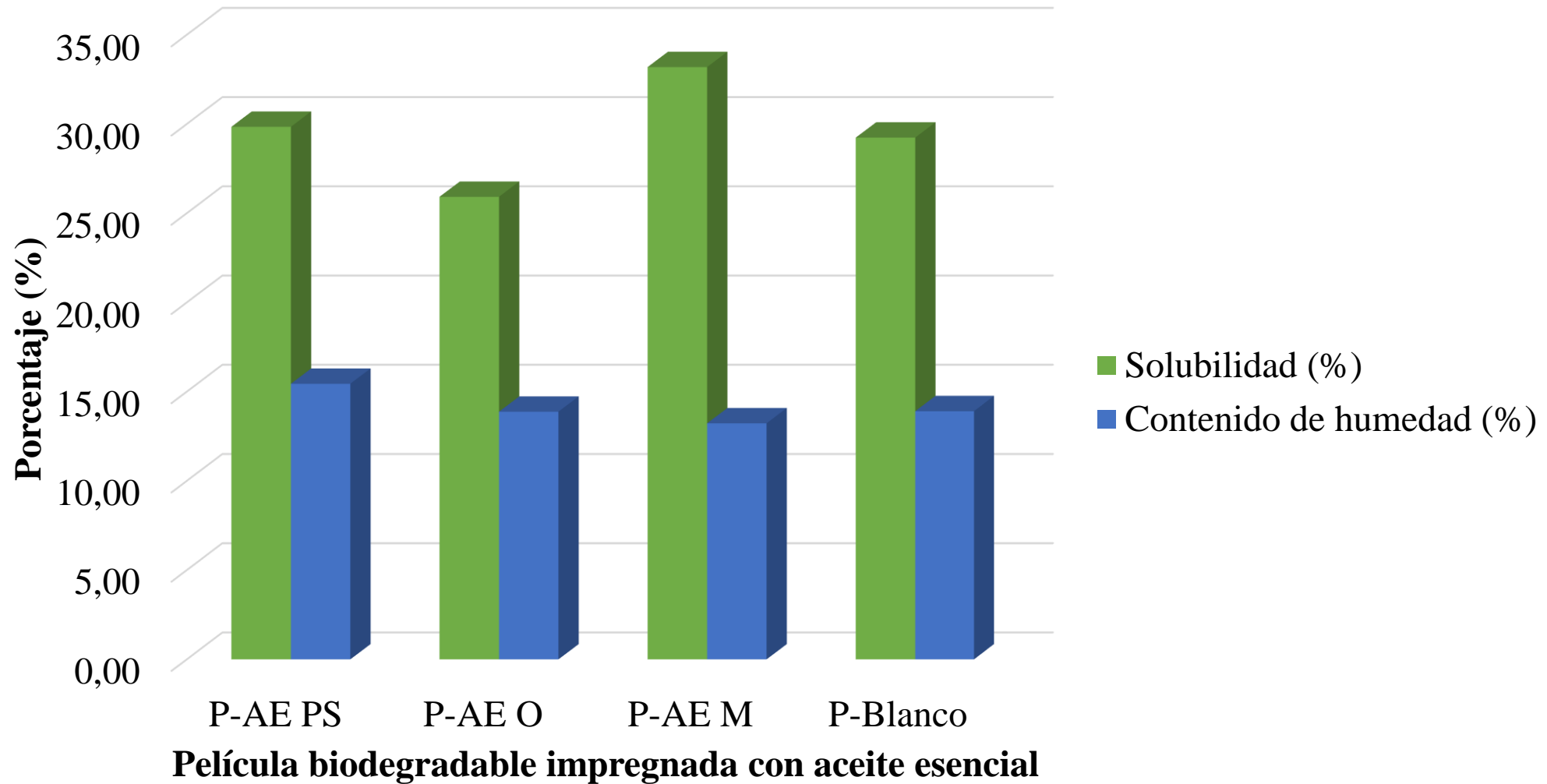
---

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

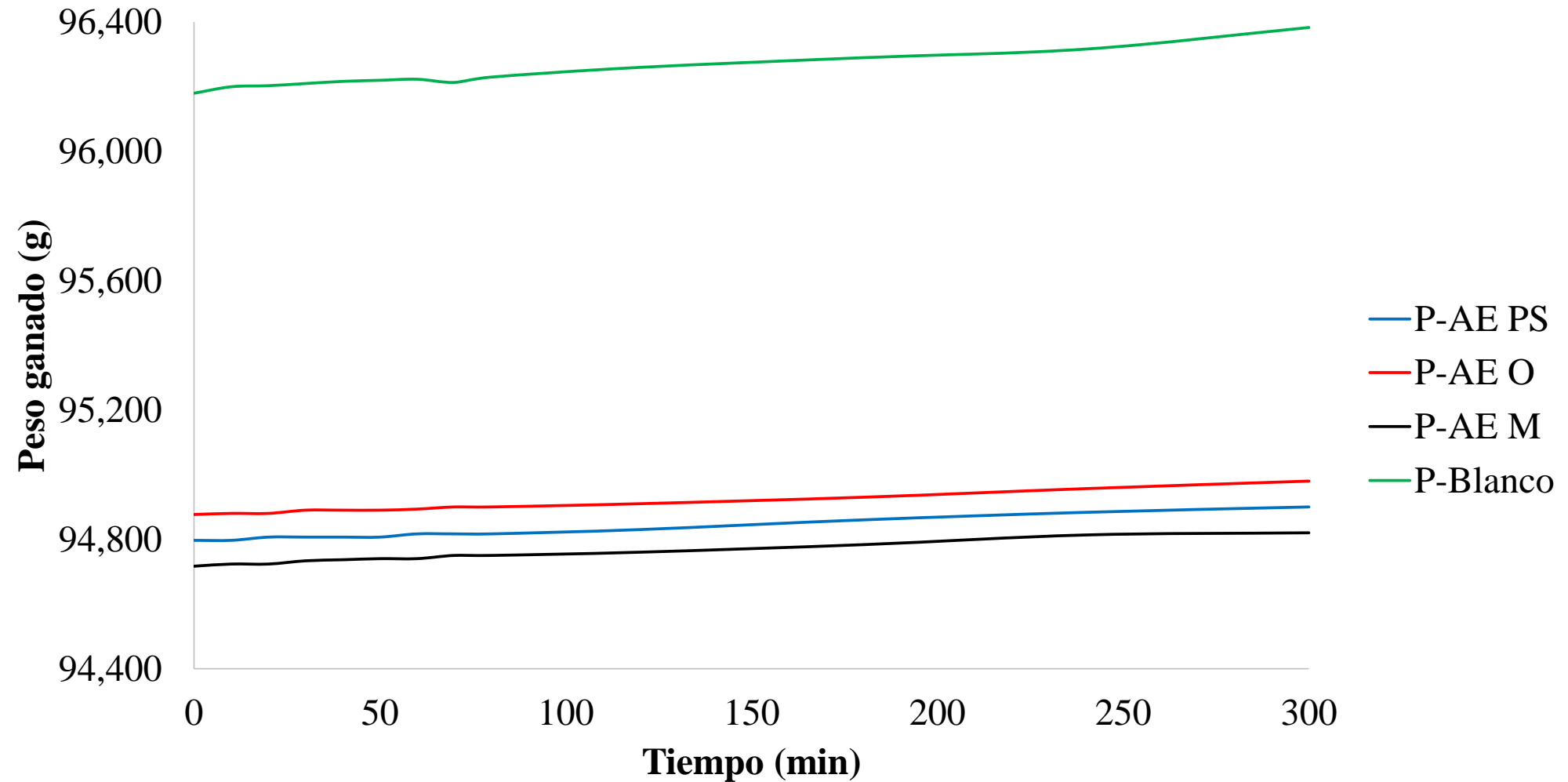
# PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.

Solubilidad en agua (%) y contenido de humedad (%MC).

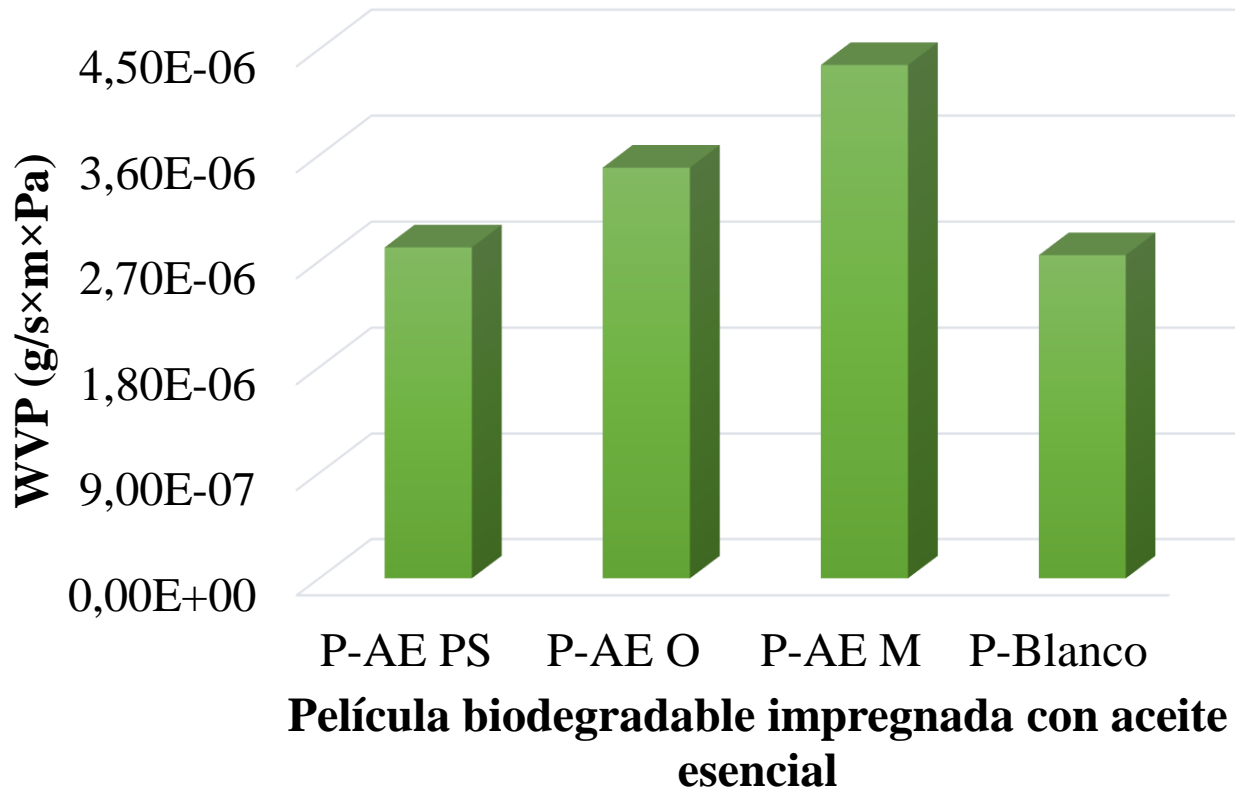




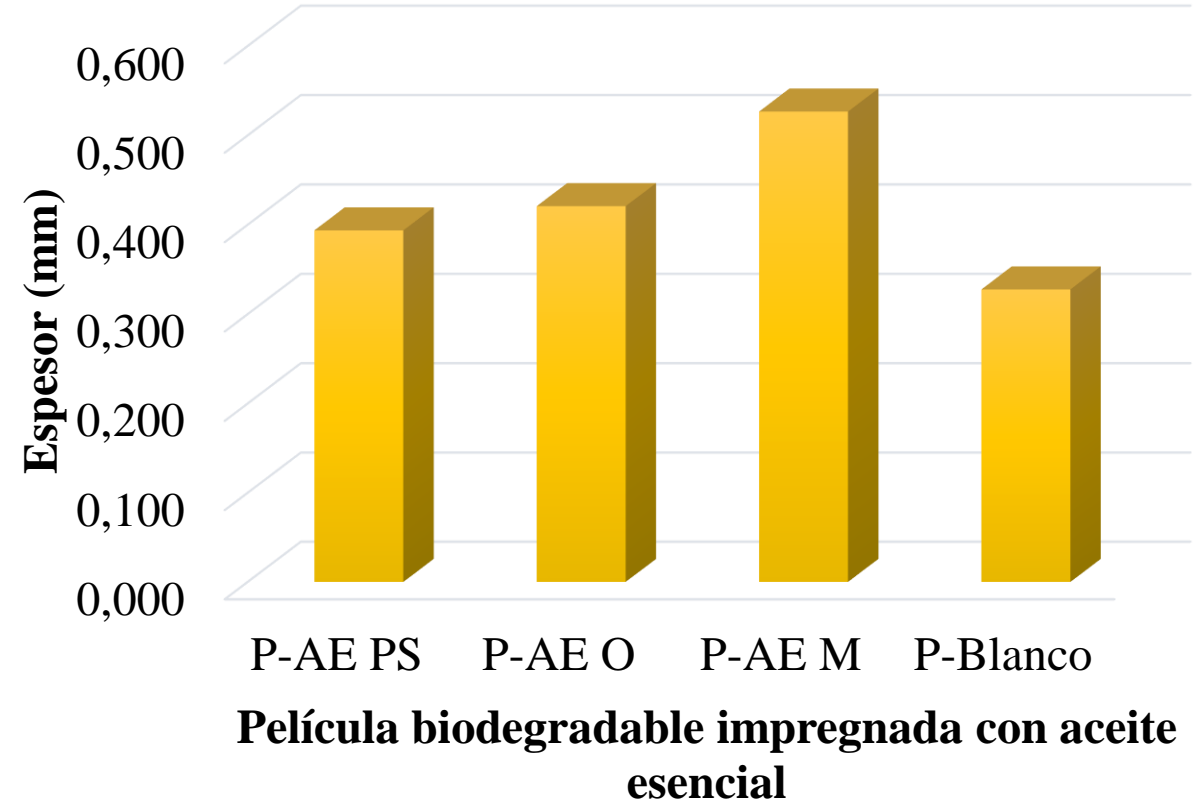
## Peso ganado en películas biodegradables impregnadas con aceite esencial.



## Permeabilidad al vapor de agua (WVP) y espesor.



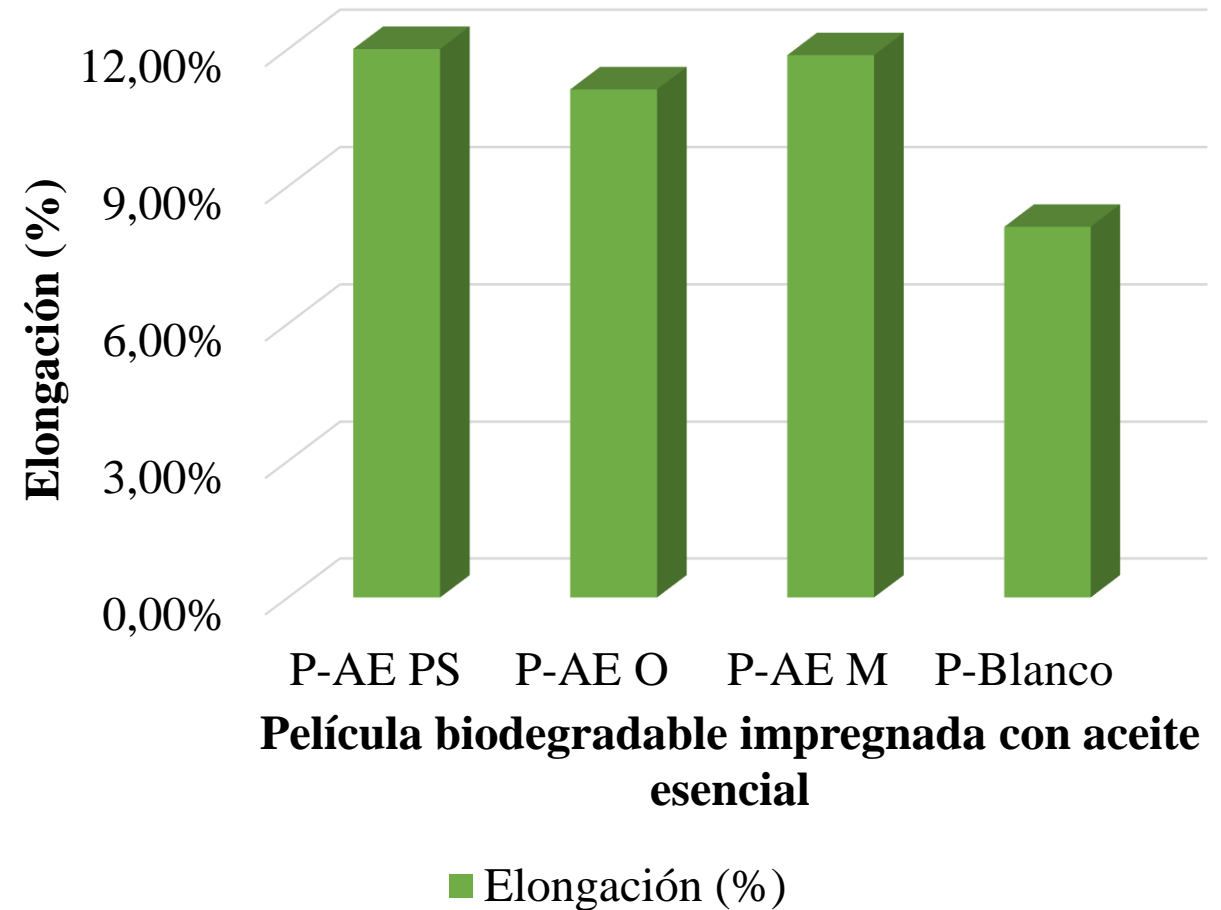
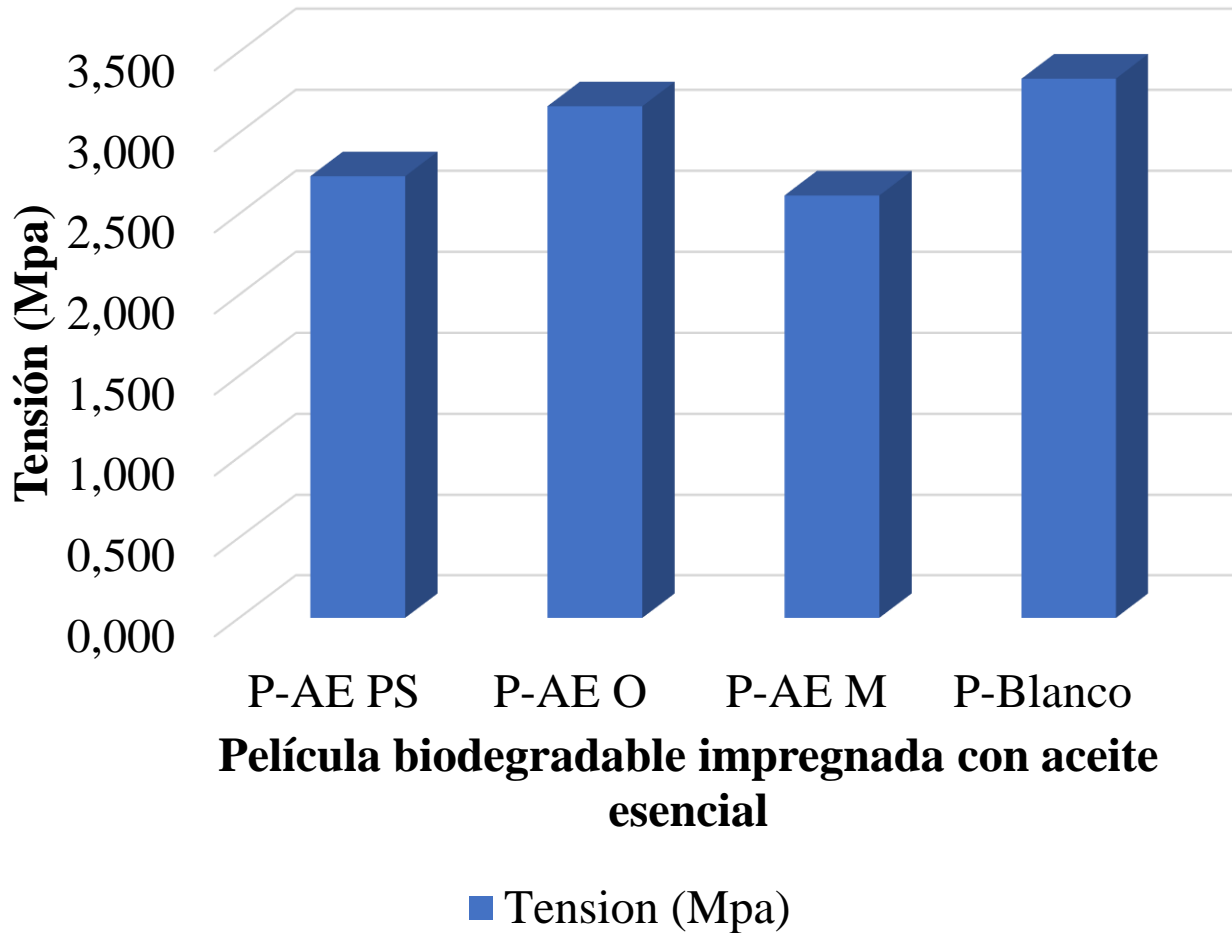
■ Permeabilidad al vapor de agua (g/s×m×Pa)



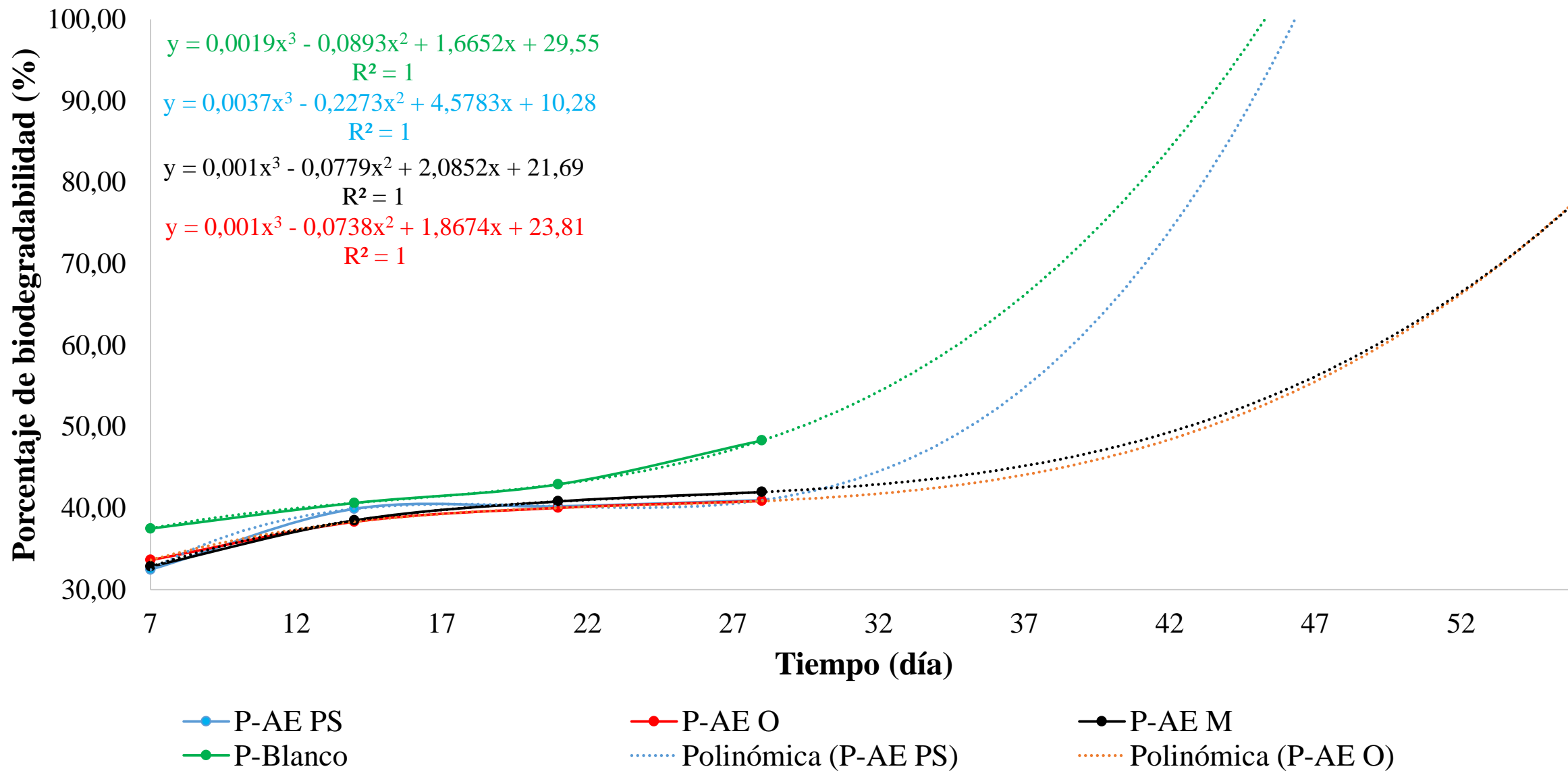
■ Espesor (mm)

# PROPIEDADES MECÁNICAS.

Resistencia a la tracción (TS) y porcentaje de elongación (%E).



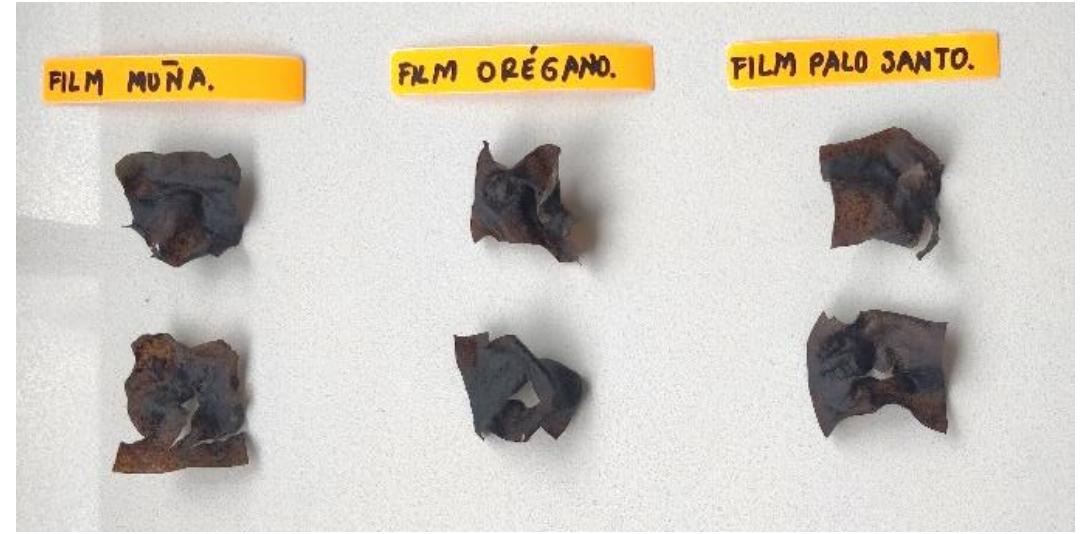
# BIODEGRADABILIDAD EN SUELO.



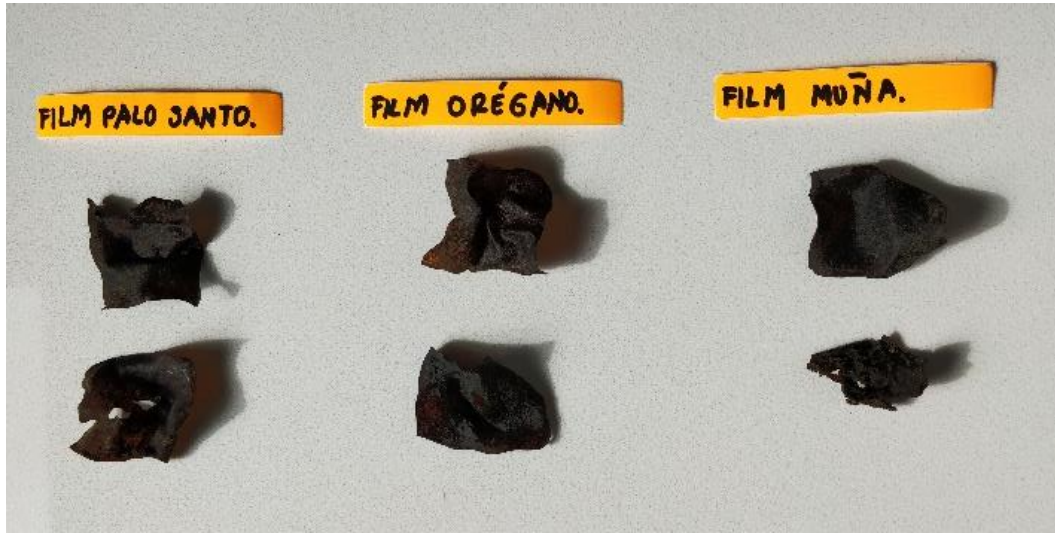
Semana 1



Semana 2



Semana 3

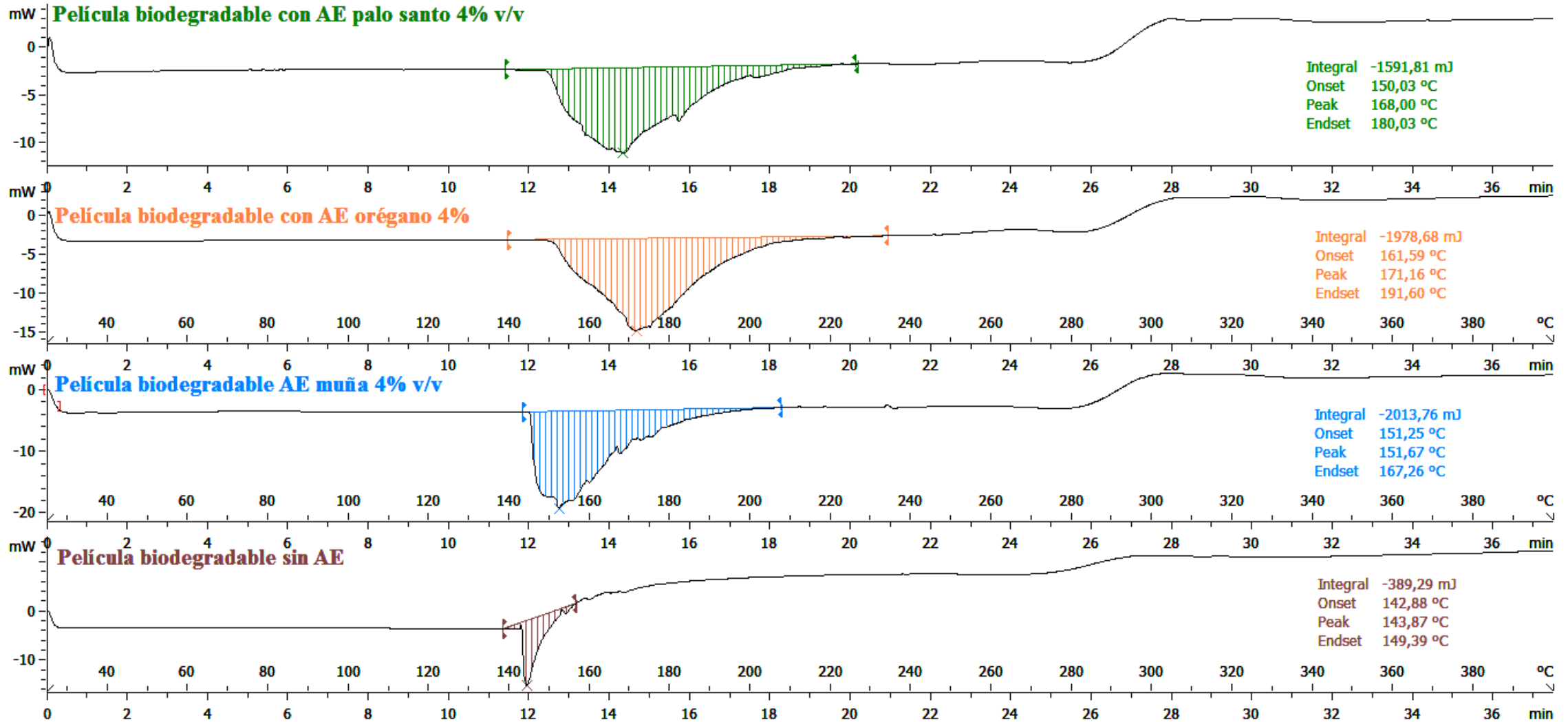


Semana 4



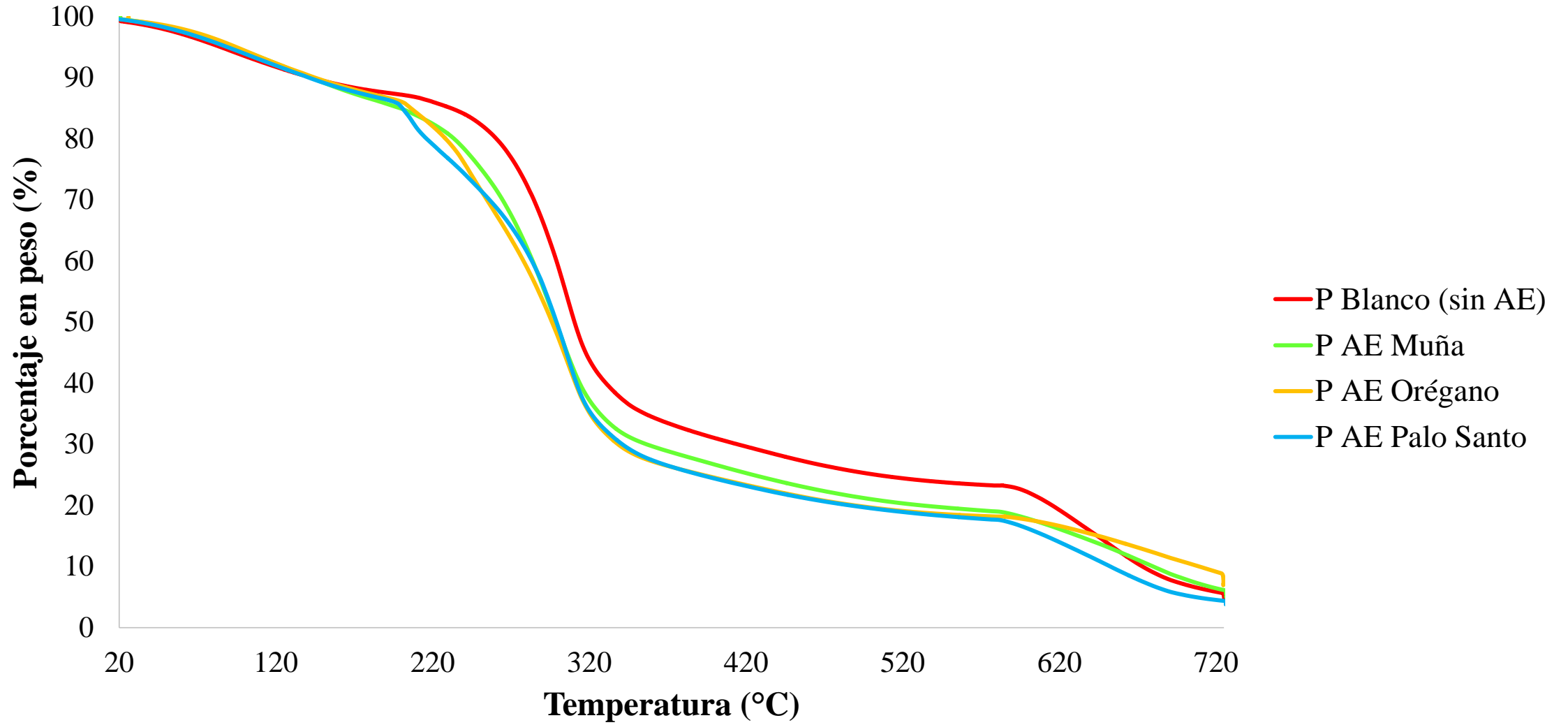
# PROPIEDADES TÉRMICAS.

Termogramas DSC de películas biodegradables para agrocultivo.



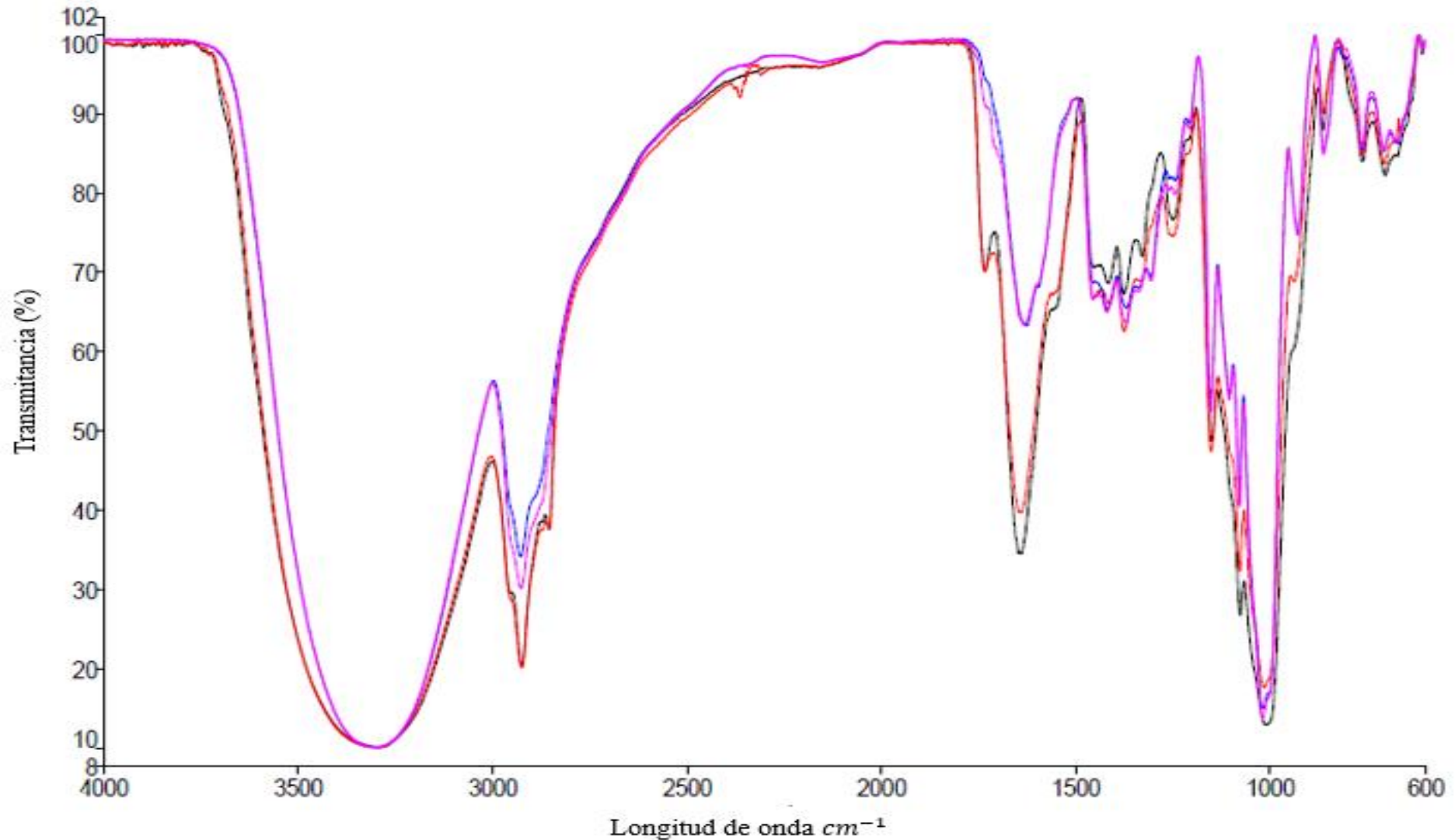
# PROPIEDADES TÉRMICAS

Termogramas TGA de películas biodegradables para agrocultivo.



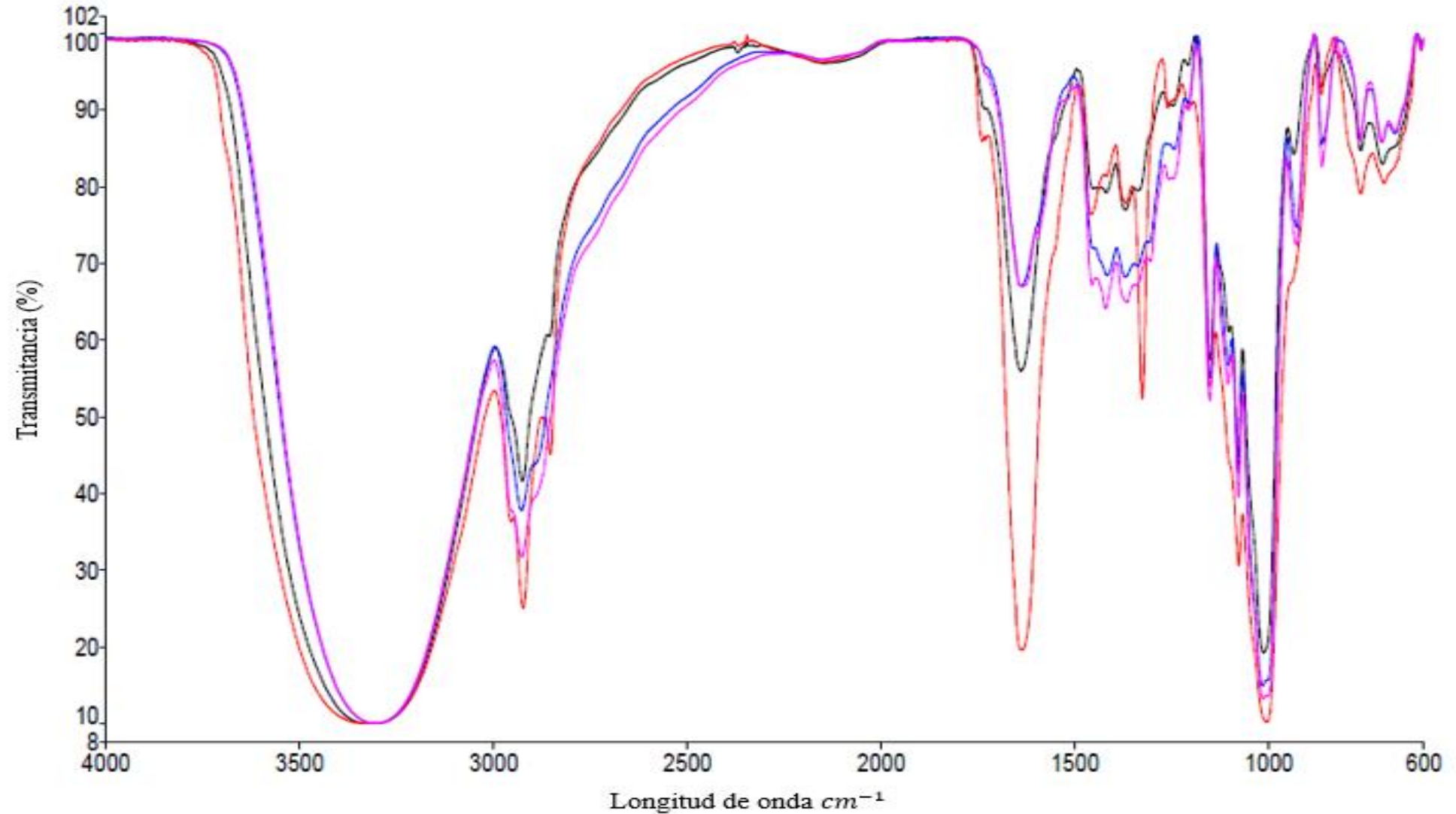
# ESTUDIO DE ENVEJECIMIENTO DE BOLSAS PARA AGROCULTIVO

Espectro Infrarrojo de películas biodegradables para agrocultivo con AE Muña.

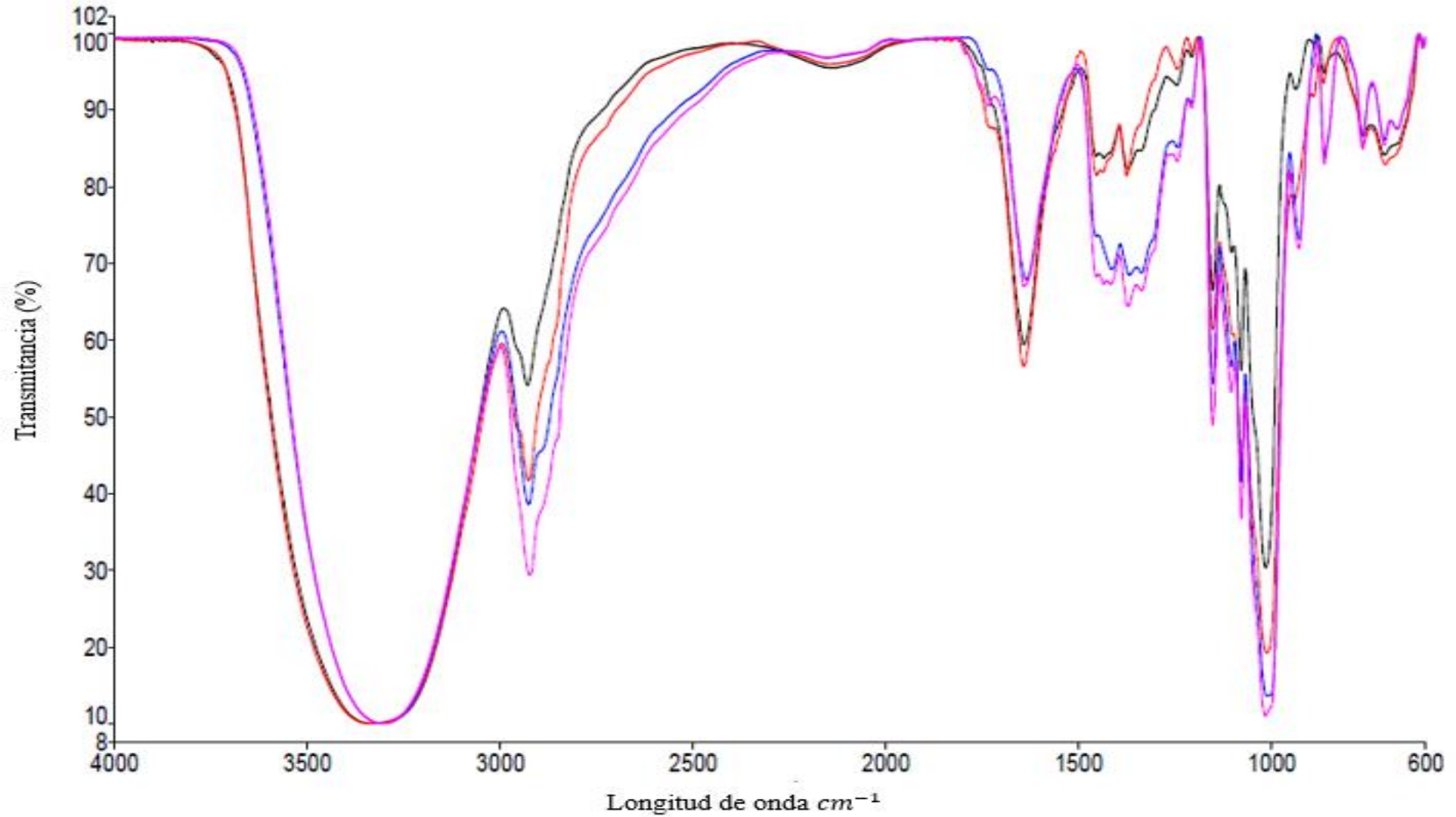




## Espectro Infrarrojo de películas biodegradables para agrocultivo con AE Orégano.



# Espectro Infrarrojo de películas biodegradables para agrocultivo con AE Palo santo.



# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL MULTINIVEL.

Análisis de varianza (ANOVA) para el estudio de la liberación controlada de AEs en el suelo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aceite esencial	16,0826	1	16,0826	36,63	0,0000
B:Dirección	1,81274	1	1,81274	4,13	0,0431
C:Distancia	27,6721	1	27,6721	63,02	0,0000
D:Tiempo de medición	2,85336	1	2,85336	6,50	0,0114
AA	10,2563	1	10,2563	23,36	0,0000
AB	0,0406481	1	0,0406481	0,09	0,7612
AC	9,6972	1	9,6972	22,08	0,0000
AD	0,574179	1	0,574179	1,31	0,2538
BB	1,49447	1	1,49447	3,40	0,0662
BC	1,65615	1	1,65615	3,77	0,0532
BD	0,104818	1	0,104818	0,24	0,6255
CD	2,50363	1	2,50363	5,70	0,0176
DD	0,066054	1	0,066054	0,15	0,6984
Bloques	0,834934	3	0,278311	0,63	0,5938
Error total	118,999	271	0,439111		
Total (corr.)	194,648	287			

R-cuadrada = 38,8645%

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 35,2551%

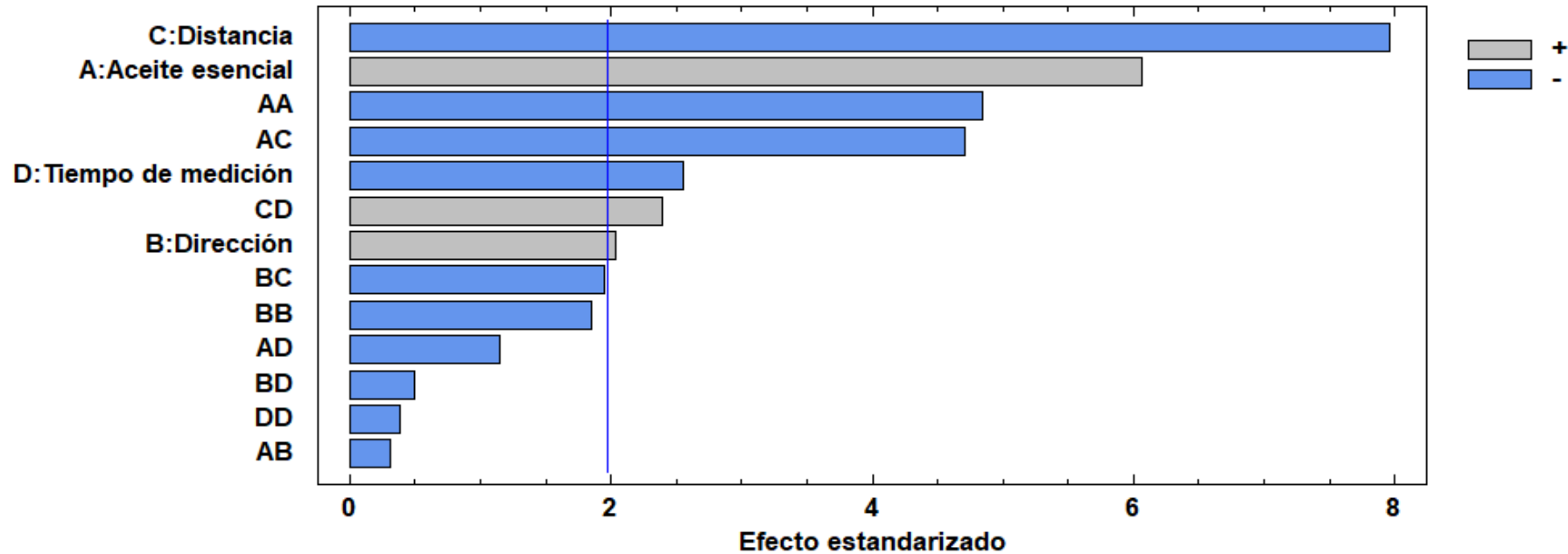
Error estándar del est. = 0,662655

Error absoluto medio = 0,408932

Estadístico Durbin-Watson = 2,15936 (P=0,9116)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,0818216

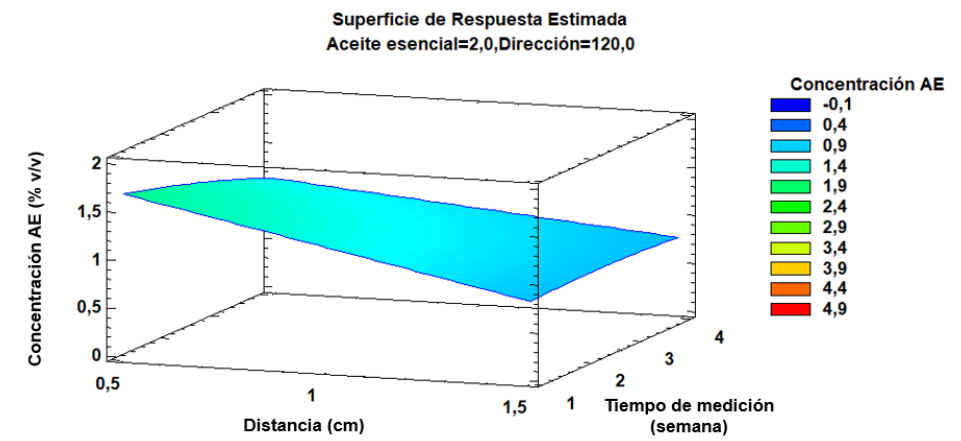
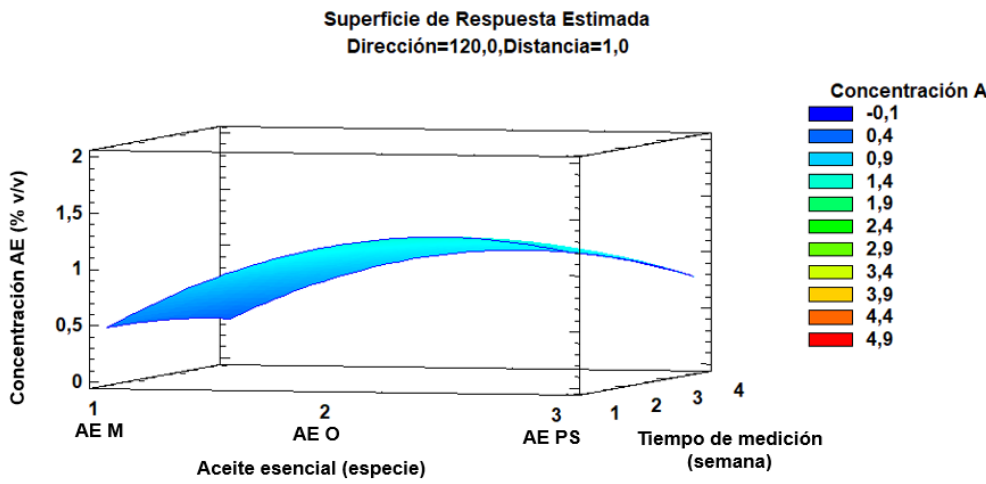
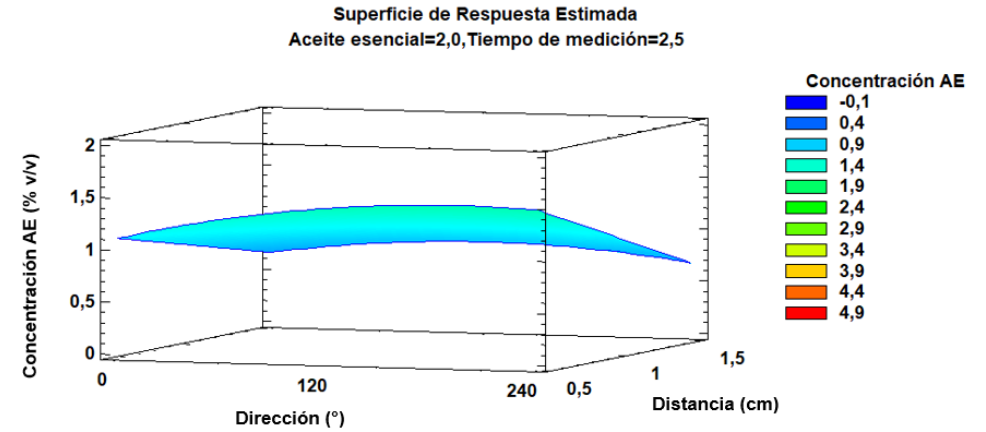
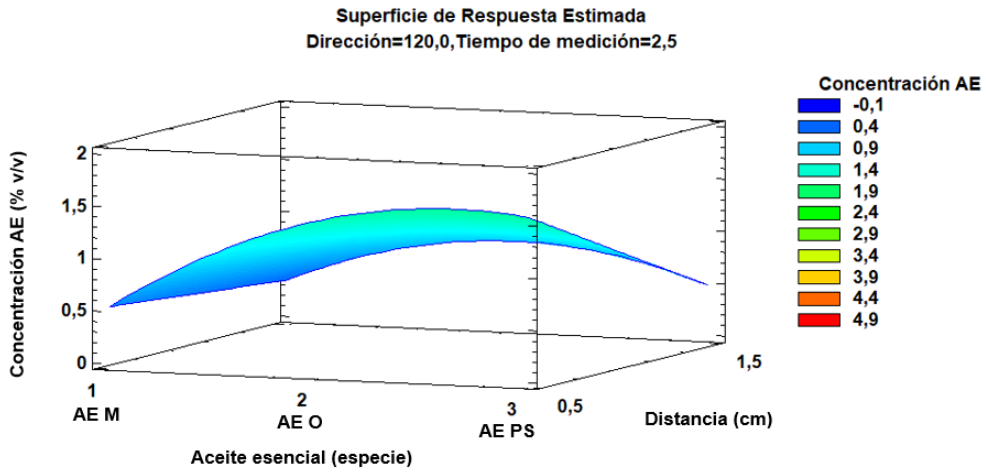
Ecuación de regresión ajustada y diagrama de Pareto estandarizado para el estudio de la liberación controlada de AEs en el suelo.



Concentración AE (%  $v/v$ )

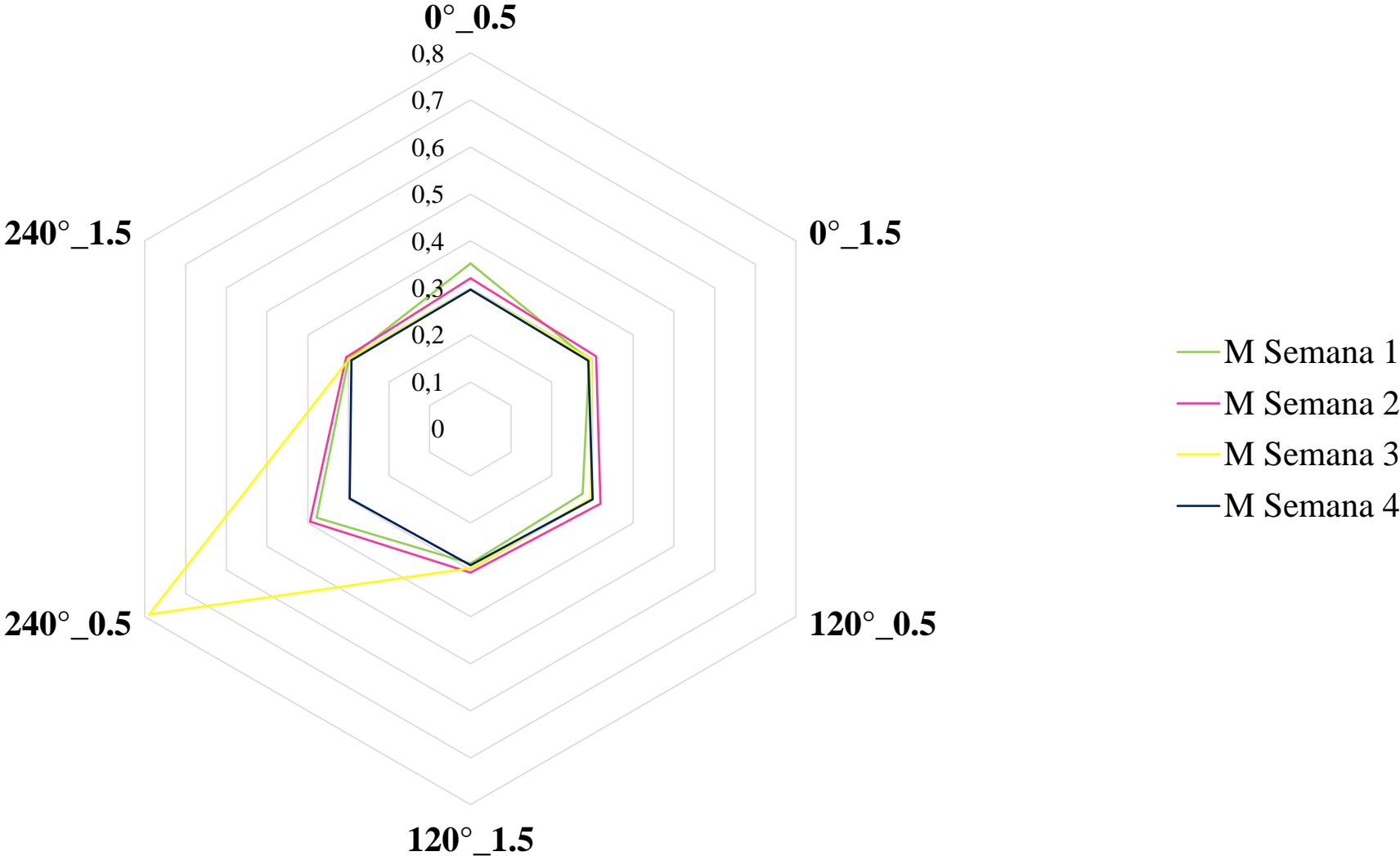
$$= -1.54382 + 2.48027 * A + 0.00563687 * B + 0.0477771 * C - 0.0613707 * D - 0.400318 * A^2 - 0.000148503 * A * B - 0.449472 * AC - 0.0489123 * AD - 0.0000106118 * B^2 - 0.00154792 * BC - 0.000174153 * BD + 0.166788 * BD - 0.0151444 * D^2$$

# Superficie de respuesta estimada para la concentración de aceite esencial en el suelo.

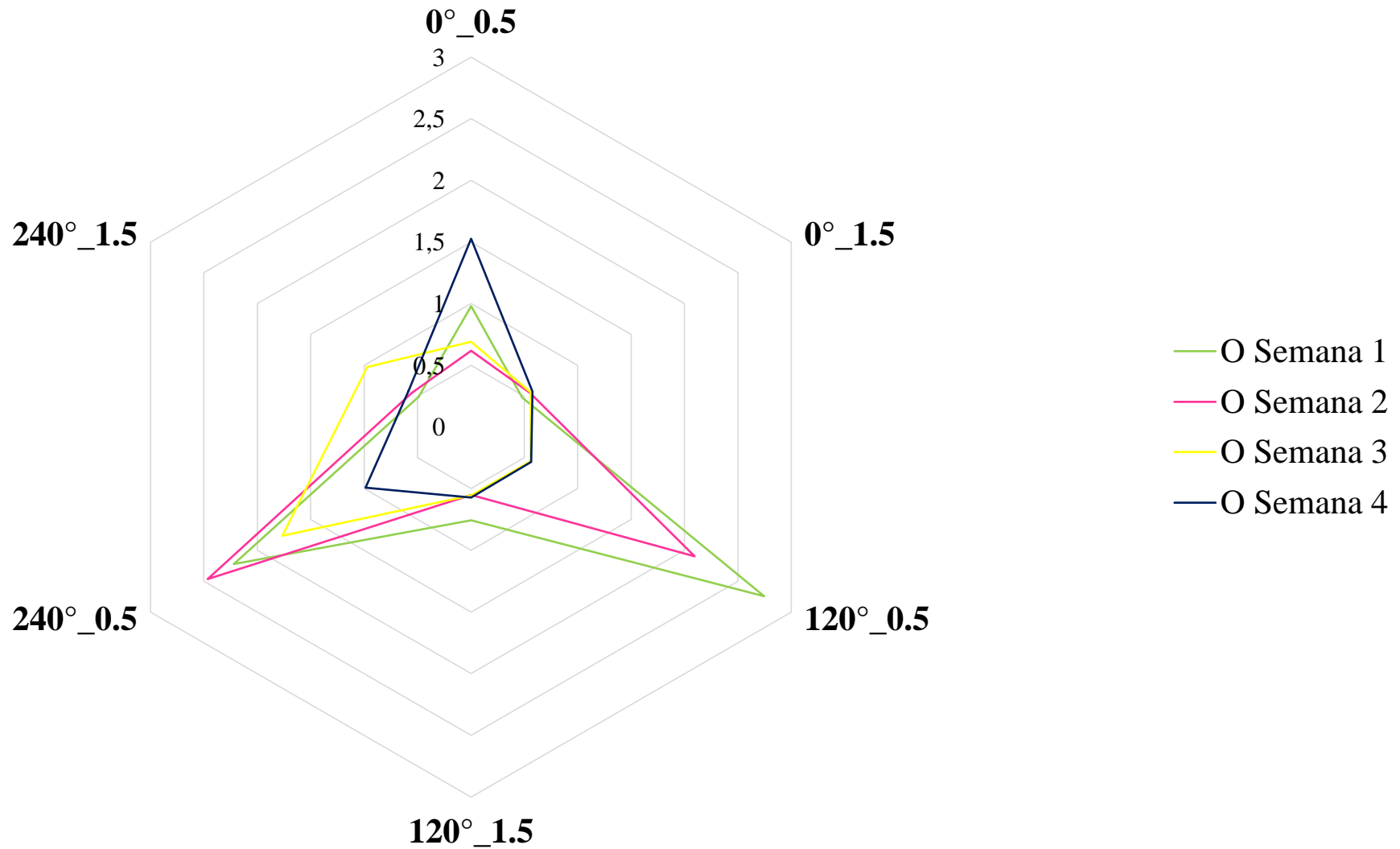


# ESTUDIO DE DIFUSIÓN DE COMPUESTOS ACTIVOS EN EL SUELO.

## Liberación de aceite esencial Muña

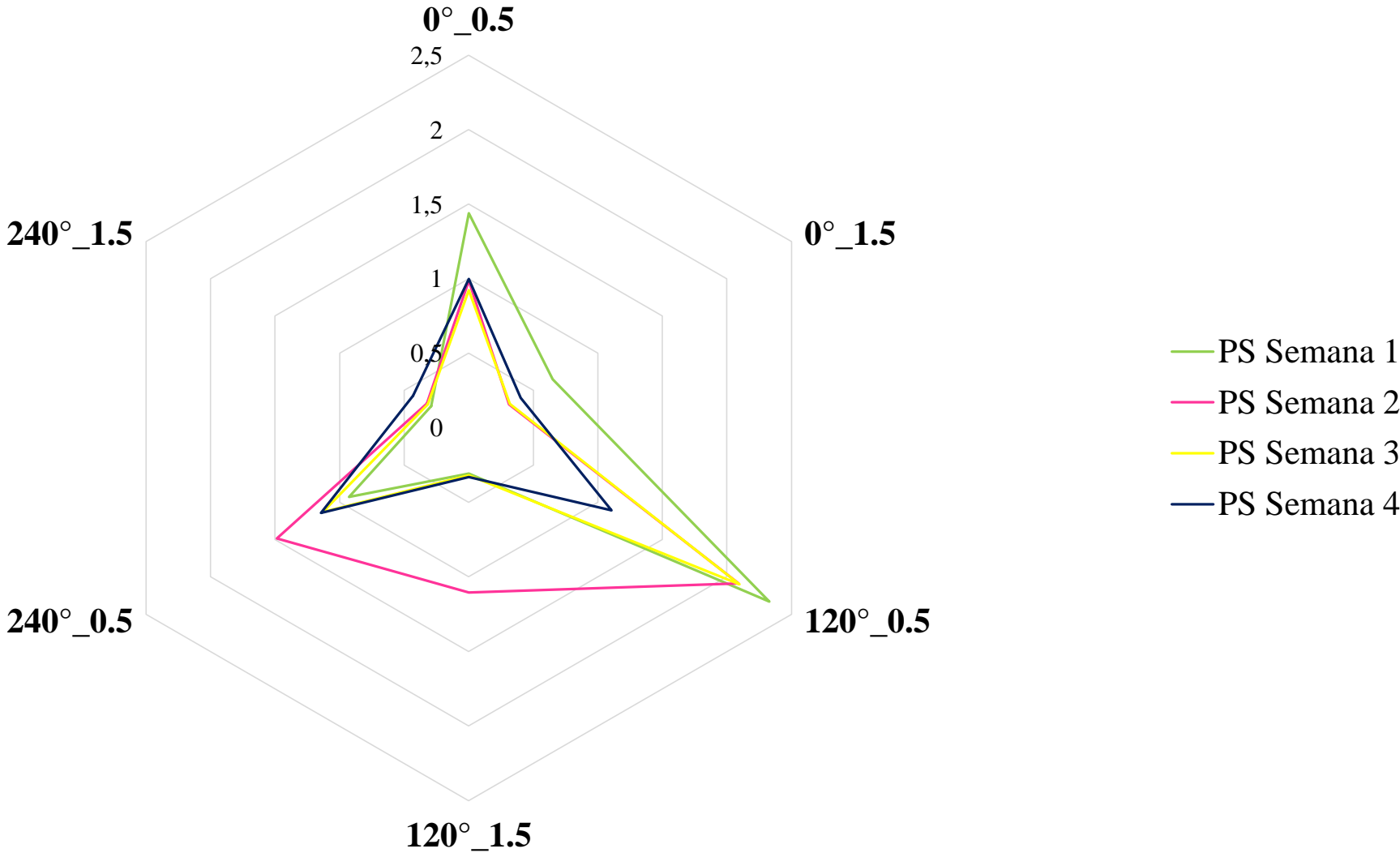


# Liberación de aceite esencial Orégano



# ESTUDIO DE DIFUSIÓN DE COMPUESTOS ACTIVOS EN EL SUELO.

## Liberación de aceite esencial Palo Santo





# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

---

OBJETIVOS

---

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

---

RESULTADOS

---

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

# CONCLUSIONES

---

- El aprovechamiento adecuado del banano verde de rechazo (*Musa balbisiana*) dio lugar a la obtención de harina de banano verde de rechazo, fue posible alcanzar rendimiento de 28.22% para harina de pulpa de banano verde de rechazo y 7.92% para harina de cáscara de banano verde de rechazo, que tiene una ponderación moderada-alta respecto a otros estudios.
- Se elaboró exitosamente bolsas de agrocultivo biodegradables activas impregnadas con aceites esenciales muña, orégano y palo santo, haciendo uso técnica de moldeo o “casting” en bicapa, con características macroscópicas afines a su aplicación, las cuales son una alternativa eco-amigable para la sustitución de bolsas de polietileno de baja densidad y plaguicidas industriales.

- 
- Las películas biodegradables impregnadas con aceite esencial palo santo presentan menor permeabilidad al vapor de agua ( $2,69E-06 \text{ g/(s*m*Pa)}$ ) y espesor (0,398 mm), mientras que las películas impregnadas con aceite esencial orégano presentan el menor porcentaje de solubilidad en agua (25,92 %) y las películas impregnadas con aceite esencial muña tienen el menor contenido de humedad (13,22%). Las propiedades fisicoquímicas mencionadas proporcionan características favorables para su uso como bolsas de agrocultivo al evitar que se desintegre brevemente al contacto con agua y/o vapor en el proceso de llenado con el sustrato y riego periódico de la especie trasplantada.
  - Las películas biodegradables impregnadas con aceite esencial orégano presentan mayor resistencia a la tracción (3,163 MPa) mientras que las películas impregnadas con aceite esencial palo santo tienen mayor porcentaje de elongación (12,25%) respecto al resto de películas.

- 
- El estudio de envejecimiento de las películas biodegradables impregnadas con aceites esenciales reveló que la tendencia envejecimiento es aceite esencial palo santo > aceite esencial orégano > aceite esencial muña.
  - La liberación controlada de aceites esenciales desde las bolsas de agrocultivo revela que existe una mayor concentración a 0.5 cm desde la bolsa de agrocultivo y menor concentración a 1.5 cm para cada uno de los aceites esenciales estudiados. La pérdida de aceites esenciales durante el estudio de liberación controlada de compuestos activos se debe a la evaporación/volatilización de los VOCs hacia el ambiente desde las bolsas de agrocultivo y el suelo por efecto de las condiciones climáticas y la naturaleza del sustrato.

# RECOMENDACIONES

---

- Mejorar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del biopolímero mediante un análisis de la acción plastificante de compuestos propios de la matriz polimérica y así como también la adición de plastificantes de origen natural como gel de aloe vera, cera de abeja, entre otros.
- Estudiar otras vías para impregnar aceites esenciales en la matriz polimérica como microencapsulamiento de compuestos activos.
- Realizar un análisis morfológico y estructural de las películas biodegradables mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para identificar como influyen en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas.

# RECOMENDACIONES

---

- Desarrollar películas biodegradables bicapa mediante otros procesos de conformado como co-extrusión y termoformado, para evitar que las bolsas de agrocultivo se abran al introducir el sustrato.
- Realizar la evaluación in vitro e in vivo del estudio de liberación controlada de compuestos activos en el suelo con la finalidad de evaluar la eficiencia de los mismos frente a nematodos en plantas de tomate riñón, tanto en el suelo alrededor de la bolsa de agrocultivo como en las raíces de la especie para obtener el porcentaje de inhibición.
- Para estudios futuros realizar la caracterización fisicoquímica del sustrato y la medición del compuesto activo semanalmente tanto el suelo como en la bolsa de agrocultivo.

# GRACIAS