

**Universidad Publica de Navarra**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

**NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA**

**EFFECTO DEL TIPO Y CONTENIDO DE ACEITES ESENCIALES SOBRE LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS Y BARRERA DE PELÍCULAS  
COMESTIBLES BASADAS EN ZEÍNA**

presentado por

**Irene Marzo Rojas -(e)k**

*aurkeztua*

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN INDUSTRIAS AGRARIAS Y ALIMENTARIAS  
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKOA NEKAZARITZA ETA ELIKADURA  
INDUSTRIAK**

Junio, 2010

- **Título del Trabajo Fin de Carrera:** Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína.
- **Director:** Juan Ignacio Maté Caballero.
- **Departamento:** Química Aplicada.
- **Alumna:** Irene Marzo Rojas.

El presente Trabajo Fin de Carrera se basa en la investigación sobre films de zeína llevada a cabo en el Área de Tecnología de los Alimentos.

Juan Ignacio Maté Caballero, profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos autoriza la presentación del dicho trabajo.

El director del Trabajo,

La alumna,

Juan Ignacio Maté Caballero

Irene Marzo Rojas

Pamplona, Junio de 2010

---

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a Juan Maté, por estar siempre ahí disponible para orientarme y aconsejarme y por su esfuerzo a la hora de elaborar este trabajo.

Gracias también a todos mis compañeros del laboratorio, que me han guiado en todo momento con una gran sonrisa, gracias por animarme y aguantarme; en especial a Mauricio Mendoza, gracias por tu tiempo.

Finalmente, a mi familia e Imanol, por vuestro apoyo incondicional.

---

---

Este trabajo se ha presentado en el Congreso CESIA 2010, que tendrá lugar en Logroño, en Septiembre de este mismo año.

---

## RESUMEN:

Las películas comestibles basadas en zeína presentan importantes aplicaciones potenciales para su utilización en alimentos. Sin embargo, la necesidad de añadir aditivos como los plastificantes para mejorar sus propiedades provocan cambios en las propiedades físicas de las películas. Un complemento al uso de plastificantes puede ser el empleo de aceites esenciales pues su aplicación en las películas comestibles es por el momento limitada y además aportaría ya conocidas propiedades como antimicrobianos naturales.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia del tipo de aceite esencial y su concentración sobre las propiedades mecánicas y de barrera de películas comestibles basadas en zeína.

Se partió de soluciones alcohólicas al 16% de zeína plastificada con polietilenglicol. Tras un tratamiento térmico de 15 minutos a 75°C se añadió el 5, 10, 20 ó 40% (respecto al contenido en zeína) de aceite esencial de orégano o clavo. Las películas se obtuvieron tras el secado de las soluciones por evaporación de solvente tras 24 h. Obtenidas las películas, se determinaron sus propiedades mecánicas (tensión máxima y elongación de rotura) en un test de tracción con un Texturómetro. La permeabilidad al vapor de agua se determinó empleando el método del WVP corregido, basado en la Norma ASTM E96-92.

El aumento de concentración de aceite esencial en las películas provocó la disminución de la permeabilidad al vapor de agua y de la tensión de rotura. Por el contrario, mayores concentraciones de aceite esencial aumentaron la elongación máxima relativa de las películas. El tipo de aceite esencial empleado no afectó de forma significativa a ninguna de estas propiedades.

# ÍNDICE:

## 1. Antecedentes

1.1. Los alimentos. Conservación y deterioro.....	3
1.2. Embalajes sintéticos.....	5
1.3. Embalajes biodegradables.....	9
1.4. Películas y recubrimientos comestibles. Aspectos generales.....	12
1.4.1. Definición.....	12
1.4.2. Materiales utilizados habitualmente para la formulación de films.15	
1.4.2.1. Hidrocoloides.....	15
1.4.2.2. Lípidos.....	18
1.4.3. Métodos en la formación de las películas comestibles.....	20
1.4.4. Formas de aplicación de las películas comestibles sobre los alimentos .....	20
1.4.5. Aplicaciones de las películas comestibles sobre los alimentos.....	22
1.4.5. Propiedades de las películas y recubrimientos comestibles.....	23
1.4.5.1. Propiedades barrera a la transferencia de materia.....	23
1.4.5.1.1. WVP.....	23
1.4.5.1.2. Permeabilidad a los gases.....	27
1.4.5.1.3. Permeabilidad a los lípidos .....	29
1.4.5.2. Propiedades mecánicas .....	30
1.4.5.3. Propiedades superficiales .....	33
1.4.5.4. Propiedades generales .....	34
1.4.6. Zeína .....	36
1.4.6.1. Introducción .....	36
1.4.6.2. Composición .....	37
1.4.6.3. Estructura .....	40
1.4.6.4. Extracción de la zeína .....	41
1.4.7. Aditivos.....	42

o Aditivos tecnológicos.....	42
• Plastificantes.....	42
• Surfactantes.....	43
o Aditivos funcionales.....	43
• Acidificantes.....	43
• Antimicrobianos.....	43
• Antioxidantes.....	44
• Enriquecimiento nutricional.....	45
• Especias.....	45
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>47</b>
<b>3. Diseño experimental.....</b>	<b>48</b>
<b>4. Materiales y métodos</b>	
3.1.Materiales .....	50
3.1.1. Componentes base .....	50
3.1.2. Aditivos .....	50
3.1.3. Productos adicionales .....	51
3.2.Métodos .....	52
3.2.1. Preparación de las películas .....	52
3.2.2. Tensión superficial .....	56
3.2.3. Contenido en humedad .....	57
3.2.4. Propiedades mecánicas .....	59
3.2.5. Permeabilidad al vapor de agua (WVP).....	62
3.2.6. Métodos estadísticos de análisis estadísticos.....	65
<b>5. Resultados y discusión</b>	
4.1. Caracterización de de las soluciones formadoras de películas .....	67
4.1.1. Tensión superficial .....	67

4.2. Caracterización de las películas .....	73
4.2.1. Humedad aparente de las películas de zeína .....	74
4.2.2. Propiedades mecánicas .....	79
4.2.3. WVP .....	88
4.3. Resumen de los resultados obtenidos .....	94
<b>6. Conclusión .....</b>	<b>96</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>99</b>
<b>8. Anejos .....</b>	<b>104</b>



## Índice de Tablas y figuras

- *Figuras*

<b>Figura (1):</b> Efecto barrera de los recubrimientos comestibles aplicados a alimentos. Adaptado de (Debeaufort y Quezada-Gallo, 1998) .....	13
<b>Figura (2):</b> Modelo de películas compuestas, laminadas. Adaptado de (Mendoza, 2009). .....	19
<b>Figura (3):</b> Modelo de películas compuestas, emulsiones o conglomerados. Adaptado de (Mendoza, 2009). .....	19
<b>Figura (4):</b> Texturómetro <i>Texture Analyzer TA-XTZi</i> (Surrey, Gran Bretaña), utilizado para la caracterización de las propiedades mecánicas del presente estudio. ....	32
<b>Figura (5):</b> Esquema del grano de maíz. ....	38
<b>Figura (6):</b> Imágenes electrónicas estructura endospermo del maíz.....	39
<b>Figura (7):</b> Modelo estructural de $\alpha$ -zeína. Adaptado (Matsushima et al., 1997).....	40
<b>Figura (8):</b> Diagrama de proceso de extracción de zeína mediante solvente.....	41
<b>Figura (9):</b> Paquete de zeína KOBAYASHI en polvo. ....	50
<b>Figuras (10 y 11):</b> Nitrato de magnesio en polvo. Solución de nitrato de magnesio en campana, equilibrando al 50% de humedad relativa ...	51
<b>Figura (12):</b> En la imagen sílica gel en una placa de Petri, colocada en la cabina Sanplatec. ....	51
<b>Figura (13):</b> Tratamiento térmico para las soluciones. ....	53
<b>Figura (14):</b> Matraz con la solución en agitación. ....	53
<b>Figura (15):</b> Imágenes de las películas en el proceso de secado a temperatura ambiente, durante 18 horas. ....	54
<b>Figura (16):</b> Doble cizalla. ....	55
<b>Figura (17):</b> Conjunto de imágenes disposición de las tiras una vez cortadas para introducirlas en la cabina de 50% de HR.....	55

<b>Figura (18):</b> Micrómetro digital, modelo ID-F125, Mitutoyo Corp., Tokio, Japón.....	56
<b>Figura (19):</b> Tensiómetro digital (K9 Krüss, Alemania) .....	57
<b>Figura (20):</b> Cabinas con sílica gel mantienen 0% HR en su interior .....	58
<b>Figura (21):</b> Diferentes concentraciones de aceite después de 12 horas a 105°C.....	58
<b>Figura (22):</b> En la imagen cada platito de aluminio con las diferentes tiras en el momento de pesarlas.....	58
<b>Figura (23):</b> En la imagen el texturómetro conectado al equipo, el programa Texture Expert Exceed, con varios ejemplos graficados.....	59
<b>Figura (24):</b> En la foto 1 el texturómetro estira una tira de orégano al 40% de aceite. En la 2, es una tira de orégano al 10%, en el momento de la rotura.....	60
<b>Figura (25):</b> Las imágenes corresponden a dos ensayos diferentes, a la izquierda una tira de orégano 20%, a la derecha de clavo 5%. El programa grafica la fuerza (N) y la distancia entre sus pinzas (mm).....	60
<b>Figura (26):</b> En la imagen las sales están equilibrando la humedad interior de la cabina desde 30%, como se observa en el detalle del higrómetro en la parte superior derecha de la imagen, hasta 0%.....	62
<b>Figura (27):</b> Diferentes vistas de las “tacitas” de metacrilato, preparadas para la prueba de WVP.....	63
<b>Figura (28):</b> Tacita con film roto.....	63
<b>Figura (29):</b> Imágenes de la báscula y la cabina Sanplatec.....	63
<b>Figura (30):</b> Soluciones formadoras de film de carvacrol de concentraciones 10%, 20%, y 40%, después de haber sufrido un exceso de tratamiento térmico.....	68
<b>Figura (31):</b> Soluciones formadoras de film de carvacrol de concentraciones 10%, 20%, y 40%, después de haber sufrido un exceso de tratamiento térmico. Cinco minutos más tarde de la imagen anterior.....	68
<b>Figura (32):</b> Valores medios de tensión superficial para todas las soluciones formadoras de film, etanol 96%, y PEG.....	70
<b>Figura (33):</b> Film de zeína.....	73

<b>Figura (34):</b> Efecto del aumento de la concentración de aceite sobre el contenido aparente de humedad, para los cuatro aceites.....	74
<b>Figura (35):</b> Efecto del aumento de la concentración de aceites (clavo y eugenol) sobre el contenido aparente de humedad.....	75
<b>Figura (36):</b> Efecto del aumento de la concentración de aceites (orégano y carvacrol) sobre el contenido aparente de humedad.....	76
<b>Figura (37):</b> Efecto del aumento de la concentración en los cuatro aceites sobre el contenido aparente de humedad.....	76
<b>Figura (38):</b> Efecto de las diferentes concentraciones en los cuatro aceites sobre las propiedades mecánicas: elongación relativa (%) y tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> ) .....	81
<b>Figura (39):</b> Comparación del efecto de las diferentes concentraciones en aceites sobre las propiedades mecánicas: elongación relativa (%) y tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> ) entre el orégano y su principio activo carvacrol.....	82
<b>Figura (40):</b> Comparación del efecto de las diferentes concentraciones en aceites sobre las propiedades mecánicas: elongación relativa (%) y tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> ) entre el clavo y su principio activo eugenol.....	83
<b>Figura (41):</b> Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración de orégano).....	85
<b>Figura (42):</b> Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de control y orégano 5%, 10%, 20% y 40%.....	89
<b>Figura (43):</b> Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de control y clavo 5%, 10%, 20% y 40%.....	90
<b>Figura (44):</b> Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de control y eugenol 5%, 10%, 20% y 40%.....	90
<b>Figura (45):</b> Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de control y carvacrol 5%, 10%, 20% y 40%.....	91
<b>Figura (46):</b> Efecto de la concentración de los cuatro aceites sobre la permeabilidad al vapor de agua.....	91

• *Tablas*

**Tabla (1):** Características del film adecuado en función de su aplicación.....22

**Tabla (2):** Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)......37

**Tabla (3):** Diseño experimental formulaciones.....52

**Tabla (4):** Media y desviación típica de la tensión superficial para las diferentes soluciones.....69

**Tabla (5):** Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la tensión superficial (mN/m) de las películas seguidas por las letras estadísticas.....72

**Tabla (6):** Media y desviación típica del contenido aparente de humedad de las películas.....75

**Tabla (7):** Datos del experimento de pérdida relativa de pesos de Carvacrol a 105°C, durante 12 horas, para 0,10 gramos y 0,50 gramos de aceite..78

**Tabla (8):** Datos medios de longitud (mm), anchura (mm), grosor (mm), peso (g), sección (mm<sup>2</sup>), área (mm<sup>2</sup>) y gramaje (g/m<sup>2</sup>) de todos los film ensayados.....79

**Tabla (9):** Media y desviación típica de las propiedades mecánicas correspondientes a los films ensayados.....80

**Tabla (10):** Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la elongación relativa (%) de las películas seguidas por las letras estadísticas.....86

**Tabla (11):** Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la tensión máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>) de las películas seguidas por las letras estadísticas.....87

**Tabla (12):** Media y desviación típica de la permeabilidad al vapor de agua y de la humedad relativa en la cara interior del film .....88

**Tabla (13):** Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup>) de las películas seguidas por las letras estadísticas.....93

**Tabla (14):** Resumen de la influencia de los factores tipo de aceite y concentración de aceite sobre las características de los films.....94

# 1. Antecedentes

## 1.1. Los alimentos. Conservación y deterioro.

## 1.2. Embalajes sintéticos

## 1.3. Embalajes biodegradables.

## 1.4. Películas y recubrimientos comestibles. Aspectos generales

### 1.4.1. Definición

### 1.4.2. Materiales utilizados habitualmente para la formulación de films

#### 1.4.2.1. Hidrocoloides

- Carbohidratos
- Proteínas

#### 1.4.2.2. Lípidos

- Film compuesto

### 1.4.3. Métodos en la formación de las películas comestibles

### 1.4.4. Formas de aplicación de las películas comestibles sobre los alimentos

- Inmersión
- Spray
- Casting

### 1.4.5. Aplicaciones de las películas comestibles sobre los alimentos

### 1.4.5. Propiedades de las películas y recubrimientos comestibles

#### 1.4.5.1. Propiedades barrera a la transferencia de materia

##### 1.4.5.1.1. WVP

##### 1.4.5.1.2. Permeabilidad a los gases

##### 1.4.5.1.3. Permeabilidad a los lípidos

#### 1.4.5.2. Propiedades mecánicas

#### 1.4.5.3. Propiedades superficiales

#### 1.4.5.4. Propiedades generales

### 1.4.6. Zeína

#### 1.4.6.1. Introducción

#### 1.4.6.2. Composición

#### 1.4.6.3. Estructura

#### 1.4.6.4. Extracción de la zeína

1.4.7. Aditivos

- Aditivos tecnológicos
  - Plastificantes
  - Surfactantes
  
- Aditivos funcionales
  - Acidificantes
  - Antimicrobianos
  - Antioxidantes
  - Enriquecimiento nutricional
  - Especias

# 1. Antecedentes

## 1.1. Los alimentos. Conservación y deterioro.

Según la Real Academia Española un alimento es el conjunto de sustancias que un ser vivo toma para subsistir. Estos alimentos son transformados en nutrientes por los organismos para mantenerse vivos. Para ello un alimento debe o debería aportar diferentes compuestos químicos, como agua, lípidos, proteínas, carbohidratos y otros componentes, que aunque minoritarios fundamentales como son los minerales y vitaminas.

Todos los alimentos que ingiere el ser humano son de origen biológico, pues derivan de las plantas y de los animales. Este carácter biológico es lo que lo hace alterable mediante cambios de origen biótico o abiótico que hacen que el alimento no sea adecuado para el consumo. La acción de enzimas existentes en el propio alimento que provocan en las biomoléculas reacciones químicas que las transforman y alteran el producto, sería un deterioro físico. O bien, la multiplicación de microorganismos (bacterias y hongos) presentes en ellos, que además de utilizar como nutrientes las biomoléculas de alimentos que sería el resultado de las relaciones ecológicas entre el alimento y el microorganismo, pueden producir sustancias tóxicas sobre él, un deterioro biológico.

La conservación del alimento consiste en mantener el mayor tiempo posible el grado más alto de la calidad del alimento, tratando de disminuir los efectos de los diversos mecanismos de alteración. Para ello, hay que limitar cuáles son las cualidades que se desean preservar o conservar, saber los mecanismos de las alteraciones de dichas cualidades, y conocer las principales técnicas de conservación.

Los consumidores de los países industrializados se interesan cada vez más por los temas de salud y de medio ambiente. En la misma medida que va cambiando nuestro estilo de vida también lo hace nuestra demanda de productos alimenticios. Hoy en día se concede una prioridad máxima a la seguridad y al buen paladar, combinados con la facilidad de consumo.

De este pensamiento ha surgido la búsqueda dentro del sector alimentario de una dieta más equilibrada, de alimentos enriquecidos, concepto asociados con frecuencia con alimentos “sanos” o “funcionales”. Como también el consumidor quiere menos envases y que éstos sean biodegradables, recuperables o comestibles.

Estas tendencias crean nuevos retos puesto que existe una presión que obliga a redefinir continuamente el equilibrio óptimo entre un mínimo de procesamiento y el mantenimiento de los estándares de higiene y seguridad del producto.



El envasado de los alimentos debe satisfacer las expectativas de todos los sectores implicados (consumidores, minoristas, distribuidores, productores de alimentos, fabricantes de envases y proveedores de materias primas). Debe ser duradero, higiénico y seguro, ligero, ecológico, versátil, transparente y económico. Debe también informar y promover. Todos estos aspectos entran a menudo en conflicto. La industria alimentaria en los países desarrollados ya transforma un 75-80% de la producción agrícola. Aproximadamente para el 50% de los alimentos envasados en Europa se utilizan envases de plástico, compitiendo principalmente con el vidrio, el papel y el metal.

Para proteger adecuadamente los alimentos, ya sea de las influencias externas (oxígeno, vapor de agua, microorganismos...) o de las pérdidas de sabor, es necesario emplear envases que sean una barrera eficaz. No es fácil satisfacer estas exigencias complejas y se han propuesto muchas soluciones diferentes (películas más gruesas, películas de materiales compuestos...) en el caso de los plásticos, muy frecuentemente va en contra de los objetivos principales de la actual Directiva de Envases, que habla de que se ha de evitar envolturas innecesarias, a la vez que se persigue la capacidad máxima de reciclaje.

El crecimiento microbiano en la superficie constituye a menudo la causa principal del deterioro de los alimentos refrigerados. En consecuencia, es frecuente añadir agentes antimicrobianos a las películas y recubrimientos que están en contacto con los alimentos. Sin embargo, la efectividad del protector a lo largo del tiempo es limitada porque se difunde dentro del alimento. Por ejemplo, un estudio reveló que la difusión de ácido sórbico, un conservante muy común, en modelos de alimentos de humedad intermedia puede disminuirse de 150 a 300 veces recubriendo el sustrato con películas de zeína.

## 1.2. Embalajes sintéticos

Se han desarrollado gran cantidad de procesos físicos y químicos para conseguir estabilizar los alimentos y así preservar sus características iniciales. Sin embargo, la actuación del envase es primordial en el proceso de conservación, siendo fundamental para la durabilidad de un producto de calidad (Debeaufort y col. 1998)

Los envases cumplen más de una función para el alimento, como las siguientes:

- *Función de continente.* El embalaje es primeramente un recipiente con características metrológicas, es decir, que tiene que indicar la masa o volumen del contenido; esta función evoluciona actualmente hacia el fraccionamiento en unidades individuales.
- *Función de representación.* Esta función está encaminada a llamar la atención y seducir al consumidor; también se le denomina función de marketing.
- *Función de información.* Determinada por el etiquetado, indica todo lo que el consumidor debe conocer sobre el producto, sobre todo lo que se va a consumir.
- *Función de servicio.* Señala la presentación del embalaje aportando datos para el mejor manejo por parte del consumidor: frasco pulverizador, frasco espolvoreador, caja autocalentable y demás.
- *Función de seguridad alimentaria.* Se refiere a una posible contaminación o alteración delictiva.
- *Función de conservación y protección.* Es la información de la calidad del producto alimentario frente a los agentes exteriores que pueden alterar los alimentos, porque el embalaje debe ser inocuo químicamente para proteger su contenido

El envase debe ser un medio de protección ante la humedad, la oxidación producida por el oxígeno del aire, la luz, el tiempo y otros. Los envases son los pilares principales de las mejores técnicas de conservación de los alimentos. Pero también pueden ser engañosos para el consumidor, pudiendo esconder la verdadera composición del producto, y en otras ocasiones ser causantes del encarecimiento de éste. A continuación se exponen los principales materiales usados hoy en día.

- o **Vidrio.** Este producto ha dominado el mercado mundial de envases durante mucho tiempo y muestra cómo la tecnología no compete

con la tradición algunas veces, sobre todo cuando el salto de lo artesanal hacia lo industrial permite satisfacer las necesidades locales. El vidrio es el material que mejor garantiza la integridad de los productos alimenticios pues es una barrera absoluta contra la intemperie, no desprende olores ni sabores y conserva las características organolépticas de los alimentos, porque cuando se utiliza correctamente no requiere del uso de conservadores. Además, el consumidor puede observar a través de él lo que compra. También es impermeable a los gases, vapores y líquidos y es químicamente inerte frente a los alimentos; es fácil de lavar y esterilizar; puede colorearse y aportar así una protección frente a los rayos ultravioletas que en ciertas condiciones podrían dañar el contenido; resiste las elevadas presiones internas que producen ciertos líquidos que contienen gas carbónico (sidra, cerveza, refrescos, etc.), y permite el paso de las microondas. El vidrio es el único material que cumple con el proceso de reciclaje de forma continua, para lo cual el desecho de vidrio se lava y después se tritura para ser fundida nuevamente gracias a que no se degrada, por lo que se transforman envases en mal estado en otros nuevos con propiedades fisicoquímicas idénticas a los originales. Las materias primas para fabricar dicho producto son naturales y muy abundantes: arena sílica, cloruro de potasio, caliza y feldespato.

- **Metal.** El metal es el material más resistente; por sus características puede soportar cualquier proceso de esterilización y es más ligero que el vidrio. Las ventajas del metal son su rigidez, ligereza y hermetismo, además de que ofrece un alto grado de conservación de los alimentos, facilidad de manejo y de transporte, lo que hace que podamos disponer de ellos en cualquier época. El embalaje metálico está particularmente recomendado para una larga conservación gracias a la solidez inerte de sus materiales y a su impermeabilidad a los líquidos, a los gases y a la luz. Particularmente, el aluminio (empleado en las latas para bebidas gaseosas) es un material ligero que cumple con gran eficacia las funciones de envasado, transportación y presentación, pero no es recomendable para contener productos ácidos ni para someterlo a temperaturas muy altas.
- **Papel y cartón.** Este material se ha visto sustituido a menudo por la bolsa de plástico, pero paralelamente ha ido apareciendo una multitud de variedades de envoltorios sofisticados, más o menos impresos y adornados, que cumplen las normas sanitarias para contener alimentos. Algunos envases de papel y cartón pueden ser reutilizables, y aunque estos materiales son biodegradables, su elevado costo energético y ambiental aconseja un uso limitado y preferentemente se les debe reciclar. Además, la porosidad del

papel lo hace recomendable para productos que transpiran (como los vegetales)

- **Plástico.** En los últimos cincuenta años ha habido una sustitución gradual en el sector de embalajes de los materiales metálicos, de vidrio y madera, por los polímeros provenientes de la industria petroquímica, gracias a su característica de que se pueden polimerizar en capas gruesas o delgadas que originan diferentes materias primas, como el unicel, el policarbonato (utilizado en los garrafones de agua), los plásticos termofijos (para recubrir el interior de latas y láminas) o las películas de diferentes clases, como el polietileno. Los envases flexibles de plástico ofrecen una presentación atractiva para el consumidor sin impedir la protección del producto.
- **Envases polilaminados.** El envase aséptico polilaminado combina las propiedades de diversos recipientes para proteger, preservar y contener. Están constituidos por láminas de distintos materiales, como el papel, que proporciona la estructura mecánica que da fuerza y rigidez; el aluminio, que ofrece una barrera contra la luz, y el polietileno, que protege los alimentos del aire. La mezcla de dichos materiales forma un sello hermético en la vida de anaquel y le da ligereza. Sin embargo, esta tecnología no sirve para envasar productos sólidos.

Los envases son un invento que ha mejorado la calidad de vida de los seres humanos; sin embargo, lo negativo de ese desarrollo y transformación es el enorme problema ambiental provocado por la acumulación de los materiales de desecho que generan. A pesar de que la mayoría de los productos plásticos y polímeros sintéticos derivados del petróleo garantizan la protección deseada en diversos tipos de aplicaciones en términos de costo, conveniencia, formatos, marketing y protección física, química y óptica, tienen la desventaja de que no son biodegradables, por lo que son responsables de gran parte de los residuos contaminantes que se acumulan en la naturaleza. Además, sabemos que su fabricación requiere un alto costo energético, energía que se pierde en gran medida porque suelen tirarse tras el primer uso; asimismo, su destrucción es igualmente muy costosa, energéticamente hablando, y muy contaminante en la mayoría de los casos. La incineración de determinados tipos de plástico es una de las causas de la lluvia ácida que destruye bosques y la salud de los seres humanos; abandonados a la intemperie, sus cadenas moleculares resisten a romperse por la acción de agentes naturales, razón por la cual generalmente necesitan un promedio de 150 años para degradarse, lo que está provocando una contaminación ambiental importante en todo el orbe.

La fabricación de vidrio también exige un alto consumo de energía y, aunque este material está hecho a partir de materias primas abundantes, tampoco es biodegradable, por lo que tiene un fuerte impacto ambiental. En el caso de los envases metálicos, se sabe que las populares latas de refrescos representan del 6 al 9 por ciento de la basura que se produce en todo el mundo; como es evidente, su recuperación es escasa para posteriores usos y casi no son biodegradables, por lo que la única salida ecológicamente razonable para las latas es el reciclaje.

Así, varios países han tenido que reconocer la necesidad de proponer restricciones ambientales basadas en una verdadera política de control de residuos no degradables mediante el principio de las “tres erres”: 1) reducir la cantidad de residuos de envases contaminantes; 2) reutilizar el material lo más que sea posible, y 3) reciclarlo para producir nuevos materiales.

### 1.3. Embalajes biodegradables.

Con el propósito de atenuar los problemas de la contaminación, se han realizado numerosos estudios para valorar algunos materiales alternativos.

La biodegradación es un proceso que describe la mineralización de las estructuras orgánicas por las micro-orgánicas. Estos microorganismos, bacterias, enzimas, hongos... convierten los bioplásticos en dióxido de carbono, metano, agua y biomasa. Mientras muchos bioplásticos son biodegradables, otros no, los cuáles se pueden llamar 'durables'. Un plástico tradicional basado en recursos fósiles como por ejemplo el etileno no es biodegradable. Algunos plásticos tradicionales modificados son llamados a veces degradables. Por ejemplo, estos pueden contener un aditivo en que el plástico se puede degradar bajo condiciones de ultra violeta y oxígeno. Este fenómeno se conoce como 'fotodegradación de los plásticos'. Otros pueden contener un aditivo que inicie una degradación bajo condiciones específicas de temperatura y humedad. En este caso, el plástico es aludido como 'plástico oxo-degradable' pero el proceso de degradación no está iniciado por una acción microbiana.

En ese sentido, surgió el concepto de plástico biodegradable asociado al uso de materias primas renovables que ofrecen un buen control en el medio ambiente después de diversos usos. Los biopolímeros, como también se llama a esas materias primas, son macromoléculas sintetizadas por procesos biológicos o por vía química a partir de monómeros naturales o idénticos a los naturales.

El proceso tecnológico más apropiado para la industrialización de los biopolímeros es por extrusión. Este proceso térmico se ha aplicado con éxito en la obtención de diversos materiales manufacturados a base de polímeros de almidón (provenientes de cereales, raíces, tubérculos, etc.) mezclados con otros materiales orgánicos vegetales y animales, lo que ha generado productos termoplásticos, expandidos, texturizados, espumados, acolchados y otros muchos.

Los plásticos compuestos degradables no proporcionan efectos secundarios como residuos tóxicos para el agua, tierra, plantas u organismos vivos. Actualmente estos plásticos están basados en recursos naturales.

Los polímeros naturales son biodegradables en estado nativo, aunque el ciclo de vida de algunos de ellos es relativamente corto, como en el caso de las ligninas.

Para la obtención de embalajes biodegradables se utilizan diferentes materiales poliméricos como:

- poliosidos y sus derivados (celulosa, hemicelulosa, almidón, gomas, lignina, quitina, etc.)

- proteínas (colágeno, gelatina, y caseína)
- poliésteres microbianos, como el polihidroxibutirato
- polímeros sintéticos biodegradables, como el ácido poliláctico
- combinaciones de almidón con polímeros sintéticos, como el polietileno (PE) o el polivinil
- hule natural
- Todos los polímeros empleados para la fabricación de films comestibles son aceptados como biodegradables

Por fortuna, en estos momentos diversos investigadores de algunos países están preocupados por evitar la contaminación ambiental y tratan de desarrollar materiales plásticos biodegradables para reducir la basura provocada por los plásticos sintéticos y eliminarlos en un tiempo no muy lejano.

Los polímeros biodegradables y los derivados de monómeros naturales ofrecen las mayores oportunidades, con su biodegradabilidad y compatibilidad medioambiental aseguradas (Swift, 1993).

La industria de la transformación de plásticos apoya la innovación de los bioplásticos que aportan muchas oportunidades para la sociedad como son:

- Ampliación de la materia prima, con la calidad y el precio correcto. Esto mejorará la competencia.
- Uso de procesos de tecnología existentes.
- Nuevo ámbito de negocios, incluyendo un nicho de productos.
- Posible reducción de los fósiles de carbón en el ciclo de la vida del producto.
- Beneficios adicionales para la función de un producto a través de la biodegradabilidad.
- Promociones de ciertos productos como comida para llevar en un embalaje orgánico.

Otro aspecto importante de sus beneficios es que los bioplásticos ofrecen nuevos potenciales para la industria de la agricultura.

La materia prima (la que es renovable) juega un papel muy importante en la fabricación de los bioplásticos, y con ellos, la agricultura obtiene todo un nuevo mercado de alimentos.

Estos envases han de cumplir las características mecánicas, ópticas y de barrera que nos interese en su aplicación correcta. Una de las mayores restricciones al uso de los embalajes biodegradables es la dificultad que supone

que los envases sean buena barrera frente a la humedad, debido a la inherente naturaleza hidrofílica de la mayor parte de los polímeros biodegradables.



## 1.4. Películas y recubrimientos comestibles. Aspectos generales

Aunque el uso de films comestibles aplicados en productos alimenticios parezca algo innovador, se lleva realizando desde hace muchos años, tanto para mejorar la apariencia de los alimentos, como para prolongar su vida de almacenamiento (Krochta y col., 1997). Así, en China desde los siglos doce y trece se emplea la cera para retrasar la deshidratación en los cítricos; la carne se cubre con grasa para prevenir su contracción desde al menos el siglo dieciséis; como los films de soja, método de conservación más similar al presente estudio, éstos se llevan empleando en Asia desde el siglo quince para potenciar la apariencia y conservación de algunos alimentos. A partir de 1930, la aplicación más importante de los films y recubrimientos es la que consiste en una emulsión de cera y aceites en agua, que se extiende sobre la superficie de frutas para mejorar su apariencia, repercutiendo en su color, brillo, textura, control de su maduración y retrasando la pérdida de agua.

En los últimos 40 años se han llevado a cabo numerosos estudios sobre la formulación, aplicación y caracterización de films y comestibles.

### 1.4.1. Definición

Un recubrimiento (coating) comestible es definido como una capa delgada de material comestible formado como un revestimiento sobre el alimento mientras una película (film) comestible es una capa preformada y delgada elaborada con material comestibles y la cual una vez elaborada puede ser colocada sobre el alimento ó entre los componentes del mismo (McHugh, 2000).

Las películas y los recubrimientos comestibles tienen diferentes funciones entre las cuales pueden retardar la migración de humedad, controlar el transporte de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$  y etileno), retener componentes volátiles, servir de vehículo de aditivos, mejorar las propiedades mecánicas y de manejo del alimento, además de impartir una mayor integridad a la estructura del mismo, manteniendo las buenas propiedades mecánicas y organolépticas de los alimentos (Kester y Fennema, 1986). En la figura (1) se muestra de forma esquemática los posibles intercambios que se pueden dar entre el alimento recubierto con el film y el exterior.



Figura (1). Efecto barrera de los recubrimientos comestibles aplicados a alimentos. Adaptado de (Debeaufort y Quezada-Gallo, 1998)

Las películas y recubrimientos comestibles desempeñan una doble función; de embalaje y como constituyentes del alimento para lo cual han de cumplir una serie de condiciones, como son (Greener, 1992; Anker, 1996; Maté, 2001)

- Buenas propiedades sensoriales y organolépticas, compatibles con la naturaleza del alimento.
- Solubilidad y dispersabilidad en su preparación y posterior consumo.
- Propiedades mecánicas y protectoras adecuadas.
- Estabilidad suficiente
- Buena adhesión a la superficie del alimento
- Requerimientos sencillos de tecnología
- Cumplimiento de la reglamentación alimentaria (sustancias GRAS)
- No toxicidad

Con todo esto, las películas comestibles poseen también numerosas ventajas: (Guilbert et al., 1986; Anker, 1996)

- 1) Pueden ser ingeridas por el consumidor.
- 2) Su costo es generalmente bajo. Normalmente son materiales poco costosos, al ser de origen natural y encontrarse fácilmente disponibles. Suponen un coste soportable.

- 3) *Su uso reduce los desechos y la contaminación ambiental.* Al ser material biodegradable colabora en la gestión medioambiental, implicando un menor impacto. Además, un film comestible empleado como recubrimiento, disminuye las necesidades de embalaje. Cuando se abra éste último, el film protege el alimento ante los cambios de humedad, la pérdida de aroma y el enranciamiento por oxígeno, lo cual permite la utilización de envases químicamente más simples, basados en un único polímero, aumentando así su reciclabilidad a la vez que va disminuyendo su coste.

Un recubrimiento con unas propiedades mecánicas adecuadas podría servir como embalajes para determinados alimentos. Estaríamos por tanto disminuyendo la contaminación medioambiental, al sustituir materiales sintéticos por materiales biológicos.

- 4) *Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas, de conservación y nutricionales de los alimentos.* Nos podemos encontrar que sucede en los siguientes casos:
- a. Pueden ser usados como barreras a gases y al vapor de agua. Para este propósito se aplican sobre la superficie de los alimentos, como ya se ha comentado anteriormente, restringiendo así la pérdida de humedad y disminuyendo la respiración.
  - b. Una aplicación potencial de los films es la disminución de la migración de lípidos (aceites y grasas).
  - c. Ofrecen protección frente a agentes microbianos, así como frente a agentes externos (agua, oxígeno,...)
  - d. También pueden mejorar las propiedades mecánicas de mantenimiento o la integridad estructural de los productos alimenticios.
  - e. Los aditivos alimentarios (como antioxidantes, colorantes, antimicrobianos...) pueden ser incorporados dentro de los films comestibles, logrando controlar la localización y la tasa de liberación de los mismos en el alimento.
- 5) *Proporcionan protección individual a pequeñas piezas o porciones de alimento.* Este es el caso del recubrimiento de frutos secos o de pequeñas piezas de chocolate, por ejemplo.
- 6) *Pueden ser usadas en alimentos heterogéneos como barrera entre los componentes.* Consiste en colocarlos dentro del alimento, separando componentes con marcada diferencia en su actividad de agua, y manteniendo así sus respectivas propiedades texturales.

De todas formas, en general, las características funcionales de una película comestible son inferiores que las de los films sintéticos; además, en el caso de una aplicación particular dichas características dependerían de la naturaleza del alimento, de sus propiedades fisicoquímicas y de su principal vía de deterioro.

#### 1.4.2. Materiales utilizados habitualmente para la formulación de films

Los films se pueden elaborar a partir de diferentes materias primas, a continuación se presentan las más utilizadas habitualmente, clasificadas según su naturaleza.

##### 1.4.2.1. Hidrocoloides

Los films elaborados a partir de hidrocoloides pueden ser usados en aquellas aplicaciones donde el control de la migración de agua no es el objetivo. Sin embargo, presentan buenas propiedades de barrera frente al oxígeno, dióxido de carbono y los lípidos. La mayoría también poseen propiedades mecánicas deseables, útiles para mejorar la integridad estructural de productos frágiles (Greener, 1992).

Dado su carácter hidrofílico, son solubles en agua caliente, y se disuelven sin alterar las propiedades sensoriales del alimento sobre el cual están aplicados (Fennema y col ., 1994).

Dentro de los hidrocoloides se engloba a los carbohidratos y a las proteínas.

- o Carbohidratos

Los carbohidratos como son: almidones, alginatos, carragenanos, pectinas, derivados de celulosa, quitosano, gomas, etc.

*-almidón:* las películas comestibles de almidón se producen por vaciado o moldeado de una dispersión acuosa gelatinizada de amilasa, seguida por la evaporación del solvente, lo que da lugar a la formación de una película transparente.

Estas películas se usan como recubrimientos comestibles de los alimentos para suministrar una barrera al oxígeno, a los lípidos y para mejorar la apariencia en la textura.

*-alginatos:* El alginato se obtiene principalmente del alga gigante *Macrocystis Pyrifera*. El alginato forma geles que se usan para la formación de las películas (los más utilizados son los de calcio). Se forman mediante la evaporación de una solución acuosa de alginato, seguido de un ligamiento entrecruzado iónico con una sal de calcio.

Las películas de alginatos se usan en productos cárnicos, actuando éstas como agente sacrificante, es decir, la humedad se pierde de la cobertura antes que el alimento se deshidrate de manera significativa.

*-Carragenatos:* proceden de las algas rojas, se extraen de forma industrial. Se disuelven en agua caliente formando una solución acuosa del polímero, esta gelificación ocurre probablemente por la formación de una estructura de doble hélice en forma de red, que se origina mediante la adición de una sal específica, lo cual da lugar a puentes intercatenarios de gran importancia.

Los recubrimientos elaborados a partir de carragenanos retardan la pérdida de humedad.

*-pectinas:* son carbohidratos purificados, a partir de la corteza interna de los frutos cítricos. Poseen una alta capacidad de melificar. Las películas o recubrimientos elaborados a partir de pectina ofrecen una alta permeabilidad al vapor de agua.

*-derivados de celulosa:* la celulosa tiene un origen vegetal, proviene de los tejidos fibrosos de las plantas, por lo que es el más abundante de los materiales orgánicos.

Las películas elaboradas a partir de celulosa no son buenas barreras a los gases ni al vapor de agua, pero son excelentes para la protección de ciertos productos que a humedades altas tienen tasas de respiración elevadas, este material no permite la formación de condensados.

*-quitosano:* es un excelente formador de películas. Debido a su buena solubilidad puede ser modificado químicamente en diferentes formas y presentaciones (fibras, películas, cápsulas, recubrimientos). Se obtiene de la desacetilación de quitina presente en los desechos de los mariscos.

Es buena barrera frente al oxígeno y frente al dióxido de carbono.

o Proteínas

Las proteínas usadas para la formulación de recubrimientos comestibles pueden ser: caseína, proteína aislada de suero lácteo, colágeno, albúmina de huevo, proteína de pescado, queratina, etc, de origen animal como son:

*-caseína:* los casinatos forman fácilmente películas en soluciones acuosas debido a su estructura desordenada. Dan como resultado películas, transparentes, flexibles y de naturaleza blanda.

*-proteínas aisladas de suero lácteo:* se obtienen mediante el calentamiento de soluciones de 8-12%, el secado se realiza a temperatura ambiente. Resultan películas de gran fragilidad, necesitan plastificantes.

*-colágeno:* se encuentra de forma natural en los tejidos animales como tendones, piel y huesos. Las películas de colágeno se desarrollan por extrusión y dispersión de un ácido coloidal.

El colágeno ha sido estudiado durante mucho tiempo como recubrimiento para productos cárnicos.

A continuación de algunas de las proteínas de origen vegetal como: zeína, gluten de trigo, proteína de soja, etc...

*-zeína:* son aislados de proteína de maíz. A partir de la zeína se desarrollan soluciones alcohólicas dando lugar a películas y recubrimientos con buenas características de permeabilidad al vapor de agua, así como presentan buenas propiedades mecánicas. También posee buenas características frente al termosellado.

Las películas de proteína otorgan un brillo a productos recubiertos, pero sólo la zeína de maíz, ofrece un alto brillo aparente que iguala o incluso supera a los recubrimientos a base de resina (Weller et al. 1.998).

La zeína se ha utilizado comercialmente en productos de confitería y frutos secos. (Krochta, 2002; Jung y Gennadios, 2005). También, para frutos secos ha utilizado ésteres de amilasa con ácidos grasos en una bicapa proteína-ácidos grasos, a estos recubrimientos también se les incluyó zeína para reducir la pegajosidad (Gunnerson y Bruno, 1990).

*-gluten de trigo:* éste material se ha utilizado como un reemplazo del colágeno, en la manufacturación de recipientes de salsas.

-*proteína de soja*: es un compuesto de de soja purificada. Se ha estudiado su uso para la formación de bolsas solubles para salsas.

#### 1.4.2.2. Lípidos

Los films elaborados a base de lípidos se caracterizan por sus excelentes propiedades como barrera frente a la humedad. Dentro de este grupo se incluyen las ceras, resinas, ácidos grasos y monoglicéridos y diglicéridos (Baldwin et al., 1997).

Por ejemplo, las ceras comestibles son más resistentes a la humedad que la mayoría de las películas. Destaca la parafina, que es la más resistente de todas. En las frutas, se aplica una capa de ceras como suplemento en la superficie por si hubiera podido verse alterada en el procesado de la pieza.

Los films lipídicos son empleados con el fin de ser éstos una capa protectora frente a intercambios con el medioambiente o como barrera entre dos compartimentos de un alimento heterogéneo. También su uso está enfocado a ser soporte de aditivos liposolubles, como a procurarles brillo a los productos de confitería. (Kester *et al.*, 1986; Greener, 1992).

Muchos lípidos existen en forma cristalina y sus cristales individuales son altamente impermeables a los gases y al vapor de agua. Aún así, hay que considerar que el permeante puede pasar a través de los cristales y por tanto las propiedades de barrera dependen del empaquetamiento intercrystalino. Cuanto más hermética sea la disposición de los cristales, mayor es la resistencia a la difusión; asimismo los cristales orientados perpendicularmente al flujo permeante proporcionan un mejor efecto barrera que agrupados con otra orientación. (Greener, 1992).

El uso de los lípidos en forma pura como recubrimientos está limitado pues no poseen suficiente integridad estructural ni durabilidad. Su fragilidad hace que requieran ser empleados con una matriz que actúe de soporte. Debido a esto, se dan los films compuestos.

- o **Film compuesto**

Los films compuestos son films con formulaciones mixtas entre hidrocoloides y lípidos, de tal modo, que se pueden combinar las ventajas de ambos, y disminuir sus inconvenientes. (Kester et al., 1986; Greener, 1992; Martin Polo *et al.*, 1992). Por ejemplo, cuando lo que se persigue es una película que sea buena barrera al vapor de agua la porción lipídica puede cumplir esta

función, mientras que la durabilidad la proporciona la parte de la formulación que es hidrocoloide.

Los films compuestos pueden ser de dos tipos:

-*laminados*, se obtienen por superposición de capas formando una bicapa, en general un ácido graso sobre un film de polisacárido.

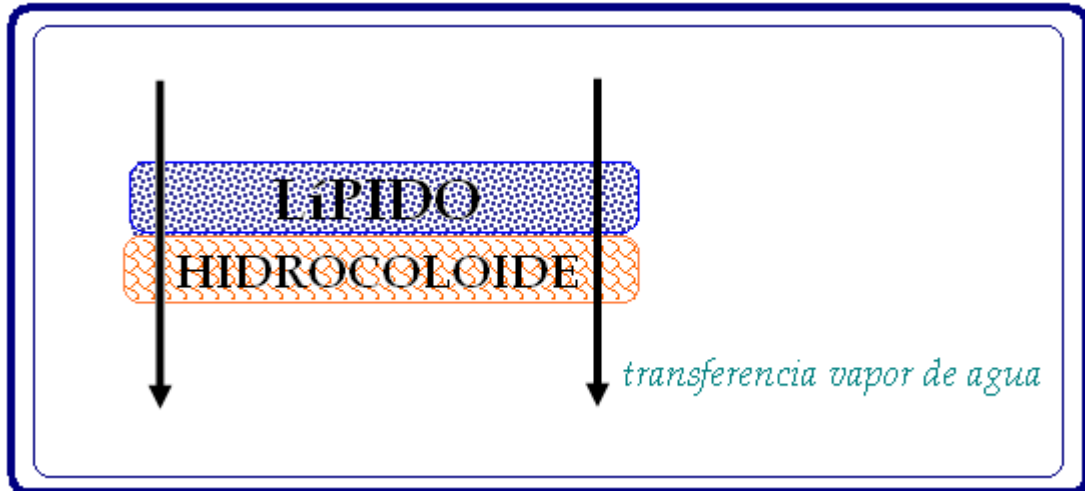


Figura (2): Modelo de películas compuestas, laminadas. Adaptado de (Mendoza, 2009).

Estos ofrecen la ventaja de ser más fáciles de aplicar debido a las distintas naturalezas de la matriz soporte y el lípido, permitiendo por ejemplo, un control separado de las temperaturas de procesado de ambos componentes. (Anker, 1996).

-*emulsiones o conglomerados*, donde son mezclas heterogéneas de partículas hidrófobas (lípidos) dentro de una matriz hidrofílica (hidrocoloides) obtenidas mediante emulsión o microemulsión.

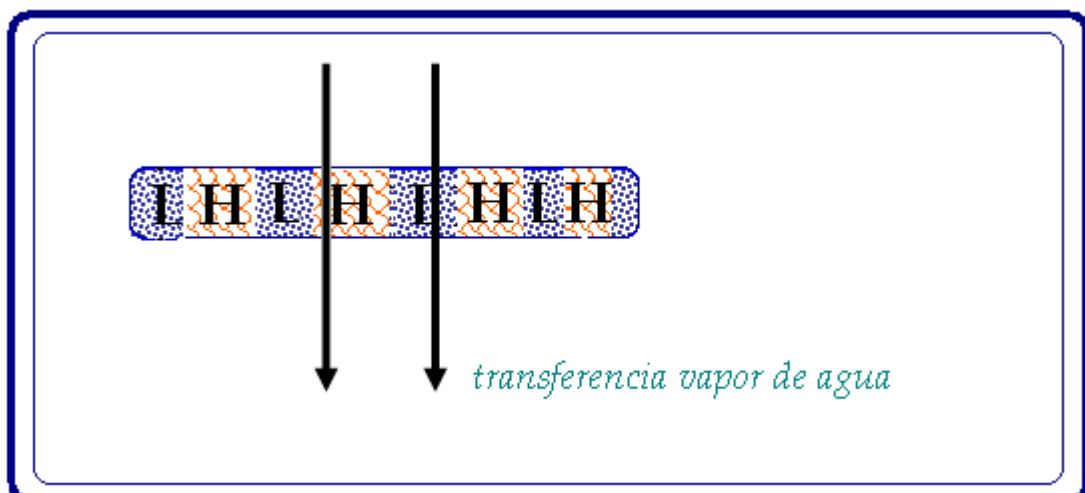


Figura (3): Modelo de películas compuestas, emulsiones o conglomerados. Adaptado de (Mendoza, 2009).



### 1.4.3. Métodos en la formación de las películas comestibles

Para la formación de las películas se han desarrollado diversas técnicas, bien dando lugar a un recubrimiento sobre el alimento, bien configurando films independientes. A continuación, las cuatro técnicas más comunes:

- *Eliminación del solvente*: los componentes principales de la película se dispersan en un solvente que posteriormente se elimina en un proceso de secado, donde la temperatura y el tiempo influyen en la cristalinidad resultante y en las propiedades mecánicas. (Krochta y col., 1994).
- *Solidificación de la mezcla*: es una técnica muy empleada para los films lipídicos, consiste en la solidificación de la masa fundida. Como en el caso anterior, la tasa de enfriamiento influye en estado polimórfico predominante, muy importante, pues de éste dependen las resistencias a las permeabilidades de oxígeno y vapor de agua; así como en el grado de recristalización del film solidificado. (Krochta y col., 1994).
- *Gelificación o coagulación térmica*: Son utilizadas para las películas elaboradas a partir de proteínas, pues se produce un calentamiento de la solución hasta que se desnaturaliza la proteína, lo cual da lugar a una estructura tridimensional ó estado gel. Luego el solvente se elimina por evaporación. También sucede así en algunas películas basadas en polisacáridos, como las de almidón. (Osés, 2006).
- *Extrusión*: se emplean altas temperaturas, presión y agitación mecánica vigorosa que facilita la integración de los aditivos.
- *Coacervación*: consiste en un cambio de estado del polímero formador. Puede ser simple o compleja, la primera se da la precipitación del hidrocoloide aplicación de calor, alteraciones del pH, añadiendo solventes. En la compleja se altera la carga, poniendo en contacto dos macromoléculas que se neutralizan entre ellas. Esta no es una técnica muy usada en el sector de la alimentación.

### 1.4.4. Formas de aplicación de las películas comestibles sobre los alimentos

La aplicación de los recubrimientos y películas comestibles supone una alternativa a futuro para la conservación de los alimentos. Los procedimientos de

aplicación del recubrimiento dependen mayoritariamente del tipo de producto que se desee recubrir.

- **Inmersión (superficies irregulares)**

Es el método más adecuado para productos con superficies irregulares que requieren un recubrimiento uniforme (Baldwin et al, 1997). El producto debe ser lavado y secado previamente, luego se sumerge en la solución de recubrimiento, garantizando un mojado completo. Tras la inmersión, se deja drenar el material sobrante y se procede al secado. Actualmente, se emplea en películas de cera, como frutas y verduras, así como también en carnes, pescados y aves de corral.

- **Spray (superficies lisas y uniformes)**

Con este procedimiento se consiguen recubrimientos más delgados y uniformes que los obtenidos por inmersión. Este método es muy utilizado para superficies lisas y uniformes. La solución se aplica presurizada. Es mediante la regulación de esta presión como se consiguen diferentes tamaños de gota. Esta técnica es la más adecuada cuando buscamos recubrir una sola cara del alimento; por ejemplo, como es el caso de las pizzas, en su cara, cuando llevan salsas húmedas.

Otras variaciones a este método pueden ser la aplicación del recubrimiento por medio de cepillos o rodillos. (Guilbert, 1986).

- **Casting (films independientes)**

Esta técnica permite la obtención de films independientes, de calidad, que facilitan la caracterización e investigación de sus propiedades, para optimizar los resultados, como se hizo en el siguiente estudio.

Consiste en verter solución formadora de film sobre una superficie plana y se procede a su posterior secado. Después el film es retirado de la superficie, de forma independiente. Debido a esto, esta técnica sólo se utiliza cuando el alimento a recubrir posee una matriz estructural suficiente.

### 1.4.5. Aplicaciones de las películas comestibles sobre los alimentos

Las películas comestibles y recubrimientos se pueden clasificar según la función que se desea desarrollen sobre los alimentos,

**Tabla (1): Características del film adecuado en función de su aplicación.**

<i>Función</i>	<i>Tipo de film apropiado</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Retardar la migración de humedad</li> </ul>	Lípidos y compuestos
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Retener los compuestos volátiles responsables del flavor</li> </ul>	Compuestos
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Retardar la migración de gases</li> <li>○ Mejorar la estabilidad estructural o las propiedades de mantenimiento</li> </ul>	Hidrocoloides, lípidos o compuestos
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Retardar la migración de aceites y grasas</li> <li>○ Retardar la migración de solutos</li> <li>○ Transportar aditivos alimenticios</li> </ul>	Hidrocoloides

### 1.4.6. Propiedades de las películas y recubrimientos comestibles

Dentro de este apartado se van a citar las propiedades barrera a la transferencia de materia (WVP, permeabilidad a gases, permeabilidad a lípidos), propiedades mecánicas (tensión máxima de rotura, elongación relativa, superficiales, así como propiedades generales de los recubrimientos comestibles.

#### 1.4.6.1. Propiedades barrera a la transferencia de materia

En este apartado, se describen las propiedades barrera que están asociadas a la permeabilidad, bien de vapor de agua, de gases o de lípidos, la cual consiste en el proceso de solución y difusión donde el permeante se disuelve en una cara del film

- WVP

Las siglas WVP vienen del inglés Water Vapour Permeability, lo que quiere decir permeabilidad al vapor de agua.

La permeabilidad es la propiedad que tienen las películas plásticas de permitir el paso de gases o vapores a través de su estructura molecular, ya sea hacia adentro o hacia afuera del envase (Guarda y Galotto, 2000).

Existen dos procesos por los que se puede dar el paso a través de materiales poliméricos: uno es el efecto poro en el cual los gases y vapores fluyen a través de microporos, imperfecciones y pequeñas grietas del material. El otro proceso es el efecto de difusión-solubilidad en el cual se disuelven en la superficie de la película, se difunden a través de ella por efecto del gradiente, evaporándose de la superficie y desplazándose a lugares de menor concentración (Robertson, 2006; Guarda y Galotto, 2000). Los principales factores que influyen en la permeabilidad a gases y vapores son la naturaleza del polímero y del permeante, temperatura y espesor del material de envase.

La permeabilidad de una película plástica varía en función del polímero. Los materiales poliméricos presentan un amplio rango de propiedades dependientes de su composición y estructura química, interacción establecida entre éste y la molécula del permeante, el tipo de fuerzas entre las cadenas poliméricas que forman la matriz del film, el grado de cross-linking entre las moléculas, la cristalinidad y la presencia de plastificantes o aditivos y condiciones de procesamiento, factores que afectan las propiedades barrera a los gases y vapores (Jesse et al., 1994; Robertson, 2006, Guarda y Galotto, 2000). Generalmente, la permeabilidad decrece cuando se incrementa la cristalinidad, densidad y orientación de las moléculas durante la formación del film. La

disolución y posterior evaporación del permeante dependen de la solubilidad de estos en el film (Pascot, 1986).

La permeabilidad al vapor de agua es una forma de cuantificar la facilidad con que un material puede ser traspasado por el vapor de agua.

De forma más precisa, se podría definir como la cantidad de vapor que pasa por unidad de superficie a través de un material con un espesor determinado por unidad de tiempo, cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria bajo unas condiciones particulares de temperatura y humedad relativa.

Es un proceso de disolución en el que el vapor se disuelve en un lado de la película y entonces se difunde a través del otro lado. No se debe confundir con el transporte través de poros.

Las películas basadas en compuestos de naturaleza hidrófoba como resinas y ceras, proteínas no solubles en agua, son los más eficaces retardando los intercambios de humedad. Sin embargo, los films de hidrocoloides solubles en agua, se comportan pobres como barrera frente al paso del vapor de agua, debido a que son de naturaleza hidrófila, tienen afinidad por el agua, y permiten su paso, lo cual limita sus aplicaciones. Por esto mismo, es tan importante el estudio de la permeabilidad con profundidad.

Para estudiar la permeabilidad de gases o vapores a través del film se recurre a la Ley de Fick, la cual relaciona en la siguiente fórmula matemática la difusión unidireccional de un componente A través de un film B,

$$J_{Az} = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial z}$$

$J_{Az}$  = es el flujo o cantidad de permeante (n) que difunde por unidad de área (A) en un tiempo (t) en la dirección z.  $J_{Az} = \frac{A n}{t}$

$D_{AB}$  = Difusividad de masa molecular del permeante A a través del film B

$\frac{\partial C_A}{\partial z}$  = gradiente de concentración en la dirección z

Se han desarrollado diversas técnicas para realizar la determinación de la WVP como son las basadas en sensores infrarrojos

○ **Técnicas con sensores infrarrojos:** son los instrumentos capaces de proporcionar datos de WVP rápidamente. Son unos aparatos equipados con sistemas informáticos y una serie de estaciones para la medición de la transferencia del vapor de agua. Una de las estaciones de carga con el film de referencia, empleado para calibrar y verificar el correcto comportamiento del equipo. El resto de las estaciones para las películas a testar.

El vapor de agua atraviesa el film debido a una fuerza conductora debida a la diferencia de las presiones parciales que hay a ambos lados del film. En una cara del film se da una humedad relativa muy elevada, mientras que en la cara opuesta la humedad es 0%.

Para que se den las condiciones desecantes una corriente de nitrógeno se encarga de arrastrar el vapor de agua que ha difundido a través del film. Un sensor de infrarrojos se encargaría de determinar la humedad relativa que porta la corriente, es a partir de ella que se obtiene la transmisión de vapor de agua (Krochta y col., 1.994). En algunos casos se presentaban problemas de sobrecarga en los sensores dado el carácter hidrofílico de las muestras (Gennadios y col. 1990).

Son unas técnicas muy rápidas pero muy caras.

○ **Técnicas coulométricas:** Se basa en el mismo principio que el anterior, es decir la diferencia de humedad en las dos caras de la película. Esta se coloca entre dos cámaras dispuestas verticalmente. La situada en la parte inferior tiene un capa de agua que mantiene la humedad al 100%; mientras en la cámara superior se instala un sensor compuesto por dos electrodos de platino que miden los cambios en la resistencia eléctrica, determinando así las variaciones de la humedad relativa. El principal instrumento basado en esta técnica se denomina Honeywell Tester. Es un procedimiento caro. (Krochta y col., 1994).

○ **Técnicas espectrofotométricas:** su fundamento consiste en colocar un film detector entre dos láminas de la película a ensayar, sellando el conjunto anterior. Este material detector posee un color azul, que va cambiando en función de la humedad relativa. La variación de color se monitoriza con un espectrofotómetro. Sus principales limitaciones son que el film detector a de ser más permeable que el film de testaje, porque si no, sería imposible la medición de las tasas de transmisión, así como también el film que medimos sea translucido, para que lo pueda atravesar la luz. Este método se considera de alta sensibilidad (Krochta y col., 1994).

○ **Cromatógrafo de gases:** Se usa como método para medir la transmisión de gases, con lo que también sirve para medir la permeabilidad al vapor de agua (Krochta y col., 1994).

o **Técnicas gravimétricas:** Son las más usadas para la determinación de la permeabilidad del vapor de agua en films comestibles.

Consisten en formar un sistema hermético en el que el fim va a sellar un recipiente contenedor con una cantidad controlada de agua o de una solución salina saturada (Water Method), o bien con un desecante (Desiccant Method), dejando un espacio de aire entre la película y el líquido. Este sistema se coloca en una cámara con una humedad relativa y temperatura controladas. A lo largo del tiempo, se van tomando medidas de peso del sistema, para determinar la cantidad de agua, en forma de vapor que atravesó el film (Ander, 1996).

Los test gravimétricos se han estandarizado mediante el método ASTM E96 (1980). Este se basa en las leyes de transmisión de materia de Fick y de Henry. Para ello hay que calcular la transmisión al vapor de agua (WVTR water vapor transmission rate) y la permeación. La WVTR se calcula como el cociente entre la pendiente de la curva de agua con el paso del tiempo y el área del film expuesta. Se determina en condiciones conocidas de espesor, temperatura y gradiente de presión.

La ecuación de WVTR es la siguiente,

$$WVTR = \frac{\text{Pérdida de agua}}{\text{Tiempo} \times \text{Área}} = \frac{g}{h \times m^2}$$

de la cual, dividiendo entre las presiones parciales de vapor de agua en las dos caras del film se deduce la permeación

$$\text{Permeación} = \frac{WVTR}{P_{A1} - P_{A2}} = \frac{g}{h \times m^2 \times KPa}$$

Las ventajas de emplear este tipo de técnicas es que proporcionan un control de los parámetros experimentales y son de costo relativamente bajo (Mchugh et al., 1.994; Mchugh y Krochta, 1.994).

- **Permeabilidad a los gases**

La permeabilidad a los gases puede ser vista como un factor negativo o positivo dependiendo de la aplicación y la naturaleza del gas permeante. Si se requiere liberar gases producidos por reacciones metabólicas del alimento, es deseable una alta permeabilidad del material de envase. Un ejemplo de esto, es la difusión de los productos de respiración de frutas y vegetales, como el etileno y dióxido de carbono, al exterior del envase, los cuales están involucrados directamente con los procesos de maduración y senescencia.

El uso de películas de polietileno de baja densidad (PEBD) o películas delgadas de cloruro de polivinilo (PVC) plastificado en ocasiones no son lo suficientemente permeables para evitar la formación de atmósferas bajas en oxígeno y ricas en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y etileno. Lo anterior puede provocar daño por CO<sub>2</sub> o sobremaduración. Para estas aplicaciones se han tenido que desarrollar películas con microporos o microperforadas que permiten mayor intercambio de gases y son capaces de mantener una atmósfera modificada adecuada para minimizar las reacciones fisiológicas en los tejidos vegetales. En el caso de la carne fresca también se requiere una alta permeabilidad del material para que ingrese el oxígeno, debido a que este gas permite mantener el color rojo deseable del producto.

Por otra parte, si se requiere que el contenido del envase no sufra alteraciones (alimentos altos en grasas insaturadas) por la entrada de gases como el oxígeno, es deseable una baja permeabilidad, así el control de los intercambios gaseosos permite la atenuación de los procesos de oxidación que se dan en determinados alimentos, como el enranciamiento de grasas de cacahuets (Maté y Krochta, 1996). Para productos que se ven afectados por la presencia de este gas, la reducción o la destitución total, junto con la prevención de su entrada al interior, puede llegar a minimizar los efectos oxidativos y por consecuencia, prolongar la vida útil del alimento manteniendo su calidad (Butler, 2002).

El gas de mayor importancia en alimentos envasados es el oxígeno, dado que la vida útil de muchos productos perecederos, tales como la carne, huevos, pescado, frutas, vegetales y alimentos cocinados es afectada por la presencia o ausencia de este gas (Heidmann y Oetterer, 2003). El oxígeno juega un papel crucial en la vida de anaquel de los alimentos, ya que participa en el desarrollo de microorganismos, cambios de color en carne fresca y curada, oxidación de lípidos, y en la respiración de frutas y vegetales (Robertson, 2006). Estos cambios o su combinación provocan alteraciones en el color, olor, sabor y deterioro global de la calidad del alimento. Otros gases importantes de acuerdo a la aplicación de que se trate, son el dióxido de carbono, etileno, alcoholes y nitrógeno.



En el caso de recubrimientos basados en hidrocoloides existe una permeabilidad selectiva a los gases (García et al., 2000), lo cual permite un intercambio gaseoso controlado, prolongando la vida útil del producto, al retrasar la maduración y la senescencia.

Los recubrimientos y películas comestibles elaborados a partir de polímeros naturales, tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelano, carragenano, etc...), así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica (Tang y Paulson, 2000).

Si se incorporan lípidos, que emulsificados en la solución formadora, o formando una doble capa sobre el producto, pueden ayudar a prevenir reacciones de degradación de los alimentos. (Yang et al., 2000; Rojas-Grau et al., 2006; Tapia et al., 2008)

Para la detección de la permeabilidad de gases se usan métodos manométricos, sensores volumétricos, ó cromatografía de gases, siendo esta la más sensible.

○ **Método manométrico:** Se basa en la caracterización de la transmisión de gas en función de los cambios de presión que este presenta después de ser presurizado sobre el film objeto de estudio. Este film está entre dos cámaras. Es en la segunda donde se obtienen los cambios de presión.

Es un método de difícil calibración, las condiciones del ensayo exigentes, pues ha de estar a una humedad relativa de 0% durante el ensayo. Muchos films comestibles no pueden ser ensayados por este método pues resultan frágiles ante la presión ejercida por el gas. Esta técnica se denomina Técnica Dow Cell (ASTM, 1.988).

○ **Método volumétrico:** Se hace referencia a él comúnmente como Linde Cell (ASTM, 1.988). Se basa en un sistema similar al anterior, solo que en vez de cambios de presión lo que se determinan son los cambios de volumen en la segunda cámara. Como para el caso anterior, también sus condiciones de ensayo son alejadas de las reales, además de tener una sensibilidad es baja, prácticamente no se emplea.

○ **Cromatógrafo de gases:** Se basa en la cantidad de gas que difunde a través del film con el paso del tiempo. Como en los dos casos anteriores, consiste en dos cámaras separadas por la muestra del film que se va a caracterizar. Se inyectaría el gas y se deja difundir hasta la segunda cámara que está sellada. A intervalos de tiempo se van tomando muestras de ésta y se analizan por cromatografía de gases.

La presión total dentro de las cámaras se mantiene constante, pues se va inyectando el mismo volumen que cuando sacamos la muestra con otro gas, nitrógeno, por lo normal.

Presenta una sensibilidad mejor que la de los métodos manométricos y volumétricos y su coste es relativamente bajo.

- **Permeabilidad a los lípidos**

Muchos componentes de films comestibles son hidrofílicos, por lo que les confiere la propiedad de ser buenas barreras a los lípidos (a bajas humedades relativas). Es una propiedad interesante para aquellas aplicaciones que requieran un control de la migración de lípidos.

No hay equipos para caracterizarlo, aunque sí existe un método estandarizado para su determinación como el ASTM F119 (1982). Nelson y Fennema (1991) fueron los primeros en desarrollar células de permeabilidad a los lípidos en films de celulosa.

- **Método de la tasa de migración:** Consiste en colocar un parche de algodón impregnado con grasa por uno de sus lados, midiendo el tiempo hasta observar un cambio visual debido al mojado. Se usa para medir la migración de una grasa en materiales barrera flexibles, la tasa de penetración de la grasa, no la permeabilidad de la misma.

Es un método rápido, sencillo, barato y detecta migraciones en muy bajas concentraciones. La desventaja del método es que es difícil de reproducir, además de muy dependiente del operador.

- **Método de la permeabilidad:** Se trata de un instrumento construido por Nelson y Fennema (1991), que está constituido por un sistema de dos cámaras contenedoras de dos aceites diferentes separadas por la película a estudiar, colocadas entre dos láminas de acero inoxidable. Las muestras de ésta última cámara son analizadas al principio y al final del ensayo y la tasa de migración de lípidos se determina empleando un espectrofotómetro.

### 1.4.6.2. Propiedades mecánicas

Es muy importante que el film o el recubrimiento comestible tenga unas buenas propiedades mecánicas, pues, por mucho que dé resultados óptimos en las propiedades anteriores, de nada serviría si éste no va a conservar una mínima integridad durante el manejo, el embalaje y el transporte (Debeaufort y col., 1.998). Para que sea bueno, tiene que tener una fuerza mecánica adecuada, además de estar exento de defectos así como roturas o poros.

Las propiedades mecánicas de los recubrimientos y películas comestibles dependen en gran medida del tipo de material empleado en su elaboración, especialmente de su grado de cohesión, es decir, la habilidad del polímero para formar muchos puentes moleculares entre las cadenas poliméricas y que éstos sean estables (Biquet y Guilbert, 1.986; Guilbert et al., 1.996).

Las interacciones entre el material formador de la película con otras sustancias como agua, plastificantes, lípidos y otros aditivos dispersos en la matriz, influyen notablemente en su comportamiento mecánico (Anker, 1996). De hecho, en el presente trabajo se caracteriza el estudio del efecto de la incorporación de aceites esenciales a la matriz en sus propiedades mecánicas.

Se considera que las propiedades mecánicas del film son buenas cuando se obtiene un equilibrio en la estructura química del film, para lo cual, los factores importantes son la *tensión máxima* (máxima tensión que puede soportar el film antes de romperse), el *porcentaje de elongación* (porcentaje en que ha cambiado la longitud original del film) y el *módulo de elasticidad* (cociente entre la tensión y la elongación en la región elástica, medida de la rigidez de la película) (Osés, 2006).

Para determinar las propiedades mecánicas se realiza de acuerdo a la norma (ASTM D882, 2.000). Mediante este método se permite estudiar el efecto de las variables tales como la humedad relativa, temperatura o cantidad de plastificantes u otros aditivos en la composición de las películas sobre las características mecánicas de las películas (Mchuhg et al., 1.994). Se conoce que un aumento del contenido de plastificante conducirá a una disminución de la fuerza de tensión y del módulo elástico (Gennadios et al., 1.994).

Es muy importante controlar la humedad relativa ambiental en el momento del ensayo, pues el agua actuaría como un plastificante. Así los films acondicionados a 50% de HR son más débiles que los acondicionados a una humedad menor. El agua es el plastificante más común, y muy difícil de regular en películas hidrofílicas. Por tanto, la humedad ambiental a la que se ensayen los films comestibles puede cambiar significativamente la fuerza original del mismo (Chen, 1995).

Como la humedad hay dos factores intrínsecos del propio recubrimiento que afectarían a las propiedades mecánicas. Estos son el espesor de la muestra y su contenido en plastificante. El espesor de la muestra también influye en los resultados obtenidos, pero se puede controlar variando la cantidad de la solución vertida sobre la placa y el área de la misma usada para la obtención del film. El contenido de plastificante que presenta el film en su formulación afecta al film de forma proporcional, así pues un aumento en la concentración de plastificante conduce a una menor fuerza de tensión y a una mayor elongación.

Por todo ello, en los estudios se recogen todos estos factores como parámetros para caracterizar a los films.

En el experimento se deforman las muestras y se monitoriza el esfuerzo y la elongación durante todo el ensayo hasta la ruptura de los films.

**Tensión máxima** ( $\sigma_{\max}$ ) es la máxima tensión que puede soportar el film durante el ensayo de tracción, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{S}$$

Se expresa en MPa y se obtiene del cociente entre la máxima fuerza ( $F_{\max}$ ) que es capaz de soportar el film y su sección transversal (S) a tiempo cero.

**Elongación relativa** es el porcentaje en que ha cambiado la longitud original del film hasta que se rompe. Se obtiene de la diferencia entre la longitud del film del ensayo ( $L_f$ ) y la longitud inicial del film ( $L_o$ ). Se expresa en forma de tanto por ciento:

$$\varepsilon_{rot} (\%) = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

El módulo de elasticidad o módulo de Young  $\epsilon$  es el cociente entre la tensión y la elongación en la región elástica, es la medida fundamental de la rigidez de la película y viene expresado e MPa.



Figura (4): texturómetro *Texture Analyzer TA-XTZi* (Surrey, Gran Bretaña), utilizado para la caracterización de las propiedades mecánicas del presente estudio.

○ **Análisis mecánico dinámicos:** En estos análisis se somete al material a una tensión o esfuerzo sinusoidal a una determinada frecuencia y se miden la magnitud y el ángulo de fase resultantes. Con esto, se obtienen unos *termogramas*, se divide en una sección elástica en fase con el esfuerzo aplicado, y otra sección viscosa fuera de la fase. La primera es una medida de la dureza del material y es proporcional a la cantidad de energía almacenada en el mismo y a la segunda se refiere a la energía disipada (Anker, 1996).

### 1.4.6.3. Propiedades superficiales

Es muy interesante que la solución que va a recubrir al alimento se extienda bien sobre la superficie del mismo, que lo moje y que al secarse forme una película con una adecuada adhesión, cohesión y durabilidad.

Para que estas condiciones sean correctas, se estudia el ángulo de contacto de la solución con el alimento y la tensión superficial de la mezcla.

Cuando se recubre un alimento se espera del alimento que se adhiera a la superficie, que sea fuerte e íntegro, además de que responda a las expectativas tanto de apariencia como de funcionalidad (Bureau y col. 1995).

En el recubrimiento se producen tres fenómenos de mojado, de cohesión y de adhesión.

Para un mojado correcto se busca que exista el mayor contacto posible entre la solución y la superficie a recubrir, evitando interrupciones de aire entre estos. Se espera un film que sea grueso y continuo en su superficie, sin poros, por eso, debe de tener una adecuada cohesión. Por último, un factor muy importante es la adhesión final entre la película y el alimento así pues se precisa que una vez seco y sólido, el film forme una capa unida al alimento, particularmente en aquellas zonas que pudiera existir alguna discontinuidad.

El mojado se puede caracterizar en función de dos parámetros físicos que son la tensión superficial y el ángulo de contacto.

El ángulo de contacto es aquel que se forma entre la superficie de una gota de un líquido sobre una superficie sólida y esta superficie. Se usa como medida para la interacción entre el líquido y el material sólido. Cuanto mas grande es el ángulo tanto menor es la interacción. Si la energía superficial del sólido es mayor que la del líquido, el ángulo de contacto se vuelve cero, sin embargo con un ángulo de  $180^\circ$ , donde el líquido toca la superficie sólida justo en un punto. Así, por tanto, cuanto menor es el ángulo de contacto, mejor moja el líquido al sólido.

La tensión superficial es la responsable de la resistencia que el líquido presenta a la penetración de su superficie y actúa perpendicularmente y hacia dentro de los límites de la misma, con tendencia a disminuir el área de la interfase. Se trata de una fuerza contráctil. Las moléculas muestran una preferencia por permanecer en el interior del líquido, donde pueden establecer un mayor número de interacciones con otras moléculas adyacentes.

#### 1.4.6.4. Propiedades generales

- *Propiedades sensoriales*

Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos y son, por tanto, la apariencia, el olor, el aroma, el gusto y las propiedades quínicas o texturales.

Teniendo presente que la apariencia representa todos los atributos visibles de un alimento, se puede afirmar que constituye un elemento fundamental en la selección de un alimento.

Por todo esto, se están investigando y desarrollando recubrimientos que aporten ciertas características organolépticas de interés sensorial para el producto que vayan a recubrir. Como es el caso de los films con los que se ha trabajado en el presente trabajo, pues al añadir aceites esenciales se aporta a su vez, también los sabores que pueden resultar un objeto de reclamo para el alimento. Como también se estudian recubrimientos que sean totalmente imperceptibles, es decir, transparentes, que no otorguen sabor ni olor diferente al de alimento, para no ser detectados durante su consumo.

- *Libres de tóxicos y ser seguros para la salud*

A lo largo de todo el estudio se ha hablado de películas y recubrimientos comestibles, por lo que es de relevada importancia que las películas y recubrimientos sean seguros para la salud, como también estén exentos de tóxicos, o cualquier característica que pusiera de manifiesto algún riesgo para la alimentación humana.

- *Deben requerir una tecnología simple para su elaboración*

Es interesante conseguir una formulación y un método de elaboración de la película que sea de simple reproducción, para que resulte asequible su aplicación tecnológica al sistema de producción.

- *Bajo costo de materias primas y coste de producción*

Como sucede con las propiedades anteriores, es de relevada importancia buscar una combinación de materias primas y coste de producción asequible, recordando que el recubrimiento posee una función de protección, no es el alimento final en sí.

- *Otras propiedades (isoterma de sorción de agua, color, opacidad, difusividad de los solutos dentro de los film y la solubilidad)*

Existen muchas otras propiedades que se estudian en los films con el fin de caracterizarlas para una mejor comprensión de sus propiedades mecánicas y de barrera. Como son el estudio de las isotermas de sorción de agua, color, opacidad, difusividad de solutos dentro de los film y la solubilidad.

Hay un abanico muy grande de combinaciones posibles de determinadas propiedades (mecánicas P.ej, resistencia a la tracción; barrera P. ej, permeabilidad al vapor de agua) para ofrecer diferentes configuraciones atendiendo a la demanda de requisitos del producto.

Por ejemplo, para una aplicación de un film sobre frutos secos no nos interesaría el paso del oxígeno, porque se producirían enranciamientos oxidativos. Pero, por el contrario, para otros alimentos sí que nos interesaría su paso.



## 1.4.7. Zeína

### 1.4.7.1. Introducción

La zeína es la proteína perteneciente al grupo de las prolaminas, extraída del maíz.

El maíz es una planta gramínea anual, de la familia de las gramíneas (*Zea mays*), con tallo que puede alcanzar hasta 5 m de altura y hasta 6 cm de diámetro, sus hojas son muy anchas y muy largas, ásperas y algo rígidas.

Desde tiempo inmemorial eran cultivados por los indígenas de América, se supone derivada del *teo sinte* mejicano, planta (euclena mexicana), que por mutación engendraría el maíz. Se cultiva también en la zona templada de Europa.

El maíz, junto con el trigo y el arroz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y combustible.

Es planta de alto rendimiento, pues se aprovecha la mazorca entera, cuando está tierna, para comerla cruda o cocinada; el grano se come tostado (palomitas) o en otras muchas formas. Con su harina hacen en América una especie de gachas llamadas *atole*, para los italiandos *polenta*, en España *borona* o *gofíos*. Además, se utiliza la harina de maíz para muchas preparaciones de repostería.

La planta entera, incluso la mazorca una vez desgranada, se utiliza como forraje, el tallo por su azúcar, y las vainas de la mazorca para hacer papel, sombreros, esteras, para rellenar jergones. También se obtiene alcohol, que se utiliza como carburante mezclado con bencina.

Se distinguen más de sesenta variedades de maíz. Las panochas se recogen en otoño, se deben de dejar secar bien y se desgranar en invierno.

#### Calidad del grano de maíz

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características resultará del destino de la producción. Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por el contenido de

proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y demás componentes, y paulatinamente se reduce la tolerancia a sustancias contaminantes. Para las industrias que emplean grano de maíz, su calidad y propiedades tecnológicas son una preocupación fundamental. Se requieren granos sanos, limpios, uniformes de tamaño, textura y color.

#### 1.4.7.2. Composición

El grano maduro de maíz está integrado por distintos tejidos que conforman: el germen o embrión (12 %), responsable de formar una futura nueva planta; el endosperma (82 %), estructura de almacenamiento del grano que constituye su principal reserva energética; y el pericarpio o cubierta del grano (5 %), que protege a la semilla de la entrada de hongos y bacterias antes y después de la siembra. El restante 1 % corresponde a los restos del pedicelo en la base del grano.

En el siguiente cuadro se representa las diferentes composiciones de cada parte del grano de maíz.

**Tabla (2): Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)**

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Los cuerpos de zeína  $\approx 1\mu\text{m}$  están localizados y distribuidos uniformemente en todo el citoplasma las células del endospermo del grano de maíz entre los gránulos de almidón de  $\approx 5 - 10\mu\text{m}$  (Lending y Parking, 1989).

Principalmente, posee una composición mayoritaria de los siguientes aminoácidos: ácido glutámico (21-26%), leucina (20%), prolina (10%). Aunque es importante destacar la ausencia de aminoácidos básicos como son la lisina y el triptófano por lo que la zeína se dice que es pobre nutricionalmente hablando (Mendoza, 2009).

### 1.4.7.3. Estructura

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente.

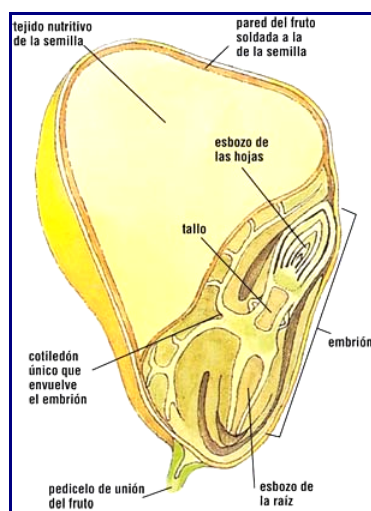


Figura (5): Esquema del grano de maíz.

En la figura se muestran también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara, o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo).

Tiene un alto contenido en aceite (localizado fundamentalmente en el germen), y alto contenido proteico (endospermo).

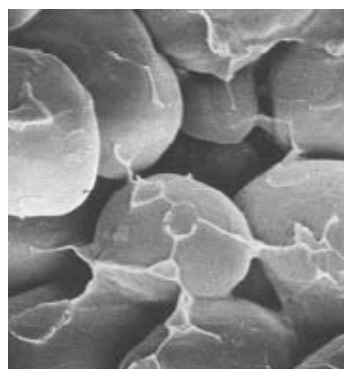
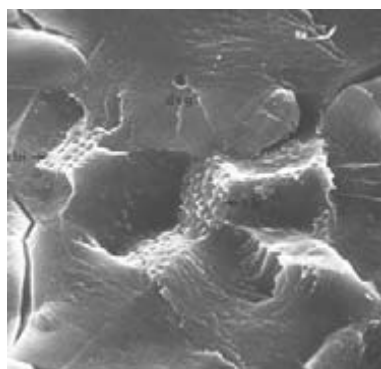
El grano de trigo consta de las siguientes “capas” de material:

1. Envuelta exterior, epidermis o cutícula, fina y transparente.
2. Segunda capa o epicarpio, fibrosa.
3. Tercera capa o endocarpio, también fibrosa.
4. Cuarta capa, denominada testa, que contiene el pigmento que da color al trigo.

5. Quinta capa, proteica, denominada aleurona. La Aleurona es la primera capa de células del endospermo o sea la capa más externa del endospermo
6. Endospermo, material de reserva compuesto de gránulos de almidón.
7. Germen, contiene el embrión de una futura planta.

Las cinco primeras capas, al ser molido el trigo, dará lugar al salvado (que supone aproximadamente entre el 15% y el 25% del peso del grano, según el tipo de molienda).

La harina se obtiene del endospermo (+80% del grano), e incorpora parte de la aleurona.



Microscopía electrónica de barrido (3000 X) del endosperma córneo de un híbrido de maíz. Se observa la estructura compacta y la presencia de cuerpos zeínicos (zb).

Microscopía electrónica de barrido (3000X) del endosperma harinoso de un híbrido de maíz. Se observan la estructura abierta y la ausencia de cuerpos zeínicos

Figura (6): Imágenes electrónicas estructura endospermo del maíz.

La dureza endospermica contribuye a otorgarle al maíz resistencia mecánica, propiedad deseable para mantener la integridad del grano durante las operaciones de cosecha y poscosecha. Asimismo, la industria de la molienda seca requiere materia prima de grano duro para obtener fracciones de los tamaños adecuados a las distintas aplicaciones de los productos de esta molienda.

La dureza se debe a complejas interacciones entre los componentes del endospermo, principalmente las proteínas y el almidón. En la foto se muestra la estructura del endospermo córneo y del harinoso. Se visualiza que el grado de adhesión entre almidón y proteína es mucho mayor en el endosperma córneo que en el harinoso. Tal estructura compacta explica la mayor resistencia del endosperma duro a las acciones mecánicas así como a la difusión del agua y por lo tanto, el secado más lento del grano de este tipo de maíz. También explicaría

el mayor peso hectolítrico ya que la estructura compacta del endosperma córneo debería pesar más que la del harinoso. Las proteínas específicas llamadas zeínas y en especial aquellas con alto contenido de aminoácidos azufrados estarían involucradas en la definición de la dureza del grano de maíz. En el endosperma maduro estas zeínas se localizan en los corpúsculos zeínicos

### o Estructura de la zeína

La estructura de la zeína se ha descrito como una estructura de aminoácidos polares en forma de reuda helicoidal y dispuestos a manera de cilindro, donde la repetición de nueve unidades homólogas están dispuestas paralelamente y de manera asimétrica en un eje helicoidal axis.

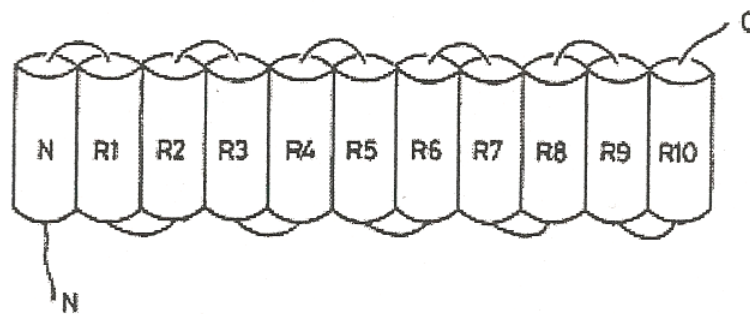


Figura (7): Modelo estructural de  $\alpha$ -zeína. Adaptado (Matsushima et al., 1997)

La  $\alpha$ -zeína se describió por (Turner, 1965) esta fracción de proteína consiste en monómeros y series de oligopéptidos disulfitados de diversos pesos moleculares (de 22.000 a 25.000 Da). Representa del 75% al 80% de la zeína total del grano de maíz, agrupado en dos grupos de proteínas z19 y z22. La secuencia de aminoácidos encontrados mediante cromatografía mustró estos dos grupos, y se hallaron entre 210 y 245 tipos de aminoácidos respectivamente (Mendoza, 2009).

Por otra parte la  $\beta$ -zeína constituye el 10-15% del total y está formada por polipéptidos ricos en metionina de pesos moleculares alrededor de 17.000-18.000 Da. La otra fracción  $\gamma$ -zeína representa el 5-10% del total y la compone un polipéptido rico en prolina de peso molecular alrededor de 27.000 Da (Holding y Larkings, 2006).

#### 1.4.7.4. Extracción de la zeína:

El maíz principalmente es procesado comercialmente por cuatro métodos: molido seco, proceso alcalino, molido húmedo y molienda seca para la extracción de etanol (Lawton, 2002).

En función del método de extracción se obtienen diferentes tipos de zeína, con diferentes propiedades.

A continuación, en la figura () se muestra un proceso de extracción de concentrado de zeína por etanol como solvente.

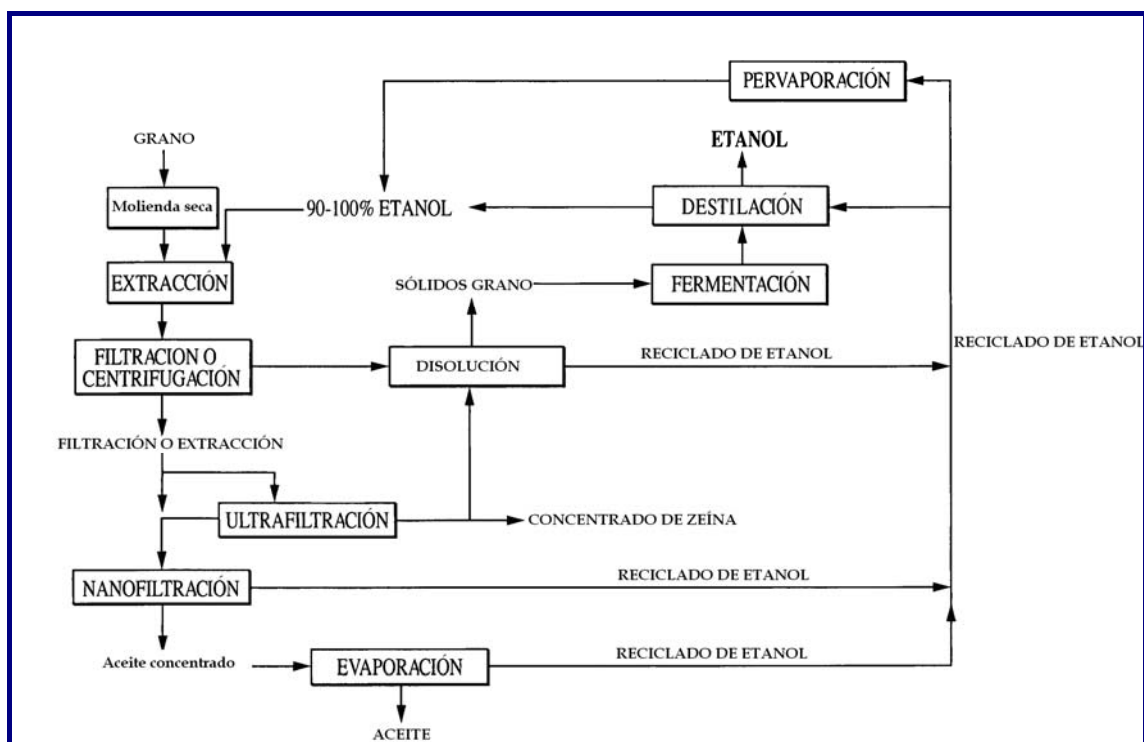


Figura (8): Diagrama de proceso de extracción de zeína mediante solvente.

## 1.4.8. Aditivos

Los aditivos son componentes de las películas y de los recubrimientos que pueden generar diferentes acciones dentro de los mismos, éstos pueden ser tecnológicos o funcionales. Los primeros son los que le otorgan al recubrimiento una propiedad mecánica, mientras que los funcionales la característica es un comportamiento.

### o Aditivos tecnológicos

- *Plastificantes*

Un plastificante es una sustancia no volátil con un alto punto de ebullición que cuando se añade a un polímero modifica las propiedades físicoquímicas y mecánicas del mismo (Banker, 1966). Los plastificantes actúan debilitando las fuerzas intermoleculares entre las cadenas poliméricas adyacentes de los diferentes bio-polímeros, lo que hace que las películas seas más flexibles y con menor fuerza de tensión (Guilbert, 1986). Esta reducción en las uniones internas implica a su vez una menor cohesión del conjunto y una malla estructural más espaciada, que facilita la difusión de los gases y el vapor de agua a través del film. (Greener, 1992; Park, 1995; Krochta *et al.*, 1996).

El plastificante más efectivo es aquel que más se asemeja químicamente al polímero que plastifica (Hernández-Izquierdo y Krochta, 2008). También es muy importante que el polímero y el plastificante tengan solubilidades similares con respecto al solvente utilizado para la obtención de la película.

Como también es de relevada importancia que el plastificante permanezca en la matriz del recubrimiento, pues influye en la estabilidad física y mecánica de éste. (Osés, 2006).

Los plastificantes más utilizados en recubrimientos y películas comestibles son polioles (glicerol, sorbitol y polietilenglicol), oligosacáridos (sacarosa, glucosa y fructosa) y lípidos (ácidos grasos y monoglicéridos). El agua también actúa como plastificante en las películas hidrofílicas y su contenido se ve afectado por la humedad relativa ambiental (Gontard *et al.*, 1993).

En el caso de la zeína existen numerosos estudios dedicados a encontrar el plastificante más adecuado. La zeína necesita un plastificante de un grupo polar o un equilibrio entre los grupos polar y apolar. Los más eficaces son los plastificantes no volátiles como el trietilenoglicol y el polietilenglicol, también el ácido láctico, ácido oleico, tartrato de dibutilo y acetanilida, son algunos de los plastificantes más utilizados en la zeína (Mendoza, 2009).

- *Surfactantes*

Un surfactante es aquella sustancia o producto que reduce la tensión interfacial entre dos superficies en contacto. Existen tres grupos de surfactantes en función de su estructura molecular: aniónicos, iónicos y catiónicos.

Su presencia confiere estabilidad a las emulsiones y mejora la adhesión del recubrimiento sobre el producto que sea aplicado. Se comportan como agentes activos. Su adición implica una disminución en la tensión superficial, por lo tanto un aumento en la mojabilidad, que mejora el recubrimiento de la solución sobre el alimento. La mayor parte de los surfactantes también imparten flexibilidad, pues debilitan las fuerzas intermoleculares.

Poseen un carácter anfifílico, es decir, presentan una parte hidrofílica o polar y otra lipofílica o apolar. Por lo tanto, al agregar surfactantes a una emulsión la fracción hidrofílica presentará afinidad por solventes polares y la fracción lipofílica presentará tendencia por los solventes apolares. (Trezza y Krochta, 2000).

- Aditivos funcionales

En este apartado se reflejan los aditivos que se caracterizan por dotar al recubrimiento de practicidad.

- *Acidificantes*

Son aquellos compuestos que poseen la propiedad de comunicar sus cualidades ácidas a los demás cuerpos.

- *Antimicrobianos*

Son agentes añadidos con la intención de retardar el crecimiento de levaduras, mohos y bacterias.

Usualmente existen límites a la cantidad que se puede añadir de un conservante y la de conservantes totales. Los conservantes alimentarios, a las concentraciones autorizadas, no matan en general a los microorganismos, sino que solamente evitan su proliferación. Por lo tanto, solo son útiles con materias primas de buena calidad.



Entre ellos, están

- Acido sórbico (E-200)
- Sorbato sódico (E-201)
- Sorbato potásico (E-202)
- Sorbato cálcico (E-203)
- Acido benzoico (E-210)
- Benzoato sódico (E-211)
- Benzoato potásico (E-212)
- Benzoato cálcico (E-213)
- Nisina (E-234)
- Cloruro sódico (sal común)

- *Antioxidantes*

Se añaden para incrementar la estabilidad y mantener el valor nutricional y color de los productos alimenticios protegiendo frente al enranciamiento, la degradación y la decoloración oxidativa (Park et al., 1996a).

La oxidación de las grasas es la forma de deterioro de los alimentos más importante después de las alteraciones producidas por microorganismos. La reacción de oxidación es una reacción en cadena, es decir, que una vez iniciada, continúa acelerándose hasta la oxidación total de las sustancias sensibles. Con la oxidación, aparecen olores y sabores a rancio, se altera el color y la textura, y desciende el valor nutritivo al perderse algunas vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados. Además, los productos formados en la oxidación pueden llegar a ser nocivos para la salud.

Principalmente se emplean ácidos, como el cítrico o el ascórbico, y sus ésteres y compuestos fenólicos (Del Nobile *et al.*, 2008).

La mayoría de los productos grasos tienen sus propios antioxidantes naturales. Las grasas vegetales son en general más ricas en sustancias antioxidantes que las animales. También otros ingredientes, como ciertas especias (el romero, por ejemplo), pueden aportar antioxidantes a los alimentos elaborados con ellos.

Los antioxidantes pueden actuar por medio de diferentes mecanismos:

- Deteniendo la reacción en cadena de oxidación de las grasas.
- Eliminando el oxígeno atrapado o disuelto en el producto, o el presente en el espacio que queda sin llenar en los envases, el denominado espacio de cabeza.
- Eliminando las trazas de ciertos metales, como el cobre o el hierro, que facilitan la oxidación.

Los que actúan por los dos primeros mecanismos son los antioxidantes propiamente dichos, mientras que los que actúan de la tercera forma se agrupan en la denominación legal de "sinérgicos de antioxidantes", o más propiamente, de agentes quelantes. Los antioxidantes frenan la reacción de oxidación, pero a costa de destruirse ellos mismos. El resultado es que la utilización de antioxidantes retrasa la alteración oxidativa del alimento, pero no la evita de una forma definitiva. Otros aditivos alimentarios (por ejemplo, los sulfitos) tienen una cierta acción antioxidante, además de la acción primaria para la que específicamente se utilizan.

- *Enriquecimiento nutricional:*

Actualmente se está estudiando la posibilidad de incluir en el recubrimiento o película ciertos componentes como vitaminas o nutrientes extras del cual puede ser carente en el alimento (Bravin et al., 2006). La técnica normalmente utilizada es la microencapsulación, que consiste en atrapar partículas sólidas, gotas líquidas o gases dentro de recubrimientos poliméricos finos, que proporciona protección a los aditivos encapsulados y permite su liberación controlada. Alguno de los materiales que se usan para la producción de cápsulas son gomas, almidón, como sus derivados. (Debeaufort et al., 1998).

Así como también se están desarrollando estudios que incorporan colorantes, aromas, especias o hierbas aromáticas, ácidos, azúcares o sales en los recubrimientos y películas, para darle al film una carga organoléptica. Es el desarrollo de los estudios de envases activos.

- Especias

Las especias son aromatizantes de origen vegetal que se utilizan para preservar, sazonar y potenciar el sabor de los alimentos. Técnicamente se considera una especia a las partes duras, como las semillas o cortezas, de ciertas plantas aromáticas.

Debido a sus propiedades aromatizantes es posible que alimentos insípidos o desagradables, aunque muchas veces nutritivos, pasen a ser gustosos y sabrosos sin perder sus propiedades nutritivas. Muchas de ellas deben tomarse con precaución ya que pueden resultar tóxicas en concentraciones elevadas.

Su gran capacidad para potenciar el sabor permite que se consigan grandes efectos aromáticos y sabrosos en los alimentos con cantidades muy pequeñas. No suelen presentar aportes nutricionales, salvo raros casos en los que hay presentes minerales, como calcio o hierro, o alguna vitamina.

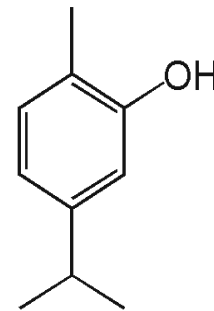
Es interesante destacar el efecto que tienen sobre el apetito. Se pueden clasificar las hierbas y especias en dos grupos, las que modifican, tanto el sabor, como el aspecto de los alimentos, en este grupo estarían el azafrán, la canela, el tomillo y el romero, entre otros; y las que excitan el paladar, entre las que se encuentran la pimienta, el pimentón, la nuez moscada.

- Orégano y Carvacrol

Del latín *Origanum*, en un estudio comparativo, el orégano encabeza la lista de de hierbas aromáticas curativas. Las especias pertenecientes a la familia del orégano son las que ejercen un mayor efecto antioxidante en el reino vegetal. En general el orégano tiene hasta 20 veces más contenido en antioxidantes que las demás hierbas estudiadas. (Shiow y Wang).

El orégano silvestre contiene altos niveles de calcio, magnesio, zinc, hierro, potasio, cobre, boro y manganeso. También contiene vitaminas C y A (betacaroteno) y niacina.

En China, el Carvacrol ha sido aprobado por el Ministerio de Agricultura, como un aditivo antibacteriano de la alimentación. El producto parece promover la asimilación del alimento y de mejorar la eficacia de la alimentación, debido a sus efectos positivos en la digestión. Es de bajo costo y alta ventaja económica.



- Clavo y Eugenol

Del latín *Eugenia caryophyllata* Thunb. Posee un abundante aceite esencial (15-20%), rico en eugenol (80-85%), acetileugenol, cariofileno, pineno, cariofilina, salicilato de metilo. Taninos (10-13%), mucílagos. Fitosteroles: sitosterol, estigmasterol y campesterol.

El aceite esencial le confiere una acción fuertemente antibacteriana, antifúngica, carminativa, estimulante del apetito y la digestión, expectorante y, a nivel local, antiinflamatoria, cicatrizante y analgésica.

El objetivo general del trabajo de investigación que se presenta es el estudio del efecto de la incorporación de aceites esenciales sobre las propiedades tecnológicas de los films elaborados a partir de zeína.

Para el desarrollo de la investigación con este objetivo general se desarrolló una serie de objetivos específicos:

*Objetivo 1:* En primer lugar elaborar un protocolo de fabricación de las películas comestibles y establecer la metodología para la medida de sus principales propiedades físicas.

*Objetivo 2:* Evaluar las características físicas de los films en función de la concentración de aceite y del tipo de aceite en las pruebas:

- Tensión superficial de las soluciones formadoras de films
- Contenido de humedad de las películas.
- Tensión máxima de rotura y elongación relativa de las películas.
- Permeabilidad al vapor de agua de las películas.

Con los resultados obtenidos y por medio de programas de tratamiento estadístico, se pretende comprobar la existencia o no, de diferencias significativas entre las distintas formulaciones.

En la presente investigación se desarrollaron las siguientes formulaciones con el fin de estudiarlas y caracterizarlas:

Solución	Nº	Aceite	Zeína (% del total)	PEG (% con respecto zeína)	Concentración aceite (% con respecto zeína)
<b>A</b>	1	Control	16	20	0
<b>B</b>	2	Orégano	16	20	5
	3		16	20	10
	4		16	20	20
	5		16	20	40
	6		Clavo	16	20
7	16	20		10	
8	16	20		20	
9	16	20		40	
<b>D</b>	10	Eugenol	16	20	5
	11		16	20	10
	12		16	20	20
	13		16	20	40
<b>E</b>	14	Carvacrol	16	20	5
	15		16	20	10
	16		16	20	20
	17		16	20	40

Los films contenían un 16% de zeína pues esta investigación se estaba desarrollando de forma paralela para los estudios de la capacidad antimicrobiana y antioxidante de las mismas formulaciones.

## 3. Materiales y métodos

### 3.1. Materiales

- 3.1.1. Componentes base
- 3.1.2. Aditivos
- 3.1.3. Productos adicionales

### 3.2. Métodos

- 3.2.1. Preparación de las películas
  - *Preparación de las soluciones formadoras de películas*
  - *Condiciones de almacenaje*
  - *Medida del espesor de las películas*
- 3.2.2. Tensión superficial
- 3.2.3. Contenido en humedad
- 3.2.4. Propiedades mecánicas
- 3.2.5. Permeabilidad al vapor de agua (WVP)
- 3.2.6. Métodos estadísticos de análisis estadísticos

### 3.1 Materiales

#### 3.1.1. Componentes base

Se empleó zeína KOBAYASHY, suministrada por KOBAYASHY PERFUMERY CO, LTD. Más especificaciones del lote en el apartado Anejos, zeína.



Figura (9): Paquete de zeína KOBAYASHI en polvo.

#### 3.1.2. Aditivos

Se utilizó el Polyethylène-Glycol como plastificante polyethylene glycol 400 (RFE, USP-NF, BP, Ph. Eur.) PRS-CODEX. Su fórmula es:  $\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}$

Suministrado por PANREAC QUÍMICA, S.A. (España). Sus características se resumen en la siguiente tabla:

Peso molecular.....	380-420
Identidad.....	IR s/e
Índice de hidroxilo.....	264-300
Viscosidad a 99 °C.....	6'8-8'0 cSt
Viscosidad a 20 °C.....	94-116 cSt
pH sol 5%.....	4'5-7'5
<b>LIMITE MÁXIMO DE IMPUREZAS</b>	
Residuos de calcin. (en SO <sub>4</sub> ).....	0'1%
Sustancias reductoras.....	s/e
Impurezas orgánicas volátiles.....	s/e

Óxido de etileno (C.G).....	0'0001%
1-4-Dioxano (C.G).....	0'001%
Etilenglicol y Dietilenglicol (C.G).....	0'25%
Acidez o alcalinidad.....	2'0%
Metales pesados (en Pb).....	0'0005%
As.....	0'0003%

**ACEITES:**

Aceite esencial de orégano, aceite esencial de clavo, aceite esencial de eugenol, aceite esencial de carvacrol.

**3.1.3. Productos adicionales**

Todas las disoluciones se realizan con etanol como solvente.

Para el control de las condiciones de humedad relativa se dispone de solución de nitrato de magnesio que proporciona una humedad de 50% en las cabinas de cristal.



Figuras (10 y 11): Nitrato de magnesio en polvo. Solución de nitrato de magnesio en campana, equilibrando al 50% de humedad relativa.

También se emplearon sales de sílica gel como desecantes para garantizar una humedad relativa de 0% en la cabina Samplatec.



Figura (12): En la imagen sílica gel en una placa de Petri, colocada en la cabina Samplatec.



## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Preparación de los films

- *Preparación de las soluciones formadoras de películas:*

Para la obtención de las películas basadas en zeína se siguió el proceso descrito por método casting propuesto por Lai et al., (1997a), con alguna adaptación.

Se desarrollaron un total de 17 tipos de soluciones que corresponden al diseño experimental.

**Tabla (3): Diseño experimental formulaciones.**

Solución	Nº	Aceite	Zeína (% del total)	PEG (% con respecto zeína)	Concentración aceite (% con respecto zeína)
A	1	Control	16	20	0
B	2	Orégano	16	20	5
	3		16	20	10
	4		16	20	20
	5		16	20	40
	6		Clavo	16	20
7	16	20		10	
8	16	20		20	
9	16	20		40	
D	10	Eugenol		16	20
	11		16	20	10
	12		16	20	20
	13		16	20	40
	E		14	Carvacrol	16
15		16	20		10
16		16	20		20
17		16	20		40

Todas las soluciones contenían 16% de zeína, un 20% de polyethylene glycol 400 (RFE, USP-NF, BP, Ph. Eur.) PRS-CODEX, sobre el peso de zeína, a la cual se le añadieron diferentes cantidades de cada aceite, según la concentración de aceite del tipo de película a obtener, dispersadas en una solución de etanol hasta completar el total en peso de la solución.

En primer lugar se echa el polyethylene glycol en el matraz aforado de 100 ml, a continuación el etanol. Se coloca un agitador de imán para ir removiendo la mezcla mientras a su vez se añade la zeína, previamente pesada, muy lentamente. Se homogeneizaron con el agitador durante un tiempo de 15 minutos a temperatura ambiente.

A continuación se metió la solución en un tratamiento térmico (baño), con el cual se pretendía desnaturalizar la proteína a 75°C durante 15 minutos, el baño tiene un sistema con una bandeja que permite la agitación del matraz, esta agitación se fija a las 85 rpm. Después, se enfría la solución entre 40-50°C aproximadamente mediante una ligera agitación (2 minutos) a temperatura ambiente.



Figura (13): Tratamiento térmico para las soluciones.

Se añade el aceite y se deja homogeneizar en el agitador con imán aproximadamente 2 minutos. Después, se deja la solución en el baño otros 2 minutos.



Figura (14): Matraz con la solución en agitación.

Se vierten sobre placas petri de polietileno de 14'7 cm de diámetro, y se expanden por toda la placa removiendo ligeramente. Las placas se colocan sobre superficies niveladas para obtener películas con grosores homogéneos, así tener películas con un espesor aproximado de  $120 \pm 10 \mu\text{m}$ .

Se dejan secar en condiciones de temperatura y humedad relativa ambientales durante unas 18 horas (toda la noche).

Una vez pasado este tiempo, las películas se despegan de forma íntegra de la superficie de las placas.

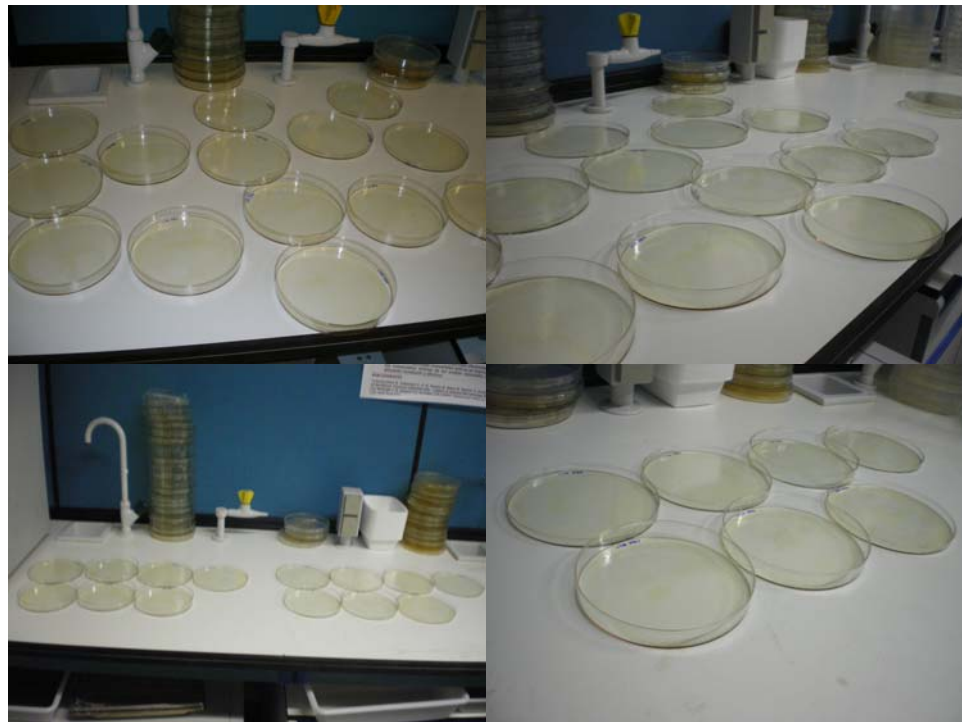


Figura (15): Imágenes de las películas en el proceso de secado a temperatura ambiente, durante 18 horas.

- *Condiciones de almacenaje*

Las películas una vez formadas se cortaron en tiras rectangulares de 25'4 mm de ancho por 75 mm de largo con la ayuda de una doble cizalla y fueron almacenadas dentro de cabinas a 50% de humedad relativa y temperatura ambiente durante una semana.



Figura (16): Doble cizalla.



En la imagen 1) dos tiras de carvacrol 5%. 2) cabinas de humedad relativa 50% para equilibrar.



Figura (17): Conjunto de imágenes disposición de las tiras una vez cortadas para introducirlas en la cabina de 50% de HR. (imagen 2).

Para obtener un mayor aprovechamiento del espacio de la cabina, se dispusieron las tiras ya cortadas y numeradas en dos torres de porta-tubos.

La humedad relativa dentro de las cabinas era mantenida constante mediante una solución saturada de nitrato de magnesio. Transcurrida esta semana, una vez alcanzado el equilibrio se determinaron las propiedades mecánicas y el contenido en humedad.

o *Medida del espesor de las películas*

El espesor se midió con un micrómetro digital (modelo ID-F125, Mitutoyo Corp., Tokio, Japón) con una precisión de  $1\ \mu\text{m}$ , en 10 puntos diferentes elegidos al azar en el film. Este espesor se midió después de equilibrar las películas a 50% de humedad relativa y previamente a la determinación de sus propiedades mecánicas.



Figura (18): Micrómetro digital, modelo ID-F125, Mitutoyo Corp., Tokio, Japón

### 3.2.2. Tensión superficial

La tensión superficial de todas las soluciones formadoras de películas se midió seis veces, mediante el método del anillo de Du Nouy, con ayuda de un tensiómetro digital (K9 Krüss, Alemania).



Figura (19): Tensiómetro digital (K9 Krüss, Alemania)

Como parámetro importante y debido a que la tensión superficial se ve muy afectada por la temperatura, todas las soluciones se equilibraron a 50°C, pues se observó que esta solución era muy sensible a los cambios de temperatura.

Para medir la tensión superficial mediante el método del anillo Du Nouy se determina la fuerza adicional  $\Delta F$  que hay que ejercer sobre el anillo de aluminio justo en el momento en el que la lámina de líquido se va a romper. La tensión superficial del líquido se calcula a partir del diámetro  $2R$  del anillo y del valor de la fuerza  $\Delta F$  que mide el dinamómetro.

### 3.2.3 Contenido en humedad

El contenido en humedad de los films se determinó mediante la pérdida de peso que sufría un film equilibrado durante una semana a 50% de humedad relativa. Después, las muestras fueron secadas en un horno de convección a 105°C durante 12 horas. De cada tipo de film se realizaron 8 réplicas. El contenido en humedad se calculó de la siguiente manera, realizando una diferencia entre en peso inicial de la película ( $P_o$ ) y el peso final ( $P_f$ ), expresándolo en porcentaje, sabiendo:

- peso antes de meter en el horno = peso inicial,
- peso tras el horno = peso final

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$$

A la salida del horno, las tiras habían perdido su humedad y estaban calientes, para ser más precisa la medida del peso, se dejaron enfriar en las

cabinas de cristal de la figura, con sales de sílica gel en su interior, para impedir que captaran la humedad ambiente.



Figura (20): Cabinas con sílica gel mantienen 0% HR en su interior.

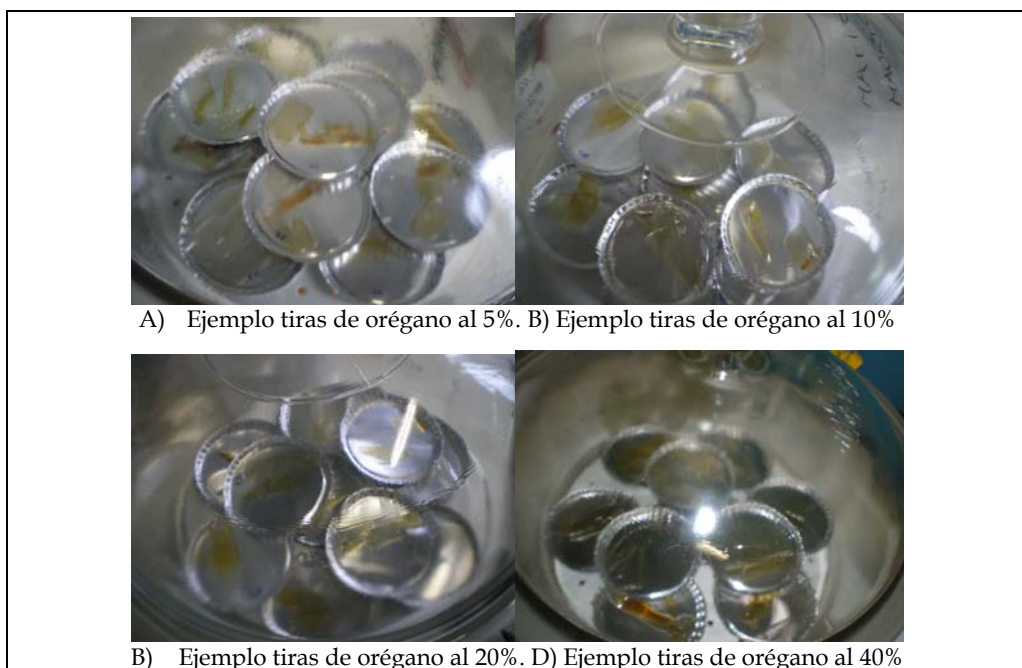


Figura (21): Diferentes concentraciones de aceite después de 12 horas a 105°C



Figura (22): En la imagen cada platito de aluminio con las diferentes tiras en el momento de pesarlas.

### 3.2.4. Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas de las películas se determinaron siguiendo la norma (Astm D882, 2000). El apartado empleado en los ensayos mecánicos de tracción fue un texturómetro *Texture Analyzer TA-XTZi* (Surrey, Gran Bretaña), dotado de un microprocesador para el análisis de textura. La célula de carga utilizada fue de 25 kg (resolución 0'0098 N y 0'025% precisión). El texturómetro estaba conectado a un ordenador y era controlable mediante el software *Texture Expert Exceed*. El programa permitió ver los datos en formato gráfico en pantalla (figura ) y tratarlos mediante macros automáticas para obtener los parámetros que requerimos.

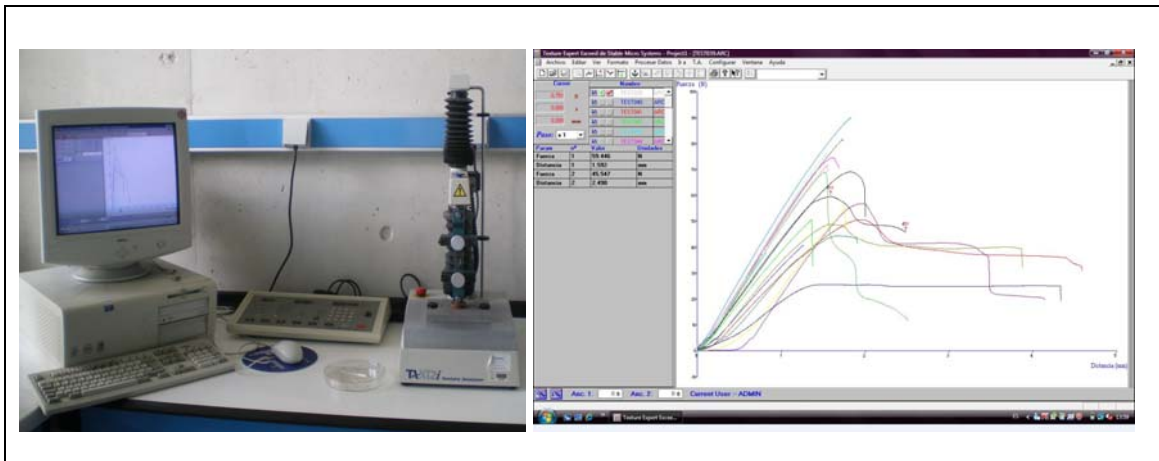


Figura (23): En la imagen el texturómetro conectado al equipo, el programa Texture Expert Exceed, con varios ejemplos graficados.

Para esta prueba las muestras eran tiras (de 25mm x 750mm) de los films del diseño experimental preparadas anteriormente y equilibradas en una cabina acondicionada con una humedad relativa controlada de 50%, durante una semana. Se analizaron 10 réplicas de cada tipo de film.

En el texturómetro, las tiras se sujetan con las pinzas, la distancia inicial de las pinzas del texturómetro se fijó en 50mm y la velocidad del cabezal fue de 0'8 mm/seg.



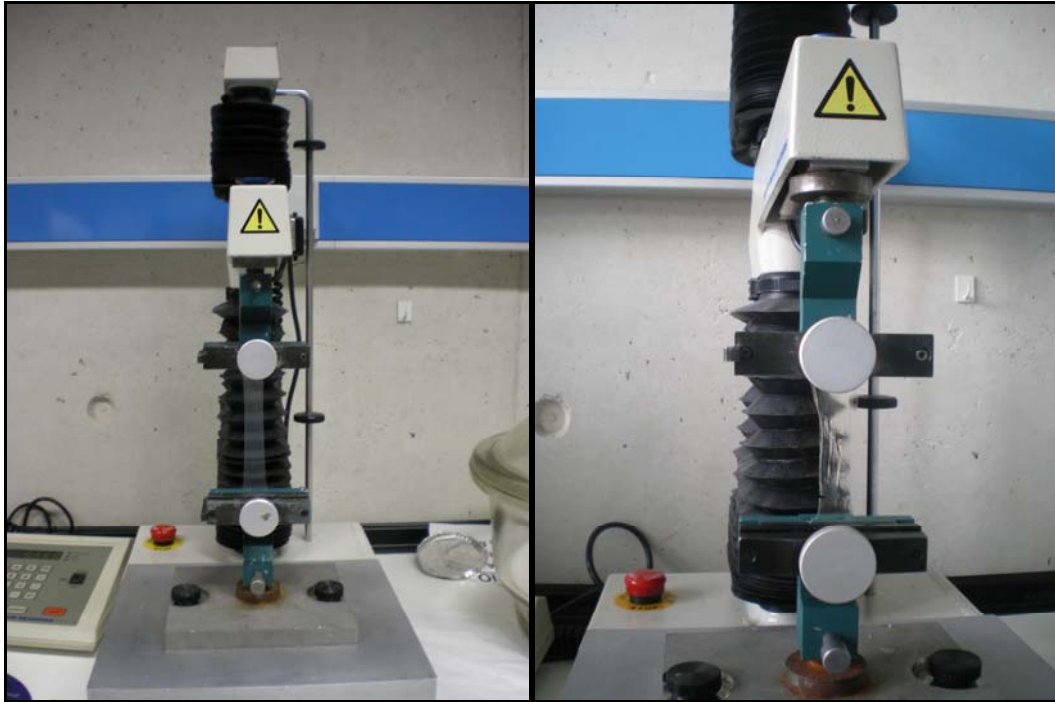


Figura (24): En la foto 1 el texturómetro estira una tira de orégano al 40% de aceite. En la 2, es una tira de orégano al 10%, en el momento de la rotura.

Una vez realizado el ensayo de tracción se obtuvo un gráfico de Fuerza Vs Distancia, donde se determinó la tensión máxima que podría soportar el film durante el ensayo de tracción y el porcentaje de elongación, es el porcentaje de la variación de la longitud inicial del film hasta que se rompe.

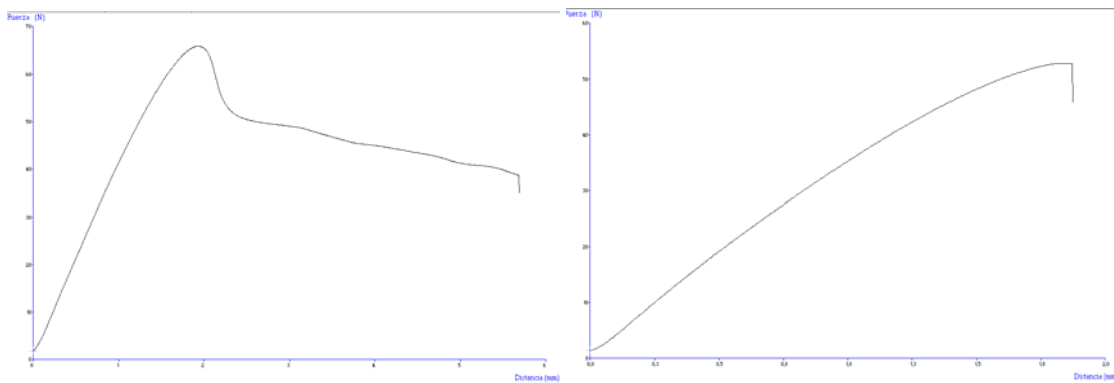


Figura (25): La imágenes corresponden a dos ensayos diferentes, a la izquierda una tira de orégano 20%, a la derecha de clavo 5%. El programa grafica la fuerza (N) y la distancia entre sus pinzas (mm).

Previamente se han anotado las dimensiones de la tira (longitud, anchura, espesor y peso), se calculan la sección, el área y el gramaje:

$$\text{Sección} = \text{Ancho} \times \text{Espesor}$$

$$\text{Área} = \text{Ancho} \times \text{Longitud}$$

$$\text{Gramaje} = \text{peso} / \text{área}$$

Para determinar junto a los datos obtenidos con las pruebas se determinarían los parámetros que caracterizan las propiedades mecánicas de

los films: la tensión máxima de rotura ( $N/m^2$ ) y la elongación relativa máxima (%).

A continuación, las fórmulas que se emplearon para el estudio:

$$\text{Tensión máxima de rotura (N/mm}^2\text{)} = \frac{\text{Fuerza máxima de rotura}}{\text{Sección}}$$

$$\text{Elongación relativa (\%)} = \frac{\text{Elongación máxima} - \text{Error arrugado}}{\text{Separación.pinzas} - \text{Error arrugado}} \cdot 100$$

Gracias a estudios anteriores con este mismo programa y con formulaciones similares se ha conseguido ajustar la sensibilidad detectada por el programa, de tal modo que se ha podido prescindir del error de arrugado, pues el programa no empieza a tomar datos hasta que nota propia que debiera hacer el film completamente estirado. Así pues, en este estudio, la fórmula empleada fue la siguiente:

$$\text{Elongación relativa (\%)} = \frac{\text{Elongación máxima}}{\text{Separación.pinzas}} \cdot 100$$

### 3.2.5. Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

La permeabilidad al vapor de agua (water vapor permeability WVP) se determinó mediante el método gravimétrico (recomendado por la Astm E96, 1980; y modificado por McHugh et al., 1993) las leyes de Fick y de Henry. La permeabilidad se midió utilizando un gradiente de humedad de 0-100% HR y a una temperatura ambiente, que era un valor aproximado de entre 23 y 24°C, en cada medición se tomó el valor de la temperatura en ese momento, para poder incluirlo en los cálculos.

Antes de cada experimento había que desecar la sílica gel a 180°C durante 24 horas, para después colocarlas en la cabina para que se equilibrara durante 24 horas a 0% de humedad relativa.



Detalle del higrómetro (30% HR)

Figura (26): En la imagen las sales están equilibrando la humedad interior de la cabina desde 30%, como se observa en el detalle del higrómetro en la parte superior derecha de la imagen, hasta 0%.

En este ensayo se usaron unas células circulares de metacrilato, con un radio interno de 2'54 cm y 1'1 cm de profundidad. En el interior se ponen 6 ml de agua destilada, se coloca el film sobre la superficie circular (aproximando la medida recortando los bordes), posteriormente se coloca la tapa de la tacita, sellándolas con la ayuda de silicona (Rhodorsil Silicones, Francia), consiguiendo un sistema hermético. Se ponen 6 tacitas de cada tipo de film.



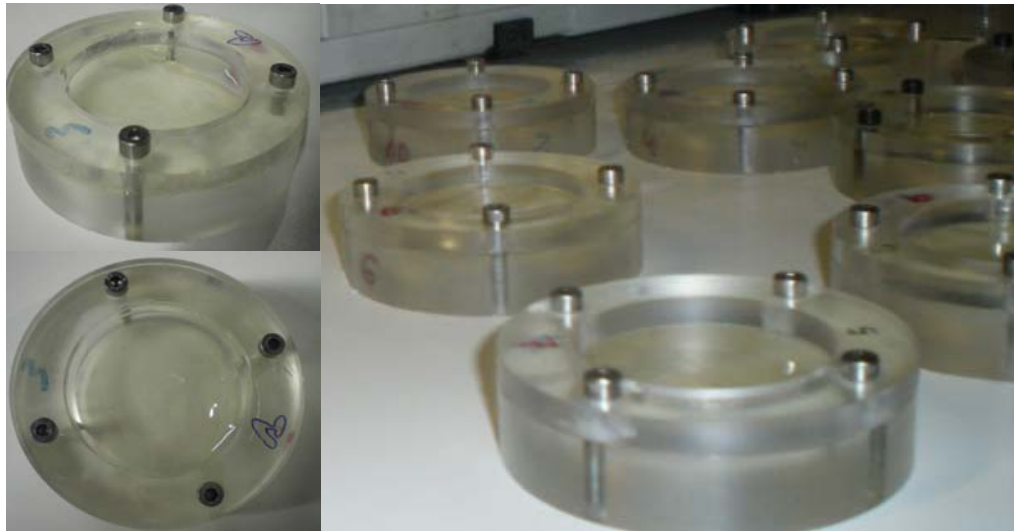


Figura (27): Diferentes vistas de las “tacitas” de metacrilato, preparadas para la prueba de WVP.

En la figura de la derecha, se puede apreciar que el film tiene una fisura, debido a que se mojó en la manipulación del sistema, con el agua destilada de su interior.



Figura (28): Tacita con film roto



Figura (29): Imágenes de la báscula y la cabina Sanplatec.

Con los sistemas listos para el ensayo, se toman los datos de sus pesos de forma individual en la báscula de la imagen y de la temperatura en cada uno de los muestreos.

Posteriormente se colocan en la cabina (Sanplatec Corp., Japón) (figura 29), equipada con un ventilador (Elco, Milano, Italy), cuya velocidad del aire fue de 150m/min (Osés, 2006), así se asegura una humedad relativa de 0% constante durante todo el experimento.

Las tacitas se introducen en la cabina y en intervalos de tiempo de 2 horas se calcula la variación de peso en cada tacita y la temperatura, se determina la permeabilidad al vapor de agua de cada film. Se toman cinco medidas.

Con condiciones conocidas de espesor, temperatura, y gradiente de presión.

Según el método ASTM, la presión parcial del vapor de agua por encima del film ( $P_{A2}$ ) se considera cero, por la presencia de las sales desecantes y la intensidad de la renovación del aire mediante el ventilador. Se asume que  $P_{A1} = P_{A0}$  (presión de vapor saturado) para films con muy baja permeabilidad. Sin embargo, encontraron que esta igualdad no era correcta para los films hidrofílicos que impiden que se alcance el equilibrio de humedad. Por tanto, para conocer  $P_{A1}$  debemos conocer la humedad relativa exacta debajo del film y para ello usamos la corrección propuesta por Gennadios et al.

$$\text{Permeación} = \frac{WVTR}{P_{A1} - P_{A2}} = \frac{g}{h \times m^2 \times KPa}$$

$$P_{A1} = P_{A2} - (P_{A2} - P_{A0}) e^{-\frac{WVTR \times R \times T \times Z}{P \times D}}$$

Donde:

- $P_{A1}$ : presión en la superficie interior del film.
- $P_{A2}$ : presión atmosférica total del sistema ( $P_a$ ).
- $P_{A0}$ : presión en la superficie del agua o presión de vapor saturado ( $P_a$ ).
- $P_{A0}$ :  $4'84 T_2 - 52'24 T + 1449'63$  (T en °C).
- WVTR: flujo de agua en la capa de aire (moles/m<sup>2</sup>s).
- R: constante universal de gases (8'314J/K mol).
- T: temperatura (en °K).
- Z: altura de la capa de aire (m).
- D: difusividad (en m<sup>2</sup>/s) del agua en aire.
- $D = 22'441 \cdot 10^{-3} T^{2'8696}$  (T en °K).

Finalmente, la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de un film es calculada mediante la relación:

$$WVP = \text{permeación} \times \text{espesor}$$

Por tanto, la permeabilidad de un film se expresa en:

$$\frac{g \times mm}{KPa \times h \times m^2}$$

### 3.2.6. Métodos de Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos de los resultados se realizaron con el paquete informático STAT GRAPHICS Plus versión 5.1 para Windows (Manugistics Inc., Rockville, MD, USA).

Las variables que se estudiaron fueron la tensión superficial, el porcentaje del contenido en humedad, la elongación relativa, la tensión máxima de rotura, la elongación máxima, y la permeabilidad al vapor de agua. Los posibles factores fueron el contenido en aceite (concentración de aceite) y el tipo de aceite, estudiando también si existían posibles relaciones entre cada aceite esencial y sus principios activos.

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA), tanto simple como factorial, con un nivel de significación de 5% ( $p \leq 0,05$ ) para evaluar el posible efecto causado por uno o más factores en cada una de las propiedades de estudio y sus posibles interacciones.

Las diferencias mínimas entre las medias se establecieron mediante intervalos LSD de Fisher y el contraste múltiple de rangos se utilizan para corroborar entre que niveles de un factor existen dichas diferencias con un nivel de confianza del 95%.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Caracterización de de las soluciones formadoras de películas

#### 4.1.1. Tensión superficial.

### 4.2. Caracterización de las películas

#### 4.2.1. Humedad aparente de las películas de zeína

#### 4.2.2. Propiedades mecánicas

#### 4.2.3. WVP

### 4.3. Resumen de los resultados obtenidos

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En el presente estudio se llevó a cabo un diseño experimental cuyo objetivo era caracterizar los film, en primer lugar la caracterización de las soluciones formadoras de películas, donde se ensayó la tensión superficial. A continuación se efectuó la caracterización de las películas en sí, a esta parte del experimento le correspondieron las pruebas de contenido aparente de humedad de la película, las propiedades mecánicas (tensión máxima de rotura y elongación relativa), por último la permeabilidad al vapor de agua.

Todas las soluciones poseían un color ambarino, a pesar de que la zeína era un polvo blanquecino. Una vez en solución, después del tratamiento térmico, la mezcla tornaba a un aspecto translúcido. Este color se perdía en el posterior secado, al formarse el film.

### 4.1. Caracterización de las soluciones formadoras de películas

La siguiente prueba se efectuó en todas las soluciones de los diferentes aceites y para cada una de sus concentraciones.

#### 4.1.1. Tensión superficial

La tensión superficial es una prueba, como se ha indicado anteriormente dirigida a la caracterización de líquidos, por eso, se ensayan las soluciones antes de hacer film. Para ello, se prepararon las diferentes muestras, tomando aproximadamente 40 ml. de cada solución después de su elaboración, sin dejar que enfriaran demasiado, teniendo una temperatura de referencia durante todos los ensayos de aproximadamente entre 40 y 50°C, sin agitación. Estas soluciones se mostraron muy sensibles a las variaciones de temperatura.

Para fijar una temperatura de ensayo, se probó a aumentar la temperatura y el tiempo de exposición al calor, lo cual hizo que se desnaturalizara la proteína, quedando completamente inservible, su color tornó de amarillo ambarino translúcido a blanco opaco.



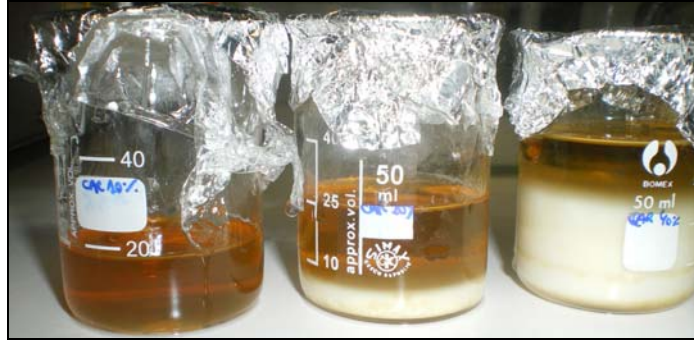


Figura (30): soluciones formadoras de film de carvacrol de concentraciones 10%, 20%, y 40%, después de haber sufrido un exceso de tratamiento térmico.



Figura (31): soluciones formadoras de film de carvacrol de concentraciones 10%, 20%, y 40%, después de haber sufrido un exceso de tratamiento térmico. Cinco minutos más tarde de la imagen anterior.

En las imágenes se observan las diferentes soluciones, 10%, 20% y 40% de aceite de izquierda a derecha. De la primera tira de imágenes a la segunda se le había suministrado más calor.

En la tabla que se muestra a continuación se recogen los valores de tensión superficial, obtenidos para cada solución.

**Tabla (4): Media y desviación típica de la tensión superficial para las diferentes soluciones.**

Aceite	Zeína (% del total)	PEG (% respecto zeína)	Concentración aceite (% con respecto zeína)	Temperatura de ensayo (°C)	Tensión Superficial (mN/m)
Control	16	20	0	43'1	24,68 ± 0,04 <sup>b</sup>
Orégano	16	20	5	42'3	24,58 ± 0,04 <sup>aB</sup>
	16	20	10	43'4	22,33 ± 0,16 <sup>aA</sup>
	16	20	20	43'5	22,87 ± 0,14 <sup>aA</sup>
	16	20	40	42'6	23,78 ± 0,12 <sup>aA</sup>
Clavo	16	20	5	46'3	22,00 ± 0,28 <sup>aA</sup>
	16	20	10	44'0	23,35 ± 0,15 <sup>aA</sup>
	16	20	20	42'3	24,58 ± 0,04 <sup>aA</sup>
	16	20	40	41'6	25,47 ± 0,05 <sup>aA</sup>
Eugenol	16	20	5	42'8	24,85 ± 0,14 <sup>bD</sup>
	16	20	10	45'2	28,62 ± 0,12 <sup>bB</sup>
	16	20	20	42'8	23,12 ± 0,18 <sup>aA</sup>
	16	20	40	43'4	23,88 ± 0,12 <sup>aA</sup>
Carvacrol	16	20	5	42'6	22,63 ± 0,14 <sup>aC</sup>
	16	20	10	44'3	21,95 ± 0,26 <sup>aC</sup>
	16	20	20	43'4	22,10 ± 0,18 <sup>aB</sup>
	16	20	40	43'4	21,60 ± 0,37 <sup>aB</sup>
PEG				25'0	40,77 ± 0,22
Etanol 96%				25'0	24,50 ± 0,07
Agua desionizada tipo II				25'0	75,55 ± 0,08

Para los valores seguidos con distintas letras éstas presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

En la gráfica a continuación se resumen los valores de la tabla:

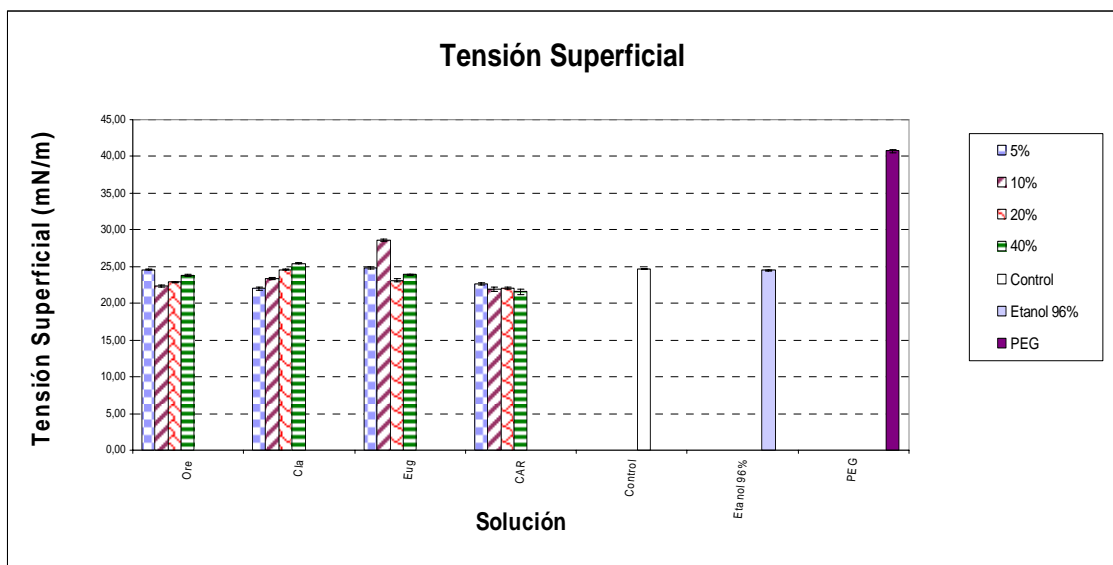


Figura (32): Valores medios de tensión superficial para todas las soluciones formadoras de film, etanol 96%, y PEG.

Para el estudio de la tensión superficial, se amplió el ensayo introduciendo los valores de la tensión superficial de sus componentes para ver cómo podrían influirle a las soluciones, así se analizó también etanol y PEG.

Haciendo un análisis comparativo de la gráfica se puede ver que todos los valores de las tensiones superficiales de las soluciones formadoras de film son similares al valor de la tensión superficial del etanol, pues es éste el que predomina en la mezcla, es su disolvente. Los valores medios están más próximos al valor de la tensión superficial del etanol, distantes así del PEG. También hay que tener en cuenta que la cantidad de PEG es muy pequeña en oposición a la importancia del etanol en el porcentaje final de la solución.

Los valores de la tensión superficial de todas las soluciones dieron un valor medio próximo a 24 mN/m, aunque se puede ver que dentro de cada aceite le afecta de una forma diferente cada concentración, no siguiendo un patrón fijo, aunque próximos entre ellos.

Así, en el caso del orégano, parece que para una concentración de 5%, da el valor más alto de tensión superficial, mientras que disminuye para la concentración de 10%, a partir de la cual va tomando valores levemente crecientes, en 20% y en 40%.

En el caso del clavo muestra un comportamiento con tendencia creciente conforme se va aumentando la concentración de aceite; hecho que no sucede en el eugenol, todas las concentraciones están próximas a la media, exceptuando el caso de 10%, que toma un valor mayor haciendo un pico.

El carvacrol tiene una ligera tendencia a decrecer el valor de su tensión superficial a medida que aumenta la concentración de aceite.

○ *Análisis estadístico:*

A continuación se muestra una tabla resumen con los valores medios y desviación típica de la tensión superficial para cada solución seguidos de letras, que representan las diferencias significativas en sentido horizontal (a,b,c, y d), comparando así las concentraciones dentro de un mismo aceite, como vertical (A,B,C, y D), atendiendo a las diferencias significativas entre los cuatro aceites.

**Tabla (5): Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la tensión superficial (mN/m) de las películas seguidas por las letras estadísticas.**

	0%	5%	10%	20%	40%
Ore	24,68 ± 0,04 <sup>b</sup>	24,58 ± 0,04 <sup>aB</sup>	22,33 ± 0,16 <sup>aA</sup>	22,87 ± 0,14 <sup>aA</sup>	23,78 ± 0,12 <sup>aA</sup>
Cla	24,68 ± 0,04 <sup>b</sup>	22,00 ± 0,28 <sup>aA</sup>	23,35 ± 0,15 <sup>aA</sup>	24,58 ± 0,04 <sup>aA</sup>	25,47 ± 0,05 <sup>aA</sup>
EU	24,68 ± 0,04 <sup>b</sup>	24,85 ± 0,14 <sup>bD</sup>	28,62 ± 0,12 <sup>bB</sup>	23,12 ± 0,18 <sup>aA</sup>	23,88 ± 0,12 <sup>aA</sup>
CAR	24,68 ± 0,04 <sup>a</sup>	22,63 ± 0,14 <sup>aC</sup>	21,95 ± 0,26 <sup>aC</sup>	22,10 ± 0,18 <sup>aB</sup>	21,60 ± 0,37 <sup>aB</sup>

Para los valores seguidos con distintas letras éstas presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Excepto para el caso del eugenol, el resto de los aceites no presentan diferencias significativas, con el aumento de la concentración.

Para las concentraciones inferiores de 5% y 10% todos los aceites presentan diferencias significativas, a partir de 20% y 40% los aceites no presentan diferencias significativas, excepto el carvacrol.

La tensión superficial se ve afectada por la concentración en todos los aceites, excepto en el eugenol. El tipo de aceite afecta al valor de la tensión superficial principalmente para concentraciones inferiores (5% y 10%), excepto en el caso del carvacrol, que se ve afectada en todas las concentraciones.

## 4.2. Caracterización de las películas

Los films resultantes de las dispersiones de zeína al 16%, con PEG como plastificante y con diferentes concentraciones de aceites esenciales resultaron ser lisos, suaves, transparentes, con superficies homogéneas sin roturas ni poros apreciables, con una leve coloración amarilla.

Todos los films se despegaron con facilidad de las placas de Petri. Cuanto más aceite contenían más manejables y flexibles eran dado que el propio aceite actuaba como plastificante. A partir de la formulación base fija de 16% de zeína, 40% de PEG, se trabajó hasta el 40% de aceite con respecto a la zeína, pues a partir de estos valores, era muy difícil conseguir un film con integridad estructural. Eran complicados de manejar ya que el lípido producía discontinuidades en la matriz que reducían la resistencia a la tracción mecánica. (Petersson y Stading, 2005).



Figura (33): Film de zeína.

Por lo general, a medida que se aumentó la concentración de aceite el film era más manejable, menos quebradizo, más flexible presentando también un mayor brillo.

El espesor de las películas es un factor que afecta a las propiedades mecánicas y de permeabilidad, por lo que se fijó una cantidad de 7,5 gramos de solución en cada placa para que este valor fuera un valor comprendido entre  $120 \pm 10 \mu m$ .

En cuanto al secado, se realizó en una superficie nivelada del laboratorio a temperatura y HR ambiente, durante 12 horas.

### 4.2.1. Humedad aparente de las películas de zeína

El contenido de humedad afecta a las propiedades mecánicas de los films debido a que el agua le aporta un efecto plastificante, el cual accede a las cadenas intramoleculares de la base polimérica (zeína), debilitando la interacción entre las mismas.

- **Efecto de las variables tipo de aceite y concentración sobre el contenido de humedad.**

En la gráfica (figura 34) se muestra el contenido de humedad de las películas con diferentes aceites y las diferentes concentraciones.

Como se ha descrito anteriormente para esta prueba los film fueron cortados en tiras y seleccionados por su grosor aceptable, después se introdujeron en una cabina al 50% de humedad relativa.

En bibliografía anterior otros investigadores describen el efecto del aumento de la concentración de un aceite como una disminución de la humedad, pues supone una barrera a la absorción de humedad a su hidratación (Mendoza, 2009). La adición del contenido del PEG permite una mayor absorción de la HR, aunque en este estudio este valor permanece constante para todas las formulaciones.

A pesar de esto, contra pronóstico, el resultado de la prueba de contenido de humedad fue inverso; los datos de la gráfica (Figura 34) muestran cómo al ir incrementando la concentración de aceite de las muestras, éstas darían un valor mayor de humedad.

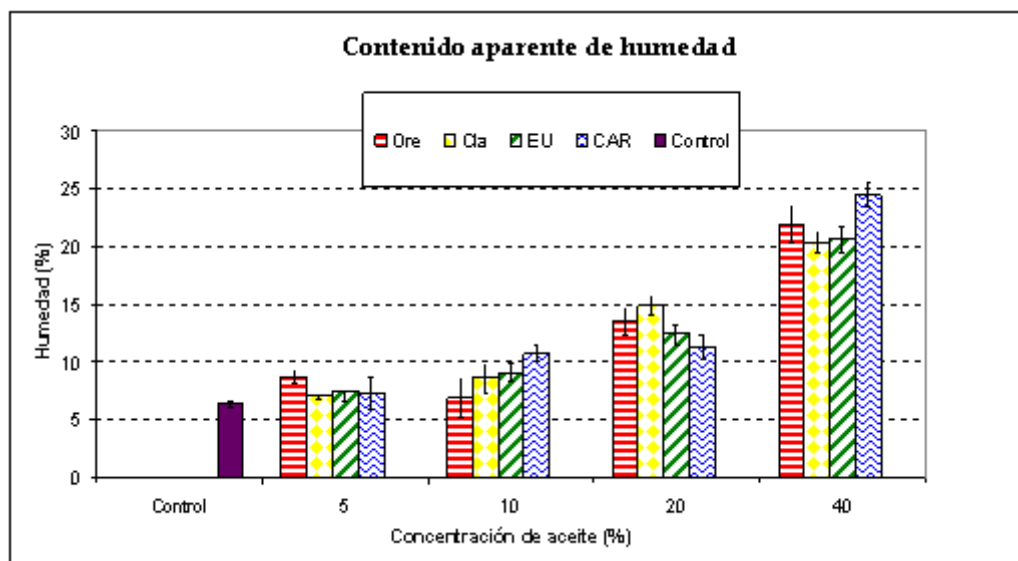


Figura (34): Efecto del aumento de la concentración de aceite sobre el contenido aparente de humedad, para los cuatro aceites.

Los valores representados en la gráfica responden a la tabla siguiente:

**Tabla (6): Media y desviación típica del contenido aparente de humedad de las películas.**

Aceite	Zeína (% del total)	PEG (% respecto zeína)	Concentración aceite (% con respecto zeína)	Contenido aparente de humedad (mN/m)
Control	16	20	0	6,27 ± 0,24
Orégano	16	20	5	8,69 ± 0,55
	16	20	10	6,85 ± 1,67
	16	20	20	13,52 ± 1,16
	16	20	40	21,94 ± 1,61
Clavo	16	20	5	7,01 ± 0,23
	16	20	10	8,55 ± 1,23
	16	20	20	14,90 ± 0,87
	16	20	40	20,28 ± 0,90
Eugenol	16	20	5	7,48 ± 0,87
	16	20	10	9,00 ± 0,72
	16	20	20	12,47 ± 1,07
	16	20	40	20,62 ± 1,21
Carvacrol	16	20	5	7,25 ± 1,41
	16	20	10	10,70 ± 0,72
	16	20	20	11,27 ± 1,02
	16	20	40	24,45 ± 0,99

En las gráficas (Figuras 35 y 36) se han dispuesto de los valores medios del contenido de humedad para cada concentración comparando dos series, una serie corresponde al aceite esencial y la otra al principio activo. En la primera gráfica se muestran el Clavo y el Eugenol y se aprecia que su comportamiento es muy similar.

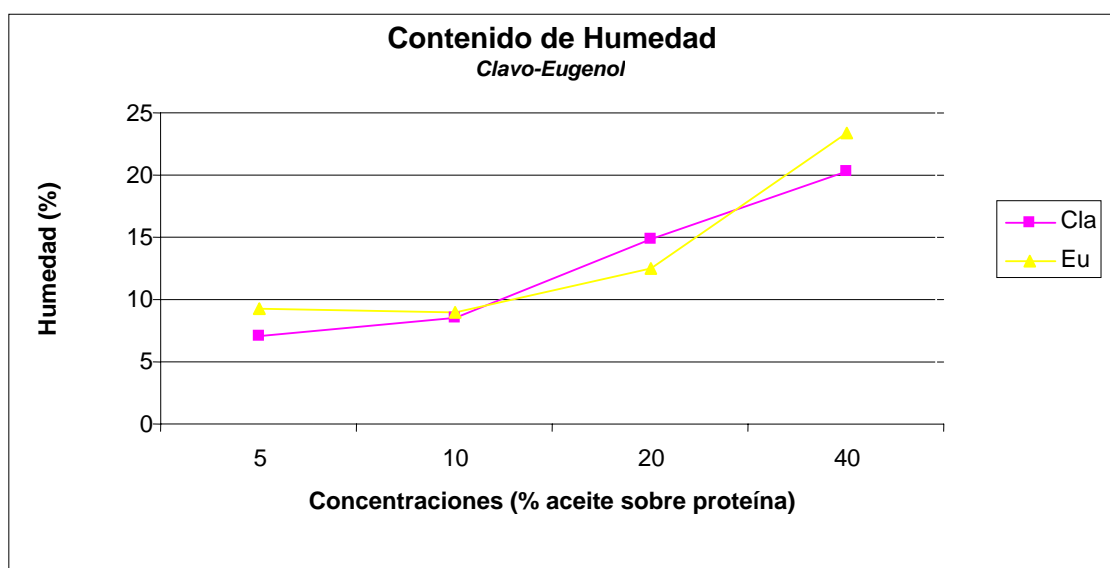


Figura (35): Efecto del aumento de la concentración de aceites (clavo y eugenol) sobre el contenido aparente de humedad.



En la siguiente gráfica (Figura 36) se hace una comparación entre el incremento de humedad del Orégano y el Carvacrol, y como se observa, es muy similar entre ellos, como ocurría para la pareja anterior.

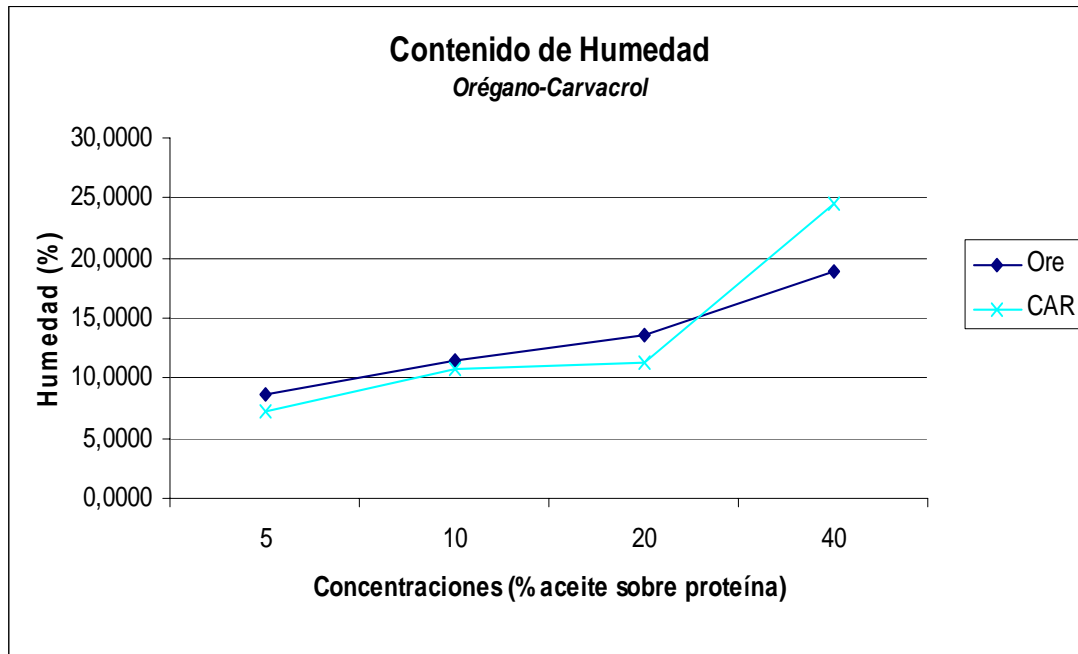


Figura (36): Efecto del aumento de la concentración de aceites (orégano y carvacrol) sobre el contenido aparente de humedad.

El efecto de los aceites sí que afecta de distinta manera al contenido de humedad, aunque la diferencia es leve y no sigue ningún patrón claro.

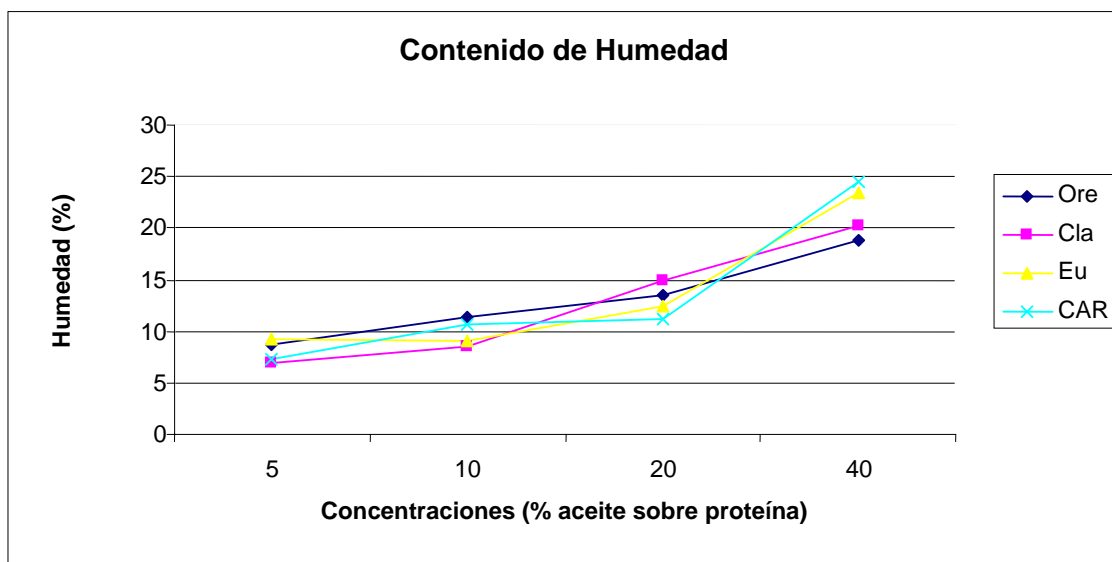


Figura (37): Efecto del aumento de la concentración en los cuatro aceites sobre el contenido aparente de humedad.

Debido a que estos resultados no eran los esperados y teniendo en cuenta que físicamente no tendría sentido pensar que una muestra con una concentración mayor de aceite posea una mayor cantidad de agua se llevó a cabo un experimento posterior comprobando con éste que existía una pérdida de aceites (componentes volátiles) significativa durante un tratamiento de 105°C en 12 horas, aplicado al método de cuantificación de humedad de las películas. Los resultados se recogen a continuación (Tabla 7), llegando con esto a la conclusión de que el método para la medición de la humedad era erróneo, dejando constancia de ello, para enfocar otros estudios posteriores con más acierto, en métodos como liofilización. Con esta técnica conseguiríamos eliminar el agua de la matriz desecando la película al congelar el agua y su posterior sublimación del hielo en condiciones de vacío; al suministrar calor el hielo sublima y se evita el paso por la fase líquida; pero no se retiraría el aceite, pues éste no comparte la temperatura de sublimación.

Por todo ello se postuló que debía de existir un porcentaje relativo de aceite que decrecía en las muestras conforme aumentaba la concentración del mismo.

Para demostrar la pérdida de aceites se desarrolló un experimento en orden a comprobar si se perdían aceites en la estufa en las mismas condiciones que se llevaron a cabo los análisis del contenido de humedad, además de buscar si existía una relación en la cantidad de aceite que afectara a la pérdida de peso, de forma relativa.

Se realizó el ensayo por repetido, en dos días. El ensayo consistía en colocar las dos cantidades (0,10 gramos y 0,50 gramos de aceite) cada una por triplicado en la estufa con las mismas condiciones de ensayo que para el método de cuantificación de humedad de las películas, a 105°C durante 12 horas. Las muestras de aceite se colocaron en los mismos platos de aluminio que se usaron para la prueba de las películas (puesto que es un material que no pierde ni gana materia en el tratamiento térmico).

En el ensayo se comprobó que más de un 99% del aceite que se ensayó se perdió en la estufa.

Con esto comprobamos que efectivamente existía esa pérdida, por lo que se podría explicar que el resultado del estudio de la cantidad de humedad de las películas era erróneo, debido a esta marcada influencia.

A continuación se muestran las tablas que recogen los datos del experimento anterior con los valores de cada muestra del ensayo.

Tabla (7): Datos del experimento de pérdida relativa de pesos de Carvacrol a 105°C, durante 12 horas, para 0,10 gramos y 0,50 gramos de aceite.

Tabla (7.1): partiendo de 0´10 gramos de aceite.

Muestra	1	2	3	4	5	6	
Peso plato	1,9909	1,9491	2,0107	1,9938	2,0000	2,0160	
Peso Aceite	0,1205	0,1203	0,1097	0,1111	0,1083	0,1280	
Peso sistema	2,1114	2,0694	2,1204	2,1049	2,1083	2,1440	
Peso después	1,9918	1,9502	2,0117	1,9943	2,0007	2,0169	
Aceite después estufa	0,0009	0,0011	0,0010	0,0005	0,0007	0,0009	<b>Media</b>
% aceite queda	0,7469	0,9144	0,9116	0,4500	0,6464	0,7031	0,7287
% pérdida de aceite	99,2531	99,0856	99,0884	99,5500	99,3536	99,2969	99,2713

Tabla (7.2): partiendo de 0´50 gramos de aceite.

Muestra	7	8	9	10	11	12	
Peso plato	1,9868	2,0125	2,0033	2,0080	2,0054	1,9870	
Peso Aceite	0,5083	0,5060	0,5151	0,5050	0,5004	0,4975	
Peso sistema	2,4951	2,5185	2,5184	2,5130	2,5058	2,4845	
Peso después	1,9916	2,0170	2,0082	2,0127	2,0101	1,9916	
Aceite después estufa	0,0048	0,0045	0,0049	0,0047	0,0047	0,0046	<b>Media</b>
% aceite queda	0,9443	0,8893	0,9513	0,9307	0,9392	0,9246	0,9299
% pérdida de aceite	99,0557	99,1107	99,0487	99,0693	99,0608	99,0754	99,0701

### 4.2.2. Propiedades mecánicas

- Efecto de las variables tipo de aceite y concentración sobre propiedades mecánicas.

De todas las tiras, una vez cortadas y equilibradas, se registraron los valores de sus pesos, y grosores, para con estos poder calcular el gramaje. Las dimensiones se fijaron a todas por igual, al ancho era estándar por ser el ancho creado por la doble cizalla, y su largo se fijó a 75 mm con el fin de ser un superior a la distancia inicial entre las pinzas del texturómetro, para dar margen y asegurar su agarre.

**Tabla (8): Datos medios de longitud (mm), anchura (mm), grosor (mm), peso (g), sección (mm<sup>2</sup>), área (mm<sup>2</sup>) y gramaje (g/m<sup>2</sup>) de todos los film ensayados.**

		<i>grosor (mm)</i>	<i>Peso (g)</i>	<i>Sección (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Area (mm<sup>2</sup>)</i>	<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>
<i>Control</i>		0,090	0,168	2,298	1905,0	89,79
<i>Ore</i>	<b>5%</b>	0,106	0,193	2,686	1905,0	101,19
	<b>10%</b>	0,114	0,189	2,888	1905,0	99,00
	<b>20%</b>	0,115	0,212	2,928	1905,0	111,34
	<b>40%</b>	0,104	0,191	2,637	1905,0	100,773
<i>Cla</i>	<b>5%</b>	0,098	0,193	2,480	1905,0	101,14
	<b>10%</b>	0,122	0,204	3,102	1905,0	107,18
	<b>20%</b>	0,125	0,218	3,175	1905,0	114,19
	<b>40%</b>	0,119	0,248	3,010	1905,0	115,81
<i>Eu</i>	<b>5%</b>	0,108	0,190	2,384	1905,0	99,70
	<b>10%</b>	0,128	0,214	3,256	1905,0	112,36
	<b>20%</b>	0,098	0,189	2,481	1905,0	99,10
	<b>40%</b>	0,125	0,269	3,169	1905,0	141,31
<i>CAR</i>	<b>5%</b>	0,114	0,197	2,906	1905,0	103,35
	<b>10%</b>	0,092	0,177	2,335	1905,0	93,14
	<b>20%</b>	0,096	0,180	2,428	1905,0	94,45
	<b>40%</b>	0,106	0,228	2,703	1905,0	119,53

Después de realizar el ensayo de tracción, se obtuvieron los siguientes valores de tensión máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>) y elongación relativa máxima:

**Tabla (9): Media y desviación típica de las propiedades mecánicas correspondientes a los films ensayados.**

	<i>Fuerza máxima de rotura (N)</i>	<i>Elongación máxima (mm)</i>	<i>Tensión máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Elongación relativa (%)</i>
<b>Control</b>	42,58	1,77	20,217 ± 11,09 <sup>ab</sup>	3,432 ± 1,50 <sup>a</sup>
<b>Ore</b>	5%	53,62	19,93 ± 6,96 <sup>bcA</sup>	4,560 ± 2,59 <sup>aA</sup>
	10%	68,77	24,15 ± 5,56 <sup>cB</sup>	2,840 ± 0,59 <sup>aA</sup>
	20%	44,46	14,07 ± 5,91 <sup>abA</sup>	15,43 ± 9,57 <sup>bA</sup>
	40%	29,478	30,216	10,65 ± 2,49 <sup>aC</sup>
<b>Cla</b>	5%	54,28	21,71 ± 5,16 <sup>bA</sup>	4,960 ± 2,33 <sup>aA</sup>
	10%	49,29	16,11 ± 5,86 <sup>abAB</sup>	4,560 ± 2,29 <sup>aA</sup>
	20%	47,32	15,48 ± 5,00 <sup>abA</sup>	12,34 ± 7,20 <sup>aA</sup>
	40%	30,50	51,91	10,34 ± 1,10 <sup>aC</sup>
<b>Eu</b>	5%	61,14	34,02 ± 29,34 <sup>cA</sup>	3,530 ± 0,81 <sup>aA</sup>
	10%	64,23	20,19 ± 4,34 <sup>cB</sup>	3,390 ± 0,68 <sup>aA</sup>
	20%	38,56	15,13 ± 4,25 <sup>abA</sup>	11,14 ± 8,54 <sup>aA</sup>
	40%	22,26	56,25	7,09 ± 0,56 <sup>bB</sup>
<b>CAR</b>	5%	59,45	20,73 ± 4,95 <sup>cA</sup>	3,900 ± 1,42 <sup>aA</sup>
	10%	37,53	15,78 ± 7,95 <sup>abA</sup>	12,87 ± 8,13 <sup>aB</sup>
	20%	33,87	13,91 ± 6,17 <sup>abA</sup>	13,44 ± 9,21 <sup>aA</sup>
	40%	15,42	38,04	5,70 ± 1,39 <sup>aA</sup>

Para los valores seguidos con distintas letras éstas presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

A continuación se muestran las gráficas elaboradas a partir de los valores recogidos en la tabla anterior. En la gráfica (Figura 38) se observa una vista de las películas control y las películas con cuatro aceites, en sus 4 concentraciones. Los valores de la tensión máxima media para cada una de las soluciones están representados con rombos, mientras que los valores de elongación relativa media están representados con barras. En líneas generales se observa perfectamente la tendencia a, conforme se aumenta la concentración de aceite, las películas presentan una menor tensión máxima de rotura, como era de esperar; mientras ocurre una progresión creciente para los valores de elongación. Es decir, en líneas generales, se concluye que al haber una mayor cantidad de aceite en el film, este actúa como un plastificante otorgando a la película una mayor elongación relativa, además, ofrecer una tensión menor de rotura, el aceite se introducía en las cadenas de la zeína, creando una malla molecular más amplia, otorgando una mayor movilidad a dichas cadenas poliméricas; se traduce en que se estira con más facilidad, como también se observó a simple vista.

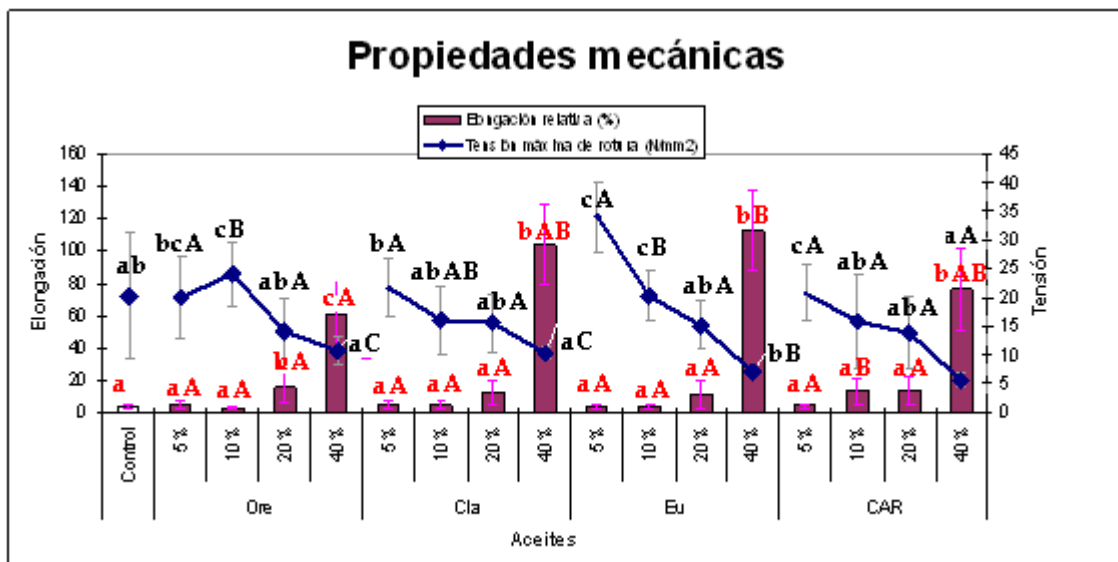


Figura (38): Efecto de las diferentes concentraciones en los cuatro aceites sobre las propiedades mecánicas: elongación relativa (%) y tensión máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>).

En las gráficas (Figuras 39 y 40) se representan únicamente los films control, los de orégano y carvacrol, en la primera, y control, clavo y eugenol, en la segunda. Esto se hace con motivo de una vista más comparativa entre el aceite y su principio activo, para su discusión posterior.

- *Efecto de la concentración de aceite y del tipo de aceite (orégano o carvacrol) sobre la tensión máxima de rotura.*

Salvo el caso de la media de los valores de tensión y de elongación para las películas de orégano 10%, el resto de los valores se comportan siguiendo un patrón muy claro, definido anteriormente de modo general para la tabla conjunta de todos los aceites.

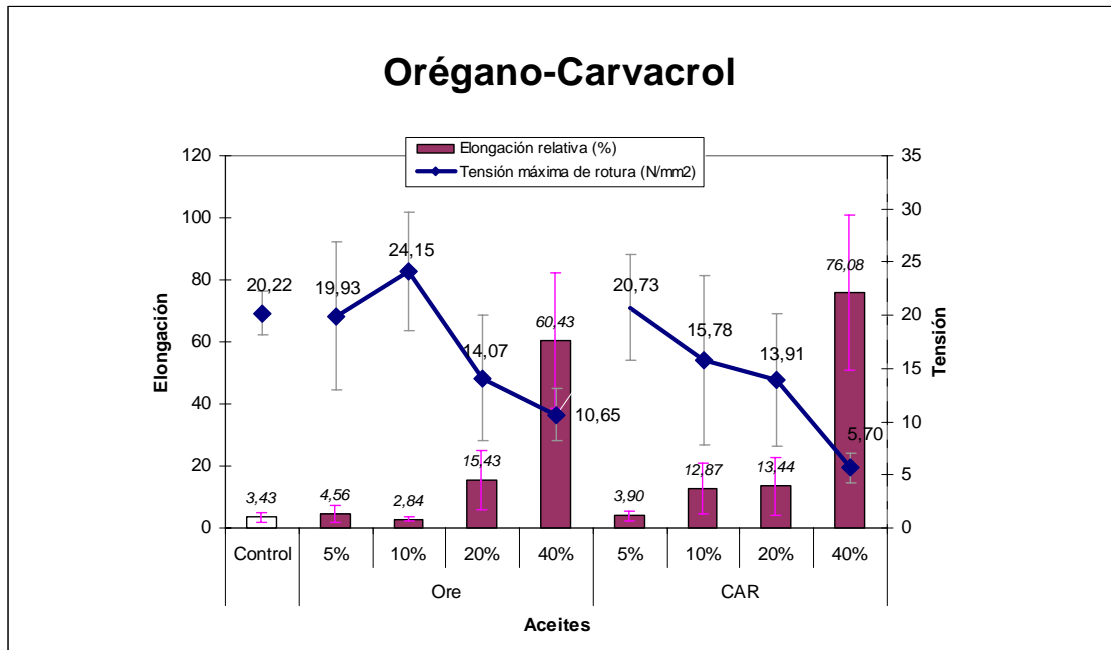


Figura (39): Comparación del efecto de las diferentes concentraciones en aceites sobre las propiedades mecánicas: elongación relativa (%) y tensión máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>) entre el orégano y su principio activo carvacrol.

Las películas control dieron valores más altos para las tensiones y más bajos para las elongaciones, como cabía esperar, ya que en las películas control no había nada de aceite.

En cuanto a la tensión máxima de rotura que ejercen los films los datos son muy similares para los dos aceites en cada una de sus concentraciones, por lo que se podría decir que afecta de una forma mucho más significativa la concentración del aceite que el tipo de aceite. Exceptuando el caso del orégano 10% y del carvacrol 40%, cuyos comportamientos se alejan un poco de la tendencia general. Los valores decrecen a medida que se aumenta la concentración de aceite.

Para la elongación, a medida que se aumenta la concentración ésta aumenta significativamente. Así como para la tensión el decrecimiento era de una forma más suave y progresiva, para la elongación no sucede así, pues entre las concentraciones de 0% (control), 5%, 10% y 20%, los valores cercanos entre 3

y 15 N/mm<sup>2</sup>, en oposición a lo que sucede con las concentraciones de 40% pues estos valores se disparan. En el caso del orégano el valor de la concentración de 40% es aproximadamente 4 veces el valor que toman las medias de las películas de orégano 20%. Más marcado es el caso del carvacrol 40%, pues es este valor más de cinco veces superior a su concentración inmediatamente inferior (carvacrol 20%), que toma un valor de 13,44 N/mm<sup>2</sup>.

- *Efecto de la concentración de aceite y del tipo de aceite (clavo y eugenol) sobre la tensión máxima de rotura.*

Para estos aceites sí que se puede ver una variación mayor entre los valores de una misma concentración de clavo y eugenol para la media de la tensión máxima de rotura. Aunque se comportan de forma similar, los valores del eugenol dan un decrecimiento más pronunciado que para el caso del aceite esencial. En el caso del clavo, la concentración de un 5% da una tensión de 21,71 N/mm<sup>2</sup> y 10,34 N/mm<sup>2</sup> que supone aproximadamente un decrecimiento del 50%. Sin embargo, para el eugenol, que parte de un valor significativamente superior para su concentración menor eugenol 5% da 34,02 N/mm<sup>2</sup> decrece a 7,09 N/mm<sup>2</sup> para las concentraciones de 40%, lo cual supone una reducción de más de cuatro veces su valor para 5% de eugenol.

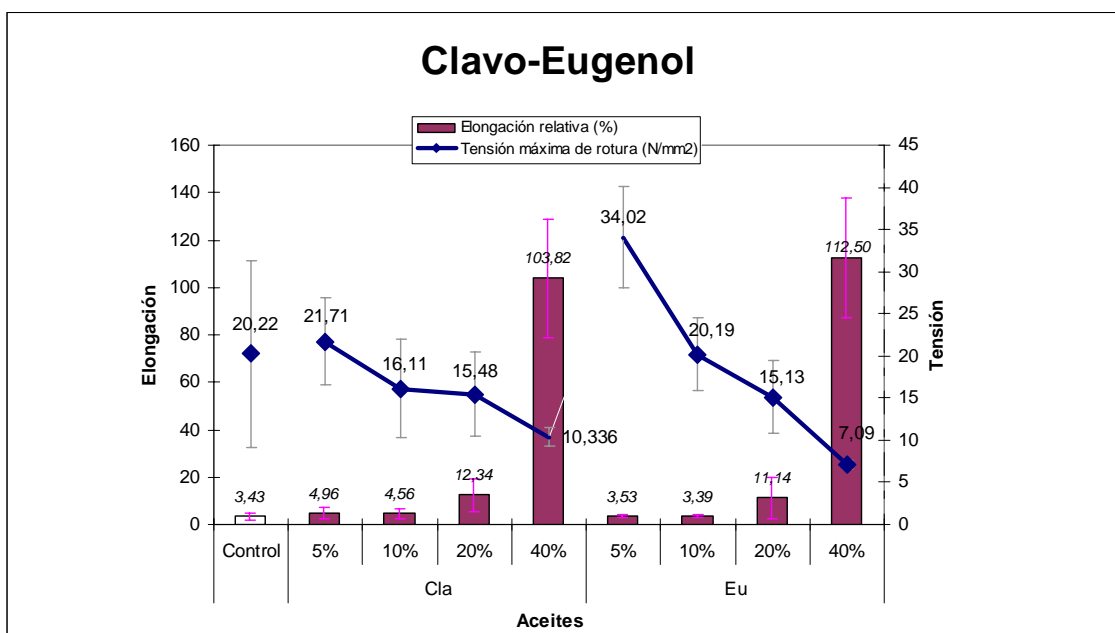


Figura (40): Comparación del efecto de las diferentes concentraciones en aceites sobre las propiedades mecánicas: elongación relativa (%) y tensión máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>) entre el clavo y su principio activo eugenol.

Por lo que en este caso sí que queda contrastado que influye el tipo de aceite que afecta a la tensión máxima de rotura. Siendo el clavo más similar a los casos anteriores, y el eugenol el aceite que más tensión máxima presentó en sus concentraciones inferiores.



En cuanto a la elongación, los valores medidos para cada uno de los aceites fueron muy similares entre ellos, comparando concentración por concentración.

Por lo que no parece que el tipo de aceite afecte a la elongación, aunque sí a la concentración. Para esto, se aprecia el fenómeno similar al caso de la comparativa anterior de los aceites de orégano y carvacrol. El control se mantiene con valores inferiores de elongación pues éste no presenta aceite. Las concentraciones de 0%, 5%, 10% y 20% dan resultados entre 3'43 N/mm<sup>2</sup> y 12'34 N/mm<sup>2</sup>, con una leve tendencia creciente que se dispara al llegar a las concentraciones de 40% de clavo, tomando ésta 103'82 N/mm<sup>2</sup> que más de ocho veces el valor de la concentración de 20%; mientras que en el caso del eugenol, la concentración de 40% da 112'5 N/mm<sup>2</sup>, que es más de diez veces superior al de la tensión de 20% para eugenol.

- *Efecto de la concentración de aceite sobre las propiedades mecánicas de los film.*

En la gráfica (Figura 41) se aprecia de forma gráfica la diferencia de comportamiento del film para un mismo aceite con diferentes concentraciones. Los gráficos que siguen son los obtenidos del programa *Texture Expert Exceed*, donde se grafica la distancia de las pinzas y la fuerza que soporta el film.

Como en líneas anteriores, se aprecia el comportamiento con tendencia a aumentar la elongación y disminuir la tensión de rotura conforme se va incrementando la concentración de aceite.

A continuación se representan gráficos realizados por el programa *Textura Expert Exceed*, en el análisis del texturómetro. Se seleccionaron muestras de film de cada concentración y cada aceite atendiendo a ser las más representativas dentro de su conjunto de muestreo. Los datos representados por el programa son los obtenidos directamente al ejecutar el ensayo, sin tener en cuenta los errores de arrugado, y demás factores de corrección con los que posteriormente se obtuvieron los resultados reflejados en la tabla anterior.

Como se ve a continuación, el orégano es el ejemplo más representativo de este fenómeno. Se observa la compatibilidad entre el aceite y la zeína, como éste actúa como plastificante además de como componente activo.

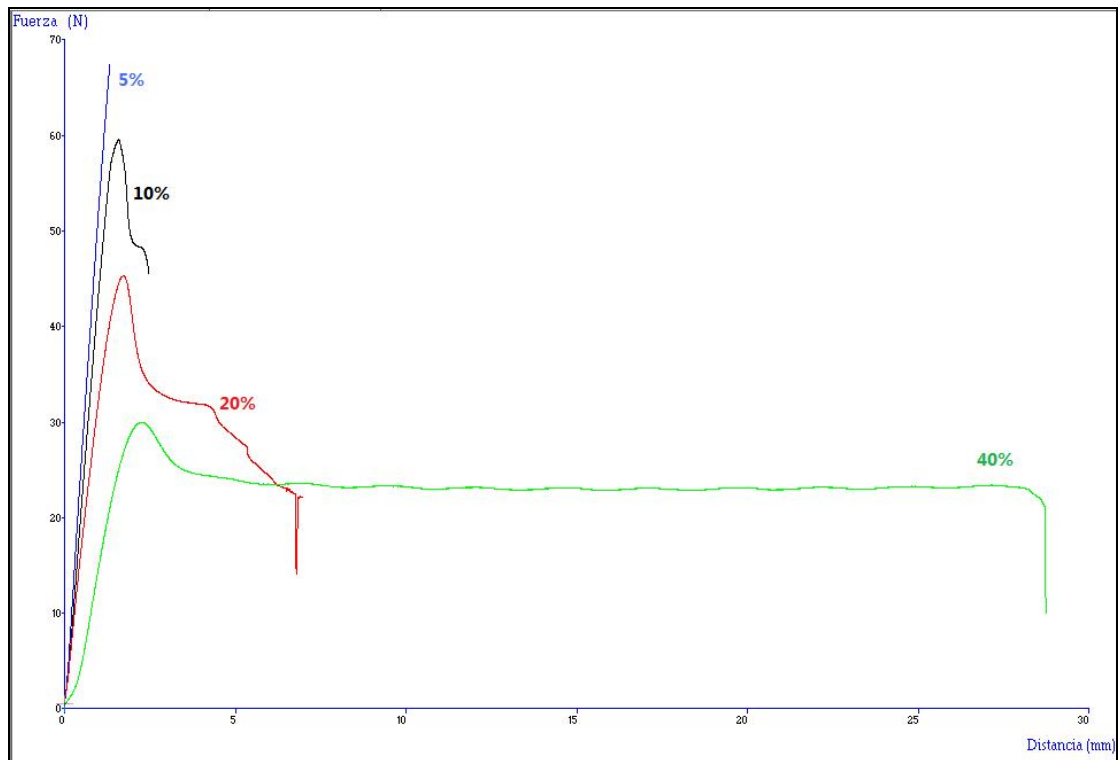


Figura (41): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración de orégano).

○ *Análisis estadístico:*

A continuación se muestra una tabla resumen con los valores medios y desviación típica de la elongación relativa y de la tensión máxima de rotura para cada solución seguidos de letras, que representan las diferencias significativas en sentido horizontal (a,b,c, y d), comparando así las concentraciones dentro de un mismo aceite, como vertical (A,B,C, y D), atendiendo a las diferencias significativas entre los cuatro aceites.

**Tabla (10): Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la elongación relativa (%) de las películas seguidas por las letras estadísticas.**

	0%	5%	10%	20%	40%
<b>Ore</b>	3,432 ± 1,50 <sup>a</sup>	4,560 ± 2,59 <sup>aA</sup>	2,840 ± 0,59 <sup>aA</sup>	15,43 ± 9,57 <sup>bA</sup>	60,43 ± 25,19 <sup>cA</sup>
<b>Cla</b>	3,432 ± 1,50 <sup>a</sup>	4,960 ± 2,33 <sup>aA</sup>	4,560 ± 2,29 <sup>aA</sup>	12,34 ± 7,20 <sup>aA</sup>	103,82 ± 47,76 <sup>bAB</sup>
<b>EU</b>	3,432 ± 1,50 <sup>a</sup>	3,530 ± 0,81 <sup>aA</sup>	3,390 ± 0,68 <sup>aA</sup>	11,14 ± 8,54 <sup>aA</sup>	112,50 ± 45,26 <sup>bB</sup>
<b>CAR</b>	3,432 ± 1,50 <sup>a</sup>	3,900 ± 1,42 <sup>aA</sup>	12,87 ± 8,13 <sup>aB</sup>	13,44 ± 9,21 <sup>aA</sup>	76,08 ± 32,00 <sup>bAB</sup>

Para los valores seguidos con distintas letras éstas presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

*Elongación relativa:*

El aumento de la concentración de aceite en las películas afecta de forma significativa en el orégano, en el resto de los aceites sólo se muestra una diferencia significativa para las concentraciones al 40% de aceite en la película.

Para todas las concentraciones los aceites no muestran diferencias significativas; excepto en el carvacrol, que es diferente para concentraciones de 10% y 40%.

**Tabla (11): Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la tensión máxima de rotura (N/mm<sup>2</sup>) de las películas seguidas por las letras estadísticas.**

	0%	5%	10%	20%	40%
Ore	20,217 ± 11,09 <sup>ab</sup>	19,93 ± 6,96 <sup>bcA</sup>	24,15 ± 5,56 <sup>cB</sup>	14,07 ± 5,91 <sup>abA</sup>	10,65 ± 2,49 <sup>aC</sup>
Cla	20,217 ± 11,09 <sup>ab</sup>	21,71 ± 5,16 <sup>bA</sup>	16,11 ± 5,86 <sup>abAB</sup>	15,48 ± 5,00 <sup>abA</sup>	10,34 ± 1,10 <sup>aC</sup>
EU	20,217 ± 11,09 <sup>b</sup>	34,02 ± 29,34 <sup>cA</sup>	20,19 ± 4,34 <sup>cB</sup>	15,13 ± 4,25 <sup>abA</sup>	7,09 ± 0,56 <sup>bB</sup>
CAR	20,217 ± 11,09 <sup>bc</sup>	20,73 ± 4,95 <sup>cA</sup>	15,78 ± 7,95 <sup>abA</sup>	13,91 ± 6,17 <sup>abA</sup>	5,70 ± 1,39 <sup>aA</sup>

*Para los valores seguidos con distintas letras éstas presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).*

#### *Tensión máxima de rotura:*

El aumento de la concentración de aceite en el film afecta a la tensión máxima de rotura, pues ésta presenta diferencias significativas entre los diferentes tipos de aceite, siendo el más notorio el caso del clavo y el que presenta unas diferencias significativas más leves es el eugenol).

El tipo de aceite afecta a la tensión máxima de rotura de las películas sólo a las concentraciones de 10% (sólo el carvacrol) y 40%.

#### *Conclusión:*

La concentración afecta a la tensión máxima de rotura en todos sus aceites. A la elongación no le afecta la concentración hasta el 40%, excepto el orégano que sí que muestra tener una relación conforme se varía la concentración.

En general el tipo de aceite sí que afecta a ambas propiedades mecánicas, habiéndose obtenido diferencias significativas entre los aceites para cada concentración.

### 4.2.3. WVP

Con los datos de los espesores de las películas y en función de la cantidad de vapor de agua que han permitido pasar a través de ellas, se desarrollan una serie de cálculos para determinar la permeabilidad al vapor de agua de cada película (WVP) y la humedad relativa que hubo en la cara interior del film (rh-underneath), se hacen medias para agrupar los datos en la siguiente tabla. Los cálculos detallados de esta propiedad se encuentran especificados en las tablas adjuntas en el apartado de anejos.

**Tabla (12): Media y desviación típica de la permeabilidad al vapor de agua y de la humedad relativa en la cara interior del film .**

	rh-underneath (%)	WVP (g·mm/kPa·h·m <sup>2</sup> )
<b>Control</b>	91,37 ± 0,13	0,76 ± 0,10 <sup>b</sup>
<b>Ore 5%</b>	90,28 ± 1,26	0,89 ± 0,17 <sup>bA</sup>
<b>10%</b>	93,54 ± 0,12	0,87 ± 0,08 <sup>aBC</sup>
<b>20%</b>	94,43 ± 0,62	0,54 ± 0,08 <sup>aA</sup>
<b>40%</b>	95,77 ± 0,79	0,52 ± 0,04 <sup>aA</sup>
<b>Cla 5%</b>	90,62 ± 0,91	1,03 ± 0,36 <sup>aA</sup>
<b>10%</b>	91,74 ± 0,45	1,02 ± 0,09 <sup>aC</sup>
<b>20%</b>	92,83 ± 0,62	0,83 ± 0,10 <sup>aB</sup>
<b>40%</b>	92,86 ± 0,38	0,93 ± 0,12 <sup>aB</sup>
<b>Eu 5%</b>	91,48 ± 1,54	0,93 ± 0,09 <sup>bA</sup>
<b>10%</b>	91,76 ± 0,78	0,69 ± 0,14 <sup>aAB</sup>
<b>20%</b>	92,46 ± 0,84	0,78 ± 0,20 <sup>abB</sup>
<b>40%</b>	92,76 ± 0,43	0,70 ± 0,11 <sup>aA</sup>
<b>CAR 5%</b>	90,18 ± 1,24	1,09 ± 0,18 <sup>cA</sup>
<b>10%</b>	92,47 ± 0,64	0,83 ± 0,13 <sup>abA</sup>
<b>20%</b>	92,49 ± 1,16	0,91 ± 0,13 <sup>bcB</sup>
<b>40%</b>	94,06 ± 0,27	0,65 ± 0,15 <sup>aA</sup>

En las gráficas (Figuras 42, 43, 44, y 45) se representan los datos de la tabla anterior.

Por lo general se observa un decrecimiento en el valor de la permeabilidad como patrón de comportamiento a medida que se aumenta la cantidad de aceite que posee el film. Estando los valores medios comprendidos entre 0,50 y 1,00 g mm/kPa · h m<sup>2</sup>. Entre los diferentes aceites no se apreciaron diferencias relevantes. Con todos los aceites se dio la circunstancia de que el valor de la permeabilidad para las películas de las concentraciones inferiores (5% de aceite) dio un valor superior al del control.

Otros investigadores hablan de permeabilidades buenas para films elaborados a partir de zeína, refiriéndose a valores inferiores a 2'0 (g mm/kPa · h m<sup>2</sup>) (Mendoza, 2009) y en el caso del almidón con diferentes surfactantes como glicerol los valores de permeabilidad están próximos a 2'0 (g mm/kPa · h m<sup>2</sup>) (Rodríguez Gil de Gómez, TFC 2003). Esto puede ser debido a que la adición de aceite le confiere a la estructura de la matriz de la película un carácter hidrofóbico, así, a mayor concentración de aceite, mayor hidrofobicidad lo cual nos señala una menor permeabilidad al vapor de agua, es decir, una mejor barrera a la humedad.

En la gráfica (Figura 42) se observan los valores medios de la permeabilidad de los seis film muestreados de las cuatro formulaciones de orégano y el valor del control (0,76 g mm/kPa · h m<sup>2</sup>). El orégano fue el único aceite que conservó el decrecimiento conforme se iba aumentando la cantidad de aceite. Los valores medios para las concentraciones de 5% y 10% son muy similares, 0'89 y 0'87 (g mm/kPa · h m<sup>2</sup>), mientras que para las concentraciones de 20% y 40% se produce un descenso importante pues ambas concentraciones toman valores similares siendo poco más de la mitad que para las anteriores 0'54 y 0'52 (g mm/kPa · h m<sup>2</sup>).

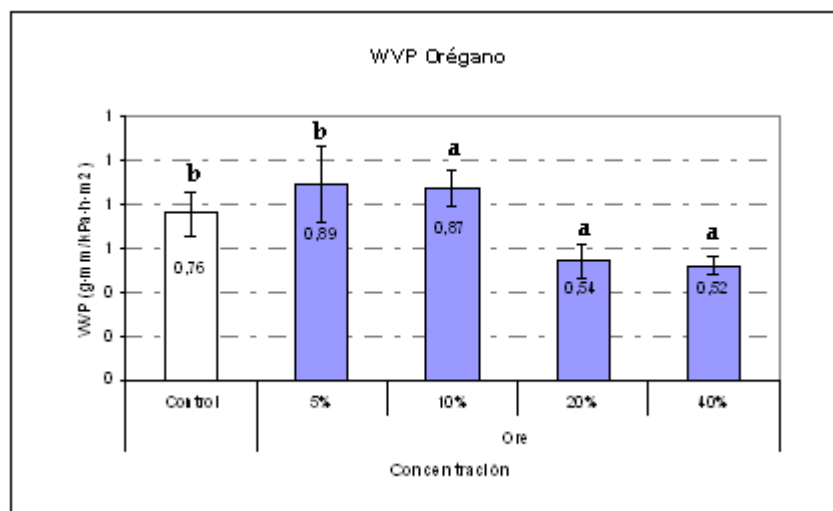


Figura (42): Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup>) de control y orégano 5%, 10%, 20% y 40%.

En la gráfica (4.14) se observan los datos medios de la permeabilidad para el clavo, al contrario que para el caso del orégano, el clavo presenta unos valores más homogéneos con tendencia decreciente, aunque en el caso de la concentración de 40% da unos valores de permeabilidad ligeramente superior a su concentración inmediatamente inferior ensayada (20%).

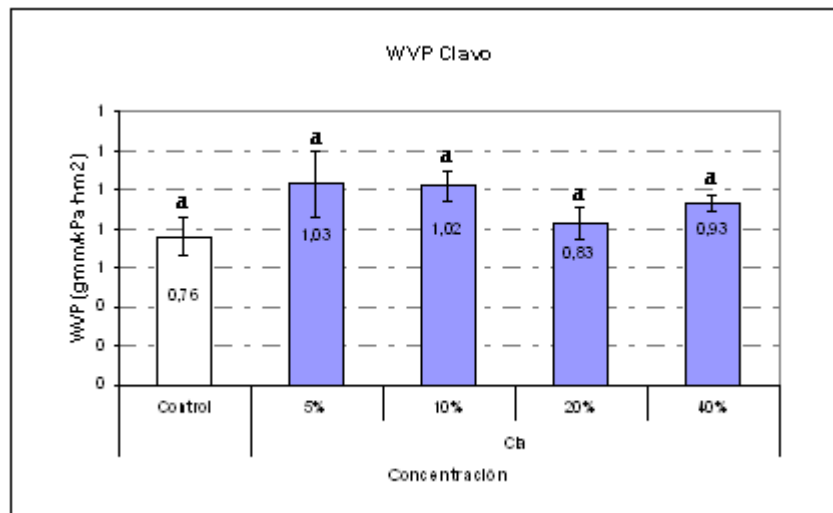


Figura (43): Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m²) de control y clavo 5%, 10%, 20% y 40%.

Los datos para el Eugenol presentan oscilaciones, sin llevar una tendencia clara. Sus valores están entre 1,03 y 0,83 (g mm/kPa h m2).

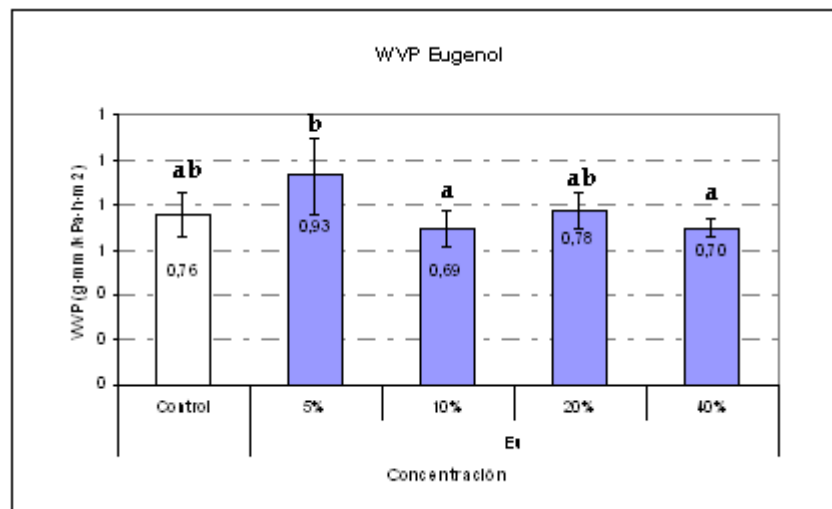


Figura (44): Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m²) de control y eugenol 5%, 10%, 20% y 40%.

La tendencia en este caso es decreciente, salvo para la concentración del 20% que toma un valor incluso superior a su concentración inmediatamente inferior (10%).

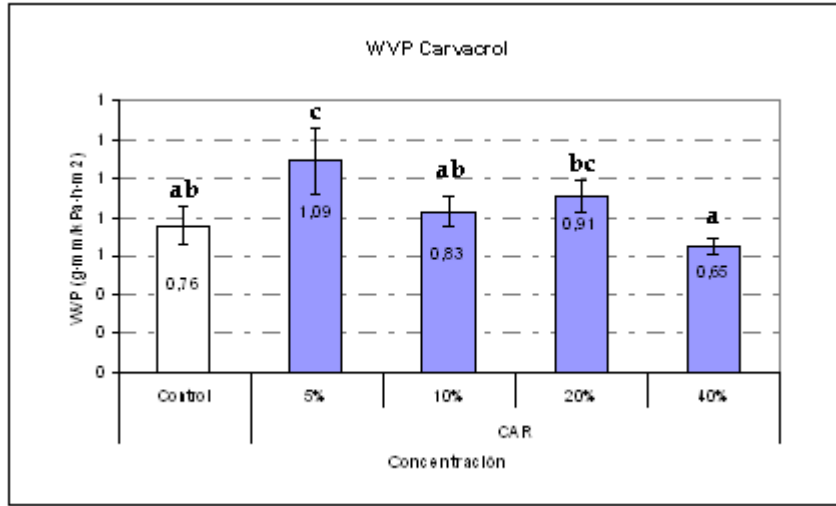


Figura (45): Gráfica medias de valores WVP (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup>) de control y carvacrol 5%, 10%, 20% y 40%.

En la siguiente gráfica se presentan todos los valores en el mismo gráfico con la ventaja de que éstos puedan ser comparados entre ellos. Como vemos, entre los diferentes tipos de aceite sus comportamientos son muy similares, sobretudo el clavo el eugenol y el carvacrol, siendo el orégano el caso más dispar; oscilando entre los mismos rangos de datos aproximadamente. Por lo que se descartó que el tipo de aceite fuera un factor que influyera en la permeabilidad.

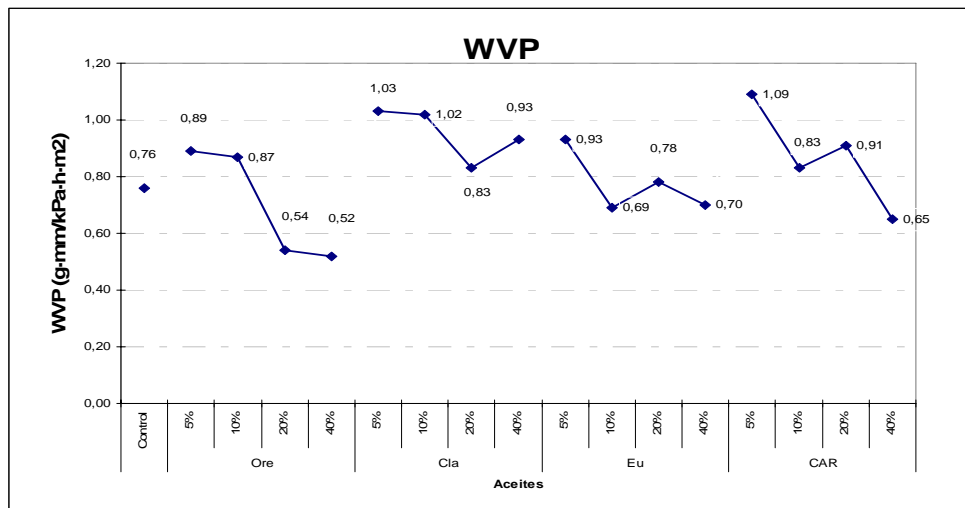


Figura (46): Efecto de la concentración de los cuatro aceites sobre la permeabilidad al vapor de agua.



El espesor medio de las películas ensayadas fue  $120 \pm 20 \mu m$ . Se observó que las películas con una mayor cantidad de aceite fueron películas menos permeables, por lo tanto la concentración modifica la organización molecular.

Así, en función del objetivo final de la producción de la película se podría conseguir una película más o menos permeable al vapor de agua, en función de lo que precisemos modificando la concentración de aceite esencial en la matriz del film.

○ *Análisis estadístico:*

Excepto en el caso del clavo, para el resto de los aceites hay diferencias significativas en los valores de permeabilidad al vapor de agua conforme aumenta su concentración. Las diferencias significativas son más notorias en el siguiente orden creciente; orégano más que eugenol más que carvacrol.

El tipo de aceite sólo afecta de forma significativa a concentraciones del 10%; excepto el orégano que afectaría también al 20% y el carvacrol al 40%.

La concentración del aceite afecta a la permeabilidad al vapor de agua para todos los aceites excepto para el clavo.

El tipo de aceite afectaría a la permeabilidad al vapor de agua a todas las concentraciones excepto para la más baja (5%).

A continuación, se presenta una tabla resumen de los valores medios y desviaciones típicas de WVP, seguidos por las letras estadísticas que muestran las diferencias significativas entre cada valor.

**Tabla (13): Resumen de valores medios y desviaciones típicas de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup>) de las películas seguidas por las letras estadísticas.**

	0%	5%	10%	20%	40%
<b>Ore</b>	0,76 ± 0,10 <sup>b</sup>	0,89 ± 0,17 <sup>bA</sup>	0,87 ± 0,08 <sup>aBC</sup>	0,54 ± 0,08 <sup>aA</sup>	0,52 ± 0,04 <sup>aA</sup>
<b>Cla</b>	0,76 ± 0,10 <sup>a</sup>	1,03 ± 0,36 <sup>aA</sup>	1,02 ± 0,09 <sup>aC</sup>	0,83 ± 0,10 <sup>aB</sup>	0,93 ± 0,12 <sup>aB</sup>
<b>EU</b>	0,76 ± 0,10 <sup>ab</sup>	0,93 ± 0,09 <sup>bA</sup>	0,69 ± 0,14 <sup>aAB</sup>	0,78 ± 0,20 <sup>abB</sup>	0,70 ± 0,11 <sup>aA</sup>
<b>CAR</b>	0,76 ± 0,10 <sup>ab</sup>	1,09 ± 0,18 <sup>cA</sup>	0,83 ± 0,13 <sup>abA</sup>	0,91 ± 0,13 <sup>bcB</sup>	0,65 ± 0,15 <sup>aA</sup>













*Para los valores seguidos con distintas letras éstas presentan diferencias significativas (P<0'05).*

En la tabla se representan las diferencias significativas en sentido horizontal (a,b,c, y d), comparando así las concentraciones, como vertical (A,B,C, y D), atendiendo a las diferencias significativas entre los cuatro aceites.

### 4.3. Resumen de los resultados obtenidos:

En este apartado se resumen los resultados obtenidos en el estudio, con el fin de de crear una visión global de los diferentes factores y hacer una valoración conjunta. En el cuadro que sigue se muestran las deducciones del estudio estadístico aplicado a las propiedades estudiadas.

**Tabla (14): Resumen de la influencia de los factores tipo de aceite y concentración de aceite sobre las características de los film.**

Caracterización		Factores principales		
		Tipo de aceite	Concentración	
Solución	<i>Tensión superficial</i>	 (5% y 10%)  (20 y 40%)	 (-EU)	
Películas	<i>Contenido en humedad</i>	 (-40%)		
	<i>Propiedades mecánicas</i>	<i>Elongación</i>	 (-40%)	 (ORE)  (-40%)
		<i>Tensión</i>		
	<i>WVP</i>			 (-CLA)



Diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.



No hay diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

Teniendo en cuenta las diferencias significativas en el cuadro anterior, se podría decir que, en general, el tipo de aceite no fue un factor muy significativo, mientras que la concentración sí que lo fue.

La caracterización de la solución comprendía la prueba de tensión superficial, en la cual para las concentraciones inferiores (5 y 10%) sí que había

diferencias significativas en los valores de tensión superficial entre los cuatro aceites, no así para las concentraciones superiores que, excepto en el caso del carvacrol, el resto de los aceites dieron concentraciones sin diferencias significativas. Dentro de un mismo aceite, la concentración no presentaba diferencias significativas en conjunto, excepto para el eugenol, por lo que se concluyó que la concentración de aceite no afectaba de forma significativa a la tensión superficial.

Para caracterizar las películas se realizaron tres pruebas diferentes, como se indicó con anterioridad: contenido en humedad, propiedades mecánicas, y permeabilidad al vapor de agua.

En primer lugar, de los resultados obtenidos para la prueba del contenido en humedad de las películas se podría decir, que ambos factores eran influyentes en dicha prueba, lo que es lo mismo, tanto la concentración como el tipo de aceite eran características influyentes en el contenido final de humedad de las películas. Sin olvidar que esta prueba no se dio por fiable, pues se comprobó que se perdía aceite, como ya quedó reflejado anteriormente.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el factor que pareció influyente fue la concentración del aceite para la prueba de la tensión máxima de rotura. Salvo el orégano, que fue el único aceite que mostró diferencias significativas al aumentar su concentración en la prueba de la elongación relativa; y la concentración del 40% que sí que era significativamente diferente al resto en los cuatro aceites para la prueba de la elongación.

La permeabilidad al vapor de agua resultó afectada significativamente por la concentración del aceite en la película, pero no así por el tipo de aceite que ésta contuviera; excepto para el clavo, el cual sí que presentó diferencias significativas con respecto a sus concentraciones para la permeabilidad de la película.

## 5. CONCLUSIONES:

- ◆ En general, de los dos factores estudiados, el tipo de aceite y la concentración de éste presente en las diferentes soluciones, tan sólo la concentración era un factor mayoritariamente significativo para las características tecnológicas de las distintas formulaciones.

- ◆ Un aumento en la concentración de aceite dio lugar a películas más brillantes, con menor tensión máxima de rotura y con una mayor elongación relativa, disminuyendo la capacidad de barrera frente a la permeabilidad al vapor de agua.

- ◆ El tipo de aceite sí que fue un factor significativo en la tensión superficial de las soluciones formadoras de films. Así, el clavo y el carvacrol muestran tendencias crecientes y decrecientes, respectivamente conforme se aumenta la concentración presente de ambos en las soluciones. Mientras que el orégano y el eugenol no seguían una tendencia clara.

- ◆ Todos los valores de tensión superficial fueron relativamente similares en conjunto, ciertamente influenciados por la tensión superficial de su componente mayoritario, el etanol, su mojabilidad fue adecuada.

- ◆ Entre el aceite y su principio activo no había una relación significativa, para ninguno de los dos casos.

- ◆ La humedad aparente de las películas aumentaba conforme se aumentaba la concentración de aceite, habiendo también diferencias significativas entre los valores de los distintos aceites. Se estudió que esto no era explicable desde un punto de vista científico, por lo que se comprobó que el método utilizado para este estudio no fue válido.

- ◆ La elongación relativa de las películas se vio afectada por el aumento de la concentración de aceite, afectando ésta de forma significativa en el orégano, en el resto de los aceites sólo mostró una diferencia significativa para las concentraciones al 40% de aceite en la película.

- ◆ El aumento de la concentración de aceite en el film afecta a la tensión máxima de rotura, pues ésta presenta diferencias significativas entre los

diferentes tipos de aceite, siendo el más notorio el caso del clavo y el que presenta unas diferencias significativas más leves es el eugenol.

- ◆ La concentración afecta a la tensión máxima de rotura en todos sus aceites. A la elongación no le afecta la concentración hasta el 40%, excepto el orégano que sí que muestra tener una relación conforme se varía la concentración. En general el tipo de aceite sí que afecta a ambas propiedades mecánicas, habiéndose obtenido diferencias significativas entre los aceites para cada concentración.

- ◆ Excepto en el caso del clavo, para el resto de los aceites hay diferencias significativas en los valores de permeabilidad al vapor de agua conforme aumenta su concentración. Las diferencias significativas son más notorias en el siguiente orden creciente; orégano más que eugenol más que carvacrol.

- ◆ El tipo de aceite afectaría a la permeabilidad al vapor de agua a todas las concentraciones excepto para la más baja (5%).

- ◆ La mejor permeabilidad al vapor de agua la presentó el carvacrol al 5%, seguida de muy cerca por el clavo (5% y 10%). La peor permeabilidad al vapor de agua fue el orégano 40%, guardando gran diferencia con el resto de los aceites y concentraciones.

- ◆ En cuanto a las propiedades mecánicas, las peores fueron el orégano al 10% y el eugenol al 5%, pues fueron las películas más rígidas y más quebradizas. Las mejores fueron carvacrol 40%, que presentó el menor valor de tensión máxima de rotura, y el tercer valor mayor de elongación relativa de las películas. Las películas con mayor elongación relativa fueron las correspondientes a las formulaciones de eugenol 40% y clavo 40%.

- ◆ En resumen, el carvacrol destacó por ser el mejor tanto en permeabilidad al vapor de agua, como en propiedades mecánicas, al contrario que el orégano que destacó por ser la peor permeabilidad al vapor de agua, y el peor en propiedades mecánicas. El eugenol y el clavo, en sus concentraciones de 40% fueron muy películas con muy buenas características mecánicas.

- ◆ Al comparar cada aceite con su principio activo, el orégano es más quebradizo que el carvacrol, al mismo tiempo, la elongación relativa del

orégano es menor. La permeabilidad al vapor de agua es mejor para el carvacrol. Concluyendo que de entre los dos, sería mejor el principio activo.

- Comparando el clavo con el eugenol, éste es más rígido y más elongable que su aceite esencial.

- Una correcta formulación del tipo de aceite y de su concentración en las películas de zeína confiere al films las propiedades óptimas para su aplicación potencial en el sector de alimentación, siempre atendiendo a la demanda del producto a recubrir, en función de sus necesidades.

- Con el presente estudio se ha conseguido caracterizar las películas elaboradas a partir de zeína, PEG y aceites esenciales de orégano, clavo, eugenol y carvacrol, llegando a conclusiones generales, pero que abren el camino a nuevas investigaciones hasta dar con la configuración idónea para un alimento en concreto.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Anker, M. "Edible and biodegradable films and coatings for food packaging". *Publication Sik Rapport*, Londres. 1.996
- ASTM D882, 2.000. Standard Test Method for tensile properties of thin plastic sheeting. *Annual book of ASTM standards* (Philadelphia, PA: American Society for testing and Materials)
- Baldwin, E. A., Nisperos, M. O. Hagenmaier, R. D., Baker, R.E. (1.997) Use of lipids in coatings for food products. *Food Technology* 51(6), 56-64.
- Banker, G. S. Film coating theory and practice. *Journal of Pharmaceutical Sciences* 55(1), 81-89.1.966
- Biquet B., Guilbert, S. (1.986). Relative diffusivities of water in model intermediate moisture foods. *Diffusivities relatives de l'eau dans des aliments modeles à humidité intermédiaire* 19(3), 208-214.
- Bravin, B., Peressini, D., Sensioni, A. (2.006). Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shef-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering* 79(3), 280-290.
- Butler, B. L., Vergano, P. J. (2.004). Degradation of Edible Films in Storage. *ASAE Meeting*.
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, (1.998). Edible films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 38(4), 299-313.
- Del Nobile, M. A., Conte, A., Incoronato, A. L., Panza, O. (2.008). Antimicrobial efficacy and release kinetics of thimol from zein films. *Journal of Food Engineering* 89(1), 57-63.
- García, M., Miriam, N., Noemí, E. (2.000). Microestructural Characterization of Plasticized Starch-Based Films. *Starch-Stärke* 52(4), 118-124.
- Gennadios, A., Brandenburg, A. H. Park, J. W., Weller, C. L., Testin, R. F.



- (1.994a). Water Vapour permeability of wheat gluten and soy protein isolate films. *Industrial Crops and Products* 2(3), 189-195.
- Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J. L. (1.993). Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and water vapour barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science* 58(1), 206-211.
  - Greener, I. K. (1.992). *Physical properties of edible films and their components*. University of Wisconsin-Madison.
  - Guilbert, S. (1.986). Technology and application of edible protective films. In *Food packaging and preservation: theory and practice* (Ed M. Mathlouthi), 371-394. London, UK: El sevier Applied Science Publishing Co.
  - Guilbert, S., Gontard, N. Gorris, L. G. (1.996). Prolongation of shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *LWT-Food Science Technology* 29(1-2), 10-17.
  - Gunnerson, R. E., Bruno, R. C. (1.990). US Patent 4,946,694.
  - Hernández-Izquierdo, V. M., Krochta, J. M. (2.008). Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation A: Review. *Journal of Food Science* 73(2), 30-39.
  - Holding, D. R., Larkings, B.A. (2.006). The development and importance of zein protein bodies in maize endosperm. *Maydica* 51(2), 243-254.
  - Jung, H., Gennadios, A. (2.005). Edible films and coatings: A review. *Innovations in Food Packaging*, 239-262.
  - Kester, J. J., Fennema, O. (1.986). Edible films and coatings: a review. *Food technology* 40(2), 47-49.
  - Krochta, J. M., De Mulder-Johnston, C. L. C. (1.996). Biodegradable Polymers from Agricultural Products. In *ACS Symposium Series* 120-140.
  - Krochta, J. M., Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. (1.994). *Edible Coatings and films to improve food quality*. New York.

- Krochta, J. M., Mulder-Johnston, C. (1.997). Edible and Biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology* 51(2), 61-74.
- Krochta, J. M. (2.002). Proteins as raw materials for films and coatings: Definitions, current status, and opportunities. In *Protein-Based Films and Coatings*.
- Lai, H. M., Padua, G. W. (1997). Properties and Microstructure of plasticized Zein Films. *Cereal Chemistry* 74(6), 771-775
- Lawton, J. W. (2.002). Zein: A history of processing and use. *Cereal Chemistry* 79(1), 1-18.
- Lending, C. R., Larkins, B.A. (1.989). Changes in the Zein Composition of Protein Bodies during Maize Endosperm Development. *Plant Cell* 1(10), 1011-1023.
- Martin Polo, M., Mauguin, C., Voilley, A. (1992). Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. Influence of the film preparation technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40(3), 407-412.
- Maté, J.L., Frankel, E. N., Krochta, J. M. (1.996a). Whey Protein Isolate Edible Coatings; Effect on the Rancidity Process of Walnuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44(7), 1736-1740.
- Matsushima, N., Danno, G.-i., Takezawa, H., Izumi, Y. (1.997). Three-dimensional structure of maize  $\alpha$ -zein proteins studied by small-angle X-ray scattering. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Protein Structure and Molecular Enzymology* 1339(1), 14-22.
- McHugh, T. H. (2.000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Die Nahrung* 44(3), 148-151.
- McHugh, T. H., Krochta, J. M. (1.994a). Sorbitol vs glycerol-plasticized whey protein edible films: Integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42(4), 841-845.
- McHugh, T. H., Krochta, J. M. (1.994b). Water vapor permeability

properties of edible whey protein-lipid emulsion films. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society* 71(3), 307-312.

- Mendoza, M. (1975). Preparation and Physical properties of zein based films. University of Massachusetts. *M. S. thesis*.
- Mendoza, M. G., Maté, J. I. (2006<sup>a</sup>). Estudio y desarrollo de films a base de zeína de maíz con distintos tipos de plastificantes. *Alimentaria* 372, 86-86.
- Mendoza, M. G., Maté, J. I. (2006<sup>b</sup>). Stability of mechanical properties of edible films based on zein at different relative humidities. *In Food is life* (Ed IUFFoST), Nantes, Francia.
- Niza Olleta, S. *TFC*, (2.005)
- Osés, J. (2.006). Desarrollo, caracterización y aplicaciones alimentarias de recubrimientos comestibles basados en proteína de suero de leche, almidón y goma de mezquite. *Universidad Pública de Navarra*.
- Park, J. W., Testin, R. F., Vergano, P. J., Park, H. J., Weller, C. L. (1.996<sup>b</sup>). Fatty acid distribution and its effect on oxygen permeability in laminated edible films. *Journal of Food Science* 61(2), 401-406.
- Park, H. J. (1.995). Edible Coatings and Films to improve food quality in *Trends in Food Science and Technology* Eds J. M. Krochta, E. A. Baldwin y M. O. Nisperos-Carriedo, 29. Sw. Fr: Technomic.
- Petersson, M., Stading, M. (2.005). Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-monoglyceride films and effect of film forming conditions. *Food Hydrocolloids* 19(1), 123-132.
- Diccionario de la Real Academia Española
- Rodríguez Gil de Gómez, *TFC* (2.003)
- Rojas-Grau, M. A., Avena-Bustillos, R. J., Friedman, M., Henika, P. R., Martín- Belloso, O., McHugh, T. H. (2.006). Mechanical, barrier, and antimicrobial properties of apple pure edible films containing essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(24), 9262-9267.

- Shiow y Wang (2.005). Properties of zein films coated with drying Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Tapia, M. S., Rojas-Grau, M. A., Carmona, A., Rodríguez, F. J., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2.008). Use of alginate and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids* 22(8), 1493-1503.
- Trezza, T. A., Krochta, J. M. (2.000). The gloss of edible coatings as affected by surfactants, lipids, relative humidity, and time. *Journal of Food Science* 65(4), 658-662
- Turner, J. E. (1.965). Zein: A heterogeneous protein containing disulfide-linked aggregates. *Cereal Chemistry* 42, 453-461
- Weller, C. L., Gennadios, A., Saraiva, R. A. (1.998). Edible bilayer films from zein and grain sorghum wax or carnauba wax. *LWT- Food Science and Technology* 31(3), 279-285
- Yang, L., Paulson A. T. (2.000). Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Research International* 33(7), 571-578

# INDICE DE ANEJOS:

## Especificaciones material

<i>Zeína</i> KOBAYASHI.....	108
-----------------------------	-----

## Tensión superficial

<i>Tabla (15): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones control y orégano.....</i>	109
---	-----

## Contenido de humedad

<i>Tabla (16): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones control y orégano.....</i>	110
<i>Tabla (17): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones clavo.....</i>	111
<i>Tabla (18): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones eugenol.....</i>	112
<i>Tabla (19): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones carvacrol.....</i>	113

## Propiedades mecánicas

<i>Tabla (20): Datos para las muestras control.....</i>	114
<i>Tabla (21): Datos para las muestras de orégano al 5%.....</i>	115
<i>Tabla (22): Datos para las muestras de orégano al 10%.....</i>	116
<i>Tabla (23): Datos para las muestras de orégano al 20%.....</i>	117
<i>Tabla (24): Datos para las muestras de orégano al 40%.....</i>	118
<i>Tabla (25): Datos para las muestras de clavo al 5%.....</i>	119
<i>Tabla (26): Datos para las muestras de clavo al 10%.....</i>	120
<i>Tabla (27): Datos para las muestras de clavo al 20%.....</i>	121
<i>Tabla (28): Datos para las muestras de clavo al 40%.....</i>	122
<i>Tabla (29): Datos para las muestras de eugenol al 5%.....</i>	123
<i>Tabla (30): Datos para las muestras de eugenol al 10%.....</i>	124
<i>Tabla (31): Datos para las muestras de eugenol al 20%.....</i>	125
<i>Tabla (32): Datos para las muestras de eugenol al 40%.....</i>	126
<i>Tabla (33): Datos para las muestras de carvacrol al 5%.....</i>	127
<i>Tabla (34): Datos para las muestras de carvacrol al 10%.....</i>	128
<i>Tabla (35): Datos para las muestras de carvacrol al 20%.....</i>	129
<i>Tabla (36): Datos para las muestras de carvacrol al 40%.....</i>	130

**Figuras representación gráfica del ensayo de tracción con el texturómetro.**

- Figura (47): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración orégano). .....131
- Figura (48): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración clavo).....131
- Figura (49): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración eugenol). .....132
- Figura (50): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración carvacrol). .....132
- Figura (51): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 5%.....133
- Figura (52): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 10%.....133
- Figura (53): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 20%.....134
- Figura (54): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 40%.....134
- Figura (55): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 5%.....135
- Figura (56): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 10%.....135
- Figura (57): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 20%.....136
- Figura (58): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 40%.....136

## Permeabilidad al vapor de agua

Tabla (37): Datos medios de los grosores de las películas (mm). .....	137
Tabla (38): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de las películas control y orégano. ....	138
Tabla (39): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de las películas de clavo. ....	139
Tabla (40): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de las películas de eugenol. ....	140
Tabla (41): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m <sup>2</sup> ) de las películas de carvacrol. ....	141
Tabla (42): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>orégano 5%</i> .....	142
Tabla (43): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>orégano 10%</i> .....	143
Tabla (44): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>orégano 20%</i> .....	144
Tabla (45): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>orégano 40%</i> .....	145
Tabla (46): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>clavo 5%</i> .....	146
Tabla (47): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>clavo 10%</i> .....	147
Tabla (48): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>clavo 20%</i> .....	148
Tabla (49): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>clavo 40%</i> .....	149
Tabla (50): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>eugenol 5%</i> .....	150

Tabla (51): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>eugenol</i> 10%.....	151
Tabla (52): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>eugenol</i> 20%.....	152
Tabla (53): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>eugenol</i> 40%.....	153
Tabla (54): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>carvacrol</i> 5%.....	154
Tabla (55): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>carvacrol</i> 10%.....	155
Tabla (56): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>carvacrol</i> 20%.....	156
Tabla (57): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína <i>carvacrol</i> 40%.....	157



*Especificaciones material,*

*Zeina KOBAYASHI.*

Contenido de Humedad\_ Tabla (15): Datos Media y desviación típica de la tensión superficial para las diferentes soluciones.

Film	Muestras	Muestras						Media	desviación típica
		1	2	3	4	5	6		
<b>Control</b>		24,7	24,7	24,7	24,6	24,7	24,7	24,68	0,04
<b>Orégano</b>	5%	24,6	24,5	24,6	24,6	24,6	24,6	24,58	0,04
	10%	22,1	22,3	22,2	22,4	22,5	22,5	22,33	0,16
	20%	22,7	22,7	22,9	22,9	23	23	22,87	0,14
	40%	24	23,7	23,7	23,7	23,8	23,8	23,78	0,12
<b>Clavo</b>	5%	21,6	21,9	22	21,9	22,2	22,4	22,00	0,28
	10%	23,1	23,3	23,3	23,5	23,4	23,5	23,35	0,15
	20%	24,6	24,6	24,6	24,5	24,6	24,6	24,58	0,04
	40%	25,5	25,5	25,5	25,5	25,4	25,4	25,47	0,05
<b>Eugenol</b>	5%	25,1	24,9	24,7	24,8	24,8	24,8	24,85	0,14
	10%	28,8	28,6	28,6	28,7	28,5	28,5	28,62	0,12
	20%	22,9	23	23	23,2	23,2	23,4	23,12	0,18
	40%	23,9	23,7	23,8	23,9	24	24	23,88	0,12
<b>Carvacrol</b>	5%	22,8	22,8	22,5	22,5	22,6	22,6	22,63	0,14
	10%	21,6	21,8	21,8	22,1	22,1	22,3	21,95	0,26
	20%	21,5	21,7	21,8	22	21,9	21,9	22,10	0,18
	40%	21,1	21,9	21,2	21,6	21,8	22	21,60	0,37
<b>Agua desionizada tipo II</b>		75,6	75,6	75,5	75,6	75,4	75,6	75,55	0,08
<b>Etanol 96%</b>		24,6	24,5	24,6	24,5	24,4	24,5	24,50	0,07
<b>PEG</b>		40,7	40,7	40,9	40,4	41	40,9	40,77	0,22

**Contenido de Humedad\_ Tabla (16): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones control y orégano.**

	Solución	1	2	3	4	5	6	7	8	media	
<b>Control</b>	Peso film	0,3572	0,3617	0,3479	0,4059	0,4168	0,4334	0,3617	0,4248	0,3887	
	<b>A</b>	Peso plato	2,0089	1,9486	2,0108	2,0083	2,0056	1,9873	1,9908	2,0164	1,9971
		Peso sistema	2,3661	2,3103	2,3587	2,4142	2,4224	2,4207	2,3525	2,4412	2,3858
		Peso después	2,3452	2,2873	2,3374	2,3882	2,3951	2,3558	2,3291	2,4151	2,3567
		Peso film seco	0,3363	0,3387	0,3266	0,3799	0,3895	0,3685	0,3383	0,3987	0,3596
		Humedad	5,8511	6,3589	6,1224	6,4055	6,5499	14,9746	6,4694	6,1441	6,2716
<b>Ore 5%</b>	Peso film	0,2682	0,3426	0,3592	0,3656	0,4011	0,3733	0,3135	0,3242	0,3435	
	<b>B</b>	Peso plato	2,016	1,9894	1,9954	1,9496	1,9747	1,9872	1,9978	1,9826	1,9866
		Peso sistema	2,2842	2,6424	2,6807	2,6517	2,7431	2,7039	2,5984	2,6017	2,6133
		Peso después	2,26	2,2998	2,3215	2,2861	2,342	2,3306	2,2849	2,2775	2,3003
		Peso film seco	0,244	0,3104	0,3261	0,3365	0,3673	0,3434	0,2871	0,2949	0,3137
		Humedad	9,0231	9,3987	9,2149	7,9595	8,4268	8,0096	8,4211	9,0376	8,6864
<b>Ore 10%</b>	Peso film	0,3138	0,1991	0,2606	0,2217	0,3204	0,451	0,2121	0,3279	0,2883	
	<b>C</b>	Peso plato	2,0086	1,9924	2,004	1,982	1,9948	2,0076	1,9702	2,0041	1,9955
		Peso sistema	2,3224	2,1915	2,2646	2,2037	2,3152	2,4586	2,1823	2,332	2,2838
		Peso después	2,1856	2,1777	2,2415	2,1867	2,2931	2,4268	2,1751	2,3086	2,2494
		Peso film seco	0,177	0,1853	0,2375	0,2047	0,2983	0,4192	0,2049	0,3045	0,2539
		Humedad	43,5946	6,9312	8,8642	7,6680	6,8976	7,0510	3,3946	7,1363	6,8490
<b>Ore 20%</b>	Peso film	0,1892	0,2364	0,1106	0,3324	0,2622	0,2599	0,2064	0,362	0,2449	
	<b>D</b>	Peso plato	1,991	2,008	2,0061	2,0071	1,9755	2,015	1,9852	1,9838	1,9965
		Peso sistema	2,1802	2,2444	2,1167	2,3395	2,2377	2,2749	2,1916	2,3458	2,2414
		Peso después	2,1585	2,212	2,1013	2,2921	2,2014	2,2363	2,1626	2,3023	2,2083
		Peso film seco	0,1675	0,204	0,0952	0,285	0,2259	0,2213	0,1774	0,3185	0,2119
		Humedad	11,4693	13,7056	13,9241	14,2599	13,8444	14,8519	14,0504	12,0166	13,5153
<b>Ore 40%</b>	Peso film	0,372	0,3209	0,4536	0,3954	0,3843	0,3521	0,4482	0,4514	0,3972	
	<b>E</b>	Peso plato	1,9933	2,0012	1,9989	1,9796	1,9965	1,9806	1,997	1,9995	1,9933
		Peso sistema	2,3653	2,3221	2,4525	2,375	2,3808	2,3327	2,4452	2,4509	2,3906
		Peso después	2,2802	2,2473	2,4658	2,2789	2,3049	2,2576	2,3498	2,3575	2,3178
		Peso film seco	0,2869	0,2461	0,4669	0,2993	0,3084	0,277	0,3528	0,358	0,3244
		Humedad	22,8763	23,3094	-2,9321	24,3045	19,7502	21,3292	21,2851	20,6912	21,9351

**Contenido de Humedad\_ Tabla (17): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones de clavo.**

	Solución	1	2	3	4	5	6	7	8	media	
<b>Cla 5%</b>	Peso film	0,4747	0,4041	0,4042	0,4557	0,3512	0,5342	0,5688	0,4293	0,4528	
	<b>F</b>	Peso plato	1,9767	2,0013	1,9748	1,9992	1,9976	1,9792	1,9869	1,9964	1,9890
		Peso sistema	2,4514	2,4054	2,379	2,4549	2,3488	2,5134	2,5557	2,4257	2,4418
		Peso después	2,4186	2,3756	2,3511	2,423	2,514	2,4746	2,5176	2,3961	2,4338
		Peso film seco	0,4419	0,3743	0,3763	0,4238	0,5164	0,4954	0,5307	0,3997	0,4448
		Humedad	6,9096	7,3744	6,9025	7,0002	47,0387	7,2632	6,6983	6,8949	7,0062
<b>Cla 10%</b>	Peso film	0,2829	0,2931	0,2072	0,316	0,2381	0,2496	0,2661	0,2938	0,2684	
	<b>G</b>	Peso plato	1,9964	2,0113	1,9633	2,0098	2,0012	1,9946	2,0005	2,0081	1,9982
		Peso sistema	2,2793	2,3044	2,1705	2,3258	2,2393	2,2442	2,2666	2,3019	2,2665
		Peso después	2,2524	2,2796	2,1587	2,2988	2,2166	2,221	2,2437	2,2762	2,2434
		Peso film seco	0,256	0,2683	0,1954	0,289	0,2154	0,2264	0,2432	0,2681	0,2452
		Humedad	9,5087	8,4613	5,6950	8,5443	9,5338	9,2949	8,6058	8,7474	8,5489
<b>Cla 20%</b>	Peso film	0,2283	0,3172	0,38	0,3557	0,3814	0,2015	0,3428	0,3638	0,3213	
	<b>H</b>	Peso plato	1,9786	1,965	2,0116	2,0112	1,9754	1,9928	2,0096	2,0144	1,9948
		Peso sistema	2,2069	2,2822	2,3916	2,3669	2,3568	2,1943	2,3524	2,3782	2,3162
		Peso después	2,1746	2,2342	2,3342	2,3155	2,303	2,162	2,2968	2,3273	2,2685
		Peso film seco	0,196	0,2692	0,3226	0,3043	0,3276	0,1692	0,2872	0,3129	0,2736
		Humedad	14,1481	15,1324	15,1053	14,4504	14,1059	16,0298	16,2194	13,9912	14,8978
<b>Cla 40%</b>	Peso film	0,4162	0,467	0,3325	0,4429	0,5484	0,4031	0,4417	0,6118	0,4580	
	<b>I</b>	Peso plato	2,0018	2,0018	1,9848	2,0168	2,0088	1,9546	1,9672	1,9973	1,9916
		Peso sistema	2,418	2,4688	2,3173	2,4597	2,5572	2,3577	2,4089	2,6091	2,4496
		Peso después	2,3332	2,3812	2,25	2,3738	2,4405	2,277	2,3172	2,478	2,3564
		Peso film seco	0,3314	0,3794	0,2652	0,357	0,4317	0,3224	0,35	0,4807	0,3647
		Humedad	20,3748	18,7580	20,2406	19,3949	21,2801	20,0198	20,7607	21,4286	20,2822

**Contenido de Humedad\_ Tabla (18): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones de eugenol.**

	Solución	1	2	3	4	5	6	7	8	media	
<b>EU 5%</b>	Peso film	0,4087	0,5371	0,4917	0,5888	0,475	0,5197	0,4691	0,4585	0,4936	
	<b>J</b>	Peso plato	1,9791	1,9936	1,9914	1,9807	2,008	1,9828	1,9969	2,0007	1,9917
		Peso sistema	2,3878	2,5307	2,4831	2,5695	2,483	2,5025	2,466	2,4592	2,4852
		Peso después	2,3558	2,494	2,45	2,5212	2,4482	2,389	2,4242	2,4292	2,4390
		Peso film seco	0,3767	0,5004	0,4586	0,5405	0,4402	0,4062	0,4273	0,4285	0,4473
		Humedad	7,8297	6,8330	6,7317	8,2031	7,3263	21,8395	8,9107	6,5431	7,4825
<b>EU 10%</b>	Peso film	0,3757	0,3114	0,5452	0,4365	0,479	0,5385	0,4692	0,4447	0,4500	
	<b>K</b>	Peso plato	1,9901	2,0054	1,9487	1,9845	2,003	2,0086	1,9946	2,0021	1,9921
		Peso sistema	2,3658	2,3168	2,4939	2,421	2,482	2,5471	2,4638	2,4468	2,4422
		Peso después	2,3298	2,2876	2,4404	2,3835	2,4386	2,4959	2,4274	2,41	2,4017
		Peso film seco	0,3397	0,2822	0,4917	0,399	0,4356	0,4873	0,4328	0,4079	0,4095
		Humedad	9,5821	9,3770	9,8129	8,5911	9,0605	9,5079	7,7579	8,2752	8,9956
<b>EU 20%</b>	Peso film	0,5583	0,7636	0,7288	0,6128	0,6771	0,552	0,7632	0,5333	0,6486	
	<b>L</b>	Peso plato	1,9949	1,9646	2,0084	1,9808	1,9784	1,9934	1,9746	1,9634	1,9823
		Peso sistema	2,5532	2,7282	2,7372	2,5936	2,6555	2,5454	2,7378	2,4967	2,6310
		Peso después	2,4848	2,6312	2,6468	2,5244	2,5732	2,4732	2,6518	2,4187	2,5505
		Peso film seco	0,4899	0,6666	0,6384	0,5436	0,5948	0,4798	0,6772	0,4553	0,5682
		Humedad	12,2515	12,7030	12,4040	11,2924	12,1548	13,0797	11,2683	14,6259	12,4724
<b>EU 40%</b>	Peso film	0,5663	0,4273	0,5251	0,6543	0,5173	0,6772	0,4911	0,7276	0,5733	
	<b>M</b>	Peso plato	1,9733	1,9928	1,9843	1,9949	2,0088	1,9746	1,9742	1,9973	1,9875
		Peso sistema	2,5396	2,4201	2,5094	2,6492	2,5261	2,6518	2,4653	2,7249	2,5608
		Peso después	2,42	2,322	2,4064	2,5191	2,4238	2,5088	2,2547	2,5804	2,4294
		Peso film seco	0,4467	0,3292	0,4221	0,5242	0,415	0,5342	0,2805	0,5831	0,4419
		Humedad	21,1195	22,9581	19,6153	19,8838	19,7758	21,1164	42,8833	19,8598	20,6184

**Contenido de Humedad\_ Tabla (19): Datos de los pesos de la prueba (en gramos), soluciones de carvacrol.**

<b>CAR 5%</b>	Peso film	0,5204	0,4121	0,4445	0,5351	0,41	0,4303	0,4195	0,4637	0,4545	
	<b>N</b>	Peso plato	1,9881	1,9746	1,9923	1,997	1,9862	1,991	1,9596	2,0111	1,9875
	Peso sistema	2,5085	2,3867	2,4368	2,5321	2,3962	2,4213	2,3791	2,4748	2,4419	
	Peso después	2,4665	2,3611	2,3968	2,4832	2,3648	2,3936	2,3564	2,4466	2,4086	
	Peso film seco	0,4784	0,3865	0,4045	0,4862	0,3786	0,4026	0,3968	0,4355	0,4211	
	Humedad	8,0707	6,2121	8,9989	9,1385	7,6585	6,4374	5,4112	6,0815	7,2511	
<b>CAR 10%</b>	Peso film	0,3128	0,2977	0,3186	0,2285	0,3351	0,2476	0,3055	0,2418	0,2860	
	<b>O</b>	Peso plato	1,9967	2,0106	2,0078	2,0015	1,9643	1,9784	2,0134	2,0078	1,9976
	Peso sistema	2,3095	2,3083	2,3264	2,23	2,2994	2,226	2,3189	2,2496	2,2835	
	Peso después	2,2745	2,2762	2,288	2,2055	2,267	2,2001	2,2883	2,2238	2,2529	
	Peso film seco	0,2778	0,2656	0,2802	0,204	0,3027	0,2217	0,2749	0,216	0,2554	
	Humedad	11,1893	10,7827	12,0527	10,7221	9,6688	10,4604	10,0164	10,6700	10,6953	
<b>CAR 20%</b>	Peso film	0,2921	0,1895	0,2121	0,2706	0,1546	0,159	0,1737	0,1822	0,2042	
	<b>P</b>	Peso plato	1,9976	1,9662	1,9959	2,0103	2,0004	1,9915	1,9541	2,0116	1,9910
	Peso sistema	2,2897	2,1557	2,208	2,2809	2,155	2,1505	2,1278	2,1938	2,1952	
	Peso después	2,2535	2,1326	2,1856	2,2486	2,1398	2,1316	2,108	2,1757	2,1719	
	Peso film seco	0,2559	0,1664	0,1897	0,2383	0,1394	0,1401	0,1539	0,1641	0,1810	
	Humedad	12,3930	12,1900	10,5611	11,9364	9,8318	11,8868	11,3990	9,9341	11,2665	
<b>CAR 40%</b>	Peso film	0,5993	0,4504	0,557	0,5512	0,3965	0,6846	0,5619	0,3769	0,5222	
	<b>Q</b>	Peso plato	1,9861	2,0107	2,0008	2,0114	1,9787	1,9651	1,9746	2,0176	1,9931
	Peso sistema	2,5854	2,4611	2,5578	2,5626	2,3752	2,6497	2,5365	2,3945	2,5154	
	Peso después	2,4443	2,3448	2,4238	2,4313	2,2754	2,4833	2,4062	2,2976	2,3883	
	Peso film seco	0,4582	0,3341	0,423	0,4199	0,2967	0,5182	0,4316	0,28	0,3952	
	Humedad	23,5441	25,8215	24,0575	23,8208	25,1702	24,3062	23,1892	25,7097	24,4524	

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (20): Datos para las muestras control*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
329	75,000	25,400	0,088	0,1809	2,240	1905,000	94,226	48,22	1,92	50,000	2,800	28,059
330	75,000	25,400	0,116	0,1795	2,944	1905,000	88,609	62,86	1,40	50,000	5,480	9,175
331	75,000	25,400	0,0901	0,1688	2,289	1905,000	88,136	27,01	2,74	50,000	5,620	15,097
332	75,000	25,400	0,0928	0,1679	2,357	1905,000	83,570	34,55	2,81	50,000	2,360	14,492
333	75,000	25,400	0,0697	0,1592	1,770	1905,000	76,378	34,16	1,18	50,000	1,540	6,965
334	75,000	25,400	0,0595	0,1455	1,511	1905,000	98,320	12,33	0,77	50,000	2,340	43,473
335	75,000	25,400	0,1076	0,1873	2,733	1905,000	86,089	65,7	1,17	50,000	3,360	20,885
336	75,000	25,400	0,0947	0,164	2,405	1905,000	91,024	57,08	1,68	50,000	5,380	12,426
337	75,000	25,400	0,0953	0,1734	2,421	1905,000	79,843	29,89	2,69	50,000	2,660	22,317
338	75,000	25,400	0,0908	0,1521	2,306	1905,000	111,706	54,02	1,33	50,000	2,780	29,280
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,090</b>	<b>0,168</b>	<b>2,298</b>	<b>1905,000</b>	<b>89,790</b>	<b>42,582</b>	<b>1,769</b>	<b>50,000</b>	<b>3,432</b>	<b>20,217</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,016</b>	<b>0,013</b>	<b>0,413</b>	<b>0,000</b>	<b>10,053</b>	<b>17,552</b>	<b>0,741</b>	<b>0,000</b>	<b>1,495</b>	<b>11,088</b>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (21): Datos para las muestras de orégano al 5%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
40	75,000	25,400	0,1134	0,2003	2,880	1905,000	105,144	40,61	1,26	50,000	2,520	14,099
43	75,000	25,400	0,1093	0,1461	2,776	1905,000	76,693	37,93	0,83	50,000	1,660	13,662
44	75,000	25,400	0,1513	0,2115	3,843	1905,000	111,024	70,78	1,69	50,000	3,380	18,418
45	75,000	25,400	0,0933	0,1845	2,370	1905,000	96,850	56,31	4,12	50,000	8,240	23,761
47	75,000	25,400	0,0983	0,1946	2,497	1905,000	102,152	44,08	1,90	50,000	3,800	17,654
50	75,000	25,400	0,1295	0,2055	3,289	1905,000	107,874	48,7	3,88	50,000	3,100	29,811
51	75,000	25,400	0,1249	0,2105	3,172	1905,000	110,499	68,55	2,49	50,000	7,760	14,806
52	75,000	25,400	0,1061	0,1953	2,695	1905,000	102,520	75,94	1,54	50,000	4,980	21,608
53	75,000	25,400	0,096	0,1707	2,449	1905,000	89,606	24,88	4,33	50,000	3,080	28,179
55	75,000	25,400	0,1232	0,2314	3,129	1905,000	121,470	69,05	1,99	50,000	3,680	30,858
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,106</b>	<b>0,193</b>	<b>2,686</b>	<b>1905,000</b>	<b>101,186</b>	<b>53,617</b>	<b>2,279</b>	<b>50,000</b>	<b>4,557</b>	<b>19,927</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,021</b>	<b>0,022</b>	<b>0,529</b>	<b>0,000</b>	<b>11,430</b>	<b>22,629</b>	<b>1,347</b>	<b>0,000</b>	<b>2,588059</b>	<b>6,96073</b>



*Propiedades mecánicas\_ Tabla (22): Datos para las muestras de orégano al 10%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
98	75,000	25,400	0,1023	0,192	2,598	1905,000	100,525	67,350	1,337	50,000	2,674	25,920
99	75,000	25,400	0,0857	0,164	2,177	1905,000	85,8270	49,799	1,065	50,000	2,130	22,877
100	75,000	25,400	0,0839	0,184	2,131	1905,000	96,4830	55,189	1,195	50,000	2,390	25,897
101	75,000	25,400	0,1751	0,193	4,448	1905,000	101,050	87,205	1,850	50,000	3,700	19,607
102	75,000	25,400	0,1568	0,235	3,983	1905,000	123,097	102,262	1,500	50,000	3,000	25,676
105	75,000	25,400	0,1073	0,164	2,725	1905,000	86,0800	38,447	0,827	50,000	1,654	14,107
106	75,000	25,400	0,1042	0,175	2,647	1905,000	91,6540	50,397	1,035	50,000	2,070	19,042
110	75,000	25,400	0,1113	0,195	2,827	1905,000	102,152	85,535	1,923	50,000	3,846	30,256
113	75,000	25,400	0,1082	0,1848	2,748	1905,000	97,0080	72,125	1,628	50,000	3,256	26,244
114	75,000	25,400	0,1004	0,1776	2,550	1905,000	93,2280	78,013	1,697	50,000	3,394	30,591
116	75,000	25,400	0,1184	0,1959	3,007	1905,000	102,835	54,876	1,217	50,000	2,434	18,247
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,114</b>	<b>0,189</b>	<b>2,888</b>	<b>1905,000</b>	<b>98,999</b>	<b>68,772</b>	<b>1,418</b>	<b>50,000</b>	<b>2,835</b>	<b>24,150</b>
<b>Desv típica</b>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,025</i>	<i>0,017</i>	<i>0,639</i>	<i>0,000</i>	<i>8,843</i>	<i>17,849</i>	<i>0,296</i>	<i>0,000</i>	<i>0,592</i>	<i>5,556</i>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (23): Datos para las muestras de orégano al 20%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
129	75,000	25,400	0,134	0,208	3,391	1905,000	109,239	35,07	4,470	50,000	8,940	10,342
130	75,000	25,400	0,077	0,149	1,946	1905,000	78,0580	8,800	1,710	50,000	3,420	4,523
131	75,000	25,400	0,126	0,203	3,200	1905,000	106,614	24,88	15,74	50,000	31,480	7,774
132	75,000	25,400	0,141	0,247	3,569	1905,000	129,554	50,55	4,060	50,000	8,120	14,165
133	75,000	25,400	0,109	0,196	2,769	1905,000	102,677	45,16	6,720	50,000	13,440	16,311
134	75,000	25,400	0,081	0,174	2,055	1905,000	91,2340	36,65	11,97	50,000	23,940	17,836
136	75,000	25,400	0,100	0,216	2,548	1905,000	113,491	41,54	25,43	50,000	10,400	16,305
139	75,000	25,400	0,0883	0,195	2,243	1905,000	102,152	18,58	18,45	50,000	7,220	8,284
140	75,000	25,400	0,1095	0,214	2,781	1905,000	112,073	62,30	4,820	50,000	14,320	18,236
141	75,000	25,400	0,133	0,243	3,366	1905,000	127,559	65,75	5,670	50,000	36,900	5,521
144	75,000	25,400	0,1509	0,2673	3,833	1905,000	140,315	89,62	2,350	50,000	18,120	19,445
145	75,000	25,400	0,1142	0,2003	2,901	1905,000	105,144	27,50	19,39	50,000	23,820	12,325
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,115</b>	<b>0,212</b>	<b>2,928</b>	<b>1905,000</b>	<b>111,342</b>	<b>44,461</b>	<b>9,797</b>	<b>50,000</b>	<b>15,433</b>	<b>14,069</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,025</b>	<b>0,034</b>	<b>0,648</b>	<b>0,000</b>	<b>17,674</b>	<b>21,765</b>	<b>7,126</b>	<b>0,000</b>	<b>9,569</b>	<b>5,908</b>

**Propiedades mecánicas\_ Tabla (24):** Datos para las muestras de orégano al 40%.

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
170	75,000	25,400	0,147	0,3012	3,734	1905,000	158,110	25,37	38,40	50,000	76,800	6,795
171	75,000	25,400	0,0835	0,2232	2,121	1905,000	117,165	24,10	7,380	50,000	14,760	11,363
172	75,000	25,400	0,1279	0,2939	3,249	1905,000	154,278	34,94	6,560	50,000	13,120	10,755
173	75,000	25,400	0,1027	0,2133	2,609	1905,000	111,969	29,84	28,38	50,000	56,760	11,439
174	75,000	25,400	0,0967	0,209	2,456	1905,000	109,711	29,73	41,80	50,000	83,600	12,104
175	75,000	25,400	0,1277	0,2716	3,244	1905,000	142,572	27,25	31,80	50,000	63,600	8,401
176	75,000	25,400	0,1045	0,2102	2,654	1905,000	110,341	30,50	31,39	50,000	62,780	11,491
177	75,000	25,400	0,1333	0,2933	3,386	1905,000	153,963	40,78	39,35	50,000	78,700	12,044
178	75,000	25,400	0,0966	0,2006	2,454	1905,000	105,302	30,09	18,74	50,000	37,480	12,263
179	75,000	25,400	0,1162	0,2627	2,951	1905,000	137,900	19,37	48,48	50,000	96,960	6,563
180	75,000	25,400	0,0946	0,2227	2,403	1905,000	116,903	33,38	11,74	50,000	23,480	13,892
182	75,000	25,400	0,0972	0,2456	2,469	1905,000	128,929	28,47	12,08	50,000	24,160	11,532
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,112</b>	<b>0,243</b>	<b>2,836</b>	<b>1905,000</b>	<b>127,570</b>	<b>29,478</b>	<b>30,216</b>	<b>50,000</b>	<b>60,432</b>	<b>10,652</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,018</b>	<b>0,037</b>	<b>0,470</b>	<b>0,000</b>	<b>19,527</b>	<b>5,473</b>	<b>12,594</b>	<b>0,000</b>	<b>25,187</b>	<b>2,492</b>

**Propiedades mecánicas\_ Tabla (25): Datos para las muestras de clavo al 5%.**

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
56	75,000	25,400	0,093	0,1659	2,350	1905,000	87,087	57,70	1,770	50,000	3,540	24,558
57	75,000	25,400	0,071	0,1747	1,791	1905,000	91,706	31,95	5,090	50,000	10,180	17,842
58	75,000	25,400	0,079	0,1733	2,009	1905,000	90,971	32,12	5,260	50,000	10,520	15,987
65	75,000	25,400	0,074	0,1782	1,869	1905,000	93,543	21,45	4,440	50,000	8,880	11,474
69	75,000	25,400	0,106	0,2078	2,685	1905,000	109,081	76,980	2,190	50,000	4,380	28,673
76	75,000	25,400	0,086	0,1851	2,184	1905,000	97,165	61,315	2,662	50,000	2,560	21,962
77	75,000	25,400	0,1033	0,2014	2,624	1905,000	105,722	41,190	4,117	50,000	5,324	28,069
80	75,000	25,400	0,0871	0,1615	2,212	1905,000	84,777	34,894	2,388	50,000	3,030	28,889
81	75,000	25,400	0,0886	0,1805	2,250	1905,000	94,751	45,499	1,197	50,000	4,776	15,772
92	75,000	25,400	0,1138	0,2216	2,891	1905,000	116,325	60,923	1,295	50,000	4,160	25,138
90	75,000	25,400	0,0865	0,1768	2,197	1905,000	92,808	73,791	1,745	50,000	3,540	24,558
97	75,000	25,400	0,0854	0,1457	2,169	1905,000	76,483	51,502	1,690	50,000	3,300	26,091
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,098</b>	<b>0,193</b>	<b>2,480</b>	<b>1905,000</b>	<b>101,135</b>	<b>54,280</b>	<b>2,478</b>	<b>50,000</b>	<b>4,957</b>	<b>21,707</b>
<b>Desv</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,018</b>	<b>0,023</b>	<b>0,446</b>	<b>0,000</b>	<b>12,060</b>	<b>16,681</b>	<b>1,167</b>	<b>0,000</b>	<b>2,335</b>	<b>5,162</b>

**Propiedades mecánicas\_ Tabla (26): Datos para las muestras de clavo al 10%.**

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
117	75,000	25,400	0,157	0,2346	3,975	1905,000	123,150	65,29	1,29	50,000	2,580	16,425
118	75,000	25,400	0,139	0,2426	3,526	1905,000	127,349	73,81	1,42	50,000	2,840	20,936
119	75,000	25,400	0,124	0,1658	3,150	1905,000	87,034	47,58	2,33	50,000	4,660	15,107
120	75,000	25,400	0,112	0,2087	2,840	1905,000	109,554	47,33	3,07	50,000	6,140	16,667
121	75,000	25,400	0,106	0,1767	2,695	1905,000	92,756	23,89	3,93	50,000	7,860	8,865
122	75,000	25,400	0,159	0,2279	4,028	1905,000	119,633	70,90	1,87	50,000	3,740	17,600
123	75,000	25,400	0,114	0,2024	2,885	1905,000	106,247	58,23	1,56	50,000	3,120	20,181
124	75,000	25,400	0,079	0,1645	2,014	1905,000	86,352	16,14	0,90	50,000	1,800	8,013
125	75,000	25,400	0,086	0,1678	2,177	1905,000	88,084	20,72	15,65	50,000	31,30	9,519
126	75,000	25,400	0,180	0,2594	4,569	1905,000	136,168	37,67	4,49	50,000	8,980	8,244
127	75,000	25,400	0,0918	0,1979	2,332	1905,000	103,885	62,60	1,64	50,000	3,280	26,847
128	75,000	25,400	0,0831	0,1654	2,111	1905,000	86,824	38,70	2,60	50,000	5,200	18,335
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,122</b>	<b>0,204</b>	<b>3,102</b>	<b>1905,000</b>	<b>107,177</b>	<b>49,285</b>	<b>2,282</b>	<b>50,000</b>	<b>4,564</b>	<b>16,111</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,033</b>	<b>0,034</b>	<b>0,836</b>	<b>0,000</b>	<b>17,711</b>	<b>18,919</b>	<b>1,143</b>	<b>0,000</b>	<b>2,285</b>	<b>5,862</b>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (27): Datos para las muestras de clavo al 20%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
147	75,000	25,400	0,133	0,245	3,366	1905,000	128,609	57,09	5,84	50,000	11,680	16,963
148	75,000	25,400	0,090	0,185	2,286	1905,000	97,218	45,62	6,37	50,000	12,740	19,956
149	75,000	25,400	0,088	0,180	2,230	1905,000	94,541	47,69	5,04	50,000	10,080	21,384
150	75,000	25,400	0,167	0,275	4,229	1905,000	144,514	59,23	3,98	50,000	7,960	14,005
151	75,000	25,400	0,105	0,199	2,654	1905,000	104,619	33,7	1,44	50,000	2,880	12,696
152	75,000	25,400	0,144	0,234	3,650	1905,000	122,730	48,11	2,90	50,000	5,800	13,181
153	75,000	25,400	0,138	0,253	3,495	1905,000	132,808	65,13	5,08	50,000	10,160	18,635
154	75,000	25,400	0,217	0,240	5,512	1905,000	125,879	52,87	2,03	50,000	4,060	9,592
155	75,000	25,400	0,104	0,202	2,629	1905,000	106,089	57,54	2,81	50,000	5,620	21,887
157	75,000	25,400	0,1156	0,249	2,936	1905,000	130,446	45,82	1,45	50,000	2,900	15,605
160	75,000	25,400	0,102	0,180	2,588	1905,000	94,226	42,97	10,71	50,000	21,420	16,602
161	75,000	25,400	0,0772	0,1884	1,961	1905,000	98,898	11,92	13,84	50,000	27,680	6,079
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,125</b>	<b>0,218</b>	<b>3,175</b>	<b>1905,000</b>	<b>114,191</b>	<b>47,320</b>	<b>6,171</b>	<b>50,000</b>	<b>12,342</b>	<b>15,477</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,040</b>	<b>0,033</b>	<b>1,025</b>	<b>0,000</b>	<b>17,461</b>	<b>13,799</b>	<b>3,600</b>	<b>0,000</b>	<b>7,200</b>	<b>4,995</b>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (28): Datos para las muestras de clavo al 40%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
186	75,000	25,400	0,095	0,213	2,405	1905,000	111,811	26,51	48,83	50,000	97,660	11,021
192	75,000	25,400	0,108	0,236	2,743	1905,000	123,885	26,33	80,33	50,000	160,660	9,598
198	75,000	25,400	0,1478	0,275	3,754	1905,000	144,357	38,010	72,13	50,000	144,260	10,125
199	75,000	25,400	0,1300	0,255	3,302	1905,000	133,858	30,910	14,52	50,000	29,040	9,361
200	75,000	25,400	0,1186	0,2455	3,012	1905,000	128,871	32,58	58,17	50,000	116,340	10,815
201	75,000	25,400	0,1647	0,3145	4,183	1905,000	165,092	33,48	75,88	50,000	151,760	8,003
202	75,000	25,400	0,1414	0,3058	3,592	1905,000	160,525	36,03	38,19	50,000	76,380	10,032
203	75,000	25,400	0,0756	0,1968	1,920	1905,000	103,307	22,25	29,51	50,000	59,020	11,587
204	75,000	25,400	0,0887	0,1989	2,253	1905,000	104,409	25,83	22,83	50,000	45,660	11,465
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,119</b>	<b>0,248</b>	<b>3,010</b>	<b>1905,000</b>	<b>115,806</b>	<b>30,503</b>	<b>51,911</b>	<b>50,000</b>	<b>103,822</b>	<b>10,336</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,030</b>	<b>0,046</b>	<b>0,751</b>	<b>0,000</b>	<b>48,981</b>	<b>5,390</b>	<b>20,879</b>	<b>0,000</b>	<b>41,757</b>	<b>1,099</b>

**Propiedades mecánicas\_ Tabla (29): Datos para las muestras de eugenol al 5%.**

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
265	75,000	25,400	0,057	0,1334	1,458	1905,000	70,026	46,62	1,77	50,000	3,540	31,976
266	75,000	25,400	0,120	0,2166	3,056	1905,000	113,701	82,1	1,55	50,000	3,100	26,869
267	75,000	25,400	0,064	0,1494	1,633	1905,000	78,425	26,61	1,31	50,000	2,620	16,293
268	75,000	25,400	0,143	0,2305	3,635	1905,000	120,997	93,52	1,80	50,000	3,600	25,729
269	75,000	25,400	0,106	0,188	2,687	1905,000	98,688	41,26	1,80	50,000	3,600	15,354
270	75,000	25,400	0,102	0,1863	2,601	1905,000	97,795	50,76	2,99	50,000	5,980	19,516
271	75,000	25,400	0,124	0,1947	3,142	1905,000	102,205	43,65	1,38	50,000	2,760	13,893
272	75,000	25,400	0,105	0,1878	2,670	1905,000	98,583	60,78	1,84	50,000	3,680	22,768
273	75,000	25,400	0,072	0,1382	1,826	1905,000	72,546	52,65	1,64	50,000	3,280	28,829
276	75,000	25,400	0,1173	0,2086	2,979	1905,000	109,501	74,64	1,48	50,000	2,960	25,052
278	75,000	25,400	0,122	0,2078	0,732	1905,000	109,081	73,49	2,09	50,000	4,180	100,391
279	75,000	25,400	0,1312	0,197	0,625	1905,000	103,412	65,04	1,71	50,000	3,420	103,983
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,108</b>	<b>0,190</b>	<b>2,384</b>	<b>1905,000</b>	<b>99,700</b>	<b>61,135</b>	<b>1,766</b>	<b>50,000</b>	<b>3,531</b>	<b>34,021</b>
<b>Desv típica</b>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,0375787</i>	<i>0,03013</i>	<i>1,110498082</i>	<i>491,86888</i>	<i>15,814</i>	<i>19,11728779</i>	<i>0,39215886</i>	<i>0</i>	<i>0,78431772</i>	<i>29,33727619</i>



*Propiedades mecánicas\_ Tabla (30): Datos para las muestras de eugenol al 10%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
247	75,000	25,400	0,129	0,2235	3,282	1905,000	117,323	70,99	1,63	50,000	3,260	21,632
248	75,000	25,400	0,169	0,252	4,290	1905,000	132,283	83,67	1,66	50,000	3,320	19,503
249	75,000	25,400	0,128	0,2149	3,241	1905,000	112,808	73,71	1,88	50,000	3,760	22,743
250	75,000	25,400	0,155	0,2125	3,934	1905,000	111,549	58,56	1,53	50,000	3,060	14,884
251	75,000	25,400	0,126	0,2149	3,190	1905,000	112,808	74,87	1,91	50,000	3,820	23,468
252	75,000	25,400	0,161	0,2328	4,092	1905,000	122,205	66,46	1,83	50,000	3,660	16,242
254	75,000	25,400	0,136	0,2285	3,462	1905,000	119,948	74,65	1,78	50,000	3,560	21,563
256	75,000	25,400	0,111	0,2131	2,830	1905,000	111,864	72,05	1,80	50,000	3,600	25,463
259	75,000	25,400	0,125	0,2204	3,165	1905,000	115,696	42,91	0,85	50,000	1,700	13,558
260	75,000	25,400	0,072	0,1697	1,816	1905,000	89,081	42,31	1,70	50,000	3,400	23,297
261	75,000	25,400	0,1622	0,249	4,120	1905,000	130,709	50,16	1,26	50,000	2,520	12,175
263	75,000	25,400	0,1383	0,2368	3,513	1905,000	124,304	93,17	2,06	50,000	4,120	26,523
264	75,000	25,400	0,1621	0,233	4,117	1905,000	122,310	71,53	2,21	50,000	4,420	17,373
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,128</b>	<b>0,214</b>	<b>3,256</b>	<b>1905,000</b>	<b>112,358</b>	<b>64,230</b>	<b>1,694</b>	<b>50,000</b>	<b>3,387</b>	<b>20,186</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,041</b>	<b>0,030</b>	<b>1,048</b>	<b>449,013</b>	<b>30,578</b>	<b>15,198</b>	<b>0,338</b>	<b>0,000</b>	<b>1,033</b>	<b>6,352</b>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (31): Datos para las muestras de eugenol al 20%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
304	75,000	25,400	0,088	0,177	2,238	1905,000	92,913	33,5	4,78	50,000	9,560	14,970
305	75,000	25,400	0,101	0,202	2,558	1905,000	106,037	43,15	4,64	50,000	9,280	16,870
306	75,000	25,400	0,070	0,1649	1,786	1905,000	86,562	21,7	4,78	50,000	9,560	12,153
307	75,000	25,400	0,089	0,1782	2,261	1905,000	93,543	32,6	6,76	50,000	13,520	14,421
308	75,000	25,400	0,124	0,2066	3,150	1905,000	108,451	56,5	2,70	50,000	5,400	17,939
309	75,000	25,400	0,081	0,1775	2,060	1905,000	93,176	13,38	3,02	50,000	6,040	6,495
310	75,000	25,400	0,083	0,1709	2,113	1905,000	89,711	33,04	5,66	50,000	11,320	15,634
311	75,000	25,400	0,127	0,2261	3,213	1905,000	118,688	58,24	3,90	50,000	7,800	18,126
312	75,000	25,400	0,107	0,1873	2,710	1905,000	98,320	45,67	4,29	50,000	8,580	16,851
313	75,000	25,400	0,097	0,1907	2,471	1905,000	100,105	35,35	5,48	50,000	10,960	14,304
314	75,000	25,400	0,1074	0,2083	2,728	1905,000	109,344	63,84	2,32	50,000	4,640	23,402
315	75,000	25,400	0,0978	0,176	2,484	1905,000	92,388	25,74	18,5	50,000	37,000	10,362
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,098</b>	<b>0,189</b>	<b>2,481</b>	<b>1905,000</b>	<b>99,103</b>	<b>38,559</b>	<b>5,569</b>	<b>50,000</b>	<b>11,138</b>	<b>15,127</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,017</b>	<b>0,018</b>	<b>0,427</b>	<b>0,000</b>	<b>9,632</b>	<b>15,387</b>	<b>4,269</b>	<b>0,000</b>	<b>8,538</b>	<b>4,252</b>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (32): Datos para las muestras de eugenol al 40%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
206	75,000	25,400	0,096	0,214	2,428	1905,000	112,336	18,74	17,24	50,000	34,480	7,718
209	75,000	25,400	0,143	0,3094	3,620	1905,000	162,415	25,86	80,56	50,000	161,120	7,145
210*	75,000	25,400	0,105	0,2356	2,657	1905,000	123,675	19,25	31,48	50,000	62,960	7,245
213	75,000	25,400	0,158	0,3319	4,003	1905,000	174,226	27,7	84,78	50,000	169,560	6,920
221	75,000	25,400	0,132	0,2957	3,350	1905,000	155,223	21,63	51,15	50,000	102,300	6,456
222	75,000	25,400	0,137	0,2674	3,482	1905,000	140,367	21,76	49,65	50,000	99,300	6,249
223	75,000	25,400	0,138	0,2895	3,513	1905,000	151,969	25,4	52,95	50,000	105,900	7,231
224	75,000	25,400	0,091	0,2111	2,304	1905,000	110,814	18,43	60,89	50,000	121,780	8,000
225	75,000	25,400	0,124	0,2682	3,160	1905,000	140,787	21,6	77,57	50,000	155,140	6,836
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,125</b>	<b>0,269</b>	<b>3,169</b>	<b>1905,000</b>	<b>141,312</b>	<b>22,263</b>	<b>56,252</b>	<b>50,000</b>	<b>112,504</b>	<b>7,089</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,022</b>	<b>0,040</b>	<b>0,554</b>	<b>0,000</b>	<b>20,881</b>	<b>3,347</b>	<b>22,630</b>	<b>0,000</b>	<b>55,557</b>	<b>2,302</b>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (33): Datos para las muestras de carvacrol al 5%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
280	75,000	25,400	0,119	0,1899	3,025	1905,000	99,685	47,17	1,78	50,000	3,560	15,593
281	75,000	25,400	0,119	0,1996	3,012	1905,000	104,777	66,91	1,53	50,000	3,060	22,211
282	75,000	25,400	0,071	0,1531	1,811	1905,000	80,367	35,32	5,06	50,000	10,120	19,503
283	75,000	25,400	0,078	0,1551	1,986	1905,000	81,417	60,19	1,54	50,000	3,080	30,303
284	75,000	25,400	0,125	0,215	3,170	1905,000	112,861	59,56	2,65	50,000	5,300	18,789
285	75,000	25,400	0,151	0,2268	3,843	1905,000	119,055	81,36	1,47	50,000	2,940	21,171
286	75,000	25,400	0,122	0,2035	3,094	1905,000	106,824	80,12	1,71	50,000	3,420	25,898
287	75,000	25,400	0,125	0,2091	3,170	1905,000	109,764	57,14	1,00	50,000	2,000	18,026
289	75,000	25,400	0,086	0,1706	2,189	1905,000	89,554	43,6	3,04	50,000	6,080	19,913
290	75,000	25,400	0,1048	0,2023	2,662	1905,000	106,194	39,03	2,85	50,000	5,700	14,662
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,114</b>	<b>0,197</b>	<b>2,906</b>	<b>1905,000</b>	<b>103,348</b>	<b>59,453</b>	<b>1,952</b>	<b>50,000</b>	<b>3,904</b>	<b>20,730</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,022</b>	<b>0,022</b>	<b>0,559</b>	<b>0,000</b>	<b>11,647</b>	<b>14,949</b>	<b>0,712</b>	<b>0,000</b>	<b>1,423</b>	<b>4,946</b>

**Propiedades mecánicas\_ Tabla (34): Datos para las muestras de carvacrol al 10%.**

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
291	75,000	25,400	0,1084	0,1837	2,753	1905,000	96,430	68,26	2,31	50,000	4,620	24,792
292	75,000	25,400	0,0840	0,1646	2,134	1905,000	86,404	9	19,88	50,000	39,760	4,218
293	75,000	25,400	0,0925	0,2108	2,350	1905,000	110,656	18,53	24,1	50,000	48,200	7,887
294	75,000	25,400	0,0967	0,1952	2,456	1905,000	102,467	52,11	2,80	50,000	5,600	21,216
295	75,000	25,400	0,1240	0,2076	3,150	1905,000	108,976	57,63	4,33	50,000	8,660	18,298
296	75,000	25,400	0,0916	0,1867	2,327	1905,000	98,005	58,73	2,72	50,000	5,440	25,242
297	75,000	25,400	0,0779	0,1544	1,979	1905,000	81,050	9,94	13,07	50,000	26,140	5,024
298	75,000	25,400	0,0682	0,152	1,732	1905,000	79,790	43,68	5,77	50,000	11,540	25,215
299	75,000	25,400	0,0849	0,1925	2,156	1905,000	101,050	27,02	9,93	50,000	19,860	12,530
300	75,000	25,400	0,0938	0,1682	2,383	1905,000	88,294	38,98	4,19	50,000	8,380	16,361
301	75,000	25,400	0,0817	0,1713	2,075	1905,000	89,921	27,22	6,50	50,000	13,000	13,117
302	75,000	25,400	0,0753	0,1577	1,913	1905,000	82,782	7,46	13,77	50,000	27,540	3,900
303	75,000	25,400	0,1087	0,1825	2,761	1905,000	95,801	21,77	5,40	50,000	10,800	7,885
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,092</b>	<b>0,177</b>	<b>2,335</b>	<b>1905,000</b>	<b>93,142</b>	<b>37,527</b>	<b>6,435</b>	<b>50,000</b>	<b>12,871</b>	<b>15,780</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,017</b>	<b>0,018</b>	<b>0,425</b>	<b>0,000</b>	<b>9,526</b>	<b>20,447</b>	<b>4,063</b>	<b>0,000</b>	<b>8,125</b>	<b>7,955</b>

*Propiedades mecánicas\_ Tabla (35): Datos para las muestras de carvacrol al 20%.*

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/ m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
316	75,000	25,400	0,074	0,173	1,890	1905,000	90,814	16,17	9,51	50,000	19,020	8,557
317	75,000	25,400	0,066	0,1491	1,684	1905,000	78,268	27,26	4,00	50,000	8,000	16,187
318	75,000	25,400	0,117	0,213	2,974	1905,000	111,811	53,35	1,64	50,000	3,280	17,937
319	75,000	25,400	0,074	0,1483	1,890	1905,000	77,848	45,65	2,88	50,000	5,760	24,157
320	75,000	25,400	0,098	0,1904	2,492	1905,000	99,948	16,26	22,08	50,000	44,160	6,526
321	75,000	25,400	0,089	0,1664	2,256	1905,000	87,349	7,38	17,19	50,000	34,380	3,272
322	75,000	25,400	0,093	0,1677	2,357	1905,000	88,031	20,26	12,10	50,000	24,200	8,595
323	75,000	25,400	0,107	0,1889	2,728	1905,000	99,160	56,46	3,56	50,000	7,120	20,697
324	75,000	25,400	0,104	0,1905	2,652	1905,000	100,000	31,83	6,38	50,000	12,760	12,003
325	75,000	25,400	0,102	0,1876	2,593	1905,000	98,478	48,17	4,51	50,000	9,020	18,575
326	75,000	25,400	0,1204	0,2011	3,058	1905,000	105,564	38,16	5,05	50,000	10,100	12,478
327	75,000	25,400	0,1036	0,1936	2,631	1905,000	101,627	27,87	7,11	50,000	14,220	10,591
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,096</b>	<b>0,180</b>	<b>2,428</b>	<b>1905,000</b>	<b>94,450</b>	<b>33,869</b>	<b>6,721</b>	<b>50,000</b>	<b>13,442</b>	<b>13,913</b>
<b>Desv típica</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,018</b>	<b>0,021</b>	<b>0,455</b>	<b>0,000</b>	<b>10,900</b>	<b>15,923</b>	<b>4,607</b>	<b>0,000</b>	<b>9,214</b>	<b>6,172</b>

**Propiedades mecánicas\_ Tabla (36): Datos para las muestras de carvacrol al 40%.**

MUESTRA	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Area (mm <sup>2</sup> )	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Fuerza máxima de rotura (N)	Elongación máxima (mm)	Separación pinzas (mm)	Elongación relativa (%)	Tensión máxima de rotura (N/mm <sup>2</sup> )
228	75,000	25,400	0,105	0,2171	2,675	1905,000	113,963	14,18	37,94	50,000	75,880	5,302
230	75,000	25,400	0,109	0,2493	2,774	1905,000	130,866	16,27	33,85	50,000	67,700	5,866
231	75,000	25,400	0,121	0,2415	3,084	1905,000	126,772	16,04	14,05	50,000	28,100	5,202
234	75,000	25,400	0,112	0,2271	2,845	1905,000	119,213	13,33	27,54	50,000	55,080	4,686
235	75,000	25,400	0,123	0,2636	3,124	1905,000	138,373	21,67	61,15	50,000	122,300	6,936
236	75,000	25,400	0,100	0,2373	2,530	1905,000	124,567	20,90	54,10	50,000	108,200	8,261
237	75,000	25,400	0,099	0,2099	2,522	1905,000	110,184	9,300	50,03	50,000	100,060	3,687
238	75,000	25,400	0,082	0,1759	2,073	1905,000	92,336	11,70	25,67	50,000	51,340	5,645
240	75,000	25,400	0,120	0,2269	3,051	1905,000	119,108	9,070	6,870	50,000	13,740	2,973
<b>MEDIA</b>	<b>75,000</b>	<b>25,400</b>	<b>0,106</b>	<b>0,228</b>	<b>2,703</b>	<b>1905,000</b>	<b>119,534</b>	<b>15,424</b>	<b>38,041</b>	<b>50,000</b>	<b>76,083</b>	<b>5,698</b>
<i>Desv típica</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,01</i>	<i>0,03</i>	<i>0,34</i>	<i>0,00</i>	<i>14,24</i>	<i>4,27</i>	<i>16,00</i>	<i>0,000</i>	<i>32,00</i>	<i>1,390</i>

*Propiedades mecánicas\_ Representación gráfica del ensayo de tracción con el texturómetro.*

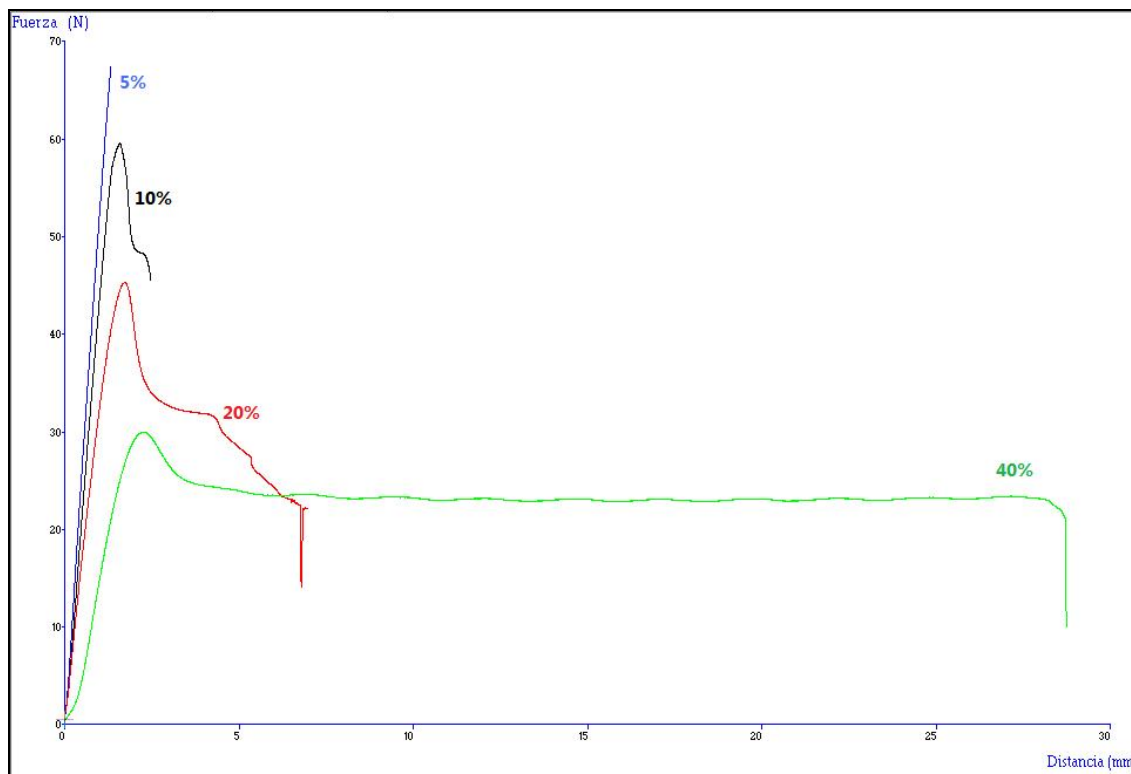


Figura (47): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración orégano).

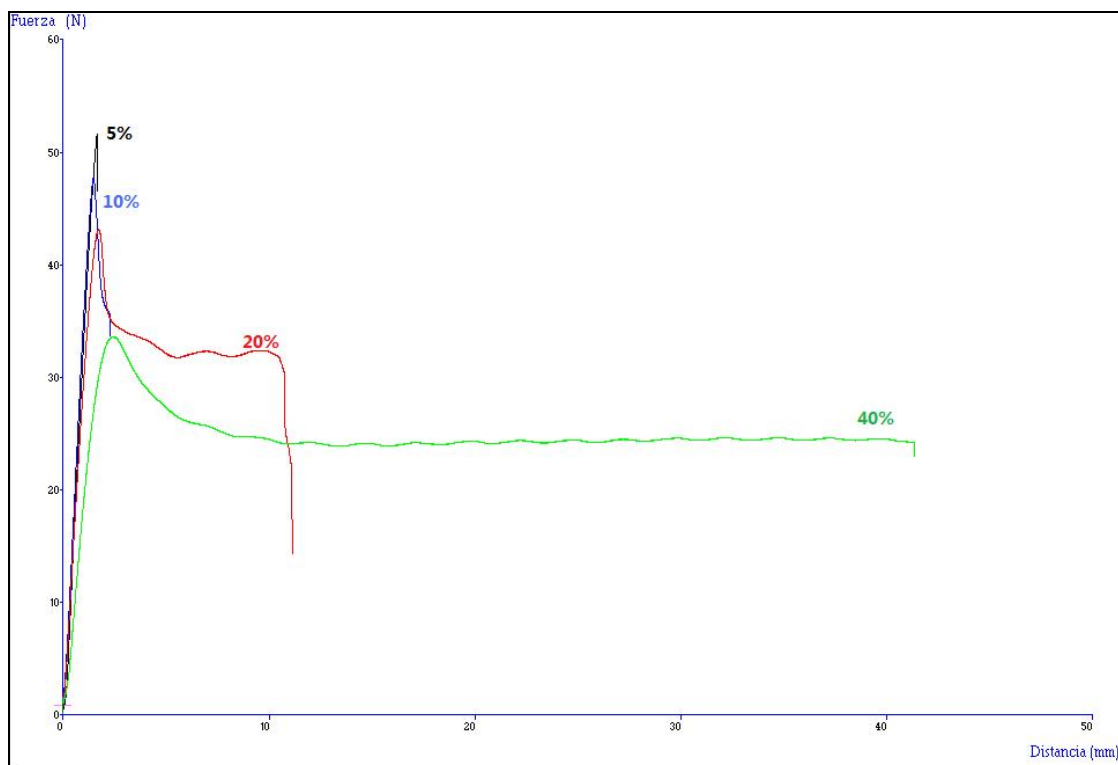


Figura (48): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración clavo).



*Propiedades mecánicas\_ Representación gráfica del ensayo de tracción con el texturómetro.*

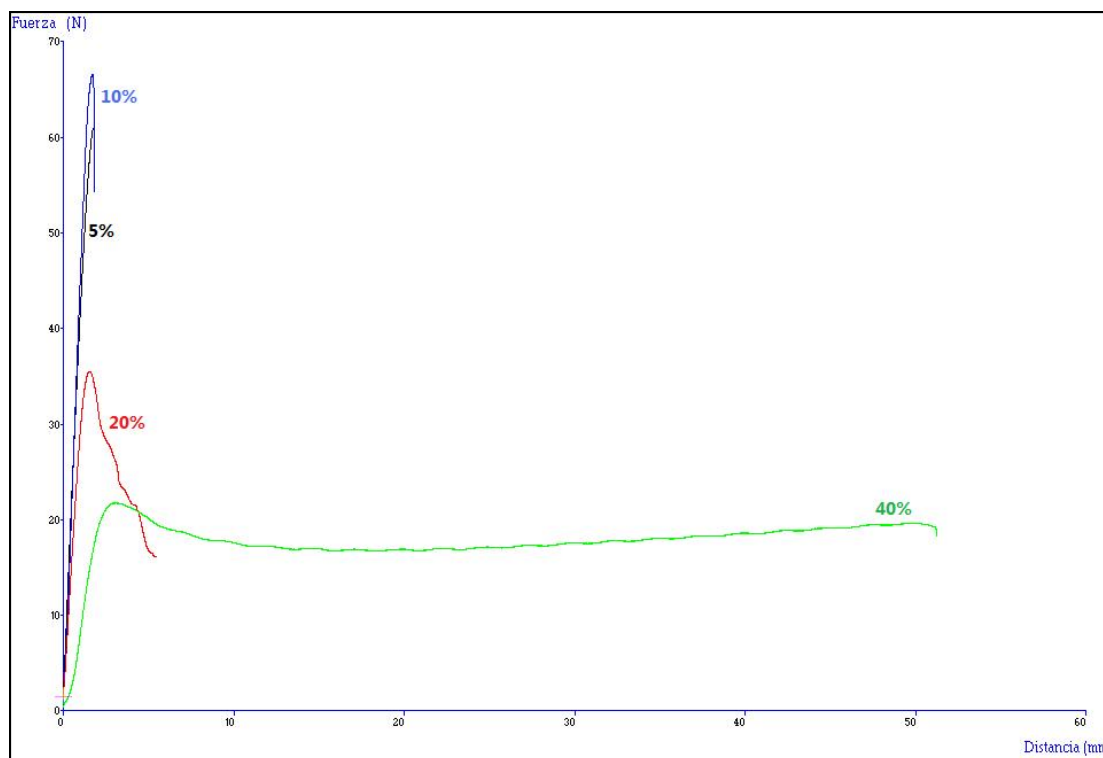


Figura (49): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración eugenol).

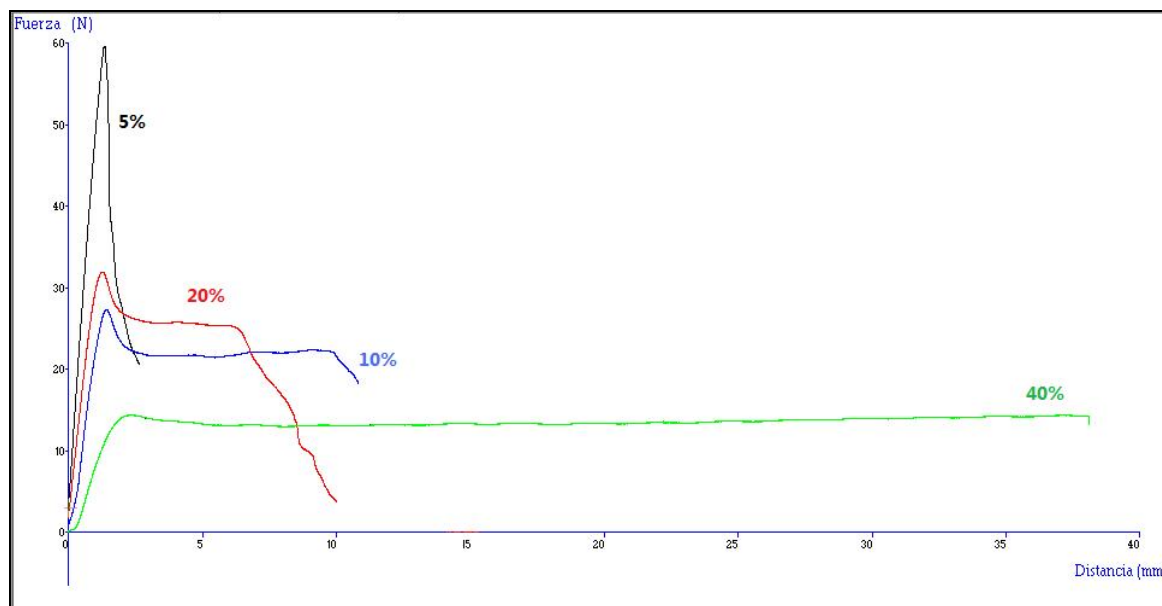


Figura (50): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes contenidos de aceite (concentración carvacrol).

**Propiedades mecánicas\_ Representación gráfica del ensayo de tracción con el texturómetro.**

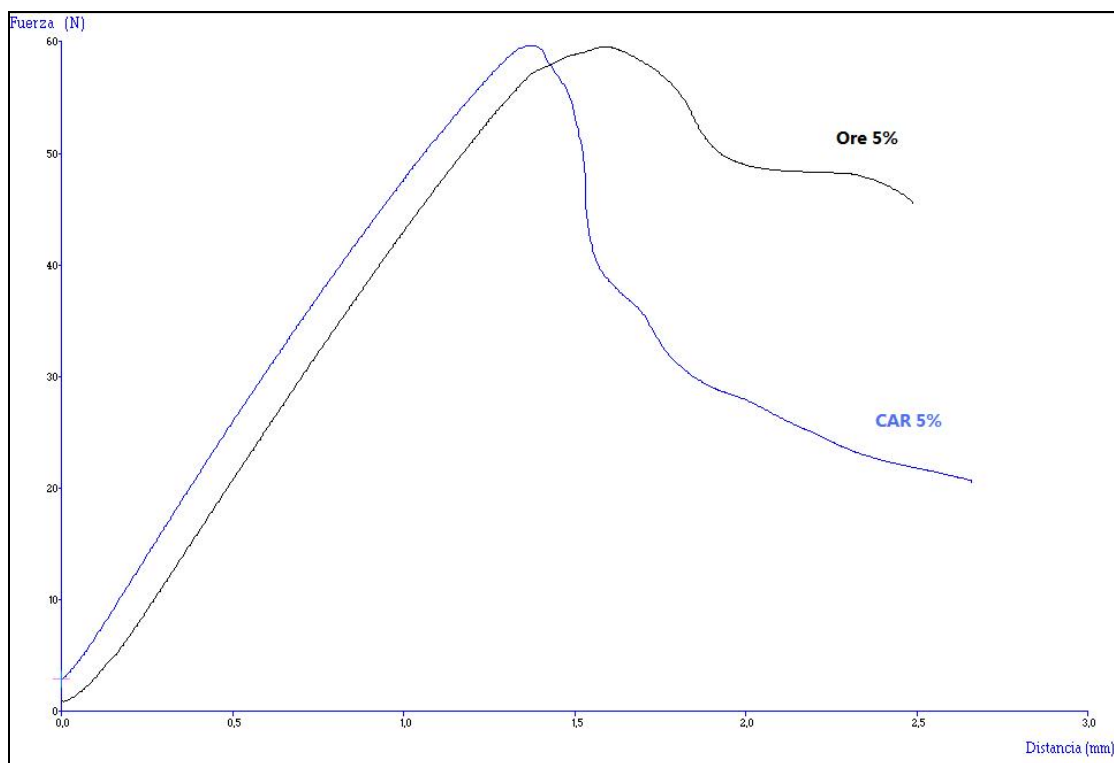


Figura (51): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 5%.

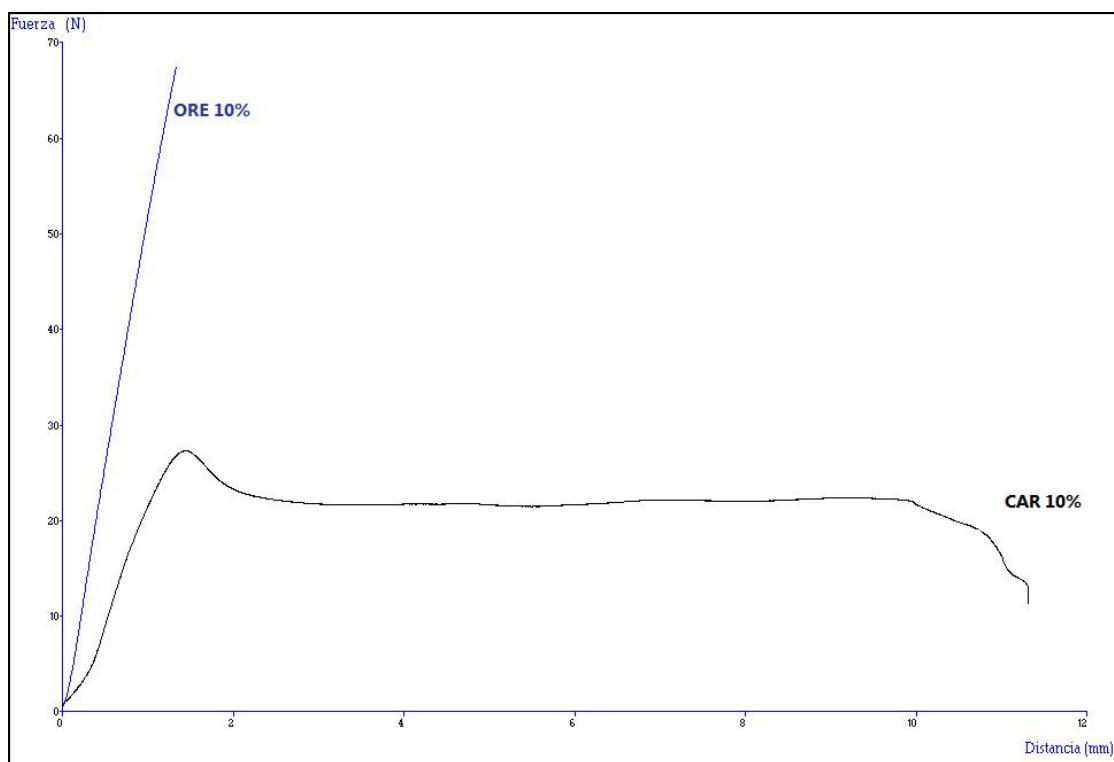


Figura (52): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 10%.

*Propiedades mecánicas\_ Representación gráfica del ensayo de tracción con el texturómetro.*

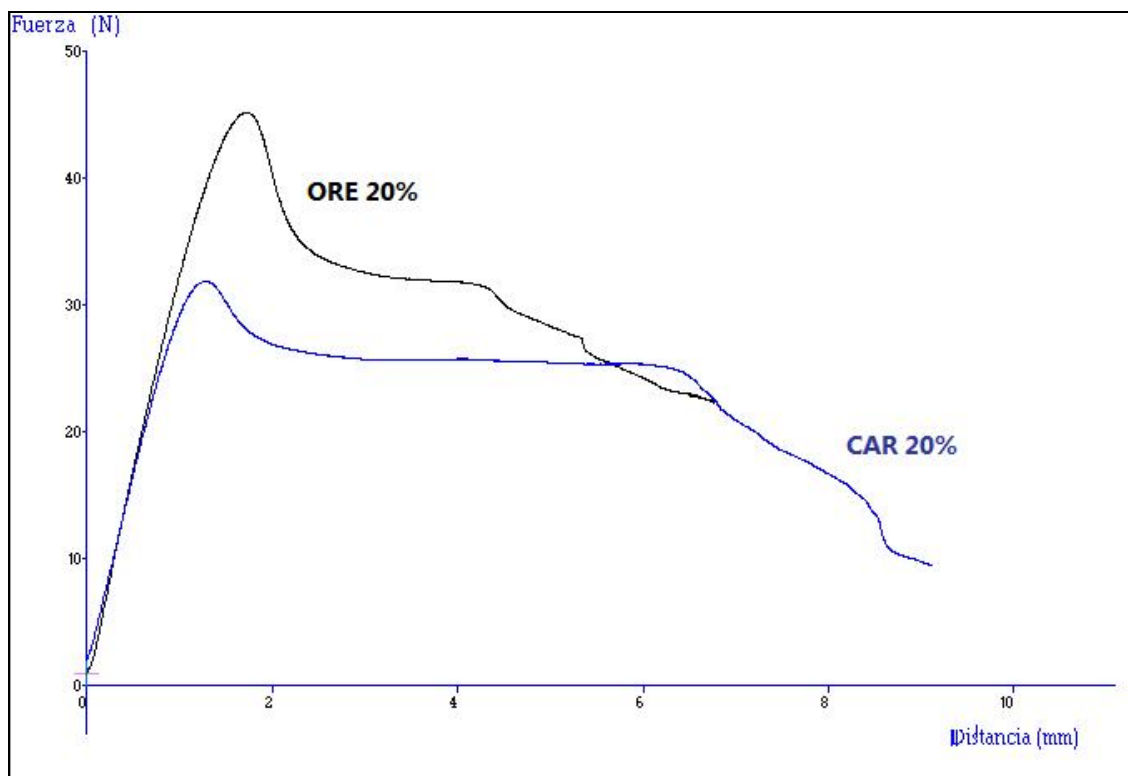


Figura (53): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 20%.

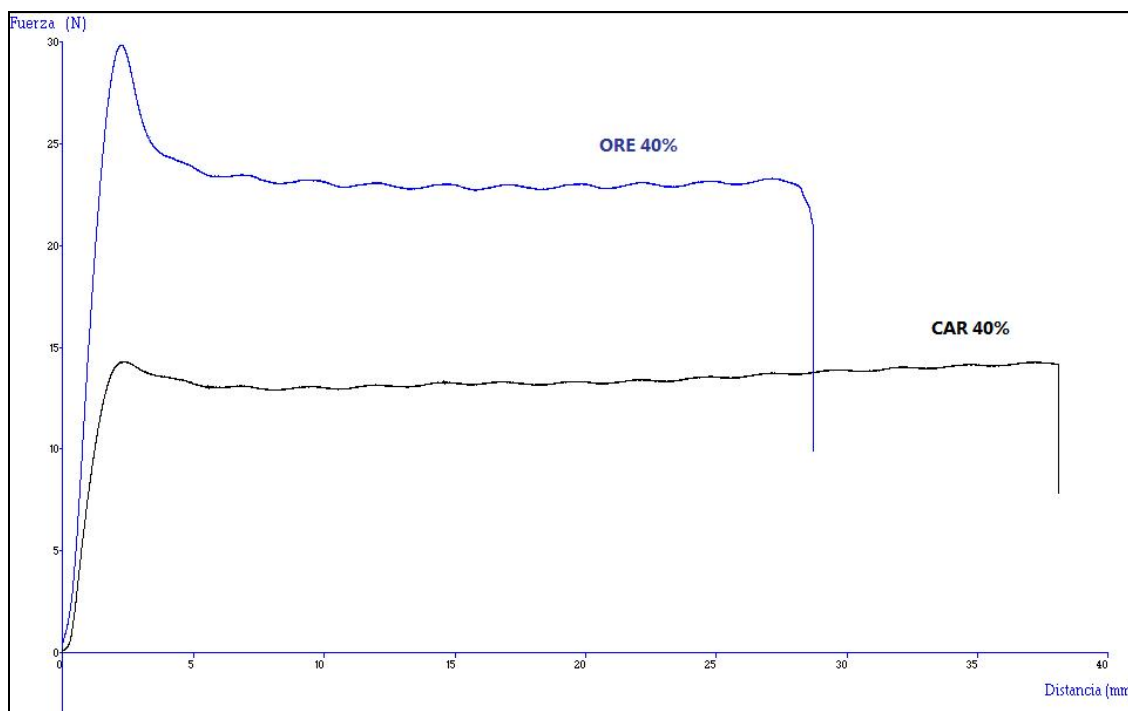


Figura (54): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite orégano (ORE) y carvacrol (CAR) para las concentraciones 40%.

**Propiedades mecánicas\_ Representación gráfica del ensayo de tracción con el texturómetro.**

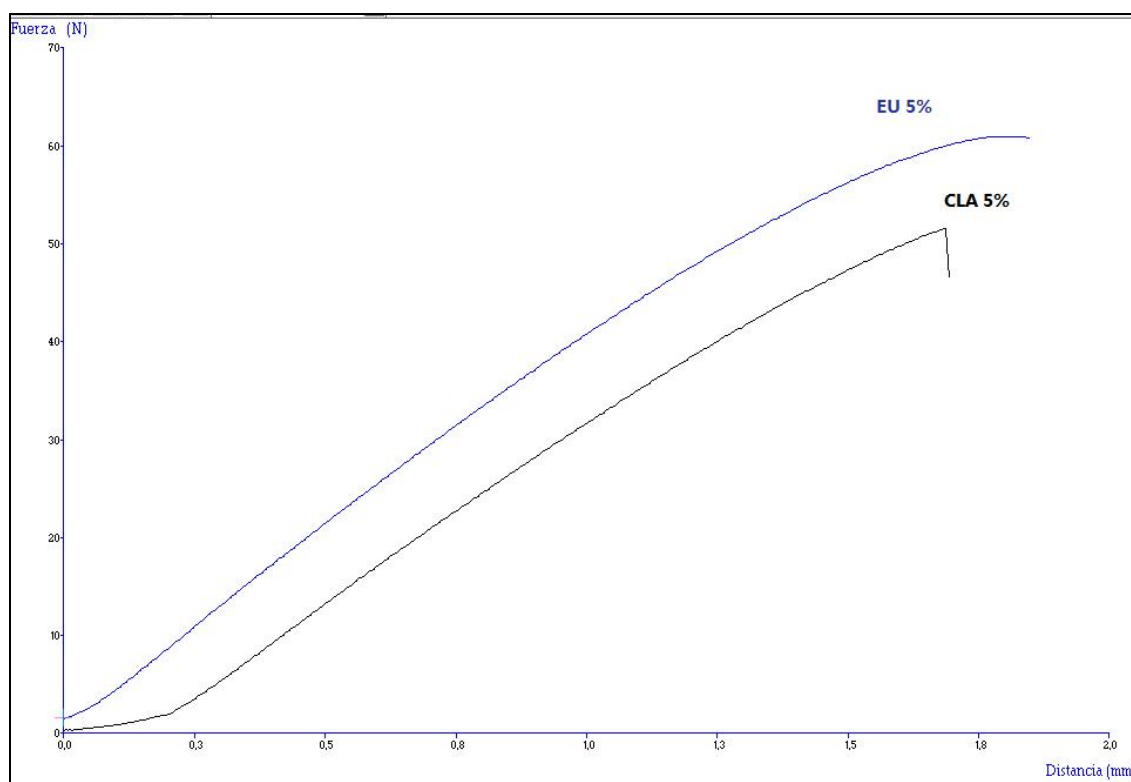


Figura (55): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 5%.

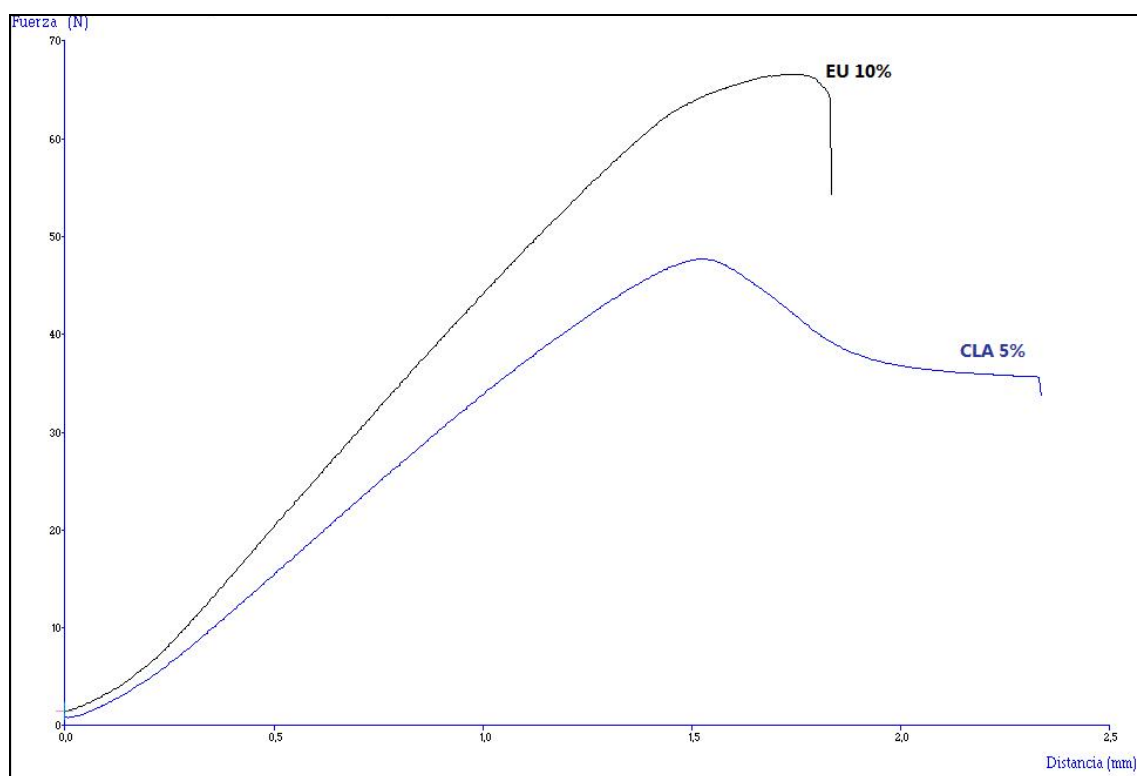


Figura (56): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 10%.

**Propiedades mecánicas\_ Representación gráfica del ensayo de tracción con el texturómetro.**

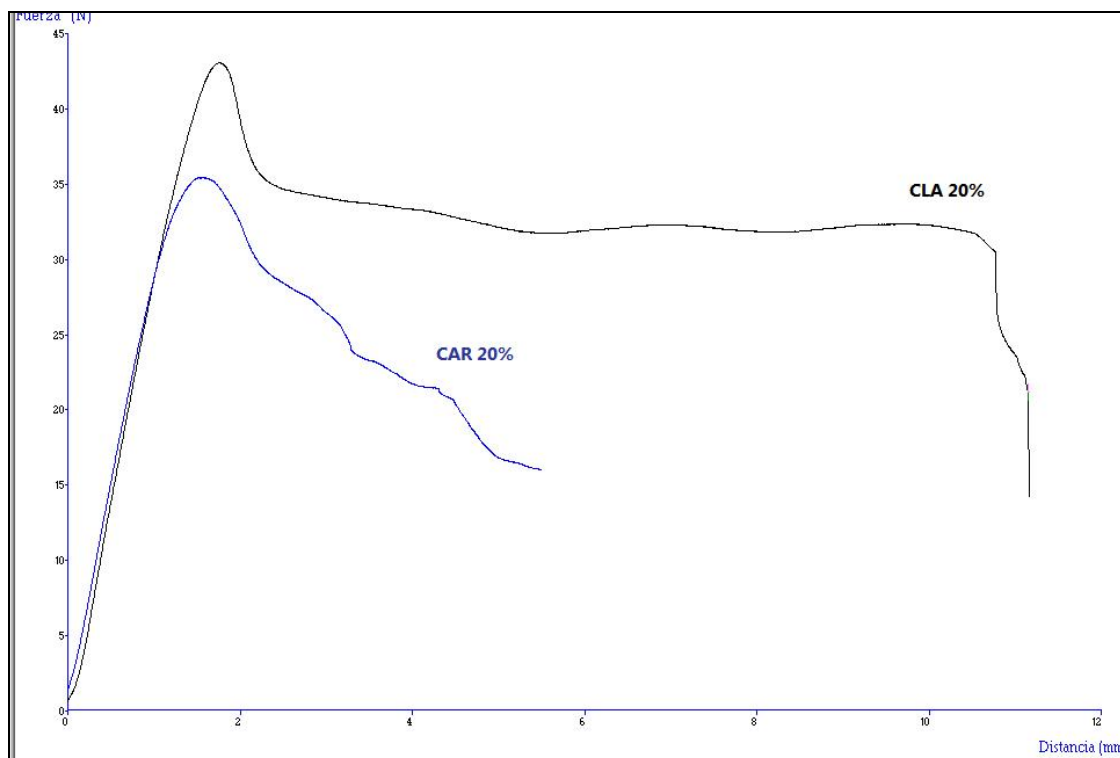


Figura (57): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 20%.

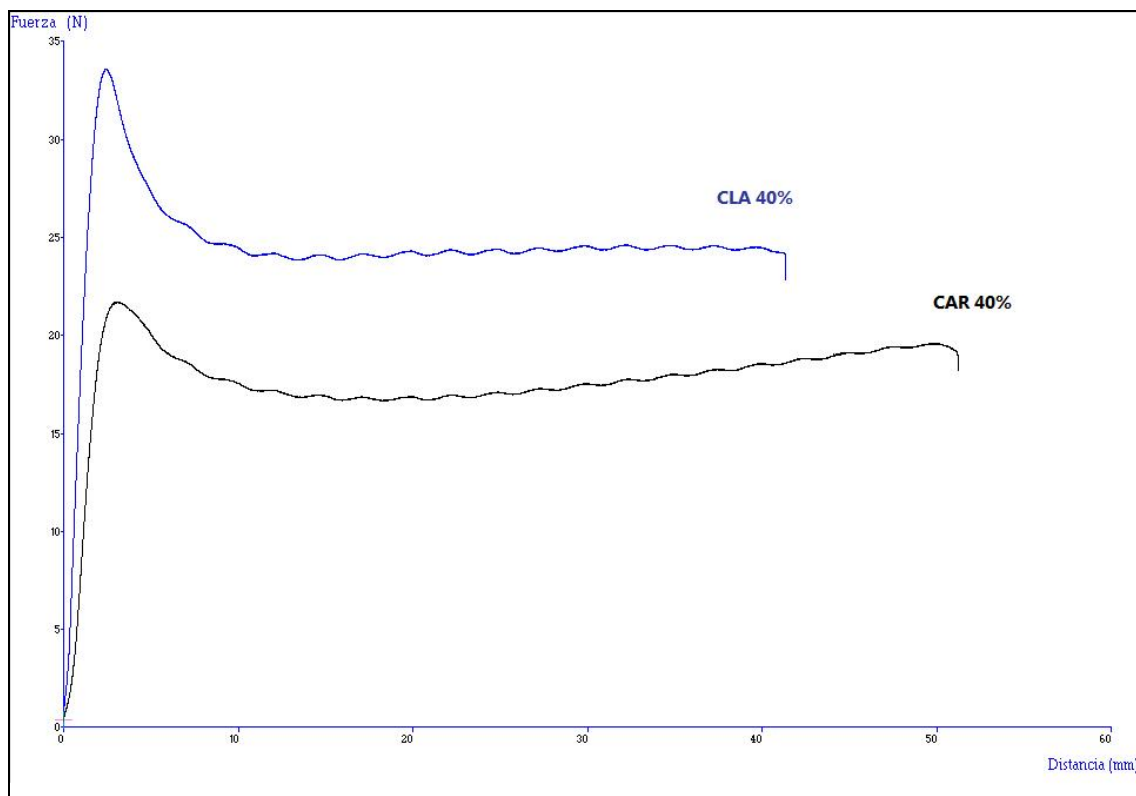


Figura (58): Representación gráfica de las propiedades mecánicas de los film con diferentes tipos de aceite clavo (CLA) y eugenol (EU) para las concentraciones 40%.

WVP\_ Tabla (37): Datos medios de los grosores de las películas (mm).

		1	2	3	4	5	6	Media	Desviación típica
	<b>Control</b>	0,86	0,75	1,13	1,06	1,10	0,72	<b>0,94</b>	<b>0,18</b>
<b>Ore</b>	<b>5%</b>	1,03	0,89	0,74	0,95	0,72	0,70	<b>0,84</b>	<b>0,14</b>
	<b>10%</b>	1,12	1,39	1,30	1,36	1,15	1,38	<b>1,28</b>	<b>0,12</b>
	<b>20%</b>	0,88	0,85	0,94	1,00	0,99	0,80	<b>0,91</b>	<b>0,08</b>
	<b>40%</b>	1,32	1,47	1,25	0,79	1,19	1,27	<b>1,21</b>	<b>0,23</b>
<b>Cla</b>	<b>5%</b>	1,34	0,64	1,13	0,80	0,76	1,31	<b>1,00</b>	<b>0,30</b>
	<b>10%</b>	1,02	1,14	1,15	1,21	1,16	1,24	<b>1,15</b>	<b>0,08</b>
	<b>20%</b>	0,98	1,13	1,13	1,18	1,08	1,04	<b>1,09</b>	<b>0,07</b>
	<b>40%</b>	1,10	1,30	1,34	1,20	1,42	1,05	<b>1,23</b>	<b>0,15</b>
<b>Eu</b>	<b>5%</b>	1,25	1,14	0,98	0,71	0,95	1,24	<b>1,04</b>	<b>0,21</b>
	<b>10%</b>	0,81	0,90	0,84	0,77	0,72	0,60	<b>0,77</b>	<b>0,11</b>
	<b>20%</b>	1,14	0,90	1,02	1,13	0,83	0,78	<b>0,97</b>	<b>0,15</b>
	<b>40%</b>	1,09	0,89	0,99	0,95	0,84	0,73	<b>0,91</b>	<b>0,13</b>
<b>CAR</b>	<b>5%</b>	1,07	1,02	0,93	1,02	1,03	0,99	<b>1,01</b>	<b>0,05</b>
	<b>10%</b>	1,08	1,12	1,07	0,98	1,05	0,91	<b>1,04</b>	<b>0,08</b>
	<b>20%</b>	1,26	0,92	1,37	0,91	1,37	1,12	<b>1,16</b>	<b>0,21</b>
	<b>40%</b>	1,35	0,95	0,82	1,33	0,99	0,82	<b>1,04</b>	<b>0,24</b>

**WVP\_ Tabla (38): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup>) de las películas control y orégano.**

aceite	Concentración		WVP	rh- underneath	WVP	rh underneath
Control		taza 1	0,74	91,40		
		taza 2	0,82	91,37		
		taza 3	0,69	91,37		
		taza 4	0,86	91,53		
		taza 5	0,78	91,20		
		taza 6	0,66	91,20		
		<i>Media</i>		0,76	91,37	<b>0,10</b>
Ore	5%	taza 1	1,23	89,22		
		taza 2	0,84	91,27		
		taza 3	0,76	90,62		
		taza 4	0,80	92,13		
		taza 5	0,86	89,22		
		taza 6	0,86	89,22		
		<i>Media</i>	0,89	90,28	<b>0,17</b>	<b>1,26</b>
	10%	taza 1	0,76	93,58		
		taza 2	0,93	93,59		
		taza 3	0,91	93,33		
		taza 4	0,92	93,57		
		taza 5	0,78	93,58		
		taza 6	0,93	93,68		
		<i>Media</i>	0,87	93,56	<b>0,08</b>	<b>0,12</b>
	20%	taza 1	0,51	94,39		
		taza 2	0,59	93,36		
		taza 3	0,51	94,67		
		taza 4	0,49	95,29		
		taza 5	0,68	94,39		
		taza 6	0,47	94,39		
		<i>Media</i>	0,54	94,42	<b>0,08</b>	<b>0,62</b>
40%	taza 1	0,54	96,02			
	taza 2	0,59	96,12			
	taza 3	0,48	96,26			
	taza 4	0,49	94,16			
	taza 5	0,49	96,02			
	taza 6	0,52	96,02			
	<i>Media</i>	0,52	95,77	<b>0,04</b>	<b>0,79</b>	

*WVP\_ Tabla (39): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup> de las películas de clavo.*

aceite	Concentración		WVP	rh- underneath	WVP	rh underneath
Cla	5%	taza 1	1,38	90,48		
		taza 2	0,64	90,84		
		taza 3	1,33	89,28		
		taza 4	0,67	92,13		
		taza 5	0,78	90,48		
		taza 6	1,35	90,48		
		<i>Media</i>	1,03	90,62	<b>0,36</b>	<b>0,91</b>
		10%	taza 1	0,87	91,98	
	taza 2		1,13	90,88		
	taza 3		0,98	92,02		
	taza 4		1,08	91,60		
	taza 5		0,99	91,98		
	taza 6		1,06	91,98		
	<i>Media</i>		1,02	91,74	<b>0,09</b>	<b>0,45</b>
	20%		taza 1	0,72	93,06	
		taza 2	1,02	91,58		
		taza 3	0,84	92,93		
		taza 4	0,83	93,28		
		taza 5	0,79	93,06		
		taza 6	0,76	93,06		
		<i>Media</i>	0,83	92,83	<b>0,10</b>	<b>0,62</b>
		40%	taza 1	0,86	92,60	
	taza 2		0,92	93,28		
	taza 3		1,05	92,66		
taza 4	0,83		93,41			
taza 5	1,12		92,60			
taza 6	0,82		92,60			
<i>Media</i>	0,93		92,86	<b>0,12</b>	<b>0,38</b>	



*WVP\_ Tabla (40): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup> de las películas de eugenol..*

aceite	Concentración		WVP	rh- underneath	WVP	rh underneath
Eu	5%	taza 1	1,02	92,34		
		taza 2	0,96	92,14		
		taza 3	0,92	91,28		
		taza 4	0,91	88,46		
		taza 5	0,78	92,34		
		taza 6	1,01	92,34		
		<i>Media</i>	0,93	91,48	0,09	1,54
	10%	taza 1	0,49	92,37		
		taza 2	0,79	91,82		
		taza 3	0,86	90,57		
		taza 4	0,75	91,03		
		taza 5	0,58	92,37		
		taza 6	0,66	92,37		
		<i>Media</i>	0,69	91,76	0,14	0,78
	20%	taza 1	0,86	92,81		
		taza 2	0,68	92,83		
		taza 3	0,78	92,75		
		taza 4	1,13	90,74		
		taza 5	0,63	92,81		
		taza 6	0,59	92,81		
		<i>Media</i>	0,78	92,46	0,20	0,84
40%	taza 1	0,79	93,12			
	taza 2	0,74	92,15			
	taza 3	0,80	92,34			
	taza 4	0,73	92,69			
	taza 5	0,60	93,12			
	taza 6	0,53	93,12			
	<i>Media</i>	0,70	92,76	0,11	0,43	

*WVP\_ Tabla (41): Valores de la permeabilidad al vapor de agua (g mm/kPa.h.m<sup>2</sup> de las películas de carvacrol.*

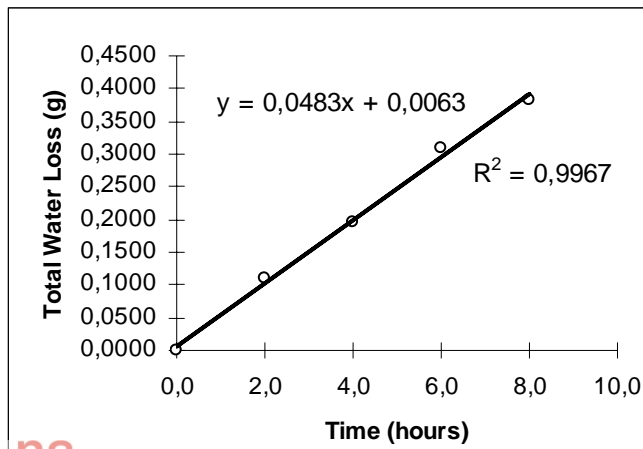
aceite	Concentración		WVP	rh- underneath	WVP	rh underneath
CAR	5%	taza 1	1,29	89,09		
		taza 2	0,90	91,76		
		taza 3	0,87	91,38		
		taza 4	1,04	90,65		
		taza 5	1,24	89,09		
		taza 6	1,19	89,09		
		<i>Media</i>	1,09	90,18	0,18	1,24
	10%	taza 1	0,81	92,93		
		taza 2	1,05	91,30		
		taza 3	0,89	92,20		
		taza 4	0,78	92,51		
		taza 5	0,78	92,93		
		taza 6	0,68	92,93		
		<i>Media</i>	0,83	92,47	0,13	0,64
	20%	taza 1	0,77	93,43		
		taza 2	0,87	93,43		
		taza 3	0,93	90,62		
		taza 4	1,13	92,25		
		taza 5	0,81	91,76		
		taza 6	0,95	93,43		
		<i>Media</i>	0,91	92,49	0,13	1,16
40%	taza 1	0,86	93,94			
	taza 2	0,54	94,59			
	taza 3	0,53	93,80			
	taza 4	0,82	94,14			
	taza 5	0,63	93,94			
	taza 6	0,52	93,94			
	<i>Media</i>	0,65	94,06	0,15	0,28	

Tabla (42): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína control.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt.	Expt. Time	Water Loss	Grams Lost
		day	hr	min	(g)	(hr)	(g)	Per Hour
0,055	0,091							
0,129	0,082	1	12	0	108,0367	0,0	0,0000	
0,11	0,1	1	14	0	107,9272	2,0	0,1095	0,0547
0,123	0,13	1	16	0	107,8403	4,0	0,1964	0,0435
0,067	0,067	1	18	0	107,7287	6,0	0,3080	0,0558
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,0954</b>	1	20	0	<b>107,6528</b>	8,0	<b>0,3839</b>	<b>0,0380</b>

permeability 0,86  
rh undernith 91,53%

Temperatura	22,8
	23,9
	23,7
	23,5
	23,1
<b>Average</b>	<b>23,40 °C</b>



<b>WVTR measured</b> (g/h m2)	23,83772	Average Temp (°C)	23,40 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	2876,3
<b>Film WVTR</b> (g/h-m2)	23,8377	Diffusivity (m2/sec)	2,79E-05
<b>Film Molar flux</b> (mol/m2 s)	0,000367556	Film Area(m2)	2,03E-03
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2632,57	Starting vol water (ml)	6
<b>Relative Humidity</b>	91,53%	Start ht (m)	0,0077
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m2)	9,0549	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

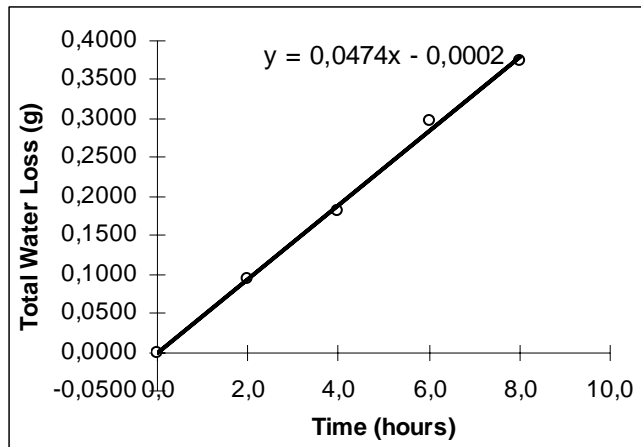
<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m2)	0,86384
--	---------

Tabla (43): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y orégano 5%.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
		day	hr	min				
0,137	0,047							
0,068	0,04	1	12	0	104,635	0,0000		
0,045	0,038	1	14	0	104,5373	0,0977	0,0489	
0,042	0,125	1	16	0	104,4456	0,1894	0,0459	
0,105	0,05	1	18	0	104,3276	0,3074	0,0590	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,0697</b>	1	20	0	<b>104,2487</b>	<b>0,3863</b>	<b>0,0395</b>	

permeability 0,83  
rh undernith 89,22%

Temperatura	24,2
	24
	24,3
	24,1
	24,4
Average	24,20 °C



<b>WVTR measured</b> (g/h m2)	32,00565	Average Temp (°C)	24,20 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	3018,8
<b>Film WVTR</b> (g/h-m2)	32,0056	Diffusivity (m2/sec)	2,81E-05
<b>Film Molar flux</b> (mol/m2 s)	0,000493498	Film Area(m2)	2,03E-03
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2693,47	Starting vol water (ml)	6
<b>Relative Humidity</b>	89,22%	Start ht (m)	0,0077
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m2)	11,8827	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

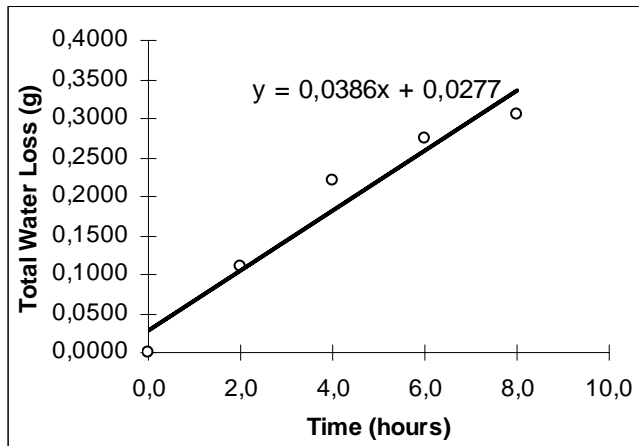
<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m2)	0,82822
-------------------------------------	---------

Tabla (44): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y orégano 10%.

Film Thickness (m)	Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
	day	hr	min				
0,13		0,126					
0,089	1	12	0	105,8828	0,0	0,0000	
0,165	1	14	0	105,7623	2,0	0,1205	0,0603
0,163	1	16	0	105,6486	4,0	0,2342	0,0568
0,153	1	18	0	105,5942	6,0	0,2886	0,0272
<b>Avg thickness (mm)</b>		<b>0,1377</b>					
	1	20	0	105,5648	8,0	0,3180	0,0147

permeability 0,93  
rh undernith 93,58%

Temperatura	24,2
	24,3
	24,6
	23,5
	24,1
<b>Average</b>	<b>24,14 °C</b>



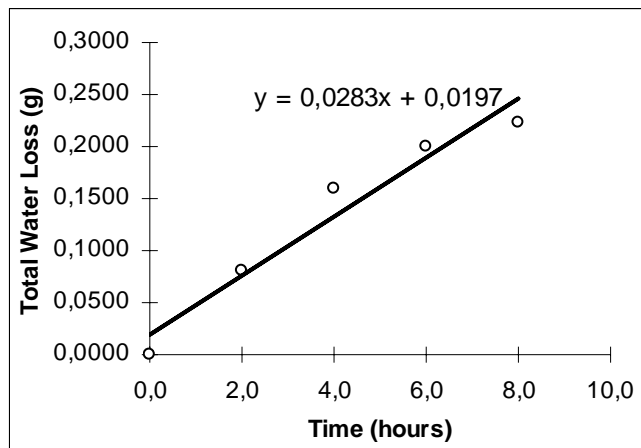
<b>WVTR measured</b> (g/h m2)	18,99025	Average Temp (°C)	24,14 °C
		Sat'd Vapor Press (Pa)	3007,9
- Cup losses (g/h)	0,00000	Diffusivity (m2/sec)	2,81E-05
<b>Film WVTR</b> (g/h-m2)	18,9902	Film Area(m2)	2,03E-03
		Starting vol water (ml)	6
<b>Film Molar flux</b> (mol/m2 s)	0,000292812	Start ht (m)	0,0077
		Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2814,90		
<b>Relative Humidity</b>	93,58%	<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m2)	0,92897
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m2)	6,7463		

Tabla (45): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y orégano 20%.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
		day	hr	min				
0,075	0,074							
0,096	0,08	1	12	0	102,5858	0,0	0,0000	
0,07	0,08	1	14	0	102,5033	2,0	0,0825	
0,081	0,08	1	16	0	102,41	4,0	0,1758	
0,078	0,09	1	18	0	102,369	6,0	0,2168	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,0804</b>	1	20	0	102,3474	8,0	0,2384	0,0108

permeability 0,47  
rh undernith 94,39%

Temperatura	24,2
	24,4
	23,9
	24,1
	24,1
<b>Average</b>	<b>24,14 °C</b>



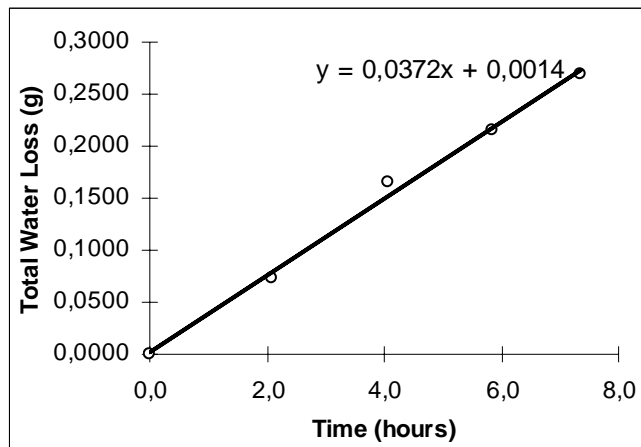
<b>WVTR measured</b> (g/h m2)	16,59981	Average Temp (°C)	24,14 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	3007,9
<b>Film WVTR</b> (g/h-m2)	16,5998	Diffusivity (m2/sec)	2,81E-05
<b>Film Molar flux</b> (mol/m2 s)	0,000255954	Film Area(m2)	2,03E-03
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2839,21	Starting vol water (ml)	6
<b>Relative Humidity</b>	94,39%	Start ht (m)	0,0077
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m2)	5,8466	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077
		<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m2)	<b>0,47007</b>

Tabla (46): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y orégano 40%.

Film Thickness (mm)	Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
	day	hr	min				
0,098	0,155	1	12	40	106,0887	0,0	0,0000
0,15	0,143	1	14	45	106,0404	2,0	0,0483
0,121	0,167	1	16	45	105,9807	4,1	0,1080
0,128	0,13	1	18	30	105,95	5,8	0,1387
0,078	0,098	1	20	0	105,9178	7,3	0,1709
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1268</b>						

permeability 0,52  
rh undernith 96,02%

Temperatura	24,2
	24,4
	23,9
	24,1
	24,1
<b>Average</b>	<b>24,14 °C</b>



<b>WVTR measured</b> (g/h m2)	12,49262	Average Temp (°C)	24,14 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	3167,4
<b>Film WVTR</b> (g/h-m2)	12,4926	Diffusivity (m2/sec)	2,83E-05
<b>Film Molar flux</b> (mol/m2 s)	0,000192625	Film Area(m2)	2,03E-03
<b>Partial Pressure (Pa) at underside of film</b>	3041,39	Starting vol water (ml)	6
<b>Relative Humidity</b>	96,02%	Start ht (m)	0,0077
<b>Permeance (g/kPa-h-m2)</b>		Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m2)	0,52083
-------------------------------------	---------

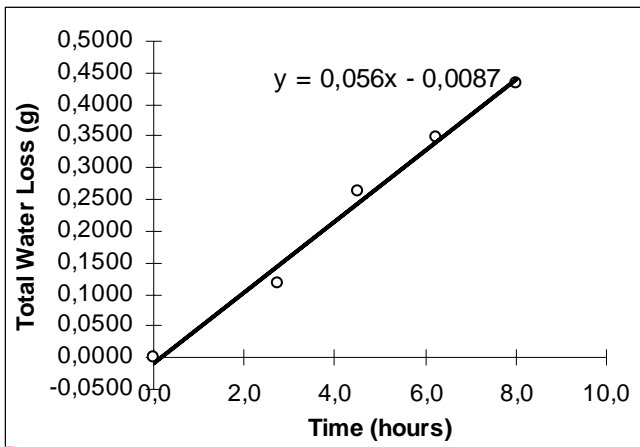
Tabla (47): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y clavo 5%.

Film Thickness (mm)	Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
	day	hr	min				
0,124	0,083						
0,27	0,09	1	12	107,8942	0,0	0,0000	
0,094	0,241	1	14	107,7774	2,8	0,1168	0,0425
0,118	0,125	1	16	107,632	4,5	0,2622	0,0831
0,114	0,082	1	18	107,5449	6,3	0,3493	0,0498
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1341</b>	1	20	107,4621	8,0	0,4321	0,0473

permeability 1,38  
rh underneath 90,48%

Temperatura	24,3
	24
	24
	23
	24
<b>Average</b>	<b>23,86 °C</b>

<b>WVTR measured</b> (g/h m <sup>2</sup> )	27,62300	Average Temp (°C)	23,86 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	2957,5
<b>Film WVTR</b> (g/h-m <sup>2</sup> )	27,6230	Diffusivity (m <sup>2</sup> /sec)	2,80E-05
<b>Film Molar flux</b> (mol/ m <sup>2</sup> s)	0,000425921	Film Area(m <sup>2</sup> )	2,03E-03
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2676,01	Starting vol water (ml)	6
<b>Relative Humidity</b>	90,48%	Start ht (m)	0,0077
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m <sup>2</sup> )	10,3225	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077



<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m <sup>2</sup> )	1,38424
---	---------



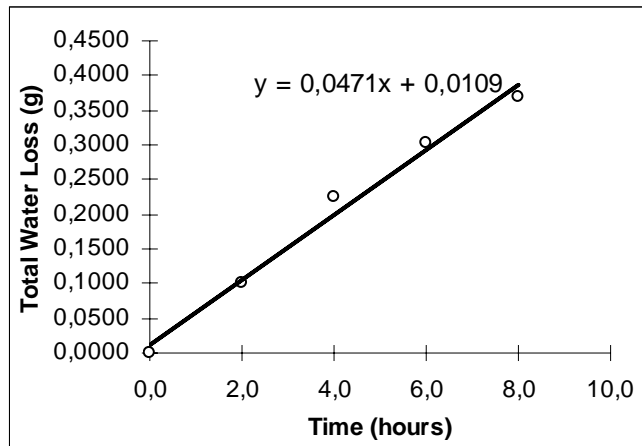
Tabla (48): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y clavo 10%.

Film Thickness (mm)			Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
			day	hr	min				
0,101	0,083								
0,098	0,119		1	12	0	105,8018	0,0	0,0000	
0,112	0,121		1	14	0	105,702	2,0	0,0998	
0,113	0,091		1	16	0	105,5767	4,0	0,2251	
0,087	0,09		1	18	0	105,4998	6,0	0,3020	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1015</b>		1	20	0	105,4318	8,0	0,3700	

permeability 0,87  
rh undernith 91,98%

<b>WVTR measured</b> (g/h m2)	23,24319	Average Temp (°C)	23,84 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	2953,9
<b>Film WVTR</b> (g/h-m2)	23,2432	Diffusivity (m2/sec)	2,80E-05
<b>Film Molar flux</b> (mol/m2 s)	0,000358389	Film Area(m2)	2,03E-03
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2717,08	Starting vol water (ml)	6
<b>Relative Humidity</b>	91,98%	Start ht (m)	0,0077
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m2)	8,5545	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

Temperatura	23,8
	24
	23,7
	23,9
	23,8
<b>Average</b>	<b>23,84 °C</b>



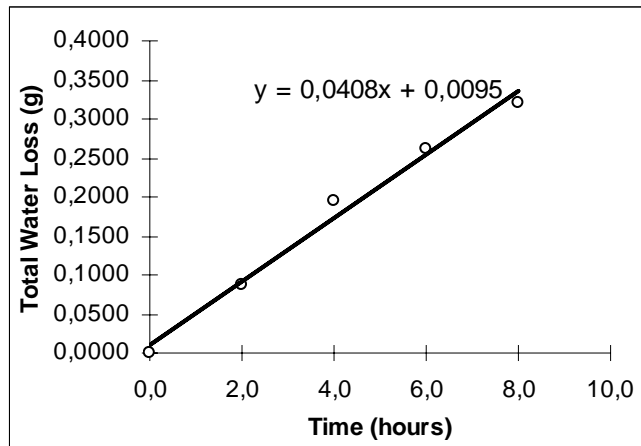
<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m2)	0,86828
-------------------------------------	---------

Tabla (49): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y clavo 20%.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
		day	hr	min				
0,078	0,143							
0,09	0,143	1	12	0	108,0848	0,0000		
0,085	0,094	1	14	0	107,9984	0,0864	0,0432	
0,09	0,08	1	16	0	107,8896	0,1952	0,0544	
0,075	0,103	1	18	0	107,8239	0,2609	0,0329	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,0981</b>	1	20	0	107,7643	0,3205	0,0298	

permeability 0,72  
rh undernith 93,06%

Temperatura	23,8
	24
	23,7
	23,9
	23,8
<b>Average</b>	<b>23,84 °C</b>



<b>WVTR measured</b> (g/h m2)	20,11762	Average Temp (°C)	23,84 °C
		Sat'd Vapor Press (Pa)	2953,9
- Cup losses (g/h)	0,00000	Diffusivity (m2/sec)	2,80E-05
<b>Film WVTR</b> (g/h-m2)	20,1176	Film Area(m2)	2,03E-03
		Starting vol water (ml)	6
<b>Film Molar flux</b> (mol/m2 s)	0,000310195	Start ht (m)	0,0077
		Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

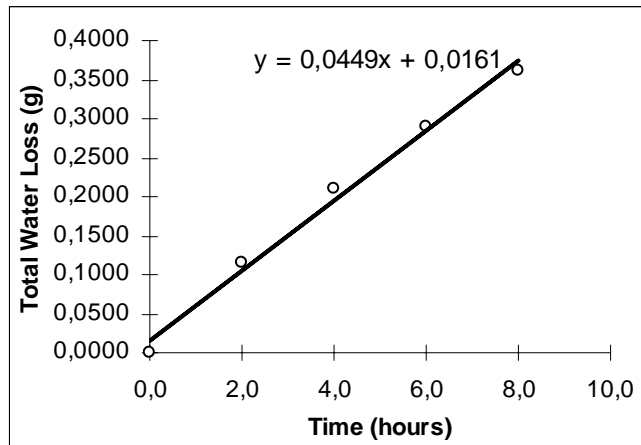
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2748,96	<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m2)	0,71792
<b>Relative Humidity</b>	93,06%		
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m2)	7,3183		

Tabla (50): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y clavo 40%.

Film Thickness (mm)	Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
	day	hr	min				
0,098	0,094	1	12	0	103,6312	0,0	0,0000
0,122	0,111	1	14	0	103,515	2,0	0,1162
0,123	0,09	1	16	0	103,4209	4,0	0,2103
0,087	0,134	1	18	0	103,3415	6,0	0,2897
0,14	0,096	1	20	0	103,2691	8,0	0,3621
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1095</b>						

permeability 0,86  
rh undernith 92,60%

Temperatura	24,2
	24,4
	24,3
	24,3
	24,3
Average	24,30 °C



WVTR measured (g/h m2)	22,14542	Average Temp (°C)	24,30 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	3037,0
Film WVTR (g/h-m2)	22,1454	Diffusivity (m2/sec)	2,81E-05
Film Molar flux (mol/m2 s)	0,000341462	Film Area(m2)	2,03E-03
Partial Pressure (Pa) at underside of film	2812,23	Starting vol water (ml)	6
Relative Humidity	92,60%	Start ht (m)	0,0077
Permeance (g/kPa-h-m2)	7,8747	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

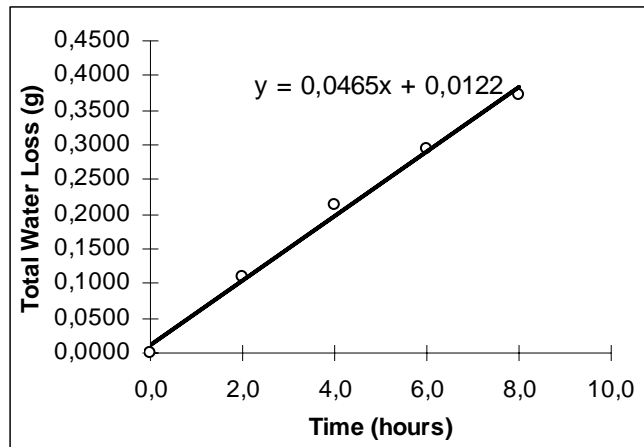
Permeability (g-mm/kPa-h-m2)	0,86228
------------------------------	---------

Tabla (51): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y eugenol 5%.

Film Thickness (mm)			Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
			day	hr	min				
0,16	0,119								
0,103	0,11	1	12	0	108,213	0,0	0,0000		
0,123	0,166	1	14	0	108,1032	2,0	0,1098	0,0549	
0,112	0,099	1	16	0	107,9998	4,0	0,2132	0,0517	
0,134	0,121	1	18	0	107,9176	6,0	0,2954	0,0411	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1247</b>	1	20	0	107,8411	8,0	0,3719	0,0382	

permeability 1,02  
rh undernith 92,34%

Temperatura	24,2
	24,4
	24,3
	24,3
	24,3
Average	24,30 °C



WVTR measured (g/h m2)	22,92743	Average Temp (°C)	24,30 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	3037,0
Film WVTR (g/h-m2)	22,9274	Diffusivity (m2/sec)	2,81E-05
Film Molar flux (mol/m2 s)	0,00035352	Film Area(m2)	2,03E-03
Partial Pressure (Pa) at underside of film	2804,28	Starting vol water (ml)	6
Relative Humidity	92,34%	Start ht (m)	0,0077
Permeance (g/kPa-h-m2)	8,1759	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

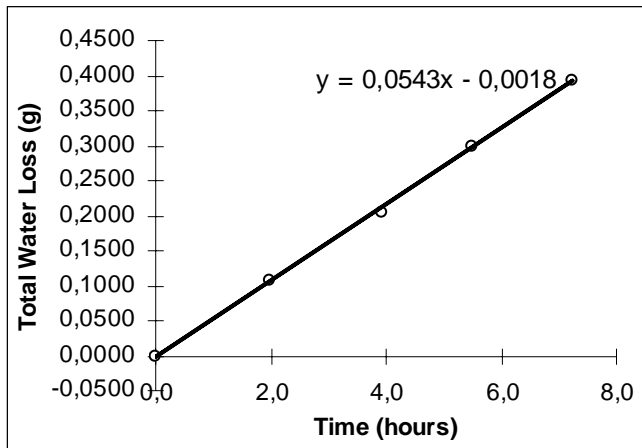
Permeability (g-mm/kPa-h-m2)	1,01953
------------------------------	---------

Tabla (52): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y eugenol 10%.

Film Thickness (mm)	Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
	day	hr	min				
0,057	0,053						
0,056	0,067	1	11	103,6553	0,0	0,0000	
0,056	0,062	1	13	103,5385	2,0	0,1168	0,0589
0,07	0,061	1	15	103,4329	3,9	0,2224	0,0546
0,053	0,062	1	17	103,3498	5,5	0,3055	0,0525
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,0597</b>	1	19	103,2627	7,3	0,3926	0,0498

permeability 0,49  
rh underneath 92,37%

Temperatura	23,7
	24,1
	24,9
	24,3
	24,3
<b>Average</b>	<b>24,26 °C</b>



<b>WVTR measured</b> (g/h m <sup>2</sup> )	22,76311	Average Temp (°C)	24,26 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	3029,7
<b>Film WVTR</b> (g/h-m <sup>2</sup> )	22,7631	Diffusivity (m <sup>2</sup> /sec)	2,81E-05
<b>Film Molar flux</b> (mol/m <sup>2</sup> s)	0,000350986	Film Area(m <sup>2</sup> )	2,03E-03
<b>Partial Pressure (Pa)</b> at underside of film	2798,57	Starting vol water (ml)	6
<b>Relative Humidity</b>	92,37%	Start ht (m)	0,0077
<b>Permeance</b> (g/kPa-h-m <sup>2</sup> )	8,1338	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

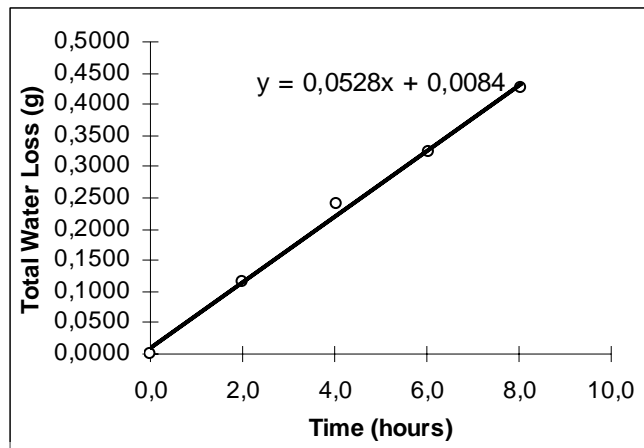
<b>Permeability</b> (g-mm/kPa-h-m <sup>2</sup> )	0,48559
--	---------

Tabla (53): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y eugenol 20%.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
		day	hr	min				
0,053	0,077							
0,107	0,096	1	12	13	103,6246	0,0	0,0000	
0,075	0,09	1	14	14	103,5025	2,0	0,1221	
0,071	0,067	1	16	15	103,3871	4,0	0,2375	
0,06	0,083	1	18	15	103,3105	6,0	0,3141	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,0779</b>	1	20	15	103,255	8,0	0,3696	0,0278

permeability 0,59  
rh undernith 92,81%

Temperatura	22,8
	23,9
	23,7
	23,5
	23,1
Average	23,40 °C



WVTR measured (g/h m2)	20,22769	Average Temp (°C)	23,40 °C
- Cup losses (g/h)	0,00000	Sat'd Vapor Press (Pa)	2876,3
Film WVTR (g/h-m2)	20,2277	Diffusivity (m2/sec)	2,79E-05
Film Molar flux (mol/m2 s)	0,000311892	Film Area(m2)	2,03E-03
Partial Pressure (Pa) at underside of film	2669,53	Starting vol water (ml)	6
Relative Humidity	92,81%	Start ht (m)	0,0077
Permeance (g/kPa-h-m2)	7,5773	Final ht (m)	0,0077
		mean ht (m)	0,0077

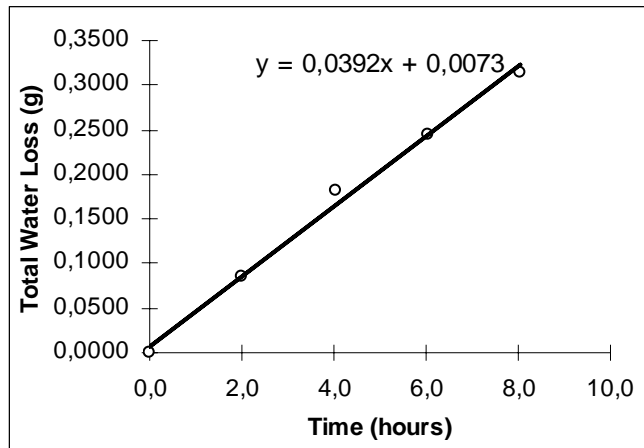
Permeability (g-mm/kPa-h-m2)	0,59027
------------------------------	---------

Tabla (54): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y eugenol 40%.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
		day	hr	min				
0,11	0,148							
0,086	0,123	1	12	13	105,963	0,0	0,0000	
0,09	0,123	1	14	14	105,8777	2,0	0,0853	
0,083	0,098	1	16	15	105,7817	4,0	0,1813	
0,12	0,11	1	18	15	105,7186	6,0	0,2444	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1091</b>	1	20	15	105,6488	8,0	0,3142	0,0349

permeability 0,79  
rh underneath 93,12%

Temperatura	22,8
	23,9
	23,7
	23,5
	23,1
<b>Average</b>	<b>23,40 °C</b>



**WVTR measured**  
(g/h m2)

19,3496

- Cup losses (g/h)

0,00000

**Film WVTR**  
(g/h-m2)

19,3495

**Film Molar flux**  
(mol/m2 s)

0,000298351

**Partial Pressure (Pa)**  
at underside of film

2678,52

**Relative Humidity**

93,12%

**Permeance** (g/kPa-h-m2)

7,2239

Average Temp (°C) 23,40 °C

Sat'd Vapor Press (Pa) 2876,3

Diffusivity (m2/sec) 2,79E-05

Film Area(m2) 2,03E-03

Starting vol water (ml) 6

Start ht (m) 0,0077

Final ht (m) 0,0077

mean ht (m) 0,0077

**Permeability**  
(g-mm/kPa-h-m2) 0,78813

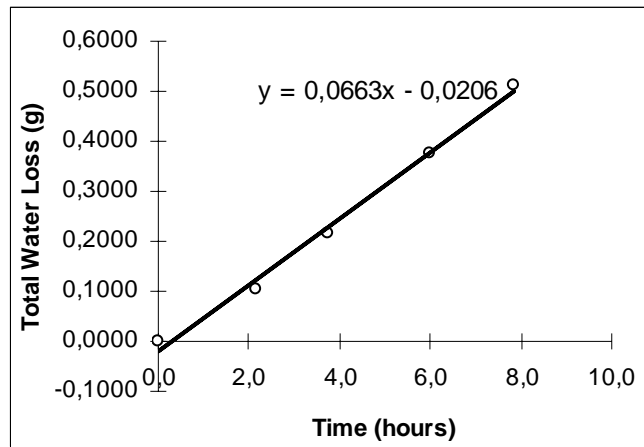
Tabla (55): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y carvacrol 5%.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt.	Expt. Time	Water Loss	Grams Lost
		day	hr	min	(g)	(hr)	(g)	Per Hour
0,131	0,083							
0,076	0,157	1	11	30	103,1303	0,0	0,0000	
0,087	0,126	1	13	40	103,0254	2,2	0,1049	0,0484
0,12	0,089	1	15	15	102,9154	3,8	0,2149	0,0695
0,114	0,083	1	17	30	102,7558	6,0	0,3745	0,0709
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1066</b>	1	19	20	102,6183	7,8	0,5120	0,0750

permeability 1,29  
rh undernith 89,09%

<b>WVTR measured</b>	32,70525	Average Temp (°C)	24,34 °C
(g/h m2)		Sat'd Vapor Press (Pa)	3044,3
- Cup losses (g/h)	0,00000	Diffusivity (m2/sec)	2,81E-05
<b>Film WVTR</b>	32,7052	Film Area(m2)	2,03E-03
(g/h-m2)		Starting vol water (ml)	6
<b>Film Molar flux</b>	0,000504285	Start ht (m)	0,0077
(mol/m2 s)		Final ht (m)	0,0077
<b>Partial Pressure (Pa)</b>	2712,29	mean ht (m)	0,0077
at underside of film			
<b>Relative Humidity</b>	89,09%		
<b>Permeance (g/kPa-h-m2)</b>	12,0582		

Temperatura	24,1
	24,4
	24,6
	24,3
	24,3
<b>Average</b>	<b>24,34 °C</b>



<b>Permeability</b>	1,28540
(g-mm/kPa-h-m2)	



Tabla (56): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y carvacrol 10%.

Film Thickness (mm)	Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
	day	hr	min				
0,134	0,08	1	11	30	102,7851	0,0	0,0000
0,083	0,082	1	13	40	102,6962	2,2	0,0889
0,086	0,096	1	15	15	102,6107	3,8	0,1744
0,095	0,081	1	17	30	102,4833	6,0	0,3018
0,083	0,094	1	19	20	102,3916	7,8	0,3935
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,0914</b>						

permeability 0,68  
rh undernith 92,93%

Average Temp (°C) 24,34 °C

WVTR measured 21,20035 (g/h m2)

Sat'd Vapor Press (Pa) 3044,3

Temperatura	24,1
	24,4
	24,6
	24,3
	24,3

- Cup losses (g/h) 0,00000

Diffusivity (m2/sec) 2,81E-05

Film WVTR 21,2003 (g/h-m2)

Film Area(m2) 2,03E-03

Starting vol water (ml) 6

Average 24,34 °C

Film Molar flux 0,00032689 (mol/m2 s)

Start ht (m) 0,0077

Final ht (m) 0,0077

mean ht (m) 0,0077

Partial Pressure (Pa) 2829,23 at underside of film

Relative Humidity 92,93%

Permeance (g/kPa-h-m2) 7,4933

**Permeability 0,68489 (g-mm/kPa-h-m2)**

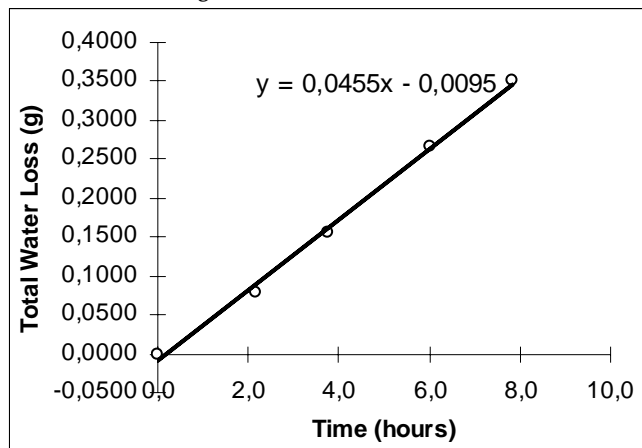


Tabla (57): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y carvacrol 20%.

Film Thickness (mm)		Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
		day	hr	min				
0,065	0,143							
0,064	0,074	1	13	0	107,9528	0,0	0,0000	
0,062	0,065	1	14	52	107,8926	1,9	0,0602	
0,25	0,058	1	17	0	107,8135	4,0	0,1393	
0,076	0,258	1	18	48	107,7559	5,8	0,1969	
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1115</b>	1	20	0	107,6961	7,0	0,2567	0,0498

permeability 0,77  
rh undernith 93,43%

Average Temp (°C) 24,04 °C

WVTR measured 17,80087 (g/h m2)

Sat'd Vapor Press (Pa) 2989,8

Temperatura	24,4
	24,4
	23,6
	23,6
	24,2
<b>Average</b>	<b>24,04 °C</b>

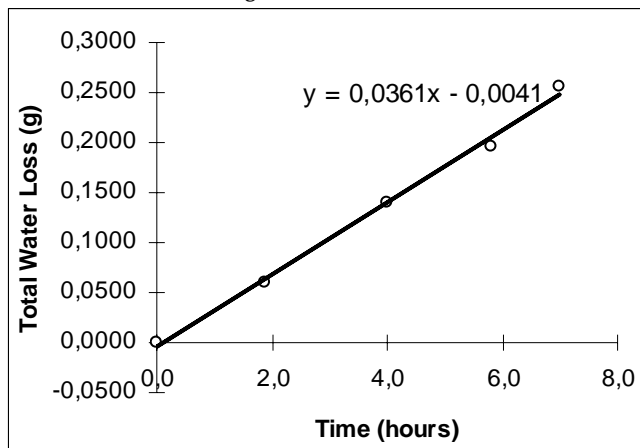
- Cup losses (g/h) 0,00000

Diffusivity (m2/sec) 2,80E-05

Film WVTR 17,8009 (g/h-m2)

Film Area(m2) 2,03E-03

Starting vol water (ml) 6



Film Molar flux 0,000274473 (mol/m2 s)

Start ht (m) 0,0077

Final ht (m) 0,0077

mean ht (m) 0,0077

Partial Pressure (Pa) at underside of film 2808,76

Relative Humidity 93,94%

**Permeability 0,85685 (g-mm/kPa-h-m2)**

Permeance (g/kPa-h-m2) 6,3376

Tabla (58): Hoja de cálculo para la permeabilidad al vapor de agua de un film de zeína y carvacrol 40%.

Film Thickness (mm)	Clock Time			Gross Wt. (g)	Expt. Time (hr)	Water Loss (g)	Grams Lost Per Hour
	day	hr	min				
0,114	0,129	1	13	0	107,9528	0,0	0,0000
0,13	0,111	1	14	52	107,8926	1,9	0,0602
0,173	0,123	1	17	0	107,8135	4,0	0,1393
0,121	0,202	1	18	48	107,7559	5,8	0,1969
0,114	0,135	1	20	0	107,6961	7,0	0,2567
<b>Avg thickness (mm)</b>	<b>0,1352</b>						

permeability 0,86  
rh undernith 93,94%

Average Temp (°C) 24,04 °C

WVTR measured 17,80087 (g/h m2)  
Sat'd Vapor Press (Pa) 2989,8

- Cup losses (g/h) 0,00000  
Diffusivity (m2/sec) 2,80E-05

Film WVTR 17,8009 (g/h-m2)  
Film Area(m2) 2,03E-03  
Starting vol water (ml) 6

Film Molar flux 0,000274473 (mol/m2 s)  
Start ht (m) 0,0077  
Final ht (m) 0,0077  
mean ht (m) 0,0077

Partial Pressure (Pa) at underside of film 2808,76

Relative Humidity 93,94%  
Permeance (g/kPa-h-m2) 6,3376  
**Permeability 0,85685 (g-mm/kPa-h-m2)**

Temperatura	24,4
	24,4
	23,6
	23,6
	24,2
<b>Average</b>	<b>24,04 °C</b>

