

2017

# DESARROLLO DE PELÍCULAS COMESTIBLES CON INCORPORACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ANÍS MEDIANTE MÉTODO DE EMULSIFICACIÓN

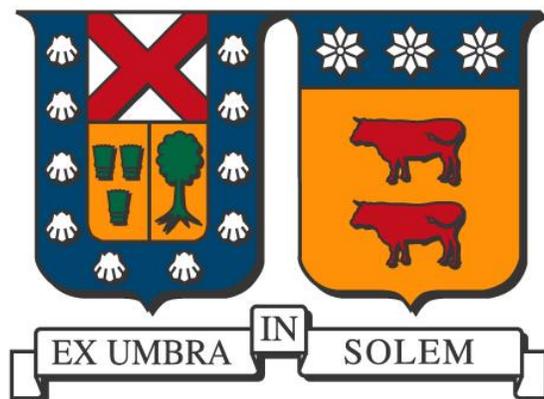
PARRA AEDO, MARÍA ISABEL

---

<http://hdl.handle.net/11673/23180>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL  
VALPARAÍSO - CHILE



# **DESARROLLO DE PELÍCULAS COMESTIBLES CON INCORPORACIÓN DE ACETE ESENCIAL DE ANÍS MEDIANTE MÉTODO DE EMULSIFICACIÓN**

Memoria de Titulación presentada por  
**MARÍA ISABEL PARRA AEDO**

Como requisito parcial para optar al Título de  
**INGENIERO CIVIL QUÍMICO**

Profesor Guía : Dr. Ricardo Simpson Rivera  
Profesor Guía : Dr. Cristian Ramírez Bustos

Enero de 2017  
Valparaíso - Chile

“Si tienes una segunda oportunidad,  
tómala con ambas manos”.

“El espíritu humano es más fuerte  
que cualquier cosa que le pueda pasar”.  
(C.C. Scott)

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y a mis hermanas, por motivarme, impulsarme, apoyarme y animarme cada vez que fue necesario durante este proceso. Gracias por siempre estar disponibles y dar lo mejor de sí cuando lo necesité, para que yo pueda dar lo mejor de mí.

A mis amigos, por su presencia incondicional en los buenos y malos momentos. Gracias por estar, incluso cuando no debían estar.

A los profesores Ricardo Simpson y Cristian Ramírez, por su excelente disposición a la hora de resolver hasta las dudas más absurdas que pudiera plantearles. Gracias por guiarme paso a paso durante el desarrollo de este trabajo, siempre con su energía positiva tan característica y contagiosa.

A María José Astudillo, por su invaluable aporte, participación, dedicación y profesionalismo. Gracias por formar playas enteras con cada granito de arena con que contribuiste a este trabajo.

A Carlos, por su existencia en mi existencia. Gracias por recordarme que quizás no siempre puedo ser fuerte, pero puedo elegir ser valiente. Gracias por espantar mis demonios personales mediante tu amor sin límites.

Al cáncer, por enseñarme que hay luz al final de todos los túneles.

A mí misma, por llegar al final de este (aparentemente) interminable túnel.

A la Vida, por ser vida.

*Dedicada a mis padres, hermanas,  
y a todo aquel que contribuyó  
para que terminara  
este proceso.  
Gracias.*

## RESUMEN

La demanda de fruta fresca exige que llegue a su destino en condiciones de calidad, lo que se dificulta por la alta perecebilidad de ésta durante su transporte. Una posible solución es usar tecnologías de preservación con recubrimientos comestibles. El biopolímero quitosano ha destacado por formar películas con propiedades mecánicas, adhesivas y de permeabilidad de calidad. Por otro lado, el aceite esencial de anís contiene anisol como principio activo, el cual presenta elevada actividad antimicrobiana y antifúngica. Además, al ser un compuesto volátil, no es necesario que el aceite esencial de anís esté en contacto con el alimento para protegerlo.

Este estudio se centra en el desarrollo de películas comestibles a base de quitosano, con incorporación de aceite esencial de anís mediante el método de emulsificación.

Para esto se diseñaron películas a base de soluciones de quitosano al 2% p/v en ácido láctico al 1% v/v, las cuales se mantuvieron en agitación magnética constante durante 48 horas. Luego se tomaron 80 mL de solución de quitosano al 2% p/v, se le agregó aceite vegetal (0 mL, 0,25 mL y 0,5 mL, según correspondiera) y se agitó a 600 rpm durante 5 minutos, luego se añadió aceite esencial de anís (0 mL, 0,5 mL y 1 mL, según fuera el caso), y se continuó con la agitación constante a 2000 rpm durante otros 20 minutos. Luego se agregó 0,5 mL de glicerol como plastificante y 0,25 mL de Tween 80 como emulsificante, agitándose durante 20 minutos más. Para terminar, la solución resultante se mantuvo durante 1 hora dentro de un desecador conectado a una bomba de vacío a 60 psi, para eliminar las burbujas formadas durante la agitación. Para la formación de las películas, se tomaron 20 mL de solución y se depositaron en placas acrílicas de 9 cm x 16,5 cm, se llevaron a horno de secado y se mantuvieron a 30°C y 30% HR durante 48 horas. Se midió permeabilidad al vapor de agua (WVP), resistencia a las fuerzas de tracción y punción, opacidad y ángulo de contacto.

Los resultados obtenidos para WVP estuvieron comprendidos entre  $5,18 \cdot 10^{11}$  y  $6,02 \cdot 10^{11}$  [ $\text{g} \cdot \text{m} / \text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$ ], para las pruebas de tracción se obtuvieron esfuerzos entre 0,97 y 2,69 [MPa], deformaciones entre 2,67 y 15,79 [%], Módulo de Young entre 13,08 y 31,83 [MPa]; mientras que los ensayos de punción tuvieron por respuesta cargas entre 3,51 y 15,57 [N] y distancias entre 9,56 y 13,40 [mm]. Por su parte, la opacidad entregó resultados entre 31,64 y 289,70 [UA/nm] y el ángulo de contacto se movió entre 38,22° y 62,20°.

Una vez realizadas las pruebas de laboratorio, se estableció que las películas con mayor contenido de aceite vegetal presentaban menor permeabilidad al vapor de agua, menor resistencia a las fuerzas de tracción y punción, mayor ángulo de contacto entre el agua y la superficie de la película y mayor opacidad frente al paso de la luz. Todas las películas lucían visualmente similares, no aceitosas, y presentaban sutil aroma a anís, como residuo del aceite esencial. Por otro lado, el contenido de aceite esencial de anís no mostró ser un factor determinante en la formación de las películas comestibles, según las características evaluadas en esta investigación.

## ABSTRACT

The demand for fresh fruit requires that it reaches its destination in conditions of quality, which is made difficult by the high perishability of this during transport. To solve this, investments have been made in technologies for the preservation of foods with edible coatings. The chitosan biopolymer has been outstanding for forming films with quality mechanical, adhesives and permeability properties. On the other hand, the anise essential oil contains anisole as active principle, which has high antimicrobial and antifungal activity. In addition, being a volatile compound, it is not necessary for the anise essential oil to be in contact with the food to protect it.

This study focuses on the development of chitosan-based edible films, incorporating essential oil of anise by the emulsification method.

For this purpose, films based on 2% p/v chitosan were designed, prepared by dispersion of 6 [g] of chitosan in 300 mL of 1% v/v lactic acid, which were maintained in constant magnetic stirring for 48 hours. Then 80 mL of 2% p/v chitosan solution was added, vegetable oil (0 mL, 0,25 mL and 0,5 mL, as appropriate) was added and this was stirred at 600 rpm for 5 minutes, then anise essential oil (0 mL, 0,5 mL and 1 mL, as the case may be) was added, and continue stirring at 2000 rpm for another 20 minutes, until the correct emulsification of the mixture is achieved. Then, 0,5 mL of glycerol as plasticizer and 0,25 mL of Tween 80 were then added as the emulsifying surfactant, to be allowed to stir for an additional 20 minutes. To conclude, the resulting solution was maintained for a period of 1 hour in a desiccator connected to a vacuum pump at 60 psi, to eliminate any bubbles that might have formed during stirring. For the formation of the films, 20 mL of solution were taken and deposited on acrylic plates of 9 cm x 16,5 cm, then desposited in a drying oven and kept under conditions of 30 ° C and 30% RH for 48 hours.

The results obtained for WVP were between  $5,18 \cdot 10^{11}$  y  $6,02 \cdot 10^{11}$  [ $\text{g} \cdot \text{m} / \text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$ ], for the tensile tests, tensions were obtained between 0,97 y 2,69 [MPa], deformations between 2,67 y 15,79 [%], Young's modulus between 13,08 y 31,83 [MPa]; while puncture tests had loads between 3.51 and 15.57[N] and distances between 9.56 and 13.40[mm]. On the other hand, the opacity gave results between 31.64 and 289.70 [UA/ nm] and the contact angle moved between 38.22° and 62.20°.

After the laboratory tests, it was established that films with higher vegetable oil content had lower permeability to water vapor, lower resistance to tensile and puncture forces, higher contact angle between water and the surface of the film and higher opacity in front of the passage of the light. All films looked visually similar, non-oily, and presented little to no aroma of anise, as residue of the essential oil. On the other hand, the essential oil content of anise was not a determining factor in the formation of edible films, according to the evaluated characteristics in this research.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN .....	5
ABSTRACT.....	6
ÍNDICE GENERAL.....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
NOMENCLATURA .....	12
CAPÍTULO I .....	13
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	14
1.1. Introducción .....	14
1.2. Objetivos .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos.....	15
CAPÍTULO II .....	16
2 ANTECEDENTES GENERALES .....	17
2.1. Fruta fresca.....	17
2.1.1. Frutas y la importancia de su incorporación en la dieta .....	17
2.1.5. Inconvenientes en la exportación de fruta fresca.....	18
2.2 Películas comestibles .....	19
2.2.1 Ventajas y propiedades de las películas comestibles .....	19
2.2.2. Composición de las películas comestibles .....	20
2.2.3. Materiales seleccionados para esta investigación .....	27
2.2.4. Propiedades físicas de las películas comestibles .....	30
CAPÍTULO III .....	37
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
3.1. Materiales .....	38
3.1.1. Componente base .....	38
3.1.2. Aditivos.....	38
3.1.3. Productos adicionales .....	39
3.2. Metodología experimental.....	39
3.2.1. Preparación de las películas .....	39
3.2.2. Permeabilidad al vapor de agua (WVP).....	41
3.2.3. Propiedades mecánicas.....	42
3.2.3.1. Resistencia a la fuerza de tracción .....	42
3.2.3.2. Resistencia a la fuerza de punción .....	43
3.2.4. Opacidad .....	44
3.2.5. Ángulo de contacto .....	44
3.2.6. Diseño de experimentos .....	45
CAPÍTULO IV .....	46

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1. Permeabilidad al vapor de agua (WVP).....	47
4.2. Propiedades mecánicas.....	50
4.2.1. Resistencia a la fuerza de tracción.....	50
4.2.2. Resistencia a la fuerza de punción.....	54
4.3. Opacidad.....	56
4.4. Ángulo de contacto.....	58
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5.1. Conclusiones.....	62
5.2. Recomendaciones.....	63
6 REFERENCIAS.....	65
7 ANEXOS.....	68
7.1. Quitosano.....	68
7.2. Tween 80.....	69
7.3. Aceite vegetal.....	70
7.4. Ácido láctico.....	71
7.5. Sílica gel.....	72
7.6. Software TexturePro CT.....	73
7.7. Cámara fotográfica Navitar.....	73
7.8. Resultados de las pruebas de permeabilidad al vapor de agua.....	74
7.9. Resultados para las pruebas de resistencia a la tracción.....	77
7.10. Resultados para las pruebas de resistencia a la punción.....	80
7.11. Valores de absorbancia.....	83
7.12. Resumen resultados para las pruebas de ángulo de contacto.....	86
7.13. Ángulo de contacto.....	90
7.14. Análisis estadístico.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de aditivos utilizados en la formación de películas.....	40
Tabla 2. Combinaciones posibles de aceite vegetal y aceite esencial de anís. ....	40
Tabla 3. Matriz de diseño experimental 3 <sup>2</sup> . ....	45
Tabla 4. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua. ....	47
Tabla 5. Valores de permeabilidad al vapor de agua de otros films. ....	49
Tabla 6. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción. ....	50
Tabla 7. Valores de pruebas de tracción para materiales conocidos.....	53
Tabla 8. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción. ....	54
Tabla 9. Resumen de resultados de opacidad.....	56
Tabla 10. Resumen de valores de ángulo de contacto. ....	58
Tabla 11. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0 ml y 0 ml. ....	74
Tabla 12. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0 ml y 0,5 ml. ....	74
Tabla 13. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0 ml y 1 ml. ....	74
Tabla 14. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,25 ml y 0 ml. ....	74
Tabla 15. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,25 ml y 0,5 ml. ....	75
Tabla 16. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,25 ml y 1 ml. ....	75
Tabla 17. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,5 ml y 0 ml. ....	75
Tabla 18. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,5 ml y 0,5 ml. ....	75
Tabla 19. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,5 ml y 1 ml. ....	76
Tabla 20. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0 ml y 0 ml.....	77
Tabla 21. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0 ml y 0,5 ml.....	77
Tabla 22. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0 ml y 1 ml.....	77
Tabla 23. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,25 ml y 0 ml.....	77
Tabla 24. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,25 ml y 0,5 ml.....	78
Tabla 25. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,25 ml y 1 ml.....	78
Tabla 26. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,5 ml y 0 ml.....	78
Tabla 27. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,5 ml y 0,5 ml.....	79
Tabla 28. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,5 ml y 1 ml.....	79
Tabla 29. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0 ml y 0 ml.....	80
Tabla 30. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0 ml y 0,5 ml.....	80
Tabla 31. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0 ml y 1 ml.....	80
Tabla 32. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,25 ml y 0 ml.....	80
Tabla 33. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,25 ml y 0,5 ml.....	81
Tabla 34. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,25 ml y 1 ml.....	81
Tabla 35. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,5 ml y 0 ml.....	81
Tabla 36. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,5 ml y 0,5 ml.....	81
Tabla 37. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,5 ml y 1 ml.....	82
Tabla 38. Resumen de valores de absorbancia para 0 ml y 0 ml. ....	83
Tabla 39. Resumen de valores de absorbancia para 0 ml y 0,5 ml. ....	83
Tabla 40. Resumen de valores de absorbancia para 0 ml y 1 ml. ....	83

Tabla 41. Resumen de valores de absorbancia para 0,25 ml y 0 ml. ....	84
Tabla 42. Resumen de valores de absorbancia para 0,25 ml y 0,5 ml. ....	84
Tabla 43. Resumen de valores de absorbancia para 0,25 ml y 1 ml. ....	84
Tabla 44. Resumen de valores de absorbancia para 0,5 ml y 0 ml. ....	85
Tabla 45. Resumen de valores de absorbancia para 0,5 ml y 0,5 ml. ....	85
Tabla 46. Resumen de valores de absorbancia para 0,5 ml y 1 ml. ....	85
Tabla 47. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0 ml y 0 ml. ....	86
Tabla 48. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0 ml y 0,5 ml. ....	86
Tabla 49. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0 ml y 1 ml. ....	86
Tabla 50. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0 ml. ....	87
Tabla 51. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0,5 ml. ....	87
Tabla 52. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,25 ml y 1 ml. ....	87
Tabla 53. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0 ml. ....	88
Tabla 54. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0,5 ml. ....	88
Tabla 55. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,5 ml y 1 ml. ....	88
Tabla 56. Resumen de valores de ángulo de contacto. ....	89
Tabla 57. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0 ml y 0 ml. ....	90
Tabla 58. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0 ml y 0,5 ml. ....	91
Tabla 59. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0 ml y 1 ml. ....	92
Tabla 60. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0 ml. ....	93
Tabla 61. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0,5 ml. ....	94
Tabla 62. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,25 ml y 1 ml. ....	95
Tabla 63. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0 ml. ....	96
Tabla 64. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0,5 ml. ....	97
Tabla 65. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,5 ml y 1 ml. ....	98
Tabla 66. Resumen resultados de valor-p mediante análisis de varianza. ....	99
Tabla 67. Resumen resultados de Test de Duncan 95%, mediante Prueba de Rangos Múltiples. ....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Frutas como aliado para la buena salud.....	17
Figura 2. Arándanos afectados por el hongo botrytis cinerea. ....	19
Figura 3. Transferencias que pueden controlarse por aplicación de películas comestibles.....	20
Figura 4. Estructura de la quitina. ....	27
Figura 5. Estructura del quitosano. ....	27
Figura 6. Estructura química del anisol. ....	29
Figura 7. Principales beneficios del uso de aceite esencial de anís. ....	29
Figura 8. Parámetros obtenidos a partir de curva fuerza-deformación del ensayo de tracción. ....	34
Figura 9. Parámetros obtenidos a partir curva fuerza-deformación del ensayo de punción. ....	35
Figura 10. Significado ángulo de contacto, según tipo de superficie.....	36
Figura 11. Quitosano en polvo. ....	38
Figura 12. Aceite esencial de anís. ....	38
Figura 13. Preparación de la solución de quitosano al 2% p/v. ....	39
Figura 14. Preparación de la solución formadora de película.....	40
Figura 15. Ejemplo de la medición del espesor de las películas. ....	41
Figura 16. Montaje para la prueba de permeabilidad al vapor de agua, en el laboratorio. ....	42
Figura 17. Texturómetro CT3 Texture Analyzer. ....	43
Figura 18. Espectrofotómetro disponible en el laboratorio. ....	44
Figura 19. Ejemplo de análisis de ángulo de contacto, por el software ImageJ. ....	45
Figura 20. Variación de permeabilidad al vapor de agua.....	48
Figura 21. Variación de resistencia a la tracción.....	51
Figura 22. Variación de porcentaje de deformación.....	51
Figura 23. Variación de módulo elástico. ....	52
Figura 24. Variación de resistencia a la punción.....	55
Figura 25. Variación de deformación por punción.....	55
Figura 26. Variación de la opacidad. ....	57
Figura 27. Relación entre ángulos de contactos y mojabilidad, (a) buen mojado (b) mal mojado. .	59
Figura 28. Variación de ángulo de contacto.....	59
Figura 29. Captura de pantalla de la configuración para las pruebas de punción.....	73

## NOMENCLATURA

A	Área de transferencia efectiva, [m <sup>2</sup> ]
D <sub>máx</sub>	Deformación máxima, [mm]
D <sub>rup</sub>	Deformación a la ruptura, [%]
E <sub>rup</sub>	Esfuerzo a la ruptura, [MPa]
F <sub>máx</sub>	Fuerza máxima, [N]
L <sub>o</sub>	Longitud inicial de la muestra de películas comestibles, [mm]
L <sub>f</sub>	Longitud final de la muestra de películas comestibles, [mm]
Δm	Variación de peso de la copa, [g]
ΔP	Diferencia de presión parcial de vapor de agua a través de la película, [Pa]
S	Área de la sección transversal, [mm <sup>2</sup> ]
Δt	Variación de tiempo, [s]
WVP	Permeabilidad al vapor de agua, [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
δ	Espesor de la película, [m]
ε <sub>rot</sub>	Elongación relativa o valor de la deformación, [%]
σ <sub>máx</sub>	Tensión máxima, [MPa]
€	Módulo elástico, de elasticidad o de Young, [MPa]

## SUBÍNDICES

o	Inicial
f	Final
máx	Máximo
Rup	Ruptura

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1. Introducción

Desde varios años el área de la ingeniería y la tecnología de alimentos se ha preocupado de investigar formas de proteger a los alimentos perecibles de su natural deterioro y de pérdidas de calidad asociadas al período de almacenamiento (Diab *et al.*, 2001).

Las películas o recubrimientos comestibles se definen como una o varias capas delgadas y continuas de polímero, que pueden ser consumidas por el ser humano y que se aplican para prolongar la vida útil de frutas frescas. El uso de esta tecnología ofrece protección adicional, sin causar alteraciones en sus propiedades nutricionales ni organolépticas (Lin y Zhao, 2007).

Las películas comestibles actúan de barrera contra la humedad, impidiendo la pérdida de ésta, causal de disminución de la firmeza y peso de las frutas, además de cambios en sabor y apariencia. Los films también presentan permeabilidad selectiva frente a gases, retardando la respiración de las frutas, pérdida de compuestos volátiles y retrasando la oxidación enzimática. Además, ofrecen protección contra el daño mecánico y pueden portar ingredientes funcionales, tales como antifúngicos, antimicrobianos y antioxidantes, entre muchos otros (Eum *et al.*, 2009).

Las películas comestibles se elaboran a partir de una variedad de productos agrícolas y/o residuos de la industrialización de productos de alimentos (Campos *et al.*, 2011). Los biopolímeros utilizados en la formulación de films comestibles deben ser inocuos, evitando causar riesgos a la salud del consumidor (Quintero *et al.*, 2010). Entre los polisacáridos de mayor relevancia para formular recubrimientos protectores, se encuentra el quitosano, componente principal de las conchas de crustáceos que permite constituir recubrimientos capaces de prolongar la vida útil de fruta fresca (Djioua *et al.*, 2010), tal como mango, fresa, frambuesa y papaya (Han *et al.*, 2004). Por su parte, los aceites esenciales han sido incluidos en la formulación de films para proveer características adicionales, tal como el aceite esencial de anís, que reporta beneficios antimicrobianos a los recubrimientos que constituye (Mandalari *et al.*, 2007)

Aunque el uso de films comestibles parece nuevo, lo cierto es que desde ya muchos años que se han utilizado para recubrir alimentos, tal como ocurría en China desde el siglo XII, donde se recubrían frutas cítricas con cera. En el siglo XVI, en Inglaterra, la pérdida de humedad en alimentos se prevenía con recubrimientos de manteca. En la actualidad, las películas comestibles son aplicadas en una amplia gama de productos, tales como: embutidos, chocolate, nueces, vegetales, fruta y carne (Krochta *et al.*, 1994)

El presente trabajo de investigación pretende evaluar el efecto que tiene la incorporación de aceite esencial de anís en películas comestibles a base de quitosano y sus propiedades como barrera de protección para la fruta fresca.

## 1.2. Objetivos

### Objetivo General

- Diseñar y caracterizar una película comestible a base de quitosano con incorporación de aceite esencial de anís mediante método de emulsificación.

### Objetivos Específicos

- Diseñar una película comestible a base de quitosano, aceite vegetal y aceite esencial de anís.
- Evaluar el comportamiento de las películas comestibles, según diverso contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís, con el fin de identificar y establecer una combinación óptima.
- Determinar la proporción entre quitosano, aceite vegetal y aceite esencial de anís, a modo de conseguir un recubrimiento para la fruta.
- Estudiar la permeabilidad al vapor de agua, ángulo de contacto, opacidad, resistencia a la tracción y a la punción, de las combinaciones de películas comestibles desarrolladas.

# **CAPÍTULO II**

## **ANTECEDENTES GENERALES**

## 2 ANTECEDENTES GENERALES

### 2.1. Fruta fresca

#### 2.1.1. Frutas y la importancia de su incorporación en la dieta

Actualmente, debido al aumento casi incontrolable de la denominada *epidemia de la obesidad*, las personas han adquirido mayor consciencia al momento de decidir qué alimentos consumir y han establecido cambios en su estilo de vida, orientados hacia hábitos más saludables. Sin embargo, la inmediatez de acción y alta eficiencia que exige este mundo globalizado obliga, de forma aparente, a reducir las opciones de comida y decantarse por platos preparados, altamente procesados y poco nutritivos. El tiempo, la falta de él, se plantea como uno de los grandes enemigos a la hora de ingerir platos que requieran preparaciones más elaboradas y cuya composición nutricional sea adecuada a los requerimientos de cada individuo. En medio de esta problemática, una de las soluciones más evidentes la presentan las frutas, ya que en ellas confluyen la disponibilidad prácticamente inmediata de consumo y la presencia de nutrientes sin alteración, debido al mínimo procesamiento en comparación a otros alimentos (Bierhals *et al.*, 2011).

Los beneficios de una alimentación con presencia de frutas y verduras han sido ampliamente reportados a través de los años por una enorme variedad de entidades internacionales y locales, donde se pueden destacar la Organización Mundial de la Salud, OMS, el Fondo Mundial para la Investigación del Cáncer, WFCR, y el Instituto Americano de Investigación del Cáncer, AICR, las cuales señalan la existencia de evidencia de disminución del riesgo de padecer diversas enfermedades no transmisibles que afectan a un gran porcentaje de la población mundial, tales como diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cáncer (Mardones *et al.*, 2009).



**Figura 1. Frutas como aliado para la buena salud.**  
Fuente: Berriesworld.com

En este escenario, la introducción en el mercado de frutas de calidad, con procesamiento mínimo y presencia casi inalterada de nutrientes originales, se vuelve una alternativa sumamente atractiva a la hora de considerar posibles soluciones a esta problemática. La principal diferencia entre un alimento natural conservado mediante métodos mínimamente invasivos y uno procesado de forma artificial, es que el segundo ha sufrido numerosas modificaciones durante su elaboración, cambiando su esencia hasta el punto de haber perdido por completo sus características nutricionales y sensoriales. Como resultado de diversas investigaciones, existen varios métodos de conservación de frutas que involucran un procesamiento mínimo, manteniendo así sus propiedades organolépticas y nutricionales casi similares a las de las frutas frescas (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2003).

### **2.1.5. Inconvenientes en la exportación de fruta fresca**

Dada la incuestionable demanda de las frutas frescas en el mercado internacional, se vuelve indispensable asegurar que éstas lleguen en condiciones de calidad a los clientes. En este ámbito, sin embargo, se presenta como problemática que la fruta evidencia pérdida apreciable de algunas de las cualidades que la hacen tan apetecida (Zhan *et al.*, 2011).

Uno de los principales inconvenientes lo representa la gran distancia entre el país de origen y los mercados de destino, debido al tiempo que los frutos se ven obligados a permanecer embalados en sus contenedores. Algunas variedades de fruta son especialmente perecibles, susceptibles a daños mecánicos, deshidratación, pudrición y desórdenes fisiológicos durante el almacenaje. El arándano resiente en particular el ataque del hongo *botrytis cinerea*, causante del “moho gris” o “pudrición gris”, cuya aparición se debe a la alta humedad del ambiente y que corresponde ser la principal causa de rechazo de productos exportados. De acuerdo a datos que exportaciones anuales entregados por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, un 30% de las exportaciones anuales se reportan pérdidas por efectos de deshidratación y aparición de hongos (Felipe Rosas *et al.*, 2016).

Es vital salvar este inconveniente, ya que es la calidad del producto y no el volumen exportado lo que permitirá que los países productores mantengan sus posiciones de líderes en este mercado, ya que cada vez son más los consumidores de todo el mundo los que están prefiriendo el consumo de fruta fresca por sobre alimentos altamente procesados (Felipe Rosas *et al.*, 2016).



Figura 2. Arándanos afectados por el hongo *botrytis cinerea*.

Fuente: <http://www.sierraexportadora.gob.pe/berries/factibilidad/arandanos>

Identificado el principal inconveniente en la exportación de frutas, es que se ha propuesto diversidad de métodos para solucionar este problema. Una de las alternativas más auspiciosas corresponde al mantenimiento de atmósferas controladas en torno a los frutos, por medio de empaques elaborados en base a polímeros, que constituyan recubrimientos comestibles capaces de proteger al producto en su largo viaje hacia el consumidor final, sin implicar alteraciones en su valor nutricional ni en sus propiedades organolépticas (Han *et al.*, 2004).

## 2.2 Películas comestibles

### 2.2.1 Ventajas y propiedades de las películas comestibles

En concordancia con la Food and Drug Administration, FDA, se denomina recubrimiento comestible a aquel constituido a partir de formulaciones que contengan aditivos permitidos para su uso alimentario, de modo de ser inocuos para el consumo humano. Técnicamente hablando, existen diferencias entre *recubrimiento* y *película*. El primero hace referencia a una solución aplicada directamente sobre el producto, el cual forma un film superficial al secarse; mientras que las películas, en estricto rigor, son aquellas que se forman con anterioridad y se aplican posteriormente sobre el producto. En la práctica, sin embargo, se hace uso indistintamente de ambas acepciones, correspondiendo las dos a una o varias capas delgadas y continuas de material inocuo, que protegen al alimento del deterioro, sin alterar sus propiedades organolépticas y sin representar peligro para el consumo humano (Quintero *et al.*, 2010).

Para ser denominadas como tales, las películas comestibles deben presentar ciertas características funcionales, que confieran a éstas la capacidad de controlar o reducir las causas de alteración y pérdida de calidad de los alimentos que protegen. Una película comestible apropiada es aquella que brinda una barrera selectiva a la transmisión de humedad, solutos, gases y vapores; mantiene la integridad estructural al ofrecer protección frente al daño mecánico y actúa como

portadora de aditivos funcionales capaces de potenciar sus propiedades, tales como antioxidantes, agentes microbianos, enzimas y nutrientes. Además de conservar las propiedades organolépticas y nutricionales de los alimentos, en base a sus componentes, las películas comestibles también son capaces de mejorar varias de ellas (Quintero *et al.*, 2010).

Los films comestibles deben ser transparentes, no aportar sabor ni olor al alimento en cuestión y no ser detectados durante su consumo, también se requiere que estén libres de tóxicos y sean seguros para el consumo humano. En caso que la película aporte sabor, olor o color al producto que protege, estas propiedades sensoriales y organolépticas deben ser compatibles con la naturaleza del alimento. En conjunto con los beneficios asociados a la biodegradación propiamente tal, un recubrimiento comestible también reporta beneficios al productor, tales como su bajo costo de materias primas, bajo costo de elaboración y tecnología simple para su fabricación (Jagur-grodzinski *et al.*, 1999).

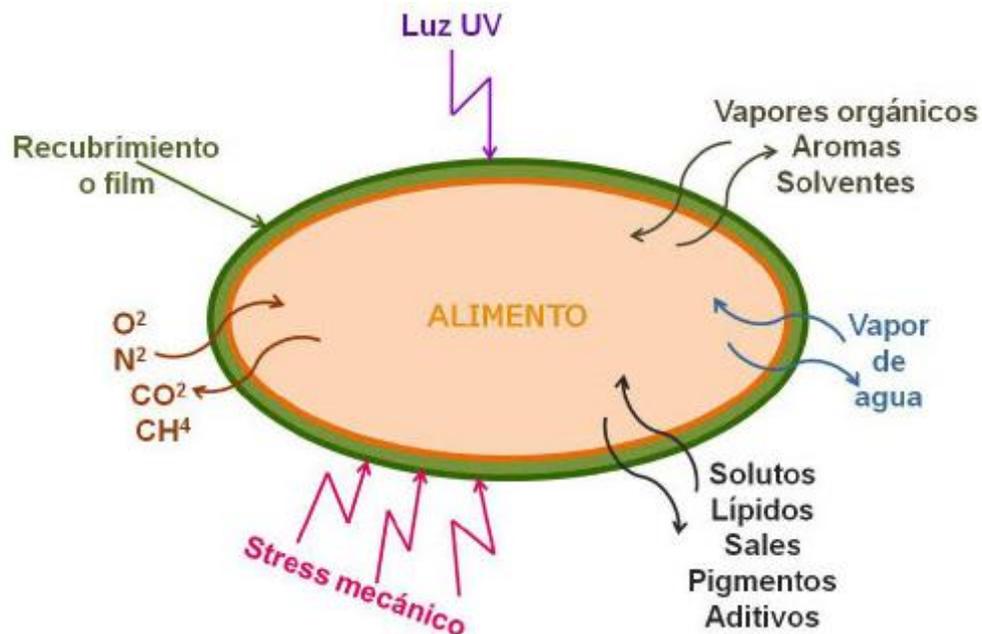


Figura 3. Transferencias que pueden controlarse por aplicación de películas comestibles.

Fuente: Tecnologías para la industria alimentaria, Películas y recubrimientos comestibles, adaptación de Dbeaufort y Voilley, 2009.

Los recubrimientos comestibles aplicados a frutas permiten controlar la respiración y senescencia de éstas, al crear atmósferas modificadas en torno a ellas, y además al actuar como barrera frente a la migración de vapor de agua, pueden reducir la transpiración del fruto y el deterioro asociado a este proceso fisiológico (Avena-Bustillos *et al.*, 1997).

### 2.2.2. Composición de las películas comestibles

Para que los recubrimientos comestibles sean funcionales y óptimos, es de vital importancia la selección de materiales que los conforman, ya que las propiedades de los films

dependerán en gran medida de la naturaleza de sus componentes, composición y estructura final (Campos *et al.*, 2011).

### ***Materiales empleados en la formulación de películas comestibles***

Los principales componentes de los films comestibles son sustancias reconocidas como inocuas para el consumo humano, tales como polisacáridos, proteínas y lípidos. Estos materiales pueden emplearse de forma individual o en mezclas, siempre y cuando dichas combinaciones no alteren las características nutricionales y organolépticas del alimento, constituyendo así recubrimientos compuestos. Adicionalmente, las formulaciones pueden incluir plastificantes, emulsionantes, saborizantes, compuestos antimicrobianos, entre otros, de modo de potenciar propiedades existentes y crear nuevas, como resultado de la sinergia entre ellos (Quintero *et al.*, 2010).

#### **Polisacáridos**

Los polisacáridos son capaces de construir una matriz estructural, permitiendo obtener recubrimientos comestibles transparentes y homogéneos, presentan buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse con facilidad a la superficie de frutas y hortalizas incluso troceadas; sin embargo, se ven limitados por su naturaleza hidrofílica, que hace que constituyan una pobre barrera a la pérdida de humedad y les confieren propiedades mecánicas moderadas (Lin *et al.*, 2007).

Los polisacáridos más utilizados en formación de películas comestibles son almidones, alginatos, carragenanos, pectinas, derivados de celulosa, quitosano, dextrina, goma arábiga, goma guar y goma xantana (Flores *et al.*, 2010).

#### **Proteínas**

Indistintamente de su origen animal o vegetal, las proteínas se utilizan para conferir estabilidad mecánica a la película comestible. Las proteínas, como consecuencia de su naturaleza hidrófila, forman recubrimientos con barreras más débiles al vapor de agua, en comparación con los polisacáridos, pero son capaces de desarrollar muy buenas propiedades de barrera al oxígeno y a otros gases (Baldwin *et al.*, 2007).

Las características más distintivas de las proteínas, en contraste con otros materiales formadores de recubrimientos, son la desnaturalización conformacional, la presencia de cargas electrostáticas y la naturaleza anfifílica. Una ventaja adicional en el uso de proteínas como base conformacional, es que pueden mejorar la calidad nutricional de los alimentos, al aumentar el contenido proteico del producto. Asimismo, el proceso de selección de un recubrimiento o película a base de proteínas para su aplicación en alimentos debe considerar la existencia de

alergia alimentaria a ciertas proteínas de algunos sectores de la población, algo que representa un inconveniente para la proteína de trigo (Cheng-Pei *et al.*, 2010).

Las proteínas de origen animal más utilizadas para la formulación de recubrimientos comestibles son caseína, colágeno, albúmina de huevo, proteína de pescado, queratina y proteína aislada de suero de leche. En cuanto a las proteínas vegetales, éstas vienen representadas por zeína, gluten de trigo y proteína de soya, entre otras (Campos *et al.*, 2011).

### **Lípidos**

Los lípidos se utilizan en la formulación de recubrimientos con el objetivo de mejorar la propiedad de barrera a la humedad, debido a su naturaleza hidrofóbica, reduciendo así la pérdida de agua de las frutas por procesos de transpiración y deshidratación. También mejoran el brillo de los frutos, los protegen contra la oxidación y el crecimiento microbiano (Campos *et al.*, 2011).

Sin embargo, por sí mismos presentan propiedades mecánicas desfavorables, pueden ocasionar problemas en la aplicación como consecuencia de su estructura heterogénea y su pobre adherencia al alimento, responsable de su poca capacidad para formar recubrimientos. El uso de lípidos como recubrimientos comestibles en su forma pura se ve limitado al no poseer suficiente integridad estructural ni durabilidad y su fragilidad hace que requieran ser empleados con una matriz que actúe como soporte (Lee *et al.*, 2003).

Entre los lípidos comestibles comúnmente incorporados en la formulación de películas comestibles, se encuentran las ceras, resinas, ácidos grasos, monoglicéridos, diglicéridos, aceites minerales y vegetales (Lee *et al.*, 2003).

### **Mezclas**

Con la intención de aprovechar las ventajas y disminuir los inconvenientes de los diferentes componentes, es que pueden elaborarse formulaciones combinando los materiales antes mencionados, en distintas proporciones. De forma general, los polisacáridos aportan buena cohesión estructural y transmisión selectiva frente a gases; las proteínas confieren durabilidad, mejorando así la integridad estructural de productos frágiles; y los lípidos contribuyen con el aumento de resistencia al vapor de agua y mantenimiento de la humedad del alimento (Vargas *et al.*, 2008).

### **Aditivos**

Frecuentemente, en la formulación de un recubrimiento y película comestible se incluyen distintos aditivos, con la finalidad de mejorar o reforzar distintas características del mismo o para conferirle nuevas funciones específicas. Los aditivos, según su naturaleza, pueden tener influencia en las propiedades mecánicas, protectoras y sensoriales de la película. También son capaces de

incrementar las propiedades organolépticas y nutricionales en los alimentos, al tener el potencial de incorporar agentes saborizantes, pigmentos o aditivos nutricionales. La influencia del aditivo en las propiedades finales de la película depende de su grado de concentración, de la estructura química resultante, del grado de dispersión en la película y de la interacción con los polímeros.

Los aditivos, de forma genérica, pueden catalogarse en aditivos tecnológicos y aditivos funcionales. Dentro de la primera categoría se tiene a plastificantes (ceras, aceites, ácidos grasos), surfactantes y emulsificantes (grasas, aceites); mientras que en la segunda se agrupan acidificantes, antimicrobianos, antioxidantes y aditivos que proveen enriquecimiento nutricional.

### Aditivos Tecnológicos

- **Plastificantes**

Dada la susceptibilidad a presentar roturas durante su manipulación y almacenamiento, la cual puede afectar seriamente sus propiedades, algunos films requieren la incorporación de agentes plastificantes, compuestos que se adicionan con el fin de impartir una mayor maleabilidad, flexibilidad, dureza y resistencia al recubrimiento y reducir el quebramiento, disminuir su fragilidad y evitar la aparición de grietas (Guilbert *et al.*, 1986).

Un plastificante es una sustancia no volátil, de peso molecular relativamente bajo, con un alto punto de ebullición que, cuando se añade a un polímero, modifica las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del mismo. La función de los plastificantes es disminuir la intensidad de la fuerza de enlace entre moléculas del polímero; estos enlaces, así como las atracciones entre moléculas, confieren rigidez al polímero (Krochta *et al.*, 2010).

En términos estructurales, los plastificantes se insertan entre las cadenas que conforman la matriz polimérica, aumentando el espacio libre entre éstas, lo que provoca una disminución de las fuerzas intermoleculares de cohesión a lo largo de la matriz y, por tanto, hace que las películas sean más flexibles y con menor fuerza de tensión. Al impartir movilidad molecular a la matriz, se dice que la plastifican. 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 solutos, gases y el vapor de agua a través del film. El resultado es un aumento del volumen libre y de la movilidad de las cadenas de polímero, lo que por otro lado reduce la temperatura de transición vítrea del material y lleva a obtener películas más flexibles aunque con menor resistencia mecánica. Así, el aumento en la flexibilidad estructural de la película también está acompañado por un aumento en su permeabilidad, que depende del tipo y del contenido de plastificante. Por esto es necesario optimizar el uso de plastificante para ofrecer un correcto equilibrio entre las propiedades mecánicas y de barrera, de acuerdo a los requerimientos de la aplicación para la cual se diseña la película (Krochta *et al.*, 2010).

El plastificante más efectivo es aquel que más se asemeja químicamente al polímero que plastifica. Por lo tanto, es beneficioso 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 (Krochta *et al.*, 2010).

El plastificante quizás sea el aditivo más determinante en la formulación de las películas comestibles, ya que afecta simultáneamente propiedades mecánicas y propiedades de barrera (Krochta *et al.*, 2010),

Los plastificantes más utilizados en recubrimientos y películas comestibles son polioles (glicerol, sorbitol, polietilenglicol y los derivados del glicerol), monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos (sacarosa, glucosa y fructosa, jarabes de fructosa, miel) 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 (Irissin-Mangata *et al.*, 2001).

- **Surfactantes**

Se denomina surfactante o tensoactivo a aquella sustancia o producto que reduce la tensión superficial entre dos superficies en contacto. Estos se utilizan para favorecer la formación de la emulsión y su estabilización por acción interfacial, debido a que poseen una parte polar y otra apolar, y se absorben en la interfase aceite-agua como una monocapa orientada, disminuyendo así la tensión interfacial. 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. Su presencia confiere estabilidad a las emulsiones y mejora la adhesión del recubrimiento sobre el producto que sea aplicado (Quezada *et al.*, 2009).

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).

Al debilitar las fuerzas intermoleculares, se dice que la mayor parte de los surfactantes también imparten flexibilidad. En función de su mayor o menor dispersión en agua, y a su mayor o menos estabilización de las micelas o coloides, los tensoactivos se emplean como emulsionantes, humectantes, detergentes o solubilizantes (Quezada *et al.*, 2009).

- **Emulsificantes**

Un emulsionante es una sustancia que ayuda a la mezcla de dos sustancias que normalmente son poco miscibles o difíciles de mezclar. Los emulsionantes son un tipo de tensoactivos, con una estructura con afinidad por los lípidos y otra con afinidad por el agua, que

puede establecerse en torno a las capas límite entre los componentes acuosos como aceitosos. De esta manera, al añadir este emulsionante, se consigue formar una emulsión (Quezada-Gallo *et al.*, 2009).

La incorporación de emulsionantes puede ser necesaria para obtener recubrimientos y películas emulsionados, dado que estos compuestos reducen la tensión superficial en las interfaces agua-lípidos y agua-aire. La incorporación de lípidos y derivados también ejerce un efecto plastificante, que es atribuible fundamentalmente a las discontinuidades en la matriz polimérica que supone su dispersión (Quezada-Gallo *et al.*, 2009).

Algunos de los emulsionantes usados en la formulación de recubrimientos y películas comestibles son ácidos grasos, monoacilglicerolos, ésteres de ácidos grasos y sorbitán o polioxeno (Tweens) y ésteres de sacarosa y ácidos grasos (Quezada-Gallo *et al.*, 2009).

### **Aditivos Funcionales**

Una funcionalidad importante de los recubrimientos y películas comestibles es su habilidad para incorporar ingredientes activos, ya que pueden servir como soporte de aditivos capaces de conservar y mejorar la calidad del producto. Es posible utilizarlos, por ejemplo, en frutas frescas cortadas para mejorar su calidad y vida útil, mediante la incorporación de antioxidantes, antimicrobianos, mejoradores de textura, etc. Se denomina *aditivos funcionales*, a aquellos que se caracterizan por dotar al film de practicidad (Vargas *et al.*, 2008).

- **Acidificantes**

Son aquellos compuestos que poseen la propiedad de comunicar sus cualidades ácidas a los demás cuerpos (Vargas *et al.*, 2008).

- **Antimicrobianos**

Son agentes añadidos con la intención de retardar el crecimiento de levaduras, mohos y bacterias. Usualmente existentes límites a la cantidad que se puede añadir de un conservante particular y la de conservantes totales. Los conservantes alimentarios, a las concentraciones utilizadas, no matan en general a los microorganismos, sino que solamente evitan su proliferación. Por lo tanto, sólo son útiles con materias primas de buena calidad (Melo *et al.*, 2011).

- **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 decoloración oxidativa. 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 (Park *et al.*, 1996).

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, pueden aportar antioxidantes a los alimentos elaborados con ellos (Park *et al.*, 1996).

- **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. Así como también se están desarrollando estudios que incorporan colorantes, especias o hierbas aromáticas, ácidos, azúcares o sales en los recubrimientos y películas, para darle al film una carga organoléptica (Debeaufort *et al.*, 1998).

- **Aceites Esenciales**

Los aceites esenciales, también llamados aceites volátiles o etéreos, son mezclas de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas que dan el aroma característico a algunas flores, árboles, semillas y a ciertos extractos de origen animal. Su aroma y actividad antimicrobiana están estrechamente relacionados con su estructura química y con la concentración de ellos que se emplee, sin embargo, en términos generales se reconoce que son intensamente aromáticos, insolubles en agua, levemente solubles en vinagre, y solubles en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales. Altamente hidrofóbicos, se oxidan por exposición al aire, también son volátiles y livianos, en su mayoría (Rojas-Grau *et al.*, 2009).

La actividad antifúngica y antibacteriana de los aceites esenciales ha sido ampliamente documentada por distintos autores en aplicación *in vitro* e *in vivo* y existen numerosos trabajos donde se incorporan en recubrimientos para su aplicación a diferentes tipos de alimentos como carne, pescados, frutas y hortalizas, entre otros (Rojas-Grau *et al.*, 2009).

Los aceites esenciales han demostrado poseer propiedades antimicrobianas que no sólo se limitan al efecto antibacterial, sino que incluyen características antivirales, antimicóticas, antitoxigénicas, antiparasitarias e incluso insecticidas. Estas propiedades están relacionadas con la naturaleza de los aceites esenciales en las plantas, en las cuales comúnmente hacen parte de factores preinfección, es decir, sustancias almacenadas en los tejidos vegetales, listas para su expulsión ante el ataque de agentes patógenos en la planta, un símil a los antígenos del sistema inmune en los animales (González *et al.*, 2007).

Por otra parte, se han encontrado estudios que utilizan compuestos puros procedentes de aceites esenciales con actividad antimicrobiana, pero en la mayoría de los casos, la actividad antimicrobiana del aceite esencial suele ser mayor que la del compuesto puro, debido a la gran complejidad de sustancias que lo componen, seguramente con efecto sinérgico (González *et al.*, 2007).

Independientemente de cual sea el propósito del agregado del aditivo, es importante considerar que siempre existe la posibilidad de que pueda alterar adversamente las propiedades mecánicas y la resistencia al vapor de agua, gases o transporte de solutos del recubrimiento y la película (Bravin *et al.*, 2006).

### 2.2.3. Materiales seleccionados para esta investigación

#### Quitosano

La quitina es un polisacárido no tóxico y biodegradable, el polímero más abundante después de la celulosa, que constituye el exoesqueleto de insectos, crustáceos y arácnidos. De su desacetilación en condiciones de alcalinidad y a altas temperaturas, se obtiene quitosano, un polisacárido catiónico natural, de alto peso molecular, el cual el ser humano es capaz de degradar gracias a la lisozima (Majeti *et al.*, 2000). Las estructuras químicas de la quitina y del quitosano se presentan en las figuras 4 y 5, respectivamente.

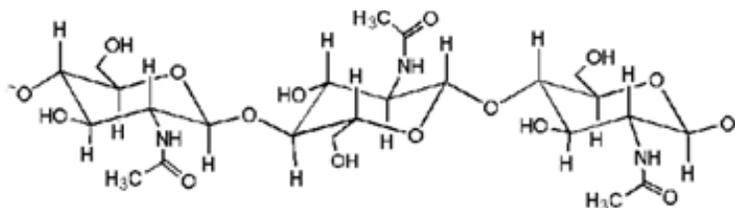


Figura 4. Estructura de la quitina.

Fuente: "Obtención de quitosano por desacetilación de quitina, vía enzimática".

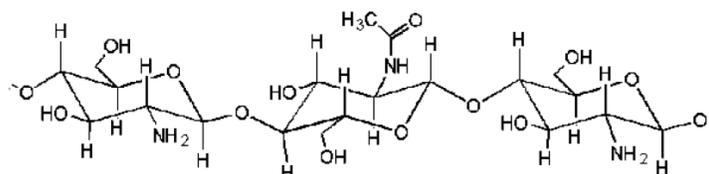


Figura 5. Estructura del quitosano.

Fuente: "Obtención de quitosano por desacetilación de quitina, vía enzimática".

El campo de aplicación del quitosano se extiende desde su uso en el tratamiento de aguas residuales, hasta la producción de insumos especiales para la medicina. Debido a la estructura

lineal no ramificada del quitosano y a su compatibilidad con muchos compuestos orgánicos, es que le es posible formar películas resistentes, flexibles y transparentes. Gracias al grupo amino que queda libre en su estructura, el quitosano posee una ligera carga positiva. Es insoluble a pH alcalino y neutro, siendo soluble sólo en ácidos, sobre todo aquellos orgánicos y presentando solubilidad limitada en ácidos inorgánicos (Khan *et al.*, 2000).

Obtenido de desechos de la industria marina, la aplicación del quitosano en alimentos suscita interés, entre otras causas, debido a sus propiedades antioxidante, antimicrobiana, antibacteriana y antifúngica. Debido a su capacidad para formar films, a su buena solubilidad, moderada resistencia al vapor de agua y permeabilidad selectiva frente a los gases de oxígeno y dióxido de carbono, los recubrimientos a base de quitosano presentan buenas propiedades mecánicas y se utilizan para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de frutas frescas, tanto enteras como cortadas. Dentro de sus características, además, se destaca por su naturaleza hidrofílica, biocompatible y biodegradable, además de ser no tóxico y tener una afinidad notable a las proteínas (Hoyos *et al.*, 1997).

Reconocida su versatilidad, el potencial de aplicación del quitosano a la industria de los alimentos es gigantesco y ha dado lugar a la aparición de diversas patentes para su aplicación directa en frutas. Pese a que las películas en base a quitosano tienen permeabilidad selectiva frente a ciertos gases y alta resistencia mecánica, su naturaleza hidrofílica limita su uso, al no proporcionar una barrera ideal a la humedad (Djioua *et al.*, 2010).

Este polisacárido ha sido ampliamente utilizado en la formación de films comestibles, debido a su propiedad de inhibir o retrasar el crecimiento de hongos y de numerosas bacterias patógenas en la superficie del producto, extendiendo así su vida útil. Varios estudios han demostrado que el efecto fungicida del quitosano es función directa de la concentración de él que se utilice, del peso molecular y de su grado de desacetilación (Djioua *et al.*, 2010).

### Aceite esencial de anís

Para esta investigación se trabajó con *Pimpinella anisium L*, más conocido como anís, el cual es un aceite esencial que se emplea en la alimentación y como planta medicinal, digestiva y antiséptica. De aroma cálido, dulce y especiado, para el ser humano reporta beneficios en los sistemas respiratorios, inmunológico y digestivo. Sus propiedades más llamativas para este estudio radican en la presencia del compuesto orgánico llamado anisol en su estructura. Líquido incoloro, con olor lógicamente similar a las semillas de anís, el anisol es insoluble en agua y en los líquidos alcalinos y muy soluble en alcohol y éter (Adelantado Faura *et al.*, 2007)

En la figura 6 se presenta la estructura química del anisol y en la figura 7, se muestran las principales propiedades de importancia relativas a esta investigación.

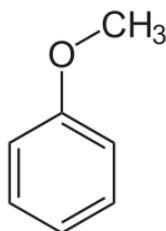


Figura 6. Estructura química del anisol.

Fuente: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a8/Anisol.svg/150px-Anisol.svg.png>

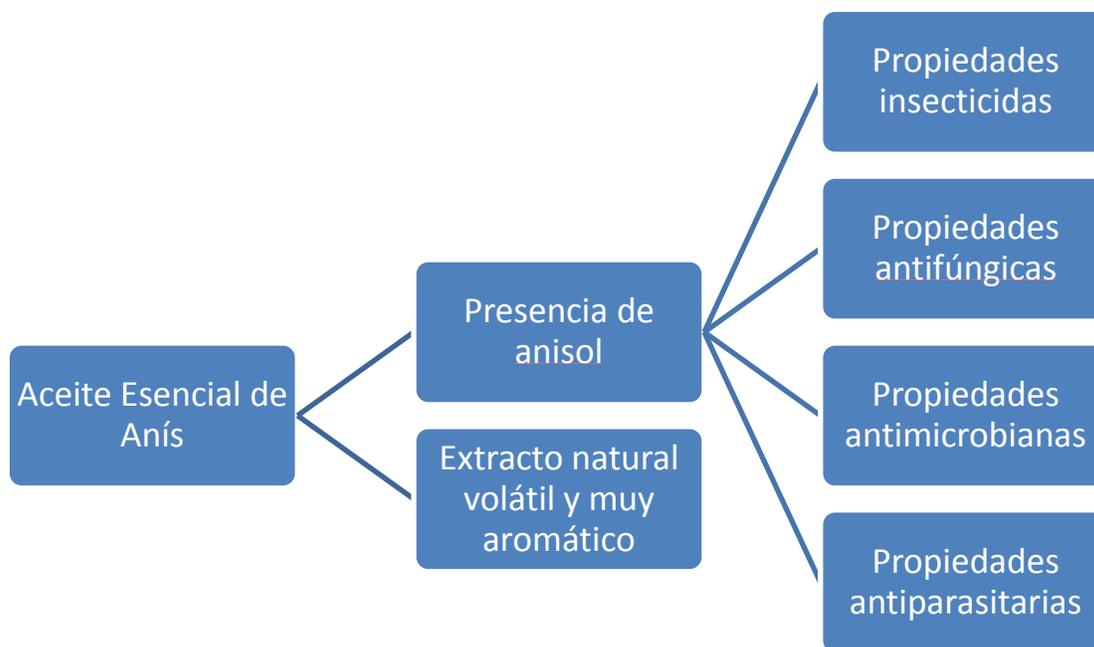


Figura 7. Principales beneficios del uso de aceite esencial de anís.

Fuente: Elaboración propia.

Categorizado dentro de los compuestos oxigenados, específicamente los éteres fenólicos, el anisol (metoxibenceno) es el principio activo del aceite esencial de anís de mayor interés para esta investigación, dada su alabada actividad antimicrobiana, la cual permite que sea utilizado en la elaboración de compuestos fumígenos, pesticidas, insecticidas, herbicidas y fungicidas a nivel mundial. Los microorganismos susceptibles al anisol son *Aeromonas hydrophila*, *Brevibacterium linens* y *Brochothrics thermosphacta*. Por supuesto, dichos efectos dependen de la dosificación y de las posibilidades prácticas de aplicación de dichos compuestos. Otros principios activos del aceite esencial de anís son anetol y estragol, cumarinas, flavonoides, ácidos fenólicos y triterpenos. (Adelantado Faura et al, 2007)

El aceite esencial de anís tiene potentes propiedades antimicrobianas, contra bacterias, levaduras y hongos. Las características antibacterianas notificadas contienen tanto acción bacteriostática como bactericida, su actividad antimicótica incluye aumentar la eficacia de algunos otros fitoquímicos. Este aceite esencial también es un insecticida prometedor

contra mosquitos, ácaros y sus larvas, y muy eficaz como fumigante contra cucarachas, gorgojos y escarabajos. (Adelantado Faura et al, 2007)

### Aceite vegetal

En primera instancia se pensó trabajar con aceite de oliva, pero dado su aroma característico tan fuerte, es que finalmente se decantó por aceite vegetal con canola.

### Glicerol

El glicerol es uno de los plastificantes más populares empleados en la formulación de películas comestibles, debido principalmente a su estabilidad y a su compatibilidad con biopolímeros hidrofílicos. Se utiliza principalmente para dar textura y flexibilidad (Adbollahi *et al.*, 2012).

Las películas obtenidas a partir de quitosano, a causa de las fuertes interacciones entre las cadenas moleculares, resultan en materiales de alta resistencia mecánica, pero muy frágiles. Esta fragilidad hace a estas películas inviables para ser utilizadas en envases, ya que se agrietan y resquebrajan durante su manipulación. La técnica habitual para mejorar la flexibilidad y extensibilidad de las películas es agregar un compuesto plastificante (Pereda *et al.*, 2010).

### Tween 80

El monooleato de polioxietileno(20)sorbitano o polisorbato 80 es un aditivo alimentario con reconocida acción detergente. Sustancia aprobada por la Unión Europea para su uso en alimentos, actúa como emulsionante y disolvente de grasas. El Tween 80 es una clase de emulsionante utilizado para solubilizar aceites en productos a base de agua (Baldwin *et al.*, 1999).

## **2.2.4. Propiedades físicas de las películas comestibles**

### *Permeabilidad al vapor de agua*

La permeabilidad al vapor de agua (*Water Vapor Permeability*, WVP) es una de las propiedades de mayor relevancia a la hora de evaluar el desempeño de las películas comestibles como barrera. Se define como la medida de la facilidad con que el vapor de agua penetra a través de la estructura molecular de la superficie de un material, tanto hacia adentro como hacia afuera del sistema. De acuerdo con Hettiarachchy y Eswaranandam (2005), la permeabilidad al vapor de agua de una película comestible cuantifica su eficiencia para reducir la transferencia de humedad entre un alimento y el medio que lo rodea.

De forma más precisa, es posible definirla como la cantidad de vapor que pasa por unidad de superficie a través de un material plano de espesor determinado por unidad de tiempo, cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria bajo condiciones particulares de temperatura y humedad definidas. De este modo, dicha diferencia de presiones parciales crea el gradiente que induce la transmisión de vapor de agua a través del film (Baldwin *et al.*, 2007).

Entre la variedad de métodos desarrollados para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua, destacan las técnicas gravimétricas y muy especialmente el Método de la Copa, debido a la evidente sencillez que reviste. De forma general, esta técnica corresponde a una situación experimental donde se expone una de las caras de la película a una humedad relativa elevada, mientras que en la cara opuesta la humedad es prácticamente nula. Explicándolo con mayor detalle, una celda de acrílico se llena con una cantidad controlada de agua, solución salina saturada o desecante, según se prefiera, y luego se cubre con una muestra de película comestible, cuidando de dejar un espacio de aire entre el film y el contenido de la celda acrílica. Este sistema se almacena en una cámara con un ambiente de humedad relativa y temperatura controladas, y al transcurrir determinado intervalo de tiempo, se toman medidas del peso del sistema celda acrílica-película, registrando las variaciones y pudiendo determinar la cantidad de agua en forma de vapor que atravesó el film (Gennadios *et al.*, 1994).

Así, son factores influyentes en la determinación de la permeabilidad al vapor de agua, el espesor de la película y la diferencia de presión parcial de vapor de agua entre el interior y el exterior de la copa (García *et al.*, 2009).

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) se puede estimar según<sup>1</sup>:

$$WVP = \left(\frac{\Delta m}{\Delta t}\right) \left(\frac{\delta}{A \cdot \Delta P}\right) \quad \{Ec. 1\}$$

Donde:

$(\Delta m/\Delta t)$ , cambio de peso en el tiempo ganado por la copa [g/s]

$\delta$ , espesor de la película [m]

A, área de transferencia efectiva [m<sup>2</sup>]

$\Delta P$ , diferencia de presión parcial de vapor de agua a través de la película [Pa]

Entre las principales ventajas de este método, destacan el control de los parámetros experimentales que proporciona, además del costo relativamente bajo asociado a su aplicación (Gennadios *et al.*, 1994).

La determinación de la permeabilidad al vapor de agua de las películas comestibles constituye un dato fundamental para el diseño de formulaciones cuyo fin es aplicarlas como

---

<sup>1</sup> Bifani *et al.*, 2007.

recubrimientos de alimentos. Por ejemplo, si el recubrimiento se desea aplicar para preservar la calidad de frutas frescas, éste deberá ser lo suficientemente resistente a la transmisión de vapor de agua, como para disminuir fenómenos tales como deshidratación superficial y pérdida de peso en agua (McHugh *et al.*, 1993).

### *Propiedades mecánicas*

Es muy importante que el film o el recubrimiento comestible tenga propiedades mecánicas adecuadas al fin que se le quiere dar, 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 del producto que proteja. Se considera que una película comestible tiene propiedades mecánicas de buen nivel cuando presenta resistencia mecánica adecuada y está exento de defectos, tales como roturas o poros (García *et al.*, 2009).

Las propiedades mecánicas de las películas comestibles dependen en gran medida del tipo de material empleado en su elaboración y de las interacciones entre la matriz y los diferentes aditivos incluidos durante su formulación, particularmente, del grado de cohesión existente en la matriz, es decir, de la habilidad del polímero para formar una cantidad deseable de puentes moleculares entre las cadenas poliméricas y que éstos se mantengan estables (García *et al.*, 2009).

Las propiedades mecánicas en las películas comestibles, es decir, la estabilidad y flexibilidad de las mismas, se ve afectada por las condiciones físicas, químicas y ambientales a las que se vean expuestos los recubrimientos. Así, es recomendable hacer la correspondiente ambientación antes de someter las muestras a cualquier tipo de evaluación (Han y Gennadios, 2005).

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 es 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 *et al.*, 2008).

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 disminución de la fuerza de tensión y del módulo elástico, y a una mayor elongación. Por todo ello, en los estudios se recogen todos estos factores como parámetros para caracterizar a los films (Han *et al.*, 2006).

Las propiedades mecánicas que comúnmente se evalúan son la fuerza y el porcentaje de elongación al quiebre, el cual representa la habilidad de la película a estirarse. En los experimentos se deforman las muestras y se monitoriza el esfuerzo y la elongación durante todo el ensayo, hasta la ruptura de los films (Han *et al.*, 2006).

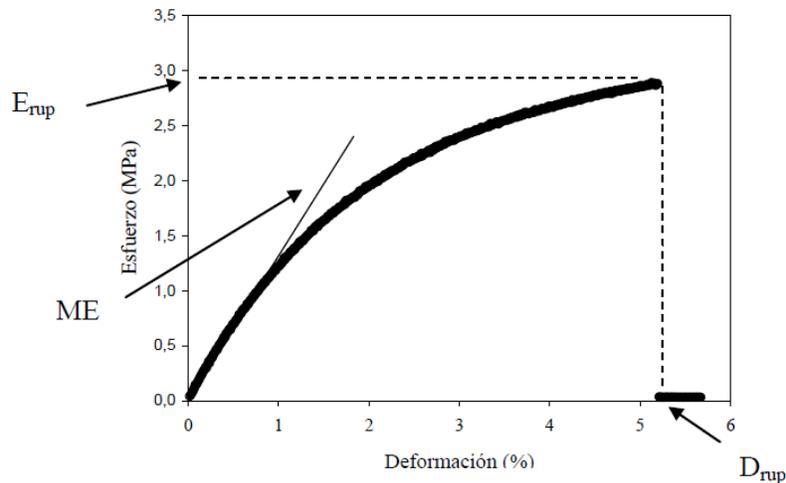
Distintas pruebas estandarizadas empleadas para estudiar películas comerciales también se aplican a películas comestibles. Los atributos funcionales de las películas comestibles se caracterizan efectuando pruebas como por ejemplo ensayos de impacto superficial, deformación, flexión de tres puntos, relajación de estrés compresiva, punción, tracción, etc. Entre ellas, los ensayos de tracción y punción efectuados con máquinas universales de ensayos o texturómetros son los más comúnmente practicados (Han *et al.*, 2006).

### **Resistencia a la fuerza de tracción**

El ensayo de resistencia a la tracción se efectúa empleando muestras rectangulares de variadas dimensiones: 254 x 130, 150 x 10, 100 x 15, 100 x 15, 100 x 10, 80 x 10 mm, etc. La separación inicial entre mordazas varía mayormente entre 50 y 100 mm y la velocidad de desplazamiento entre 0,2 y 8,3 mm/s. Sin embargo, las características propias de las películas comestibles pueden requerir algunos procedimientos específicos en la preparación de las probetas. Distintos autores han trabajado con muestras con forma de pesa, otros con muestras de geometría central rectangular y extremos cuadrados, para lograr mayor área de contacto entre la muestra y la mordaza y así una mejor sujeción en las mismas. Sin embargo, este procedimiento de obtención de muestras puede generar imperfecciones que determinen, entre otras fallas, un corte prematuro. También se ha visto la protección de los extremos de las muestras rectangulares con cuadrados de cartulina sujetos con cinta doble adhesiva, para que la cartulina evite la rotura prematura y prevenga el deslizamiento de las muestras cuando se sujeten en las mordazas del equipo (Krochta *et al.*, 2001).

A partir de las curvas de fuerza-deformación registradas en el ensayo de tracción se obtienen los parámetros de fuerza máxima expresada en Newton ( $F_{max}$ ) y deformación máxima expresada en mm ( $D_{max}$ ). Los valores de fuerza (N) se dividen por el área de la sección transversal de la muestra ( $mm^2$ ) para obtener los valores de esfuerzo (MPa). Los datos de deformación (mm) se transforman en valores de deformación expresada como porcentaje respecto de la separación inicial entre mordazas. Luego se construyen las gráficas de esfuerzo-deformación y se obtienen los parámetros esfuerzo a la ruptura, expresado en MPa ( $E_{rup}$ ) y deformación a la ruptura expresada en porcentaje ( $D_{rup}$ ) (Chen *et al.*, 2008).

Por último, a partir de la pendiente inicial de dicha curva se obtiene el módulo elástico, expresado en MPa (ME) (Chen *et al.*, 2008).



**Figura 8. Parámetros obtenidos a partir de curva fuerza-deformación del ensayo de tracción.**  
**Fuente: “Aplicación de recubrimientos comestibles para mantener la calidad de frutillas congeladas”, 2012.**

De este ensayo, se pueden determinar:

*Tensión máxima* ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) es la máxima tensión que puede soportar el film durante el ensayo de tracción antes de romperse. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{S} \quad \{Ec. 2\}$$

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

*Elongación relativa* o valor de deformación y medida de la flexibilidad de la película, 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 de ensayo ( $L_f$ ) y la longitud inicial del film ( $L_o$ ). Se expresa en forma de tanto por ciento:

$$\varepsilon_{rot}(\%) = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \quad \{Ec. 3\}$$

El *módulo de elasticidad* o *módulo de Young*,  $\varepsilon$ , 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 en MPa. Se calcula a partir de la pendiente lineal inicial de la curva esfuerzo-deformación. Cuantos más altos son los valores del módulo de las películas, mayor carácter sólido de las mismas.

## Resistencia a la fuerza de punción

Para la realización del ensayo de punción, se emplean sondas cilíndricas de bordes planos o hemisféricos de diámetros entre 1 y 8 mm y se trabaja comúnmente a velocidad de deformación baja, cercana a 1 mm/s, según lo reportado por distintos autores. En el ensayo de punción pueden emplearse tanto muestras de películas rectangulares como circulares y se requiere de un dispositivo que permita ubicar y sostener a la muestra en dirección perpendicular a la del movimiento de la sonda (Krochta *et al.*, 1997).

A partir de las curvas de fuerza-deformación registradas en el ensayo de punción, se obtienen los parámetros fuerza máxima expresada en N ( $F_{max}$ ) y deformación máxima expresada en mm ( $D_{max}$ ) en el punto de punción (Krochta *et al.*, 1997).

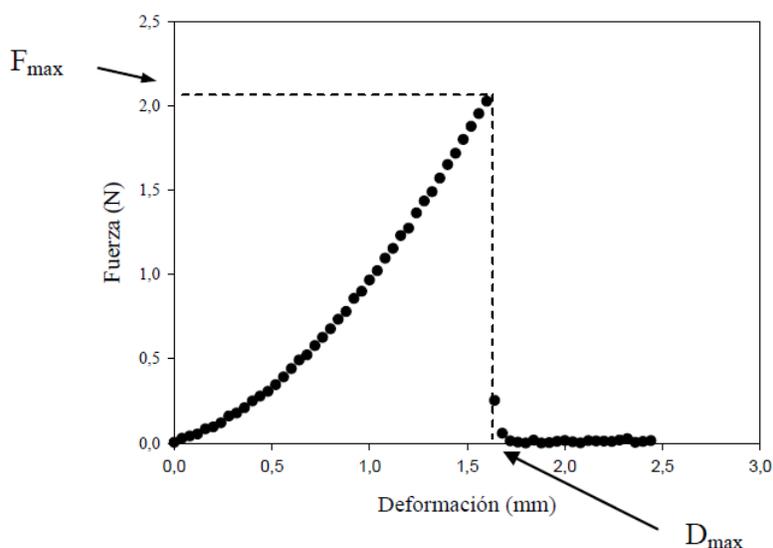


Figura 9. Parámetros obtenidos a partir curva fuerza-deformación del ensayo de punción.  
Fuente: “Aplicación de recubrimientos comestibles para mantener la calidad de frutillas congeladas”, 2012.

## Opacidad

La transparencia u opacidad se encuentra entre las propiedades ópticas más importantes a la hora de evaluar la apreciación del color y aspecto de un producto, sobre todo de aquellos que se utilizan como recubrimiento o envase. Dicha propiedad se presenta en varios grados. Se dice que un material es transparente cuando deja pasar fácilmente la luz visible a través de él; translúcido, cuando el paso de luz hace que las formas no se observen nítidamente; y opaco, cuando no deja pasar apreciablemente la luz (Irissin-Mangata *et al.*, 2001).

De acuerdo con la mecánica cuántica, un material será opaco a cierta longitud de onda cuando en su esquema de niveles de energía haya alguna diferencia que corresponda con esa longitud de onda (Irissin-Mangata *et al.*, 2001).

Para aplicaciones técnicas, se estudia la transparencia u opacidad de la radiación infrarroja, a la luz ultravioleta, a los rayos X, a los rayos gamma y otros tipos de radiación. La opacidad se cuantifica como absorbancia o el porcentaje de intensidad lumínica que es absorbida por la muestra y se utiliza un colorímetro o espectrofotómetro para su determinación (Irissin-Mangata *et al.*, 2001).

La función de opacidad generalmente se ve afectada tanto por la frecuencia de la luz que interacciona con el objeto como con la temperatura de dicho objeto, de este modo, es importante recalcar que existen diferentes funciones de opacidad para diferentes objetos en diferentes condiciones físicas (Irissin-Mangata *et al.*, 2001).

### Ángulo de contacto

Entre las propiedades superficiales de las películas comestibles, se estudia el ángulo de contacto de los recubrimientos con las superficies. Se busca que la solución formadora de películas se extienda de forma homogénea sobre la superficie, que la moje y al secarse forme una película con adecuada adhesión, cohesión y durabilidad. Se dice que se está en presencia de un correcto mojado, cuando existe el mayor contacto posible entre la solución y la superficie a recubrir, evitando interrupciones de aire entre estos (Liu *et al.*, 2010).

El ángulo de contacto es aquel que se forma entre la superficie de una gota de líquido depositada sobre una superficie sólida y dicha superficie sólida. Se usa como medida para la interacción entre el líquido y el material sólido, y provee información sobre el carácter hidrofílico de la superficie de las películas, permitiendo así complementar los resultados obtenidos mediante otras técnicas (Liu *et al.*, 2010).

Menores ángulos de contacto corresponden a películas con mayor polaridad superficial, con mejor mojado del sólido, mientras que aquellas con ángulos mayores presentan superficies más hidrofóbicas, con menor interacción, siendo ésta una característica deseable en películas que estarán en contacto con alimentos (Liu *et al.*, 2010).



**Figura 10. Significado ángulo de contacto, según tipo de superficie.**  
Fuente: Cenano Latinoamérica.

# **CAPÍTULO III**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Materiales

#### 3.1.1. Componente base

Se empleó quitosano (poliglucosamina) en polvo, biodegradable y biocompatible, suministrado por QUITOQUÍMICA (Talcahuano, Chile) , el cual se mantiene guardado en su envase de origen hasta su utilización, a temperatura ambiente, cuidando no exponerlo a luz, calor, fuego, aire ni sustancias contaminantes. Más especificaciones se incluyen en el Anexo7.1.



Figura 11. Quitosano en polvo.

Fuente: <http://www.aimpow.com/chitosan-powder-chitosan-soluble-chitosan/>

#### 3.1.2. Aditivos

Como plastificante se utilizó glicerol, suministrado por ARQUIMED. El surfactante elegido fue Tween 80, suministrado por CHEMIX. Sus especificaciones técnicas se presentan en el Anexo 7.2. El aceite vegetal seleccionado fue aceite Belmont con canola, adquirido en supermercados locales. Más información al respecto se encuentra en el Anexo 7.3. El aceite esencial con que se trabajó fue aceite esencial de anís, producido por Sigma Aldrich.

Todos estos aditivos se mantienen guardados en sus envases originales hasta ser usados, a temperatura ambiente, cuidando no exponerlos a luz, calor, fuego, aire ni sustancias contaminantes.



Figura 12. Aceite esencial de anís.

Fuente: [http://www.ecured.cu/Aceite\\_esencial\\_de\\_An%C3%ADs](http://www.ecured.cu/Aceite_esencial_de_An%C3%ADs)

### 3.1.3. Productos adicionales

Para la disolución del quitosano, se emplea ácido láctico al 90%, suministrado por Merck Chemicals. Más información sobre el producto se encuentra disponible en el Anexo 7.4.

Para las pruebas de permeabilidad al vapor de agua se utilizó sílica gel como desecante, de modo de garantizar la humedad relativa de 0% necesaria para el procedimiento. Especificaciones adicionales se presentan en el Anexo 7.5.

Estos productos se mantienen guardados en sus envases originales hasta ser usados, a temperatura ambiente, cuidando no exponerlos a luz, calor, fuego, aire ni sustancias contaminantes.

## 3.2. Metodología experimental

### 3.2.1. Preparación de las películas

#### 3.2.1.1. Preparación de la emulsión y de la solución formadora de películas

Se prepararon soluciones base de quitosano 2% p/v mediante disolución de polvo de quitosano en ácido láctico al 1% v/v en agua destilada, a temperatura ambiente, con ayuda de un agitador magnético. Dicha solución se mantuvo en agitación constante durante un lapso de 48 horas (Pereda *et al.*, 2012).



**Figura 13. Preparación de la solución de quitosano al 2% p/v.**  
Fuente: Elaboración propia.

Transcurrido el tiempo, esta solución se agitó a 600 rpm mientras se adicionó aceite vegetal y aceite esencial de anís, para luego aumentar las revoluciones hasta lograr una agitación a 2000 rpm durante 20 minutos. Esta etapa constituye una fase esencial, pues aquí ocurre la emulsificación. Enseguida, se adicionaron glicerol y tween 80, y la agitación se mantuvo a 2000 rpm durante otros 20 minutos. Finalmente, la solución se dispuso durante una hora en un desecador conectado a la bomba de vacío, para eliminar posibles burbujas que interfieran en la posterior formación de las películas comestibles (Pereda *et al.*, 2012).



**Figura 14. Preparación de la solución formadora de película.**  
Fuente: Elaboración propia.

A modo de resumen, los distintos aditivos fueron agregados en las cantidades informadas en la tabla 1, presentada a continuación.

**Tabla 1. Cantidad de aditivos utilizados en la formación de películas.**  
Fuente: Elaboración propia.

Compuesto	Cantidad
<b>Solución de quitosano al 2% p/v</b>	80 mL
<b>Glicerol</b>	0,5 mL
<b>Tween 80</b>	0,25 mL
<b>Aceite vegetal</b>	Agregado en cantidad específica para cada tipo de película
<b>Aceite esencial de anís</b>	Agregado en cantidad específica para cada tipo de película

### 3.2.1.2. Preparación de las películas comestibles

Para la elaboración de las películas comestibles, se vertieron 20 mL de solución en placas acrílicas de 9 cm de ancho por 16,5 cm de largo, las cuales se secaron en un horno en condiciones de 30°C y 30 %HR durante 48 horas, cuidando que la superficie estuviera nivelada para obtener un grosor homogéneo. Cuando las películas se consideraron totalmente secas, fueron retiradas de las placas, despegándose fácilmente de ellas (Pereda *et al.*, 2012).

En consecuencia con lo propuesto, se desarrolló un total de nueve soluciones posibles, las cuales constituyeron nueve películas comestibles con diversas combinaciones de aceite vegetal y aceite esencial de anís. Dichas combinaciones fueron:

**Tabla 2. Combinaciones posibles de aceite vegetal y aceite esencial de anís.**  
Fuente: Elaboración propia.

Película	Aceite vegetal mL	Aceite esencial de anís mL
<b>1</b>	0	0
<b>2</b>	0	0
<b>3</b>	0	0
<b>4</b>	0,25	0,5
<b>5</b>	0,25	0,5
<b>6</b>	0,25	0,5
<b>7</b>	0,5	1
<b>8</b>	0,5	1
<b>9</b>	0,5	1

### 3.2.1.3. Condiciones de almacenaje

Las películas comestibles fueron almacenadas en bolsas de polietileno, a temperatura ambiente, correctamente etiquetadas para su posterior uso. Previo a cada una de las pruebas a las que fueron sometidas, se realizó la correspondiente ambientación en las condiciones indicadas para cada una de ellas (Pereda *et al.*, 2012).

### 3.2.1.4. Medición del espesor de las películas

El espesor de las películas comestibles fue determinado utilizando un micrómetro Mitutoyo, de rango 0 - 25 [mm], con resolución de 0,001 [mm], disponible en el laboratorio, tomándose medidas en cinco zonas y calculándose un valor promedio. Estas mediciones se efectuaron de forma previa a cada una de las pruebas a las que las películas fueron sometidas (Ramírez, 2005).

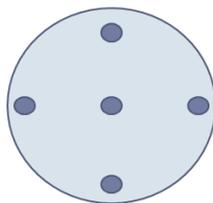


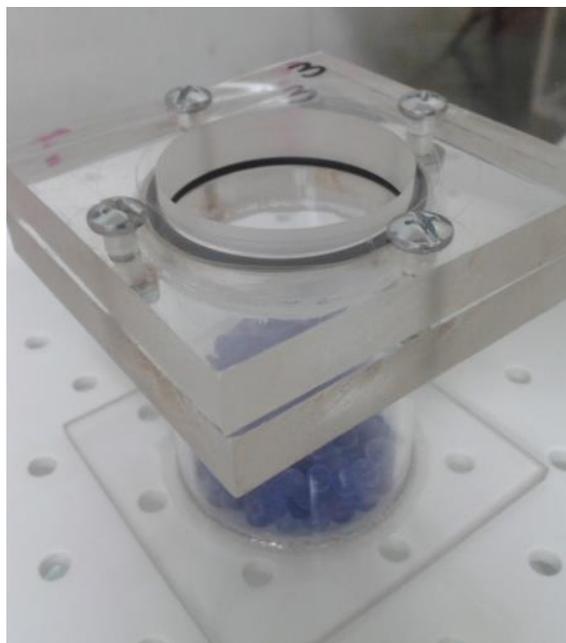
Figura 15. Ejemplo de la medición del espesor de las películas.

Fuente: Elaboración propia.

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

Para su evaluación se utilizó el Método de la Copa, siendo éste el más comúnmente utilizado en estudios similares. Este método gravimétrico consiste en sellar la película de interés sobre una copa parcialmente llena con agua, solución salina saturada o desecante, dejando bajo la película una zona con aire estancado. La copa es colocada en condiciones controladas de temperatura y humedad, y se registra el cambio de peso en el tiempo. La fuerza impulsora para el flujo de vapor de agua a través de la película es la diferencia de presión parcial de vapor de agua entre el exterior y el interior de la copa (Gennadios *et al.*, 1994).

En las pruebas de laboratorio, las películas se colocaron encima de recipientes cilíndricos de acrílico con una altura de 6 cm y que permitan un área expuesta de diámetro de 4,5 cm, dentro de los cuales se dispusieron 10 [g] de sílica gel (0 %HR). Dichos vasos de acrílico se acomodaron en un desecador con 2 [L] de agua destilada (100 %HR). El aumento de peso de los recipientes se monitoreó cada hora, registrándose durante 7 horas. Este cambio de peso fue graficado en función del tiempo, siendo la pendiente de la curva la velocidad de permeación del vapor de agua. En la figura 16 se muestra el montaje para la prueba de laboratorio (Bifani *et al.*, 2007)



**Figura 16. Montaje para la prueba de permeabilidad al vapor de agua, en el laboratorio.**  
Fuente: Elaboración propia.

Para cada tipo de película se realizaron tres réplicas, realizándose previamente una ambientación de 24 horas en las mismas condiciones de medición.

### **3.2.3. Propiedades mecánicas**

#### **3.2.3.1. Resistencia a la fuerza de tracción**

Para la medición de la resistencia a la tracción se utilizó el texturómetro Brookfield CT3 Texture Analyzer, disponible en el laboratorio. El aparato estaba conectado a un computador, el cual tenía instalado el software TexturePro CT, donde se registraron los datos de forma automática a medida que se efectuaba el ensayo (Pereda *et al.*, 2012).

Para las pruebas de resistencia a la tracción, las películas se cortaron en tiras de 20x50 [mm], con pequeñas incisiones a la mitad de su altura, de forma de guiar que la ruptura ocurra en esta zona y no en los extremos. En cada extremo, las muestras se sostuvieron con rectángulos de goma eva y cinta de doble contacto de 2,5 cm por lado, con la finalidad de mejorar la sujeción de la probeta a las mordazas del equipo de ensayo. Las secciones rectangulares se fijaron con separación de agarre inicial de 100 [mm] y se estiraron con velocidad de extensión de 0,01 [mm/s]. Los datos se registraron hasta la ruptura y se obtuvieron gráficas de Carga [N] vs. Deformación [mm]. Con esta información se estableció la fuerza máxima que las películas pueden soportar en pruebas de tracción y el porcentaje de deformación, el cual se determinó en base a la variación de longitud inmediatamente previa a la ruptura respecto del largo inicial del film (Pereda *et al.*, 2012).



Figura 17. Texturómetro CT3 Texture Analyzer.

Fuente: <http://www.brookfieldengineering.com/products/texture-analysis/ct3.asp>

Para cada película se realizaron dos pruebas, manteniéndose las muestras previamente en condiciones de ambientación a 30°C y 30%HR durante 48 horas. Todos los ensayos de tracción se realizaron a temperatura y humedad ambientales. Las empuñaduras que sostenían los extremos de la película fueron revestidas con goma eva (etil-vinil-acetato) en sus caras internas, para evitar el deslizamiento de la muestra (Pereda *et al.*, 2012).

### 3.2.3.2. Resistencia a la fuerza de punción

Las pruebas de resistencia a la punción se realizaron con el texturómetro Brookfield CT3 Texture Analyzer, disponible en el laboratorio. El aparato estaba conectado a un computador, el cual tenía instalado el software TexturePro CT, donde se registraron los datos de forma automática a medida que se efectuaba el ensayo. En el anexo 7.6 se presenta una captura de pantalla de la configuración del programa para las pruebas de punción (Pereda *et al.*, 2012).

Para las pruebas de resistencia a la punción, las películas se situaron sobre vasos acrílicos con diámetro de 3 cm, similares a los utilizados para la medición de la permeabilidad al vapor de agua. Una sonda de acero inoxidable de 5 [mm] de diámetro se desplazó perpendicularmente a la superficie de la película, a una velocidad constante de 1 [mm/s], hasta cruzar la muestra. Los datos se registraron hasta la ruptura y se obtuvieron gráficas de Carga [N] vs. Deformación [mm]. Con esta información se estableció la fuerza máxima que las películas pueden soportar en pruebas de punción y la deformación que se produce (Pereda *et al.*, 2012).

Para cada película se realizaron dos pruebas, manteniéndose previamente en condiciones de ambientación a 30°C y 30%HR durante 48 horas. Todos los ensayos de punción se realizaron a temperatura y humedad ambientales (Pereda *et al.*, 2012).

### 3.2.4. Opacidad

La opacidad se determinó de acuerdo al método descrito por Irissin-Mangata, Bauduin, Boutevin y Gontard (2001), correspondiente al procedimiento estándar modificado de la British Standards Institution (BSI, 1968). Las películas fueron cortadas en tiras rectangulares de 3 cm y 20 cm y colocadas en el lado interior de celdas transparentes, diseñadas especialmente para ensayos espectrofotométricos. El espectro de absorción de las muestras se obtuvo a longitudes de onda del rango entre 400 y 800 nm, en un espectrofotómetro UV-Visible Spectronic Genesys 5, tal como el que se muestra en la figura 18, disponible en el laboratorio. La opacidad de la película se define como el área bajo la curva del gráfico de absorbancia registrada versus longitud de onda, dividida por el espesor de la muestra y se expresa en [UA nm / mm]. Las mediciones para cada muestra fueron realizadas en triplicado (Pereda *et al.*, 2012).

Previo a las mediciones, las películas fueron ambientadas a 30°C y 30 %HR durante 48 horas. Todas las mediciones de opacidad se realizaron a condiciones ambientales (Pereda *et al.*, 2012).



**Figura 18. Espectrofotómetro disponible en el laboratorio.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.5. Ángulo de contacto

Para la medición en el laboratorio, se depositaron 5 [μL] de agua destilada sobre la superficie de la película, previamente pegada a un disco de acero inoxidable con cinta doble contacto. Se fotografió la imagen de la película con una cámara especialmente acondicionada en el laboratorio, siendo las mismas almacenadas en el computador mediante el software Point Grey FlyCapture 2. Información adicional sobre la cámara fotográfica se entrega en el Anexo 7.7. Las mediciones se registraron durante los 15 primeros segundos posteriores a la caída de la gota, para evitar variaciones por penetración del líquido en la película. El ángulo entre la superficie de la

película y la tangente a la gota de agua destilada se determinó con el analizador de imágenes ImageJ (Ramírez *et al.*, 2012).

Previo a las mediciones, las películas fueron ambientadas a 30°C y 30 %HR durante 48 horas. Todas las pruebas de ángulo de contacto se realizaron a condiciones ambientales, en quintuplicado.

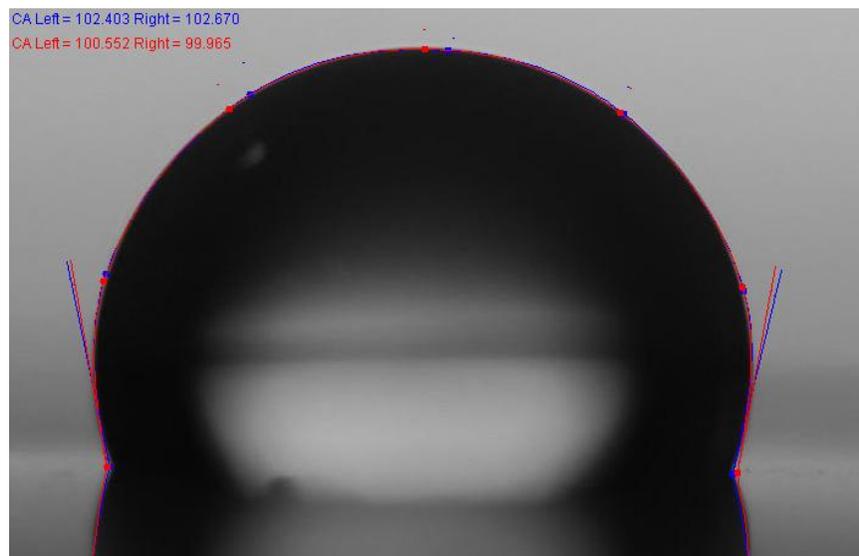


Figura 19. Ejemplo de análisis de ángulo de contacto, por el software ImageJ.  
Fuente: ImageJ.

### 3.2.6. Diseño de experimentos

El diseño de experimentos utilizado corresponde a un modelo factorial  $3^2$ , ya que posee dos factores o variables de estudio (aceite vegetal y aceite esencial de anís) y tres niveles (+1, 0, -1). De este modo, se obtiene un total de nueve tratamientos. En la tabla 3 se presentan las combinaciones de factores para cada tratamiento.

Tabla 3. Matriz de diseño experimental  $3^2$ .

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento	Nivel Aceite Vegetal	Nivel Aceite Esencial de Anís	Combinación	
T (1)	-1	-1	Ac=0 mL	Anís=0 mL
T (2)	-1	0	Ac=0 mL	Anís=0,5 mL
T (3)	-1	+1	Ac=0 mL	Anís=1 mL
T (4)	0	-1	Ac=0,25 mL	Anís=0 mL
T (5)	0	0	Ac=0,25 mL	Anís=0,5 mL
T (6)	0	+1	Ac=0,25 mL	Anís=1 mL
T (7)	+1	-1	Ac=0,5 mL	Anís=0 mL
T (8)	+1	0	Ac=0,5 mL	Anís=0,5 mL
T (9)	+1	+1	Ac=0,5 mL	Anís=1 mL

# **CAPÍTULO IV**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

En las tablas 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 del Anexo 7.8 se presentan los resultados para las mediciones de permeabilidad al vapor de agua para cada combinación de aceite vegetal y aceite esencial de anís estudiada. Además, se muestran el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada caso. Por otro lado, en la tabla 4 se observa un resumen de dichos promedios, según contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís.

**Tabla 4. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua.**  
Fuente: Elaboración propia.

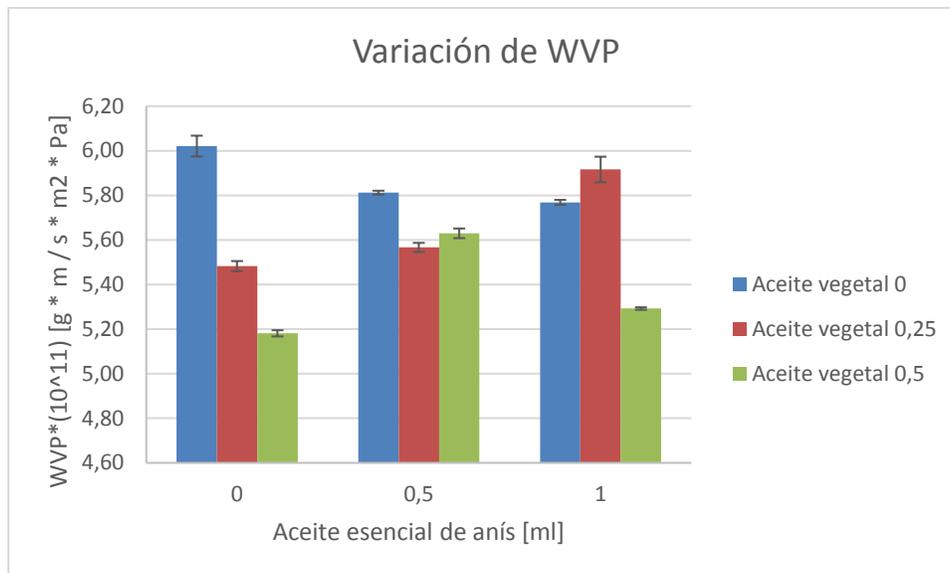
Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0	0	6,02 ± 0,05 <sup>a 2</sup>
	0,5	5,81 ± 0,01 <sup>b</sup>
	1	5,77 ± 0,01 <sup>b</sup>
0,25	0	5,48 ± 0,02 <sup>c</sup>
	0,5	5,57 ± 0,02 <sup>d</sup>
	1	5,92 ± 0,06 <sup>e</sup>
0,5	0	5,18 ± 0,01 <sup>f</sup>
	0,5	5,63 ± 0,02 <sup>d</sup>
	1	5,29 ± 0,01 <sup>g</sup>

<sup>a</sup> Letras iguales indican que no existe diferencia significativa en los promedios ( $p > 0,05$ ), letras distintas indican que existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) según Prueba de Duncan.

Con el objetivo de facilitar la comparación entre resultados obtenidos, en la figura 20 presentada a continuación se muestran todos los valores promedio de permeabilidad al vapor de agua determinados en este estudio. Tal como se aprecia, los resultados son relativamente similares y concuerdan con el patrón de comportamiento esperado. Debido al carácter disonante y sin una tendencia fija de la comparación entre películas con similar contenido de aceite vegetal y variaciones respecto del aceite esencial de anís, es que se descarta que éste sea un factor de marcada influencia sobre la permeabilidad al vapor de agua.

De forma general, los resultados obtenidos indican una tendencia de la permeabilidad al vapor de agua de disminuir a medida que se incrementa la concentración de aceite vegetal, no observándose un comportamiento concluyente debido al efecto del aceite esencial de anís sobre esta propiedad.

<sup>2</sup> Valor promedio de dos mediciones ± desviación estándar.



**Figura 20. Variación de permeabilidad al vapor de agua.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Esto se explicaría porque la incorporación de aceite vegetal, compuesto de naturaleza apolar, disminuye la afinidad de las películas de quitosano por el agua. Varios autores han reportado que el aumento de la concentración de sustancias de características hidrofóbicas es un factor esencial para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de las películas comestibles a base de proteínas y carbohidratos. El aumento de concentración de un compuesto lipídico implica valores más bajos de permeabilidad al vapor de agua y mejor barrera contra la humedad, debido a la alteración de la organización interna de las películas, formando así estructuras más eficientes para prevenir la migración de la humedad. El agregado de un lípido incrementa la hidrofobicidad, logrando que un mayor número de gotas dispersas aumenten la tortuosidad de la matriz polimérica, dificultando la movilidad del agua por la misma, ya que la distancia a recorrer por las moléculas es mayor.

En diversos estudios, se ha concluido que para gradientes de humedad relativa altos (0% HR vs. 100% HR, en este caso) el agua actuaría como plastificante en polímeros hidrófilos, como el quitosano, disminuyendo sus propiedades de barrera en forma independiente a la presencia de algún tipo de aceite. De forma más explicativa, las moléculas tendrían la habilidad de disolver de forma parcial el quitosano hasta lograr un gel, condición que conllevaría una pérdida de la estructura compacta que se obtiene con la adición de aceites, así se atribuiría una gran importancia a la naturaleza catiónica del quitosano en el control de la permeabilidad al vapor de agua.

Los valores promedio de permeabilidad al vapor de agua determinados en este trabajo varían entre 5,18 y 6,02 \* 10<sup>11</sup> [g \* m / s \* m<sup>2</sup> \* Pa], encontrándose ambos extremos en la serie correspondiente a nulo contenido de aceite esencial de anís. El mínimo valor promedio determinado mediante la experiencia en el laboratorio se verifica para la película con máximo

contenido de aceite vegetal y completa ausencia de aceite esencial de anís, siguiendo así el patrón esperado. De todas las pruebas realizadas, se observa que el máximo valor de permeabilidad al vapor de agua se dio para la muestra control, con nula presencia de aceite vegetal y cero contenido de aceite esencial de anís.

Que el valor máximo de permeabilidad al vapor de agua se haya detectado en muestras con ausencia de aceite vegetal y aceite esencial de anís, se explica gracias a la naturaleza hidrofílica del quitosano, el cual, por sí solo, presenta una moderada a alta permeabilidad, es decir, en ausencia de compuestos lipídicos, constituye una pobre barrera al vapor de agua.

Con ayuda del software Statgraphics XVII se realizaron análisis estadísticos, cuyos resultados se informan en la tabla 66 del Anexo 7.14.

En resumidas cuentas, se concluye que películas con mayor contenido de aceite vegetal resultaron en películas con menor permeabilidad al vapor de agua, implicando necesariamente una modificación en la organización molecular (aumento de tortuosidad) como resultado de la incorporación de este aditivo a la matriz básica de los recubrimientos. Además, se detectó que el aceite esencial de anís no afectó de forma significativa a la propiedad evaluada.

Los valores de permeabilidad al vapor de agua determinados experimentalmente se mueven en rangos de  $10^{11}$  [ $\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ], existiendo concordancia con órdenes de magnitud informados por distintos autores. En la tabla 5 se informan valores de otros films, recopilados de la literatura.

**Tabla 5. Valores de permeabilidad al vapor de agua de otros films.**  
Fuente: "Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos", 2002.

Material	WVP* $10^{11}$ [ $\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ]
<b>Polietileno de alta densidad (HDPE)</b>	0,023
<b>Cera de abeja</b>	0,058
<b>Polietileno de baja densidad (LDPE)</b>	0,073 – 0,091
<b>Poliéster</b>	0,120 – 0,150
<b>Alginato de sodio</b>	0,260
<b>Plástico común</b>	0,793
<b>Celofán</b>	7,700 - 8,400
<b>Quitosano 2%<sup>3</sup></b>	5,180 – 6,050 ± 0,02

Teniendo en consideración que valores para materiales de empaquetamiento sintéticos, como el polietileno de baja densidad con permeabilidad de  $0,091 \cdot 10^{11}$  [ $\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ] o el plástico común que reportó un valor de  $0,793 \cdot 10^{11}$  [ $\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ], se concluye que las películas comestibles diseñadas para esta investigación resultaron ser buenas barreras al vapor de agua, dentro de sus posibilidades.

<sup>3</sup> Rango de valores obtenidos en esta investigación.

Dado que el espesor de las películas es un factor determinante a la hora de evaluar la permeabilidad al vapor de agua, se trató de conseguir películas del mismo grosor, lográndose esto sólo en algunos casos. Dichas variaciones pueden haber tenido influencia sobre la determinación de la permeabilidad de agua de algunas películas comestibles y eso explicaría posibles datos erráticos.

## 4.2. Propiedades mecánicas

### 4.2.1. Resistencia a la fuerza de tracción

En las tablas 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28 del Anexo 7.9 se presentan los resultados para las mediciones de resistencia a la fuerza de tracción para cada combinación de aceite vegetal y aceite esencial de anís estudiada. Además, se muestran el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada caso. Finalmente, en la tabla 6 se observa un resumen de dichos promedios, según contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís.

**Tabla 6. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción.**

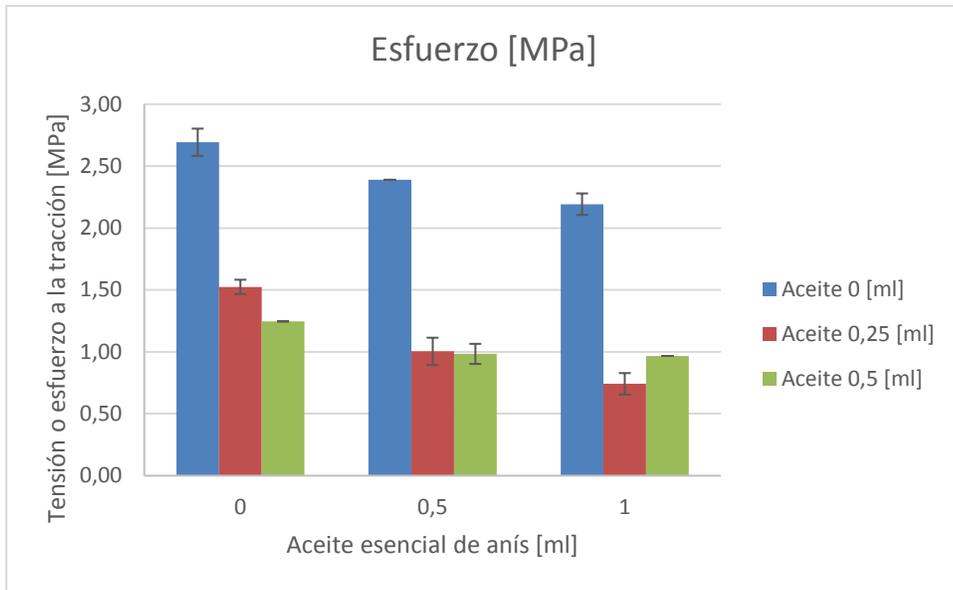
Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elástico [MPa]
0	0	3,29	5,10	2,69 ± 0,11 <sup>a 4</sup>	10,19 ± 0,07 <sup>a</sup>	31,83 ± 4,72 <sup>a</sup>
	0,5	2,92	5,29	2,39 ± 0,00 <sup>b</sup>	10,57 ± 0,04 <sup>a</sup>	22,78 ± 1,29 <sup>b</sup>
	1	2,68	7,90	2,19 ± 0,09 <sup>c</sup>	15,79 ± 0,55 <sup>b</sup>	15,98 ± 2,21 <sup>c</sup>
0,25	0	1,86	1,34	1,52 ± 0,06 <sup>d</sup>	2,67 ± 0,24 <sup>c</sup>	18,56 ± 1,76 <sup>c</sup>
	0,5	1,23	3,91	1,00 ± 0,11 <sup>e</sup>	7,82 ± 0,34 <sup>d</sup>	17,56 ± 2,47 <sup>c</sup>
	1	0,91	2,63	0,74 ± 0,09 <sup>f</sup>	5,25 ± 0,04 <sup>e</sup>	16,28 ± 2,30 <sup>c</sup>
0,5	0	1,52	5,63	1,25 ± 0,00 <sup>g</sup>	11,25 ± 0,41 <sup>f</sup>	15,57 ± 1,61 <sup>c</sup>
	0,5	1,20	4,82	0,98 ± 0,08 <sup>e</sup>	9,63 ± 0,21 <sup>g</sup>	13,29 ± 1,39 <sup>c</sup>
	1	1,18	5,17	0,97 ± 0,00 <sup>e</sup>	10,33 ± 0,01 <sup>a</sup>	13,08 ± 1,36 <sup>c</sup>

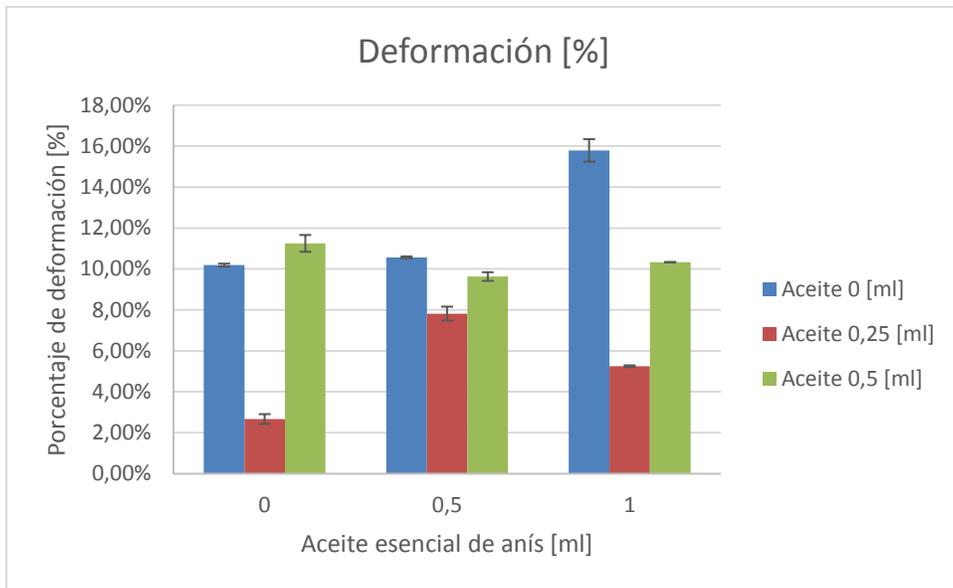
<sup>a</sup> Letras iguales indican que no existe diferencia significativa en los promedios ( $p > 0,05$ ), letras distintas indican que existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) según Prueba de Duncan.

A modo de facilitar la interpretación de estos resultados, el resumen de valores promedio de los más importantes parámetros se presenta gráficamente en las figuras 21, 22 y 23.

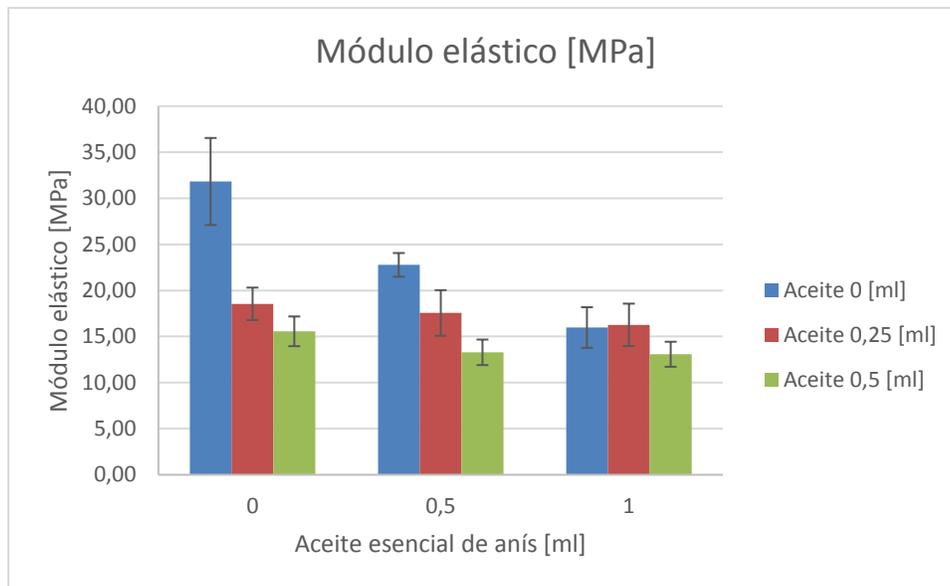
<sup>4</sup> Valor promedio de dos mediciones ± desviación estándar.



**Figura 21. Variación de resistencia a la tracción.**  
**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 22. Variación de porcentaje de deformación.**  
**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 23. Variación de módulo elástico.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Recordando que el esfuerzo, tensión máxima o resistencia a la tracción se refiere a aquella tracción máxima que puede sostener la película antes de romperse, a la luz de los resultados obtenidos es posible notar que esta propiedad es menor conforme se incrementa el contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís. El mayor valor se presenta para 0 mL de aceite vegetal y 0 mL de aceite esencial de anís y el menor para 0,25 mL de aceite vegetal y 1 mL de aceite esencial de anís, existiendo una diferencia de porcentual de 72,49 % entre ambos, respecto del máximo.

En cuanto a la deformación, alargamiento a la rotura o elongación relativa, que viene a ser el cambio máximo de longitud de una muestra de ensayo antes de producirse la rotura, se observa un comportamiento menos estable que para el esfuerzo, no presentándose una tendencia clara. De forma burda, si se ignoraran adrede los resultados obtenidos para las pruebas con 0 mL de aceite vegetal, se tendría un comportamiento que indicara que a mayor contenido de aceites, la deformación sería más alta, tal como se esperaría. Sin embargo, dado el comportamiento errático de la deformación en general, no es posible obtener conclusiones sólidas sobre el efecto de los aceites, estando estos resultados probablemente afectados por errores experimentales.

Finalmente, para el módulo elástico o módulo de Young, que se refiere a la medida de la rigidez de la película, se sigue una tendencia más o menos clara. Para contenidos similares de aceite esencial de anís, el módulo de Young es mayor para la muestra con 0 mL de aceite vegetal que para las otras dos. Manteniendo el aceite vegetal constante, los valores de módulo de Young presentan una disminución notoria cuando se adiciona aceite esencial de anís, lográndose el mínimo para la combinación de 0,5 mL de aceite vegetal y 1 mL de aceite esencial de anís.

De forma general, los resultados indican que las películas control, que correspondían sólo a quitosano sin componentes lipídicos, demostraron ser rígidas y tener mayor tendencia a

quebrarse, esto por sus valores altos de resistencia a la tracción y módulo elástico, que aquellas a las que se les agregó aceite vegetal y aceite esencial de anís.

Asimismo, la incorporación de aceite vegetal y aceite esencial de anís conduciría a disminuir la tensión máxima a la rotura y el módulo de Young, no estableciéndose tendencias claras para la elongación. En teoría, esto se debería a que el agregado de lípidos provocaría un efecto plastificante, es decir, crearía interferencias en la asociación de las cadenas de polímeros, creando una matriz con discontinuidades y una estructura molecular más amplia, con más volumen libre, facilitando así su deslizamiento y aumento de flexibilidad en las películas. Se esperaría, además, que el efecto de los lípidos también afectara la deformación, siendo ésta mayor para películas con contenidos más altos de aceites. De forma general, la incorporación de aceite vegetal y aceite esencial de anís cumpliría la función de plastificante, profiriendo mayor movilidad a las cadenas poliméricas, con lo que ofrecerían menor tensión de rotura, menor resistencia de la película a la tracción y se estirarían con mayor facilidad, obteniéndose películas con un menor carácter sólido, es decir, menos rígidas y más flexibles, con mayor capacidad de deformación y con menor tendencia al quebrantamiento.

Con ayuda del software Statgraphics XVII se realizaron análisis estadísticos, cuyos resultados se informan en la tabla 66 del Anexo 7.14.

Las diferencias y comportamientos fuera de tendencia podrían deberse a errores experimentales asociados al trabajo en el laboratorio, ya que problemas en la emulsión podrían haber ocasionado distintos tamaños de gota para las películas estudiadas. Así, una película formada por gotas de emulsión más pequeñas y con una estructura menos ordenada, mostraría mayor resistencia a la tracción, menor elongación y mayor módulo de Young, que aquella con mayor tamaño de gota, no correspondiendo esto necesariamente al efecto de la incorporación de aceite vegetal y aceite esencial de anís.

Finalmente, en la tabla 7 se presenta un resumen de resultados de pruebas de tracción para materiales conocidos, a modo de establecer comparaciones.

**Tabla 7. Valores de pruebas de tracción para materiales conocidos.**

**Fuente: “Películas biodegradables y recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides: caracterización y aplicaciones”, Noemí Zaritzky.**

<b>Material</b>	<b>Resistencia a la tracción [MPa]</b>	<b>Elongación en la ruptura [%]</b>
<b>Celofán</b>	85,8	14,4
<b>Polietileno de baja densidad (LDPE)</b>	16,2	68,7
<b>Polietileno de alta densidad (HDPE)</b>	27,8	150
<b>Piel</b>	50	75
<b>Caucho</b>	30	600
<b>Silicona</b>	5,5	530

<b>Cristal</b>	403	0
<b>Cerámica</b>	241	0
<b>Bronce</b>	700	11
<b>Quitosano 2%<sup>5</sup></b>	8,41 – 14,69	19,55 – 32,90
<b>Quitosano 2%<sup>6</sup></b>	0,74 – 2,69	5,25 – 15,79

De aquí se desprende que las películas comestibles fabricadas en el laboratorio presentaron un comportamiento relativamente cercano a la silicona en cuando a su resistencia a la tracción, viéndose distante de materiales como el cristal y la cerámica, por ejemplo. En cuanto al porcentaje de elongación, los films desarrollados en las pruebas de esta investigación son comparables con el celofán en su rango superior.

#### 4.2.2. Resistencia a la fuerza de punción

En las tablas 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 y 37 del Anexo 7.10 se presentan los resultados para las mediciones de resistencia a la fuerza de punción para cada combinación de aceite vegetal y aceite esencial de anís estudiada. Además, se muestran el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada caso. Finalmente, en la tabla 8 se observa un resumen de dichos promedios, según contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís.

**Tabla 8. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción.**

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0	0	15,57 ± 0,73 <sup>a 7</sup>	13,40 ± 0,32 <sup>a</sup>
	0,5	12,77 ± 0,45 <sup>b</sup>	12,39 ± 0,85 <sup>a</sup>
	1	10,84 ± 0,76 <sup>c</sup>	13,16 ± 0,16 <sup>a</sup>
0,25	0	9,51 ± 0,00 <sup>d</sup>	13,07 ± 1,41 <sup>a</sup>
	0,5	9,30 ± 0,04 <sup>d</sup>	10,76 ± 0,57 <sup>b</sup>
	1	8,83 ± 0,13 <sup>d</sup>	10,34 ± 0,64 <sup>b</sup>
0,5	0	5,64 ± 0,7 <sup>e</sup>	10,77 ± 0,27 <sup>b</sup>
	0,5	4,32 ± 0,06 <sup>f</sup>	9,78 ± 0,05 <sup>b</sup>
	1	3,51 ± 0,18 <sup>f</sup>	9,56 ± 0,33 <sup>b</sup>

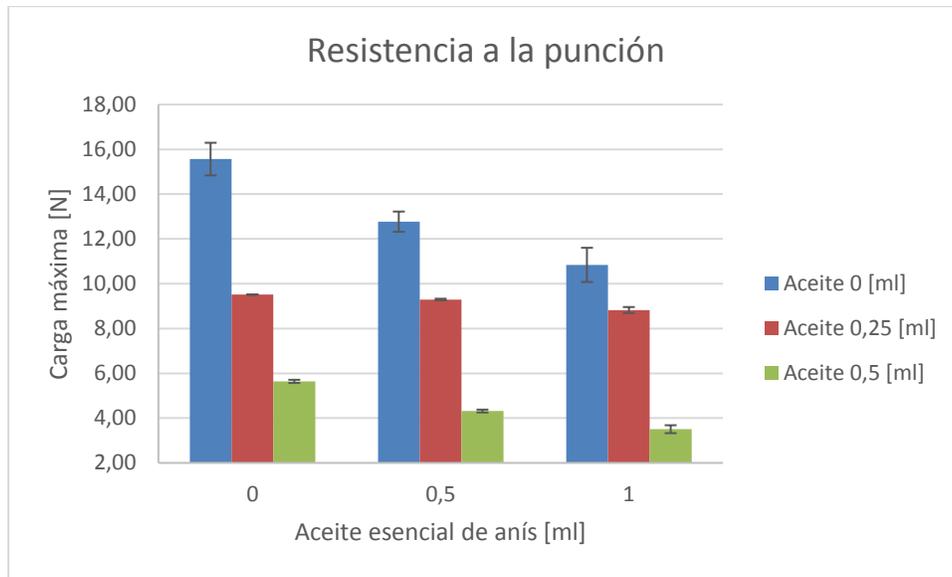
<sup>a</sup> Letras iguales indican que no existe diferencia significativa en los promedios ( $p > 0,05$ ), letras distintas indican que existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) según Prueba de Duncan.

<sup>5</sup> Rango de valores obtenidos en “*Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films*”, para películas de quitosano y aceite de oliva acondicionadas a 50 %HR y 25°C.

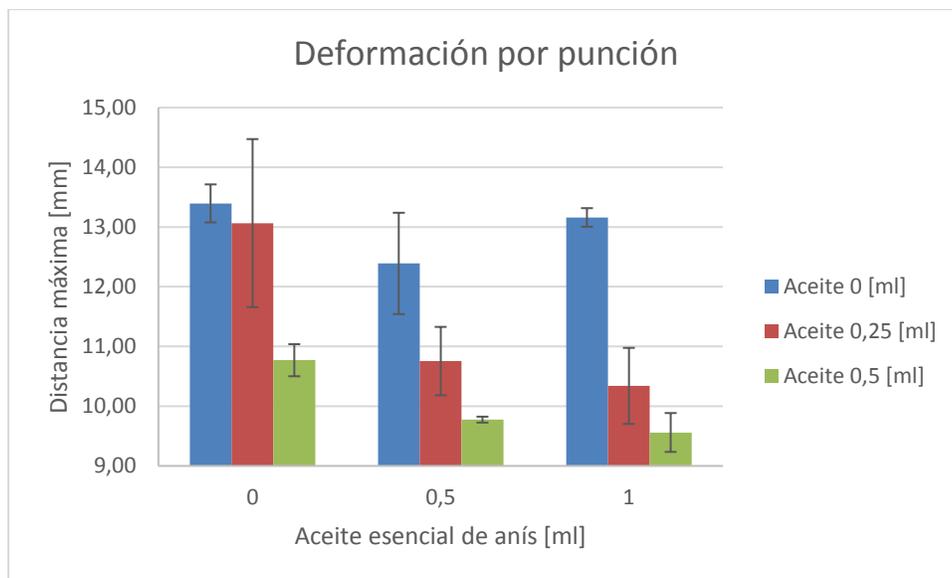
<sup>6</sup> Rango de valores obtenidos en esta investigación.

<sup>7</sup> Valor promedio de dos mediciones ± desviación estándar.

A modo de facilitar la interpretación de estos resultados, el resumen de valores promedio de los parámetros estudiados para los ensayos de punción se presenta gráficamente en las figuras 24 y 25.



**Figura 24. Variación de resistencia a la punción.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 25. Variación de deformación por punción.**  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que a mayor contenido de aceite vegetal la resistencia a la punción disminuye y lo mismo ocurre para la deformación por punción, salvo un valor que escapa a la tendencia, correspondiente a la deformación para 0 mL de aceite vegetal y 1 mL de aceite esencial de anís y que podría asociarse a errores experimentales.

Conforme aumenta la cantidad de aceite esencial de anís, para el mismo contenido de aceite vegetal, los valores de resistencia a la punción y deformación por punción también siguen tendencia decreciente. En todos los casos evaluados, las menores respuestas se dan para la combinación de 0,5 mL de aceite vegetal y 1 mL de aceite esencial de anís.

Dado que la resistencia a la punción corresponde a la fuerza máxima requerida para causar la ruptura de la película mediante una punta penetrante y, por tanto, hace referencia a la rigidez de la película, se observa que mayores contenidos de componentes lipídicos conllevan a películas más flexibles y con menor quebrantamiento.

Estos comportamientos, de forma similar a aquellos de las pruebas de resistencia a la tracción, podrían explicarse como consecuencia del efecto de la incorporación de lípido a las películas comestibles, el cual adoptaría comportamiento de plastificante, volviéndola más flexible, menos quebradiza y logrando que tenga mejor resistencia al manejo. Se esperaría, sin embargo, que la deformación fuera mayor para concentraciones más altas de aceites vegetales y esenciales, puesto que el efecto plastificante debiera conducir a películas con mayor flexibilidad, que se estiren más fácilmente y que tengan porcentajes de deformación más altos, situación que no corresponde con la realidad de estos experimentos.

Con ayuda del software Statgraphics XVII se realizaron análisis estadísticos, cuyos resultados se informan en la tabla 66 del Anexo 7.14.

### 4.3. Opacidad

En las tablas 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 y 46 del Anexo 7.11 se presentan los resultados promedio para las mediciones de absorbancia para cada combinación de aceite vegetal y aceite esencial de anís estudiada. Finalmente, en la tabla 9 se observa un resumen de los valores obtenidos de opacidad, según contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís.

**Tabla 9. Resumen de resultados de opacidad.**

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Opacidad [UA/nm]
0	0	31,64 ± 0,01 <sup>a</sup> <sup>8</sup>
	0,5	70,39 ± 0,00 <sup>b</sup>
	1	186,63 ± 0,04 <sup>c</sup>
0,25	0	83,75 ± 0,02 <sup>d</sup>
	0,5	219,28 ± 0,04 <sup>e</sup>
	1	275,19 ± 0,03 <sup>f</sup>

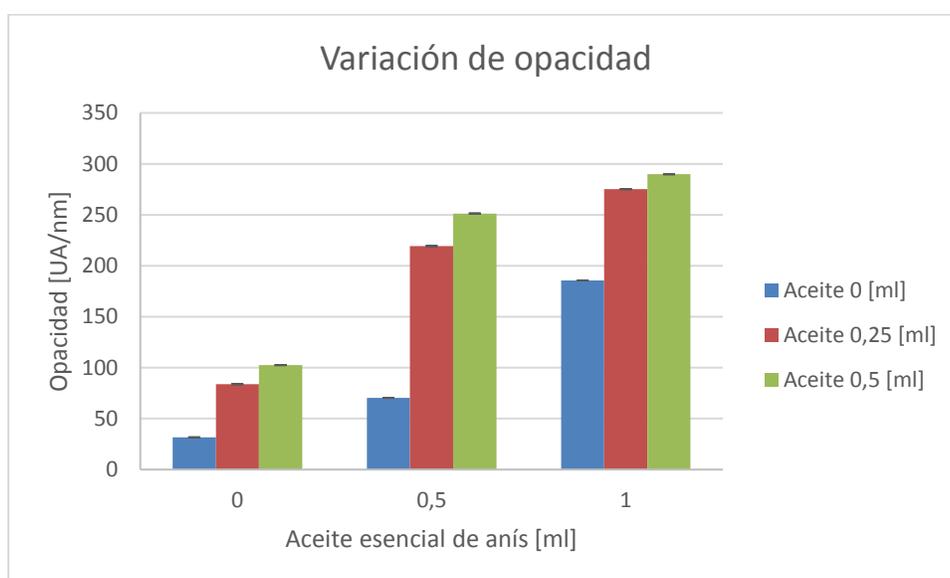
<sup>8</sup> Valor promedio de tres mediciones ± desviación estándar.

	0	102,5 ± 0,02 <sup>g</sup>
0,5	0,5	251,29 ± 0,02 <sup>h</sup>
	1	289,79 ± 0,02 <sup>i</sup>

<sup>a</sup> Letras iguales indican que no existe diferencia significativa en los promedios ( $p > 0,05$ ), letras distintas indican que existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) según Prueba de Duncan.

Recordando que la absorbancia se cuantifica como el porcentaje de intensidad lumínica que no logra atravesar la muestra en evaluación, se dice que un material presenta opacidad cuando la absorbancia es alta y éste no deja pasar fácilmente la luz.

En la figura 26 se evidencia la variación de opacidad entre las películas.



**Figura 26. Variación de la opacidad.**  
Fuente: Elaboración propia.

De aquí es posible observar que las conformaciones presentan mayores valores de opacidad a medida que se incrementan conjuntamente el contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís. Para concentraciones similares de aceite vegetal y variaciones de aceite esencial de anís, se detectan aumentos de opacidad relativamente a mayores a los presentados para los incrementos de aceite vegetal mientras se mantiene fijo el contenido de aceite esencial de anís. La muestra perteneciente a 0 mL de aceite vegetal y 0 mL de aceite esencial de anís obtuvo el menor valor de opacidad en el rango de 400 a 800 [nm], delatándose una tendencia ascendente de opacidad a medida que aumentaba el contenido de aceites, lográndose el mayor valor para la combinación de 0,5 mL de aceite vegetal y 1 mL de aceite esencial de anís. Se observa, asimismo, que las variaciones más bruscas de opacidad ocurren cuando se adiciona aceite vegetal, suavizándose el alza cuando sólo varía el contenido de éste. Esto se explicaría debido a que la presencia de gotas de aceite vegetal en la película aumentaría la dispersión de la luz en la emulsión.

Con ayuda del software Statgraphics XVII se realizaron análisis estadísticos, cuyos resultados se informan en la tabla 66 del Anexo 7.14.

La apariencia de las películas comestibles puras, sin aditivos, es por norma general incolora y transparente, tal como se aprecia en esta experiencia; mientras que el agregado de gotas de aceite dispersadas en la matriz afectaría la transparencia, provocando un alto grado de reflexión del haz de luz del espectrofotómetro, incrementando así la opacidad de las mismas. En estudios previos a esta investigación, se ha determinado que en películas realizadas a partir de quitosano con el agregado de aceites esenciales, se observó que su transparencia se redujo a medida que se les incorporaron aceites esenciales, siendo éstas más opacas y con menor brillo que el film control, como consecuencia de una estructura más rugosa, que da lugar a una mayor dispersión de luz, y el agregado de componentes lipídicos, que son capaces de conferir opacidad en distintos grados. Esto se explicaría, además, por las interacciones hidrofóbicas entre los polímeros que conforman la matriz estructural, las cuales serían responsables de la opacidad de las películas comestibles. Dicha hipótesis concuerda con los resultados obtenidos, ya que los valores más altos de opacidad se registran para concentraciones mayores de aceites en las soluciones.

#### 4.4. Ángulo de contacto

En las tablas 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55 y 56 del Anexo 7.12 se presentan los resultados para las mediciones del ángulo de contacto para cada combinación de aceite vegetal y aceite esencial de anís estudiada. Además, se muestran el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada caso. Finalmente, en la tabla 10 se observa un resumen de dichos promedios, según contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís. En el Anexo 7.13 se muestran las capturas de pantalla correspondientes al software ImageJ aplicado a cada gota y la determinación del ángulo de contacto por medio del mismo, para cada una de las réplicas.

**Tabla 10. Resumen de valores de ángulo de contacto.**  
Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Ángulo de contacto [°]
0	0	38,3 ± 0,16 <sup>a 9</sup>
	0,5	40,3 ± 0,31 <sup>b</sup>
	1	43,4 ± 0,38 <sup>c</sup>
0,25	0	47,0 ± 0,47 <sup>d</sup>
	0,5	50,0 ± 0,33 <sup>e</sup>
	1	54,2 ± 0,43 <sup>f</sup>

<sup>9</sup> Valor promedio de cinco mediciones ± desviación estándar.

0,5	0	57,3 ± 0,55 <sup>g</sup>
	0,5	60,2 ± 0,39 <sup>h</sup>
	1	62,2 ± 0,42 <sup>i</sup>

<sup>a</sup> Letras iguales indican que no existe diferencia significativa en los promedios ( $p > 0,05$ ), letras distintas indican que existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) según Prueba de Duncan.

A simple vista y en primera instancia, se aprecia que todos los ángulos de contacto informados tienen un valor inferior a  $90^\circ$ , lo que dice relación con una superficie de película comestible de carácter hidrófilo, con una mayor interacción entre la gota de agua destilada y el recubrimiento comestible, lo que induce una mayor mojabilidad y una mayor capacidad de adherencia entre ambos. Se dice que ángulos de contacto menores a  $90^\circ$  corresponden a mojados espontáneos y que ángulos con valor  $0^\circ$  indican que la gota se infiltra completamente en la superficie.

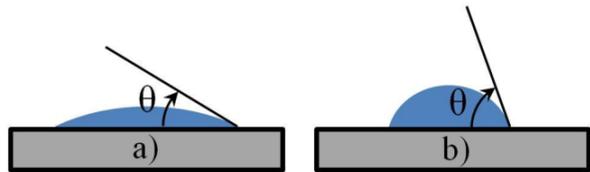


Figura 27. Relación entre ángulos de contactos y mojabilidad, (a) buen mojado (b) mal mojado.

Fuente: “Estudio del ángulo de contacto y de la mojabilidad a alta temperatura de fases líquidas en la sinterización de metales”, Álvaro Rodríguez, 2010.

En la figura 28 se presenta el resumen de valores promedios de ángulo de contacto, para cada una de las combinaciones de aceite vegetal y aceite esencial de anís estudiadas.

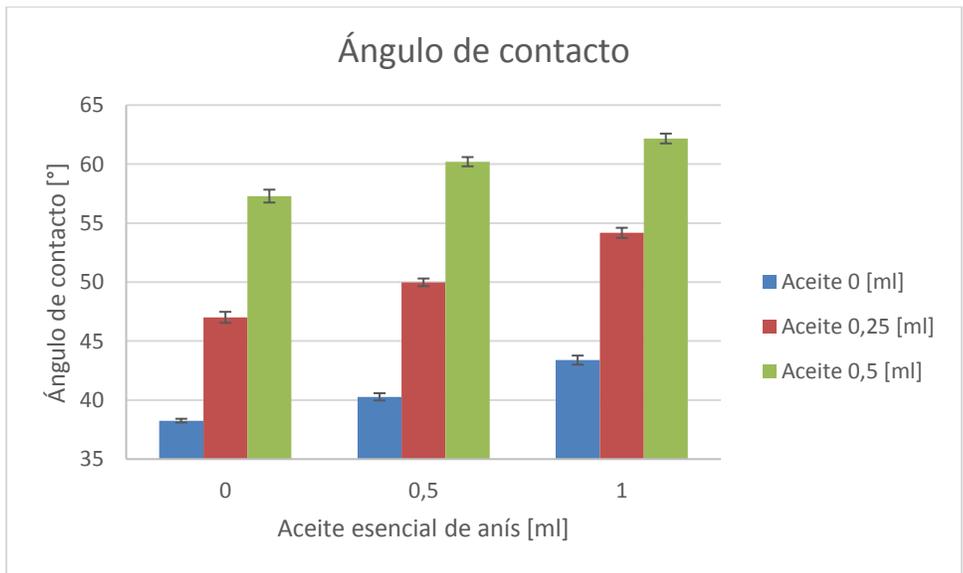


Figura 28. Variación de ángulo de contacto.

Fuente: Elaboración propia.

Los ángulos inferiores a 30° tendrían lo que se considera una mojabilidad aceptable, mientras que aquellos que se encuentran desde 60° a valores más altos tendría un mojado pobre. En un análisis más detallado, se observa que menores ángulos corresponden a bajas concentraciones de ambos tipos de aceite, esto es evidencia de una mayor polaridad superficial debido a la primacía del carácter hidrofílico del quitosano por sobre la hidrofobicidad de los aceites. Por su parte, a medida que se registran aumentos en el contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís, la superficie de las películas comestibles se torna más hidrofóbica y, por tanto, los ángulos crecen conforme aumenta la concentración de aceites.

La presencia de cantidades crecientes de aceites tiende a desfavorecer el esparcimiento de la gota sobre la superficie de la película y a limitar la penetración de la gota dentro de misma, resultando en un aumento de la hidrofobicidad. Así pues, el análisis de los resultados permite inferir que, a mayor concentración de aceite en las películas comestibles, las interacciones entre la matriz de la misma y el aceite son más importantes que las que existen entre la gota de agua destilada y la superficie de la película comestible.

Con ayuda del software Statgraphics XVII se realizaron análisis estadísticos, cuyos resultados se informan en la tabla 66 del Anexo 7.14.

Finalmente, que el ángulo de contacto tenga valores similares para sus bordes izquierdo y derecho, tal como se verifica en el Anexo 7.12, confirma una distribución homogénea de lípidos en las películas.

Para superficies que estarán en contacto con alimentos, es una característica deseable que exhiban ángulos de contacto mayores y, por consiguiente, una menor mojabilidad. Por este motivo, aquella formulación con un mayor contenido de aceite vegetal y aceite esencial de anís, y el ángulo de contacto de más alto valor entre todos los reportados en el laboratorio, se presenta como la mejor alternativa.

Es posible establecer una suerte de relación entre los comportamientos de permeabilidad al vapor de agua y ángulo de contacto. Se esperaría que para combinaciones equivalentes de aceite vegetal y aceite esencial de anís, ambas propiedades tuvieran tendencias opuestas debido a la hidrofobicidad que se ve aumentada con la incorporación de compuestos lipídicos (disminución de la permeabilidad al vapor de agua y aumento del ángulo de contacto). Tal como se observa en las figuras 20 y 28 esto se manifiesta para 0 mL, 0,25 mL y 0,5 mL de aceite vegetal combinados con 0 mL de aceite esencial de anís, y se mantiene tenuemente para la permeabilidad asociada a 0 mL de aceite vegetal sin influir el contenido de aceite esencial de anís. Sin embargo, la tendencia se pierde para las combinaciones superiores. Este resultado errático podría estar determinado por las interacciones del aceite esencial de anís con la matriz de la película comestible y el ambiente que la rodea.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

De forma general, de los factores estudiados, aceite vegetal y aceite esencial de anís, sólo la concentración del primero demostró ser un factor significativo y con real incidencia en las características tecnológicas de las películas comestibles desarrolladas, obteniéndose diferencias significativas entre una película sin aceite vegetal y una película con la máxima concentración de aceite vegetal estudiada. Un incremento en el contenido de aceite vegetal añadido condujo a películas con mayor capacidad de barrera frente al vapor de agua, con menores esfuerzos de tracción y punción, además de alcanzar una mayor elongación relativa, ser más hidrofóbicas, más brillantes y menos transparentes.

Con el término de esta investigación, se ha logrado una caracterización de películas comestibles elaboradas mediante emulsificación de aceite vegetal y con adición de aceite esencial de anís, obteniendo conclusiones generales satisfactorias y abriendo la puerta a estudios futuros, que profundicen en el tema y contribuyan al árbol de conocimiento relativo a las películas comestibles aplicadas a alimentos.

## 5.2. Recomendaciones

Para futuras investigaciones relacionadas, se propone la aplicación directa del film sobre la fruta mediante inmersión, a modo de formar un recubrimiento, y estudiar así las propiedades de la nueva conformación fruta-film y sus efectos.

Asimismo, también se propone caracterizar las películas en función de la porosidad y rugosidad que presenten, factores que esta vez no fueron considerados, pero cuya incidencia en las propiedades de los films sin duda es determinante para todas las mediciones realizadas en esta ocasión.

De forma similar, se plantea la posibilidad de estudiar la difusión del aceite esencial de anís según la temperatura de almacenamiento de la fruta y establecer una suerte de límite temporal para la funcionalidad del film.

Se recomienda controlar las condiciones de secado de las películas, así como también las de ambientación previa a las pruebas a las que los films fueron expuestos, dado que es probable que haya habido errores experimentales asociados a la exposición de las películas al ambiente en los períodos de manipulación anteriores a las pruebas de laboratorio.

Para estudios posteriores, se recomienda considerar el efecto de la humedad ambiente y su influencia sobre las películas, ya que todas ellas se veían afectadas al ser expuestas a las condiciones del laboratorio.

También se recomienda evaluar parámetros de calidad, como cambios en el color y sabor de la fruta posterior a la aplicación de las películas comestibles. Asimismo, sería importante investigar las propiedades antimicrobianas y antifúngicas del aceite esencial de anís y de su principio activo anisol.

Del mismo modo, es recomendable controlar la respiración de las frutas y estudiar qué influencia presenta en la investigación el intercambio de gases entre éstas y el ambiente.

# **REFERENCIAS**

## 6 REFERENCIAS

Acevedo A., Salvia L., Rojas M.A. and Martin O., 2015. Edible Films From Essential Oil Loaded Nanoemulsions: Physicochemical Characterization and Antimicrobial Properties. *Food Hydrocolloids*, 47, 168-177.

Avila R., Palou E., Jiménez M.T. and Others. (2012). Antifungal Activity by Vapor Contact of Essential Oils Added to Amaranth, Chitosan or Starch Edible Films. *International Journal of Food Microbiology*, 153, 66-72.

Bertuzzi, M. A.; Armada, M.; Gottifredi, J.C.; Aparicio, A.R.; Jiménez, P. (2002). Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos

Bifani V., Ramírez C., Ihl M., 2007. Effects of murta (*Ugni molinae* Turcz) extract on gas and water vapor permeability of carboxymethylcellulose-based edible films. *LWT*, 40, 1473-1481.

Bonilla et al, 2011. J. Bonilla, L. Atarés, M. Vargas, A. Chiralt, 2011. Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloids*.

Coma V., Coma A., Martial-Gros S., Garreau A., Copinet F., Salin A., 2002. Edible antimicrobial film based on chitosan matrix. *Journal of Food Science*, 67, 1162–1169.

Elsabee M. and Abdou E.S. (2012). Chitosan Based Edible Films and Coatings: A Review. *Materials Science & Engineering*, 33, 1819-1841.

Fan W.; Sun J.; Chen Y.; Qiu J.; Zhang Y.; Chi Y., 2009. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. *Food Chemistry*, 115(1): 66-70.

Gómez-Guillén M.C., Ihl M., Bifani V., 2007. Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (*Ugni molinae* Turcz). *Food Hydrocolloids*, 21, 1133-1143.

Han J.H.; Gennadios A., 2005. Edible films and coatings: a review. En: Innovations in Food Packaging. *Elsevier Science & Technology Books*.

Hesseini S.F., Razaeei M., Zandi M. and Farahmandghavi F. (2015). Bio-based Composite Edible Films Containing *Origanum Vulgare* L. Essential Oil. *Industrial Crops and Products*, 67, 403-413.

Irissin-Mangata J., Bauduin G., Boutevin B., 2001. New plasticizers for wheat gluten films. *European Polymer Journal*, 37, 1533-1541.

Park S.Y.; Marsh H.S.; J.W. Rhim, 2002. Characteristics of different molecular weight chitosan films affected by the type of organic solvents. *Journal of Food Science*, 67(1): 194-197.

Pereda M., Amica G., Marcovich N., 2012. Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1318-1325.

Pinotti A.; García M.A.; Martino M.N.; Zaritzky N.E., 2007. Study on microstructure and physical properties of composite films based on chitosan and methylcellulose. *Food Hydrocolloids*, 21: 66–72.

Ramírez C., Gallegos I., 2012. Study of contact angle, wettability and water vapor permeability in carboxymethylcellulose (CMC) based film whit murta leaves (*Ugni molinae* Taurcz) extrac. *Journal of Food Engineering*, 109, 424-429.

Shen Z., Pascal D., 2015. Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 75, 289-296.

Taqi A., Abass K., Nagy K., 2011. Effect of different concentrations of olive oil and oleic acid on the mechanical properties of albumen (egg white) edible films. *African Journal of Biotechnology*, 10, 12963-12972.

Torrieri E., Cavella S. and Masi P. (2015). Effect of Rosemary Oil and Emulsion of Essential Oils on Structure and Physical Properties of Chitosan Film. *The Italian Association of Chemical Engineering*, 43, 25-30.

Vanin F.M.; Sobral P.J.A.; Menegalli F.C.; Carvalho R.A., 2005. Effects of plasticizers and their concentrations on thermal and functional properties of gelatin-based films. *Food Hydrocolloids*, 19: 899–907.

Vargas M.; Albor A.; Chiralt A.; González-Martínez C., 2008. Characterization of chitosan–oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids*, 23(2): 536-547.

Wu, Y.; Weller, C.L.; Hamouz, F.; Cupett, S.L.; Schnepf, M. 2002. Development and application of multicomponent edible coatings and films. A review. *Advances in Food and Nutrition Research*, 44: 347-394.

Zivanovic S.; Chi S.; Draughon A.E., 2005. Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Journal of Food Science*, 70(1): 45-51.

# **ANEXOS**

## 7 ANEXOS

### 7.1. Quitosano

**Quitosano (Quitoquímica Ltda)**  
**Poliglucosamina, Biodegradable y Biocompatible**

#### COMPOSICIÓN

Cada 100 g de quitosano sólido contienen:

Quitosana (o).....	98% p/p
Excipientes.....	2% p/p

#### FICHA TÉCNICA

Ceniza.....	0,2 – 0,9%
Peso Molecular (Mv).....	100.000 – 300.000 g/mol
Grado de Desacetilación.....	90 - 98%
Viscosidad.....	30 - 300 cps
Nitrógeno.....	8,0 – 8,6%

#### CONTENIDO

1 kg

#### INDICACIONES

Se obtiene de caparazones de langostino colorado (Pleuroncodes monodon). Posee excelentes propiedades antifúngicas, antivirósico, biocompatible, biodegradable, antimicrobiano, no tóxico, emulsionante, absorbente de grasas, adsorbente de metales contaminantes, filmogénico, etc, que hacen que sea considerado de gran aplicación en distintos campos de la industria. Producto no tóxico para aves, animales ni humanos.

No inflamable.

*Grupo químico:* Producto natural

#### PRECAUCIONES GENERALES

Es un producto de baja toxicidad, no irritante, no inflamable y estable.

*Almacenaje:* Mantener en lugar fresco y no expuesto a rayos solares.

*Fecha de vencimiento:* Indefinido

*Consultas técnicas:* [www.quitoquimica.cl](http://www.quitoquimica.cl)

## 7.2. Tween 80

**Tween 80**  
**Polisorbato P80**  
**CHEMIX**

### CONTENIDO

1 L = 1,08 Kg

Contenido activo.....	97% min
Humedad % [KF].....	2,72
N° de ácido.....	0,5
1,4 dioxano [ppm].....	< 1,0
Metales pesado [ppm].....	<10
pH al 5%.....	6,3
Cenizas.....	<0,25%
Arsénico [ppm].....	<1
Óxido de etileno libre [ppm].....	<1.0
Índice de hidróxilo.....	74,57
Índice de saponificación.....	47,86
Características de uso.....	Polisorbato
Apariencia.....	Líquido amarillo

## 7.3. Aceite vegetal

**Aceite vegetal Belmont**  
*100% vegetal con canola*  
*Naturalmente libre de colesterol*

### INGREDIENTES

Mezcla de aceites vegetales (aceite de soya 71%, aceite de maravilla 20%, aceite de semilla de palma 1%), aceite de canola (8%), ácido cítrico y dimetilpolisiloxano.

### INFORMACIÓN NUTRICIONAL

Por cada 100 ml

Energía.....	828 [kcal]
Proteínas.....	0 [g]
Grasa total.....	92 [g]
*Grasa saturada.....	14 [g]
*Grasa monoinsaturada.....	28 [g]
*Grasa poliinsaturada.....	50 [g]
**Ac. Grasos Trans.....	0,5 [g]
Colesterol.....	0 [mg]
H de C disponibles.....	0 [g]
*Azúcares totales.....	0 [g]
Sodio.....	0 [mg]

## 7.4. Ácido láctico

**Ácido (S)-láctico aprox 90%, apto para uso como excipiente  
EMPROVE® exp Ph Eur, BP, E270  
Merck Chemicals**

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Forma	Aceitoso
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Umbral olfativo	No hay información disponible
pH	Aprox 2,8 a 10 [g/L] y a 20°C
Punto de fusión	18 °C
Punto de ebullición	122°C a 20 [hPa]
Punto de inflamación	No se inflama
Tasa de evaporación	No hay información disponible
Inflamabilidad (sólido, gas)	No hay información disponible
Límite de explosión, inferior	No aplicable
Límite de explosión, superior	No aplicable
Presión de vapor	0,1 [hPa] a 25°C
Densidad relativa del vapor	No hay información disponible
Densidad relativa	1,21 [g/cm <sup>3</sup> ] a 20°C
Solubilidad en agua	a 20°C soluble
Temperatura de auto-inflamación	No hay información disponible
Temperatura de descomposición	No hay información disponible
Viscosidad, dinámica	20 – 40 [mPa.s] a 20°C
Propiedades explosivas	No clasificado como explosivo
Propiedades comburentes	Ninguna
Temperatura de ignición	No combustible

## 7.5. Sílica gel

**Sílica Gel 4-8**  
**Indicador Azul**  
**G.A. Ventas**

### **COLOR DE ALMACENAJE**

Verde

### **CONTENIDO**

1 Kilo

### **TÉCNICO**

Tamaño esfera	4 – 8 mm
Fecha de envasado	10/4/2014
CAS	1343-98-2
Salud	0
Inflamable	0
Reactivo	0
Contacto	0

### **PRECAUCIONES**

Después de usar, tener precaución de dejar bien cerrado el envase. Almacenar en un lugar seco y fresco.

## 7.6. Software TexturePro CT.

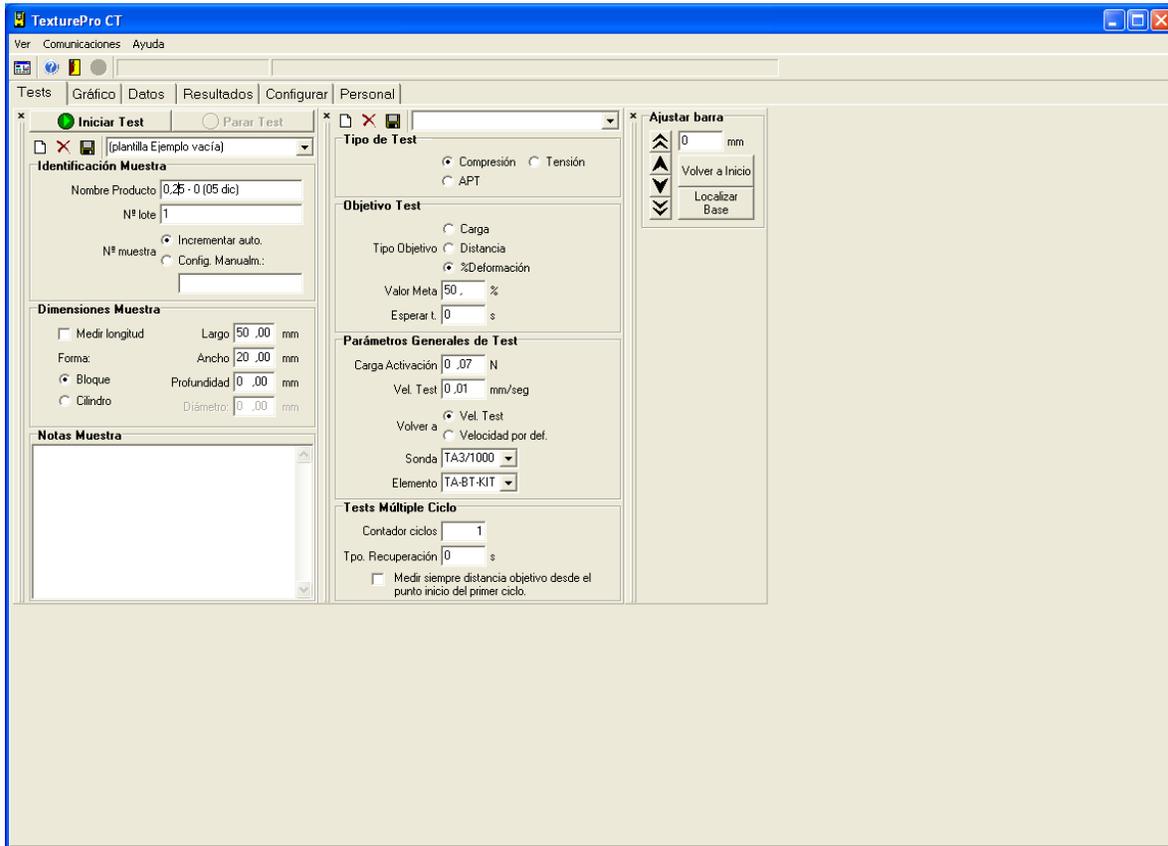


Figura 29. Captura de pantalla de la configuración para las pruebas de punción.

Fuente: TexturePro CT.

## 7.7. Cámara fotográfica Navitar

Número de serie	12132121
Modelo	Flea3FL3-GE-20S4C
Vendedor	Point Grey Research
Sensor	Sony ICX274AQ (1/1.8)'' 1600x1200 CCD
Resolución	1624x1224
Interface	GigE

Usada en conjunto con una lámpara de carga simple, Fiber-Lite, modelo 3100, fiber optic iluminator, de Dolan-Jenner Industries.

## 7.8. Resultados de las pruebas de permeabilidad al vapor de agua.

Tabla 11. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0	0	6,05
		5,99
	<b>Promedio</b>	<b>6,02</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,05</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,78</b>

Tabla 12. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0	0,5	5,82
		5,81
	<b>Promedio</b>	<b>5,81</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,01</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,15</b>

Tabla 13. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0	1	5,78
		5,76
	<b>Promedio</b>	<b>5,77</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,01</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,20</b>

Tabla 14. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,25 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0,25	0	5,47
		5,50
	<b>Promedio</b>	<b>5,48</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,02</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,41</b>

Tabla 15. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,25 ml y 0,5 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0,25	0,5	5,55
		5,58
	<b>Promedio</b>	<b>5,57</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,02</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,37</b>

Tabla 16. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,25 ml y 1 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0,25	1	5,88
		5,96
	<b>Promedio</b>	<b>5,92</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,06</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,97</b>

Tabla 17. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,5 ml y 0 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0,5	0	5,19
		5,17
	<b>Promedio</b>	<b>5,18</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,01</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,27</b>

Tabla 18. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,5 ml y 0,5 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	WVP * 10 <sup>11</sup> [g * m / s * m <sup>2</sup> * Pa]
0,5	0,5	5,65
		5,61
	<b>Promedio</b>	<b>5,63</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,02</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,39</b>

**Tabla 19. Resumen de resultados de permeabilidad al vapor de agua para 0,5 ml y 1 ml.  
Fuente: Elaboración propia.**

<b>Aceite vegetal</b>	<b>Aceite esencial de anís</b>	<b>WVP * 10<sup>11</sup> [g * m / s * m<sup>2</sup> * Pa]</b>
0,5	1	5,29
		5,30
	<b>Promedio</b>	<b>5,29</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,01</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,11</b>

## 7.9. Resultados para las pruebas de resistencia a la tracción.

Tabla 20. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elástico [MPa]
0	0	3,19	5,12	2,61	10,24	35,17
		3,38	5,07	2,77	10,14	28,49
	<b>Promedio</b>	<b>3,29</b>	<b>5,10</b>	<b>2,69</b>	<b>10,19</b>	<b>31,83</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,13</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>4,72</b>
	<b>CV%</b>	<b>4,09</b>	<b>0,69</b>	<b>4,09</b>	<b>0,69</b>	<b>14,84</b>

Tabla 21. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elástico [MPa]
0	0,5	2,84	5,27	2,33	10,54	21,87
		2,99	5,30	2,45	10,60	23,69
	<b>Promedio</b>	<b>2,92</b>	<b>5,29</b>	<b>2,39</b>	<b>10,57</b>	<b>22,78</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>3,64</b>	<b>0,40</b>	<b>3,64</b>	<b>0,40</b>	<b>5,65</b>
	<b>CV%</b>					

Tabla 22. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elástico [MPa]
0	1	2,60	8,09	2,13	16,18	14,42
		2,75	7,70	2,25	15,40	17,54
	<b>Promedio</b>	<b>2,68</b>	<b>7,90</b>	<b>2,20</b>	<b>15,79</b>	<b>15,98</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,11</b>	<b>0,28</b>	<b>0,09</b>	<b>0,55</b>	<b>2,21</b>
	<b>CV%</b>	<b>3,97</b>	<b>3,49</b>	<b>3,97</b>	<b>3,49</b>	<b>13,81</b>

Tabla 23. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,25 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elástico [MPa]
0,25	0	1,81	1,25	1,48	2,50	17,31
		1,91	1,42	1,57	2,84	19,8
	<b>Promedio</b>	<b>1,86</b>	<b>1,34</b>	<b>1,52</b>	<b>2,67</b>	<b>18,56</b>

<b>Desviación estándar</b>	<b>0,07</b>	<b>0,12</b>	<b>0,06</b>	<b>0,24</b>	<b>1,76</b>
<b>CV%</b>	<b>3,80</b>	<b>9,00</b>	<b>3,80</b>	<b>9,00</b>	<b>9,49</b>

Tabla 24. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,25 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elastico [MPa]
0,25	0,5	1,13	4,03	0,93	8,06	15,81
		1,32	3,79	1,08	7,58	19,31
	<b>Promedio</b>	<b>1,23</b>	<b>3,91</b>	<b>1,00</b>	<b>7,82</b>	<b>17,56</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>0,11</b>	<b>0,34</b>	<b>2,48</b>
	<b>CV%</b>	<b>10,97</b>	<b>4,34</b>	<b>10,97</b>	<b>4,34</b>	<b>14,09</b>

Tabla 25. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,25 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elastico [MPa]
0,25	1	0,83	2,61	0,68	5,22	14,65
		0,98	2,64	0,80	5,28	17,90
	<b>Promedio</b>	<b>0,91</b>	<b>2,63</b>	<b>0,74</b>	<b>5,25</b>	<b>16,28</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,11</b>	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>2,30</b>
	<b>CV%</b>	<b>11,72</b>	<b>0,81</b>	<b>11,72</b>	<b>0,81</b>	<b>14,12</b>

Tabla 26. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,5 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elastico [MPa]
0,5	0	1,52	5,77	1,25	11,54	16,71
		1,52	5,48	1,25	10,96	14,43
	<b>Promedio</b>	<b>1,52</b>	<b>5,63</b>	<b>1,25</b>	<b>11,25</b>	<b>15,57</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0</b>	<b>0,21</b>	<b>0</b>	<b>0,41</b>	<b>1,61</b>
	<b>CV%</b>	<b>0</b>	<b>3,65</b>	<b>0</b>	<b>3,65</b>	<b>10,35</b>

Tabla 27. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,5 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elástico [MPa]
0,5	0,5	1,27	4,89	1,04	9,78	14,27
		1,13	4,74	0,93	9,48	12,31
	<b>Promedio</b>	<b>1,20</b>	<b>4,82</b>	<b>0,98</b>	<b>9,63</b>	<b>13,29</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,08</b>	<b>0,21</b>	<b>1,39</b>
	<b>CV%</b>	<b>8,25</b>	<b>2,20</b>	<b>8,25</b>	<b>2,20</b>	<b>10,43</b>

Tabla 28. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de tracción para 0,5 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]	Esfuerzo [MPa]	% deformación [%]	Módulo elástico [MPa]
0,5	1	1,18	5,17	0,97	10,34	12,12
		1,18	5,16	0,97	10,32	14,04
	<b>Promedio</b>	<b>1,18</b>	<b>5,17</b>	<b>0,97</b>	<b>10,33</b>	<b>13,09</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0</b>	<b>0,007</b>	<b>0</b>	<b>0,0001</b>	<b>1,36</b>
	<b>CV%</b>	<b>0</b>	<b>0,14</b>	<b>0</b>	<b>0,14</b>	<b>10,38</b>

## 7.10. Resultados para las pruebas de resistencia a la punción.

Tabla 29. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0	0	15,05	13,17
		16,08	13,62
	<b>Promedio</b>	<b>15,57</b>	<b>13,40</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,73</b>	<b>0,32</b>
	<b>CV%</b>	<b>4,68</b>	<b>2,38</b>

Tabla 30. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0	0,5	13,09	12,99
		12,45	11,79
	<b>Promedio</b>	<b>12,77</b>	<b>12,39</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,45</b>	<b>0,85</b>
	<b>CV%</b>	<b>3,54</b>	<b>6,85</b>

Tabla 31. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0	1	10,30	13,05
		11,38	13,27
	<b>Promedio</b>	<b>10,84</b>	<b>13,16</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,76</b>	<b>0,16</b>
	<b>CV%</b>	<b>7,04</b>	<b>1,18</b>

Tabla 32. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,25 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0,25	0	9,51	12,07
		9,51	14,06
	<b>Promedio</b>	<b>9,51</b>	<b>13,07</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0</b>	<b>1,41</b>
	<b>CV%</b>	<b>0</b>	<b>10,77</b>

Tabla 33. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,25 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0,25	0,5	9,27	10,35
		9,32	11,16
	<b>Promedio</b>	<b>9,30</b>	<b>10,76</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,04</b>	<b>0,57</b>
	<b>CV%</b>	<b>0,38</b>	<b>5,33</b>

Tabla 34. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,25 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0,25	1	8,73	10,79
		8,92	9,89
	<b>Promedio</b>	<b>8,83</b>	<b>10,34</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,13</b>	<b>0,64</b>
	<b>CV%</b>	<b>1,52</b>	<b>6,15</b>

Tabla 35. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,5 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0,5	0	5,59	10,96
		5,69	10,58
	<b>Promedio</b>	<b>5,64</b>	<b>10,77</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,07</b>	<b>0,27</b>
	<b>CV%</b>	<b>1,25</b>	<b>2,49</b>

Tabla 36. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,5 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0,5	0,5	4,36	9,81
		4,27	9,74
	<b>Promedio</b>	<b>4,32</b>	<b>9,78</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>
	<b>CV%</b>	<b>1,47</b>	<b>0,51</b>

Tabla 37. Resumen de resultados de resistencia a la fuerza de punción para 0,5 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Carga máxima [N]	Distancia [mm]
0,5	1	3,38	9,33
		3,63	9,79
	<b>Promedio</b>	<b>3,51</b>	<b>9,56</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,18</b>	<b>0,33</b>
	<b>CV%</b>	<b>5,04</b>	<b>3,40</b>

## 7.11. Valores de absorbancia.

Tabla 38. Resumen de valores de absorbancia para 0 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			Promedio
	0 – 0			
400	0,124	0,128	0,130	0,127
450	0,092	0,111	0,126	0,110
500	0,073	0,096	0,104	0,091
550	0,064	0,075	0,065	0,068
600	0,058	0,060	0,061	0,060
650	0,055	0,051	0,057	0,054
700	0,045	0,047	0,046	0,046
750	0,033	0,044	0,048	0,042
800	0,034	0,042	0,034	0,037

Tabla 39. Resumen de valores de absorbancia para 0 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			Promedio
	0 – 0,5			
400	0,215	0,229	0,215	0,220
450	0,177	0,173	0,176	0,175
500	0,155	0,161	0,159	0,158
550	0,144	0,144	0,140	0,143
600	0,135	0,137	0,135	0,136
650	0,129	0,129	0,126	0,128
700	0,112	0,115	0,117	0,115
750	0,100	0,113	0,097	0,103
800	0,091	0,084	0,090	0,088

Tabla 40. Resumen de valores de absorbancia para 0 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			Promedio
	0 – 1			
400	0,430	0,495	0,522	0,482
450	0,370	0,471	0,488	0,443
500	0,339	0,450	0,426	0,405
550	0,319	0,320	0,281	0,307
600	0,307	0,307	0,248	0,287
650	0,281	0,293	0,229	0,268
700	0,269	0,272	0,218	0,253
750	0,254	0,263	0,212	0,243
800	0,249	0,213	0,204	0,222

Tabla 41. Resumen de valores de absorbancia para 0,25 ml y 0 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			
		0,25 – 0		Promedio
400	0,412	0,363	0,330	0,368
450	0,320	0,329	0,256	0,302
500	0,244	0,256	0,215	0,238
550	0,212	0,215	0,191	0,206
600	0,191	0,188	0,173	0,184
650	0,173	0,173	0,161	0,169
700	0,161	0,159	0,117	0,146
750	0,112	0,140	0,105	0,119
800	0,091	0,134	0,097	0,107

Tabla 42. Resumen de valores de absorbancia para 0,25 ml y 0,5 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			
		0,25 – 0,5		Promedio
400	0,650	0,704	0,693	0,682
450	0,544	0,494	0,605	0,548
500	0,480	0,439	0,416	0,445
550	0,438	0,410	0,379	0,409
600	0,402	0,381	0,320	0,368
650	0,375	0,349	0,297	0,340
700	0,290	0,333	0,278	0,300
750	0,270	0,316	0,252	0,279
800	0,251	0,292	0,241	0,261

Tabla 43. Resumen de valores de absorbancia para 0,25 ml y 1 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			
		0,25 – 1		Promedio
400	0,723	0,799	0,863	0,795
450	0,676	0,732	0,653	0,687
500	0,648	0,667	0,661	0,659
550	0,633	0,650	0,624	0,636
600	0,544	0,552	0,502	0,533
650	0,516	0,477	0,492	0,495
700	0,500	0,459	0,471	0,477
750	0,491	0,444	0,452	0,462
800	0,472	0,439	0,444	0,452

Tabla 44. Resumen de valores de absorbancia para 0,5 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			Promedio
	0,5 – 0			
400	0,661	0,523	0,588	0,591
450	0,529	0,507	0,523	0,520
500	0,426	0,434	0,488	0,449
550	0,281	0,288	0,290	0,286
600	0,248	0,256	0,269	0,258
650	0,229	0,237	0,254	0,240
700	0,218	0,226	0,249	0,231
750	0,212	0,220	0,226	0,219
800	0,204	0,213	0,213	0,210

Tabla 45. Resumen de valores de absorbancia para 0,5 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			Promedio
	0,5 – 0,5			
400	0,797	0,824	0,734	0,785
450	0,723	0,714	0,684	0,707
500	0,684	0,708	0,653	0,682
550	0,665	0,696	0,637	0,666
600	0,650	0,655	0,621	0,642
650	0,643	0,644	0,615	0,634
700	0,636	0,627	0,601	0,621
750	0,621	0,606	0,582	0,603
800	0,615	0,598	0,578	0,597

Tabla 46. Resumen de valores de absorbancia para 0,5 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Longitud de onda [nm]	Absorbancia [UA]			Promedio
	0,5 – 1			
400	0,879	0,914	0,917	0,903
450	0,824	0,839	0,838	0,834
500	0,788	0,771	0,785	0,781
550	0,763	0,752	0,727	0,747
600	0,743	0,728	0,727	0,733
650	0,727	0,699	0,661	0,696
700	0,637	0,681	0,551	0,623
750	0,544	0,515	0,533	0,531
800	0,495	0,487	0,515	0,499

## 7.12. Resumen resultados para las pruebas de ángulo de contacto.

Tabla 47. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0 ml de aceite vegetal 0 ml de aceite esencial de anís	38,046	38,505
	38,14	38,164
	38,116	38,238
	38,385	38,42
	38,407	38,158
<b>Promedio</b>	38,22	38,30
<b>Desviación estándar</b>	0,17	0,16
<b>%CV</b>	0,43	0,41

Tabla 48. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0 ml de aceite vegetal 0,5 ml de aceite esencial de anís	40,204	40,098
	40,539	40,546
	40,673	40,173
	40,711	40,104
	39,743	39,999
<b>Promedio</b>	40,37	40,18
<b>Desviación estándar</b>	0,41	0,21
<b>%CV</b>	1,00	0,53

Tabla 49. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0 ml de aceite vegetal 1 ml de aceite esencial de anís	42,835	42,984
	43,29	43,134
	43,396	43,243
	43,729	43,788
	43,541	43,974
<b>Promedio</b>	43,36	43,42
<b>Desviación estándar</b>	0,34	0,43
<b>%CV</b>	0,77	0,99

Tabla 50. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0,25 ml de aceite vegetal 0 ml de aceite esencial de anís	46,866	46,726
	46,984	46,935
	47,371	46,481
	47,397	47,616
	46,439	46,317
<b>Promedio</b>	47,01	47,02
<b>Desviación estándar</b>	0,40	0,54
<b>%CV</b>	0,84	1,14

Tabla 51. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0,5 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0,25 ml de aceite vegetal 0,5 ml de aceite esencial de anís	49,825	49,984
	49,531	49,704
	49,886	49,673
	50,43	50,147
	50,573	50,056
<b>Promedio</b>	50,05	49,91
<b>Desviación estándar</b>	0,44	0,21
<b>%CV</b>	0,87	0,43

Tabla 52. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,25 ml y 1 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0,25 ml de aceite vegetal 1 ml de aceite esencial de anís	53,94	53,882
	53,955	53,36
	54,203	54,178
	54,628	54,214
	54,82	54,583
<b>Promedio</b>	54,31	54,04
<b>Desviación estándar</b>	0,40	0,46
<b>%CV</b>	0,73	0,84

Tabla 53. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0,5 ml de aceite vegetal 0 ml de aceite esencial de anís	56,979	56,99
	57,304	57,482
	57,232	57,807
	57,733	58,173
	57,083	56,107
<b>Promedio</b>	57,27	57,31
<b>Desviación estándar</b>	0,29	0,80
<b>%CV</b>	0,51	1,40

Tabla 54. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0,5 ml de aceite vegetal 0,5 ml de aceite esencial de anís	60,074	60,097
	60,517	60,238
	60,529	60,266
	59,391	59,772
	60,743	60,408
<b>Promedio</b>	60,25	60,16
<b>Desviación estándar</b>	0,54	0,24
<b>%CV</b>	0,89	0,40

Tabla 55. Resumen de valores de ángulo de contacto para 0,5 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

	Ángulo izquierdo	Ángulo derecho
0,5 ml de aceite vegetal 1 ml de aceite esencial de anís	61,466	61,71
	61,887	61,993
	62,412	62,138
	62,455	62,485
	62,459	62,687
<b>Promedio</b>	62,14	62,20
<b>Desviación estándar</b>	0,45	0,39
<b>%CV</b>	0,72	0,63

**Tabla 56. Resumen de valores de ángulo de contacto.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Aceite vegetal	Aceite esencial de anís	Ángulo de contacto izquierdo [°]	Ángulo de contacto derecho [°]
0	0	38,22 ± 0,17	38,30 ± 0,16
	0,5	40,37 ± 0,41	40,18 ± 0,21
	1	43,36 ± 0,34	43,43 ± 0,43
0,25	0	47,01 ± 0,40	47,02 ± 0,54
	0,5	50,05 ± 0,44	49,91 ± 0,21
	1	54,31 ± 0,40	54,04 ± 0,46
0,5	0	57,27 ± 0,29	57,31 ± 0,80
	0,5	60,25 ± 0,54	60,16 ± 0,24
	1	62,14 ± 0,45	62,20 ± 0,39

### 7.13. Ángulo de contacto.

Tabla 57. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0 ml y 0 ml.

Fuente: Elaboración propia.

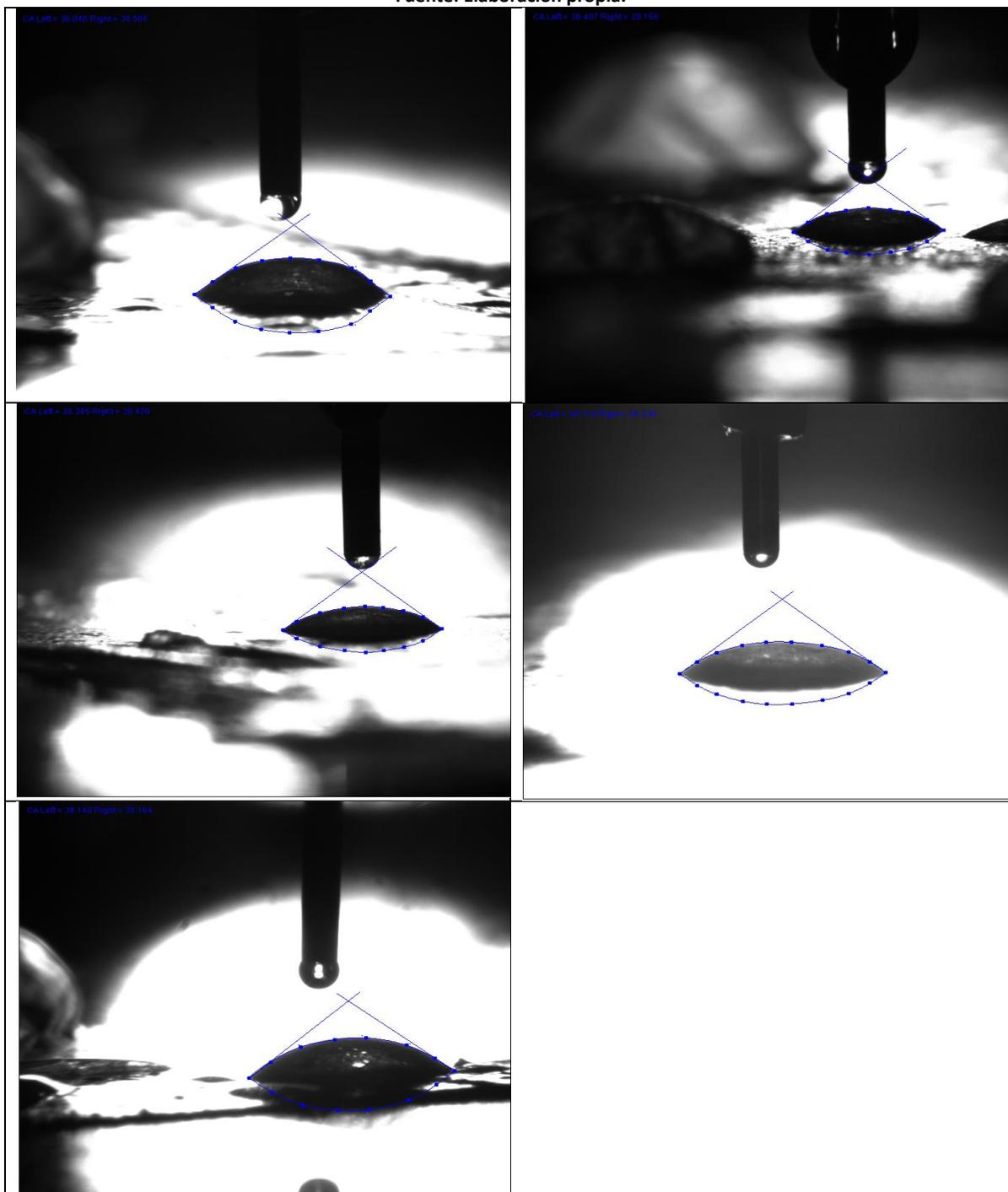


Tabla 58. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0 ml y 0,5 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

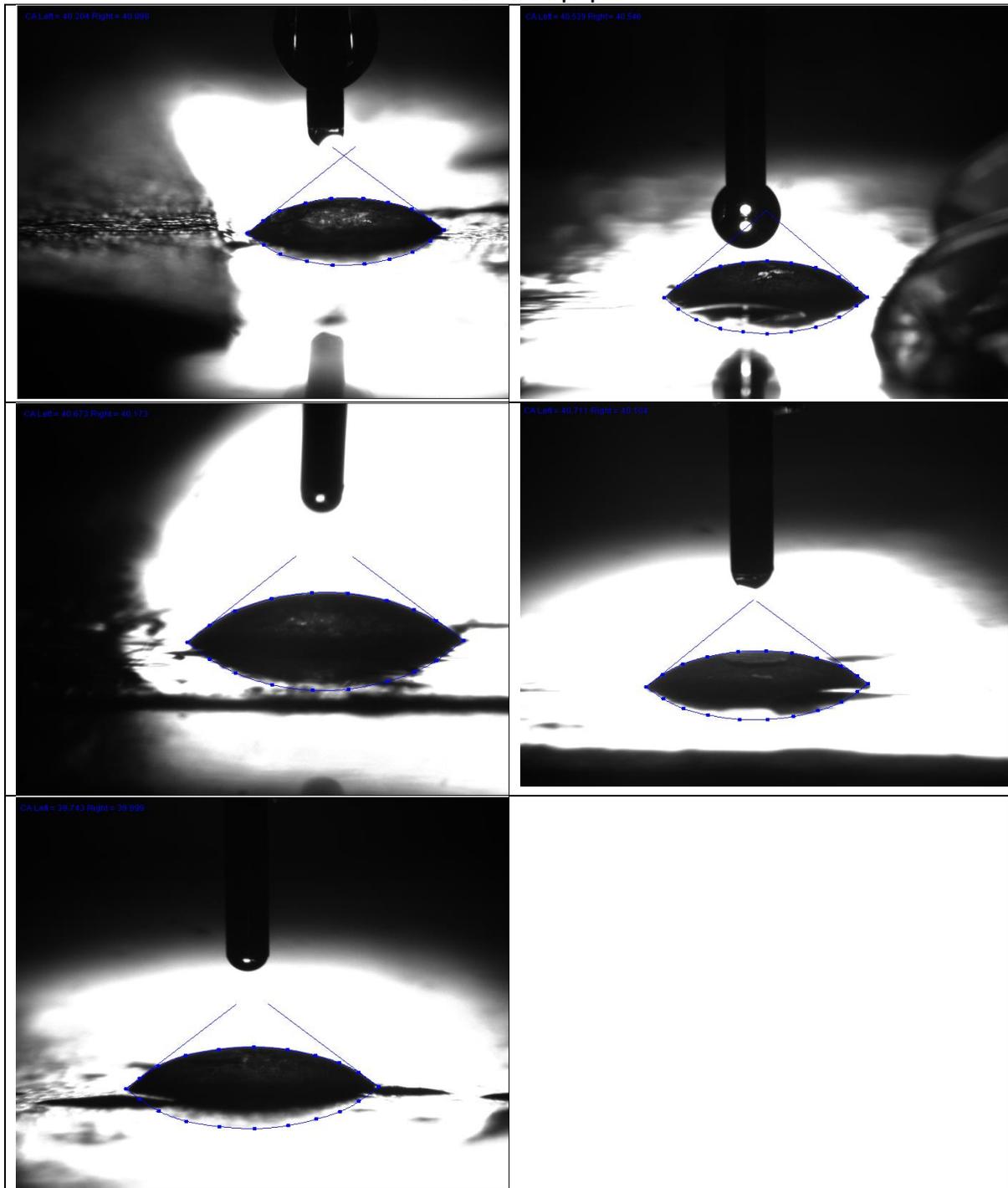


Tabla 59. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.

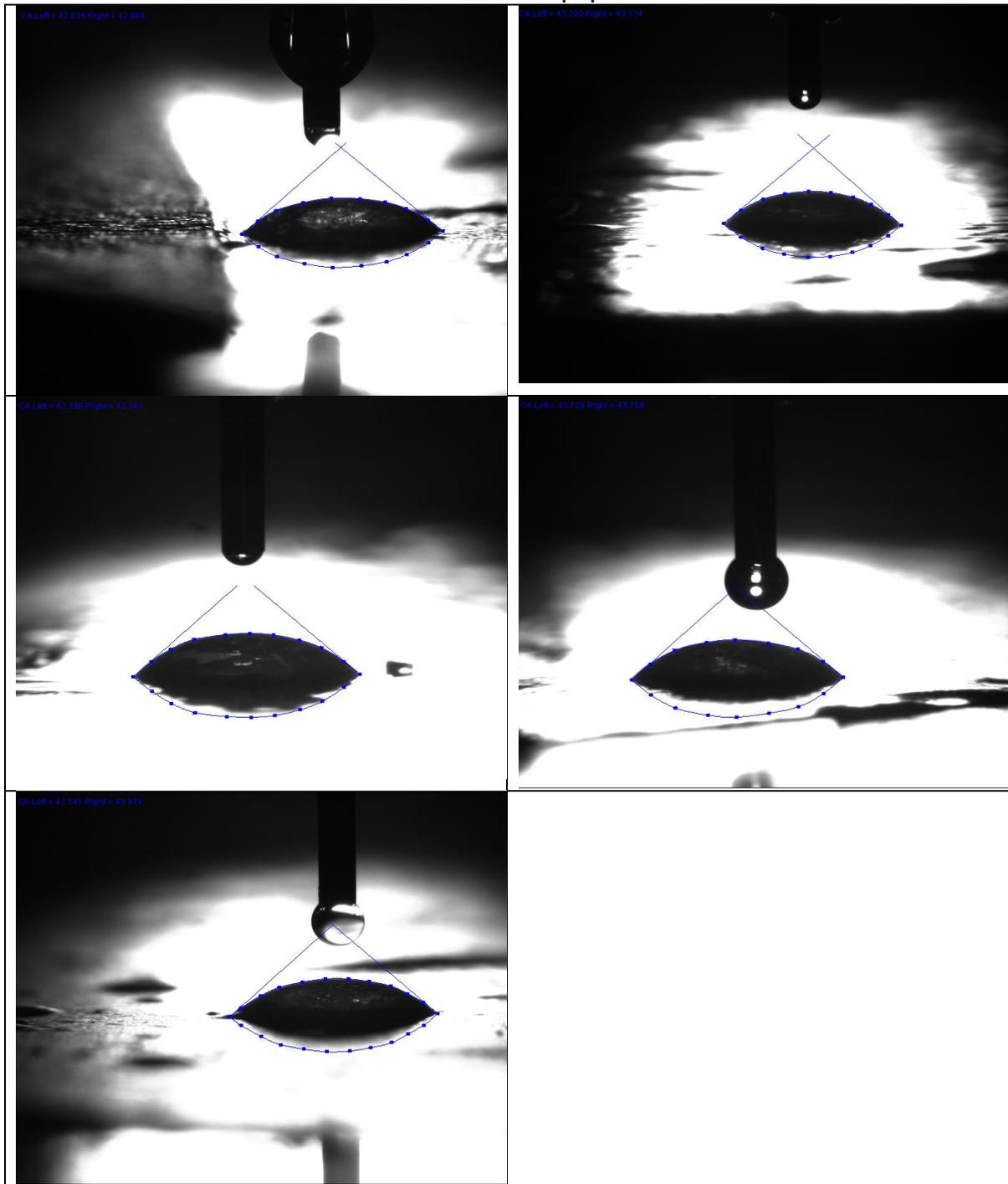


Tabla 60. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

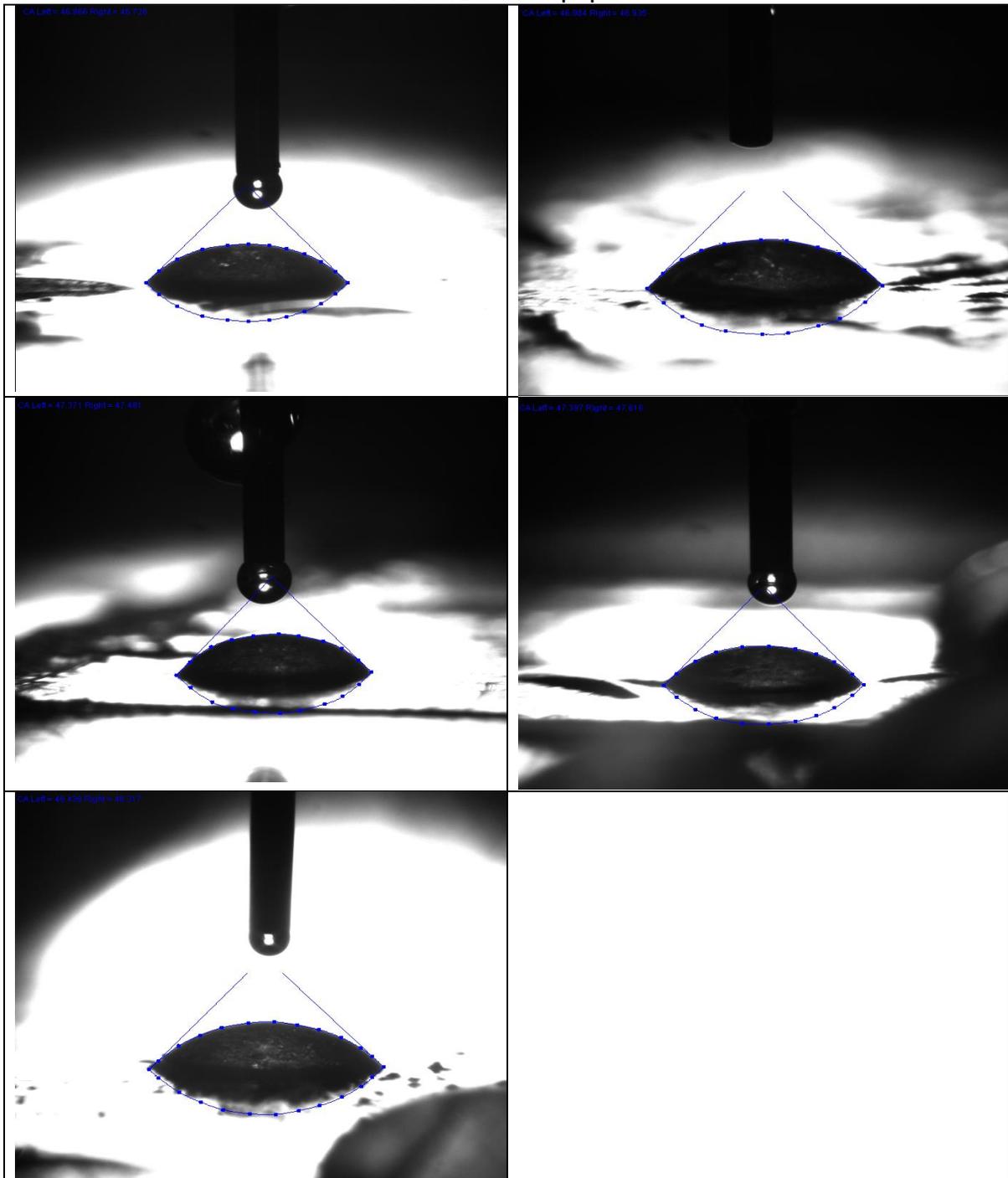


Tabla 61. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,25 ml y 0,5 ml.

Fuente: Elaboración propia.

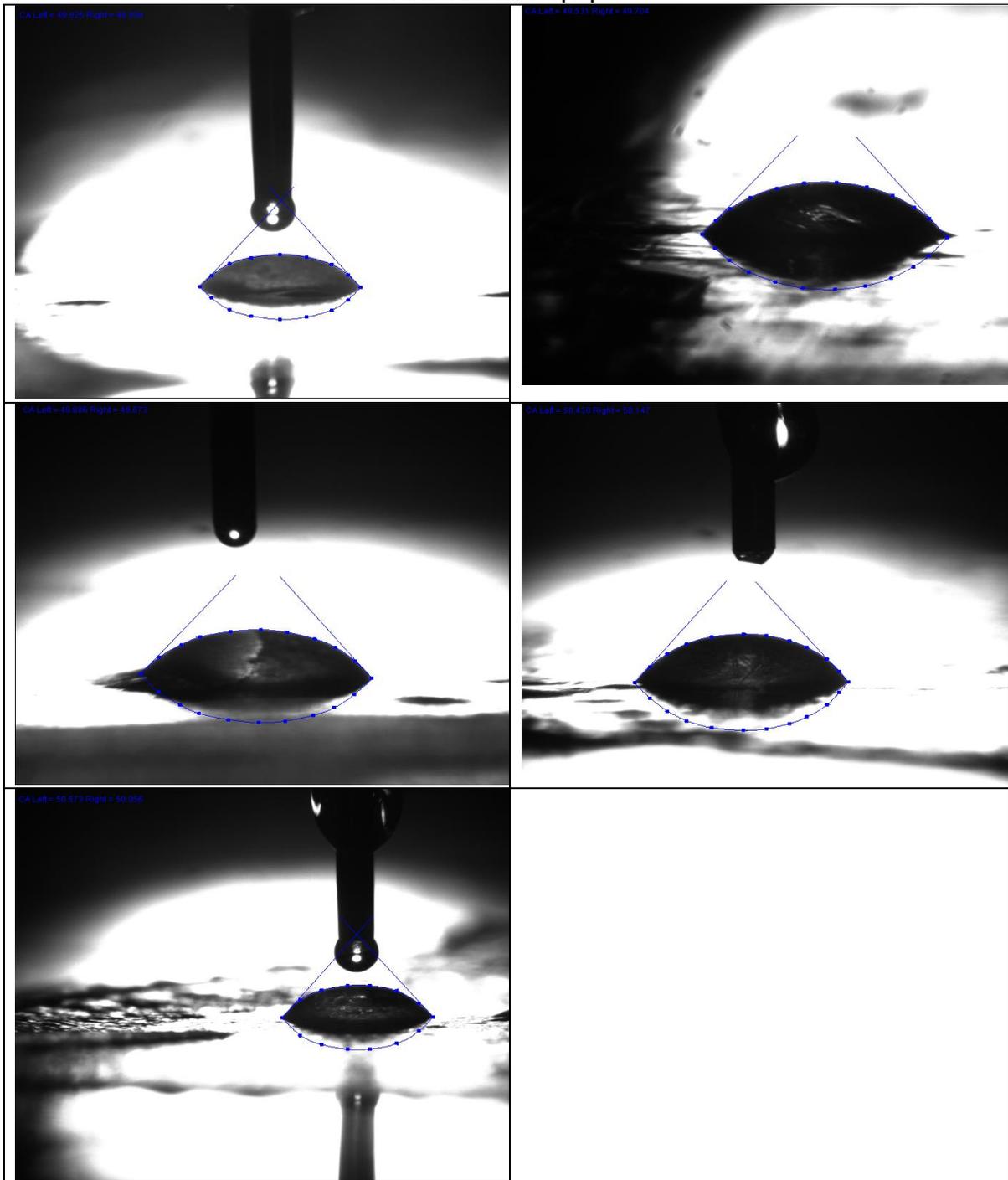


Tabla 62. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,25 ml y 1 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

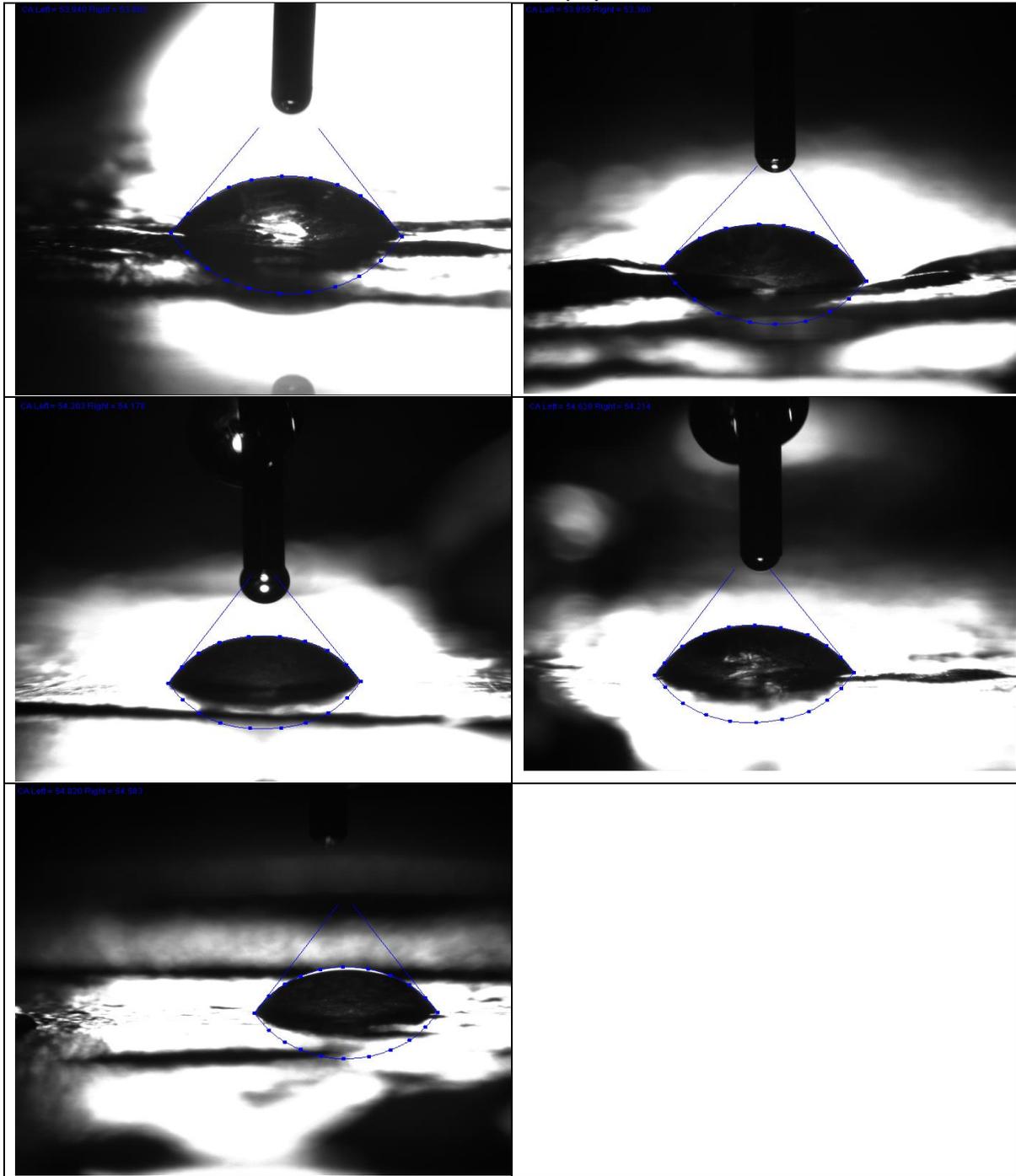


Tabla 63. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

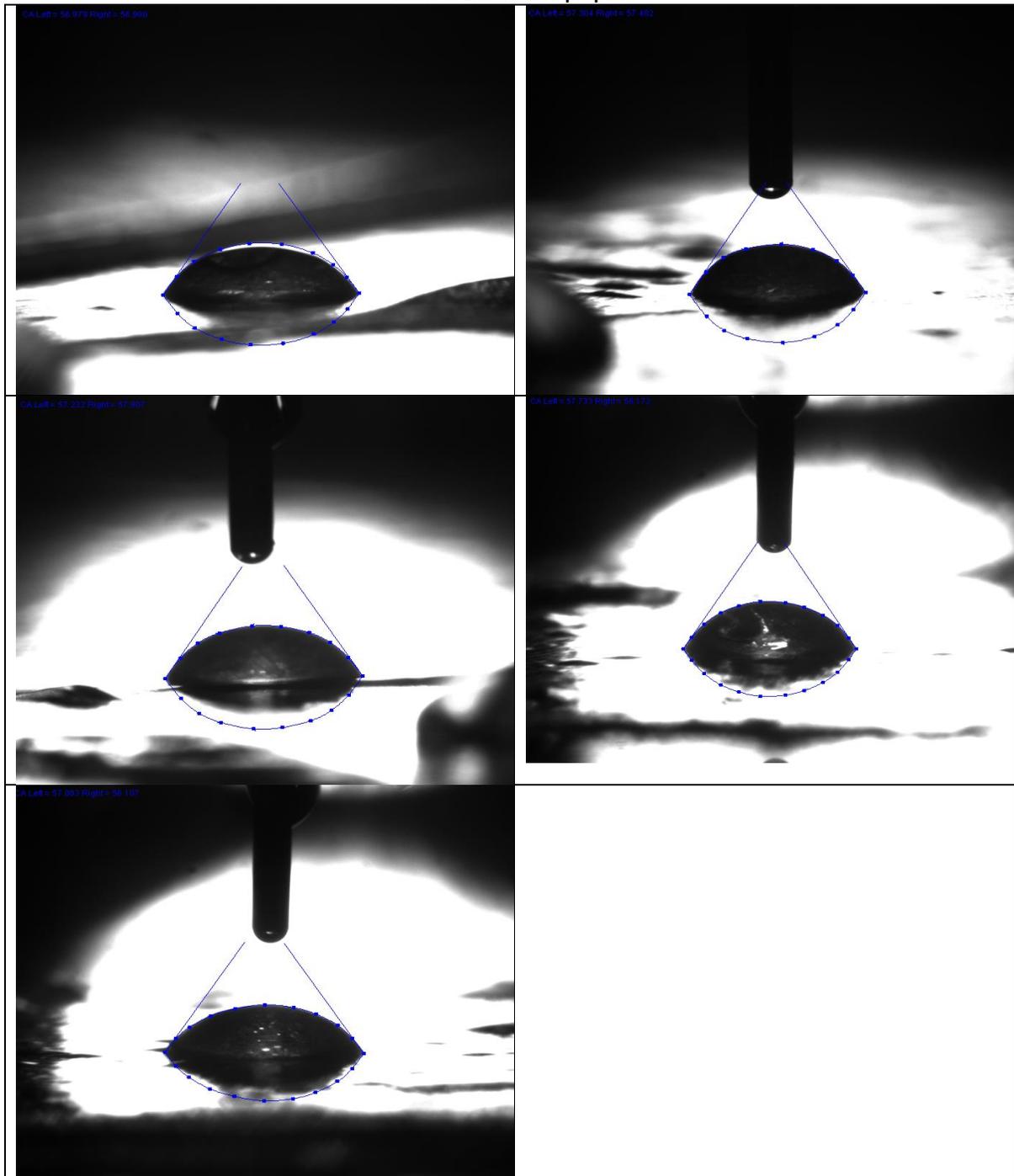


Tabla 64. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,5 ml y 0,5 ml.  
Fuente: Elaboración propia.

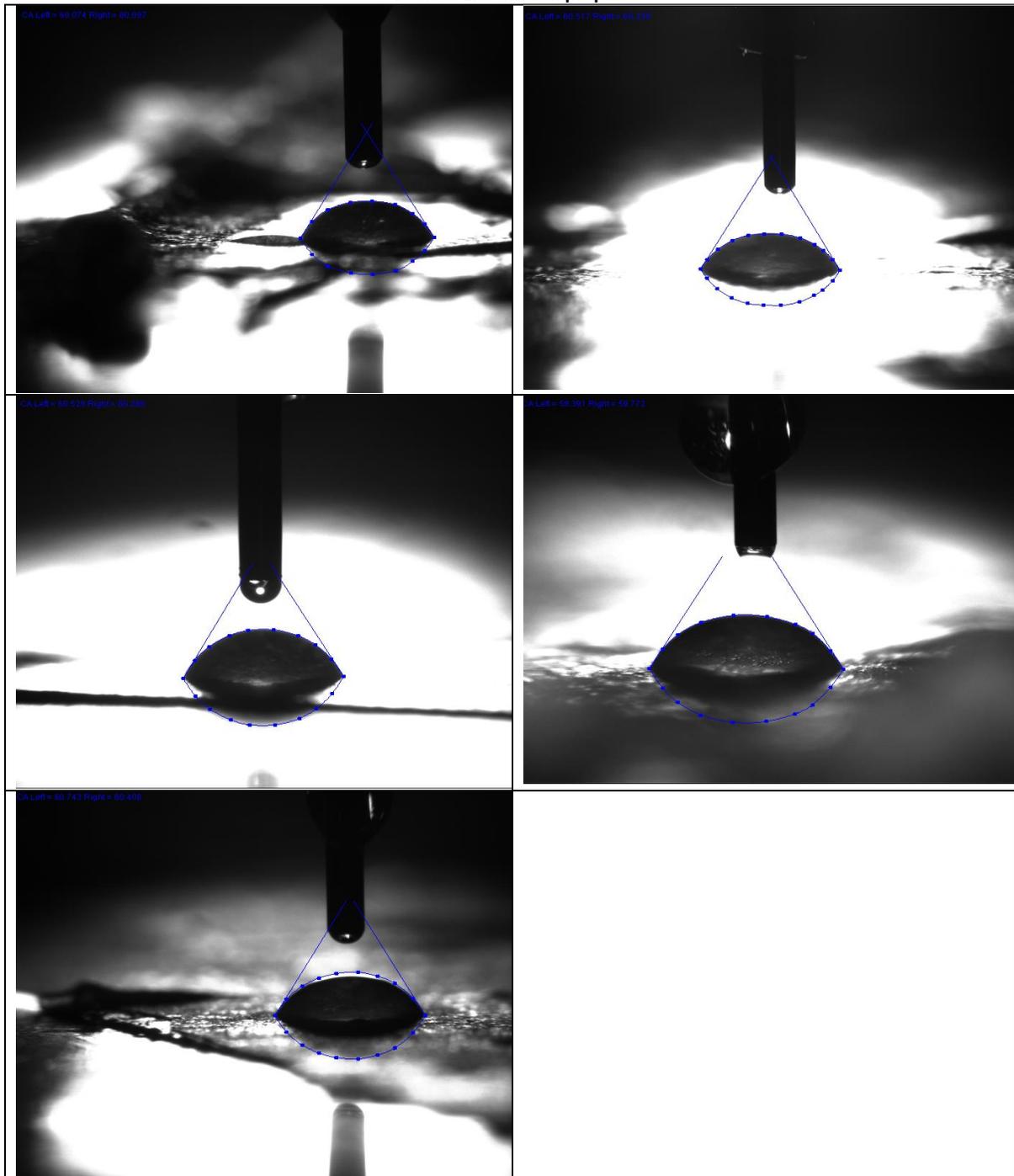
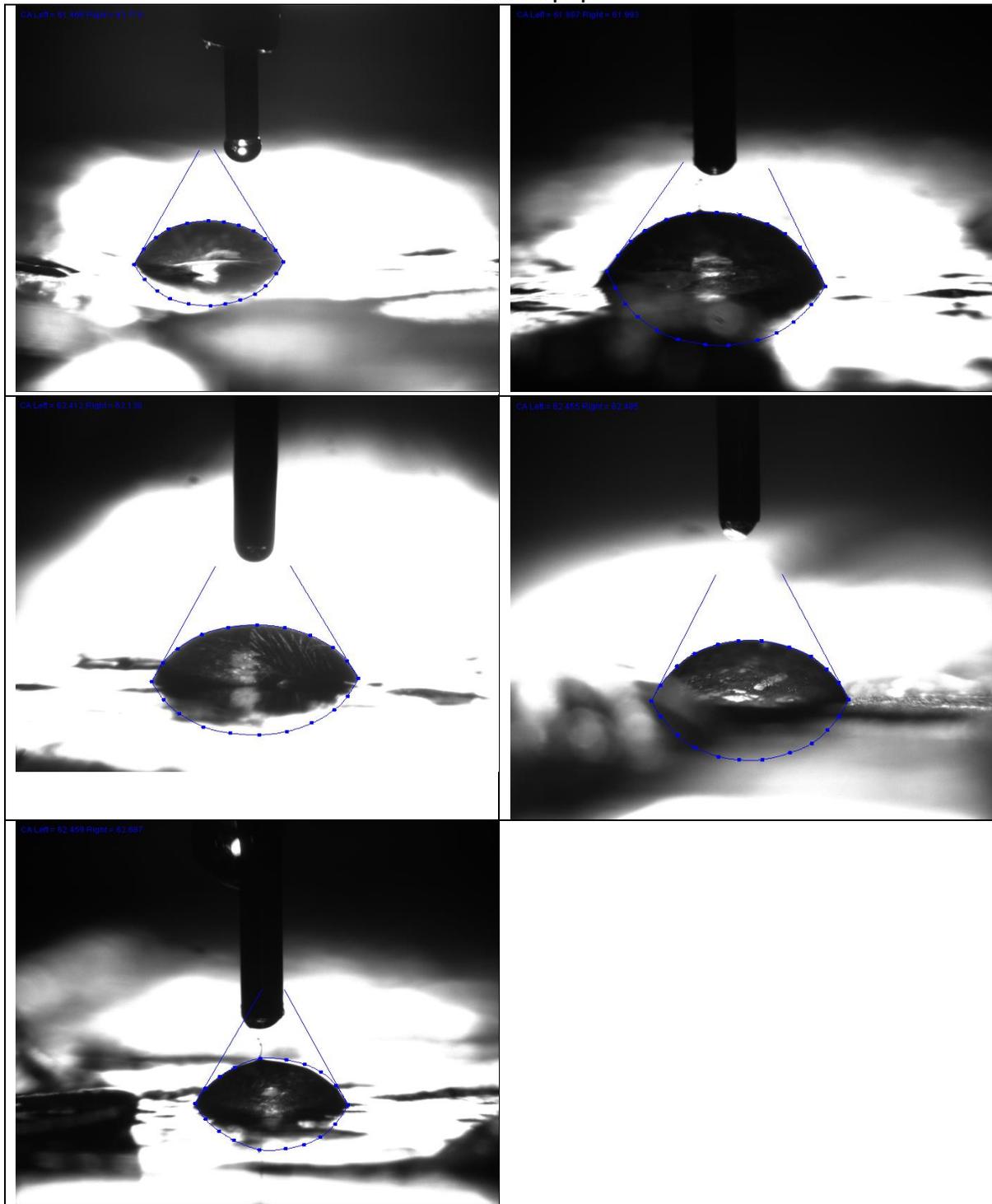


Tabla 65. Conjunto de capturas de determinación de ángulo de contacto para 0,5 ml y 1 ml.

Fuente: Elaboración propia.



## 7.14. Análisis estadístico.

Tabla 66. Resumen resultados de valor-p mediante análisis de varianza.

Fuente: Software Statgraphics XVII Centurion.

Propiedad	Análisis de varianza				
	Valor - p				
	Ac. vegetal	Ac. Es. anís	Ac veg-Ac veg	Ac veg-Anís	Anís-Anís
WVP	0,0009	0,38	0,7	0,2	0,55
Tracción - Esfuerzo	0,0001	0,0001	0,0001	0,2	0,1
Tracción - % deformación	0,089	0,028	0,0001	0,018	0,91
Tracción – Módulo de Young	0,0001	0,0011	0,36	0,0052	0,63
Punción – Carga	0,0068	0,044	0,66	0,0001	0,85
Punción – Distancia	0,0001	0,0098	0,76	0,39	0,081
Opacidad	0,0001	0,0001	0,013	0,39	0,17
Ángulo de contacto	0,0009	0,0001	0,694	0,77	0,47

Tabla 67. Resumen resultados de Test de Duncan 95%, mediante Prueba de Rangos Múltiples.

Fuente: Software Statgraphics XVII Centurion.<sup>10</sup>

Propiedad	Test de Duncan 95%					
	Aceite vegetal			Aceite esencial de anís		
	Contraste	Sig	Diferencia	Contraste	Sig	Diferencia
WVP	0 – 0,25		0,21	0 – 0,5		-0,11
	0 – 0,5	*	0,50	0 – 1		-0,10
	0,25 – 0,5	*	0,29	0,5 - 1		0,008
Tracción - Esfuerzo	0 – 0,25	*	1,22	0 – 0,5		0,32
	0 – 0,5	*	1,26	0 – 1		0,52
	0,25 – 0,5		0,022	0,5 - 1		0,16
Tracción - % def	0 – 0,25	*	6,94	0 – 0,5		-1,3
	0 – 0,5		1,78	0 – 1		-2,42
	0,25 – 0,5	*	-5,16	0,5 - 1		-1,12
Tracción – Mód Young	0 – 0,25	*	6,07	0 – 0,5		4,11
	0 – 0,5	*	9,55	0 – 1		6,87

<sup>10</sup> El asterisco que se encuentra al lado muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza, mediante el Método Duncan.

	0,25 – 0,5		3,48		0,5 - 1		2,77
<b>Punción - Carga</b>	0 – 0,25		1,40		0 – 0,5		1,45
	0 – 0,5		3,68		0 – 1		2,52
	0,25 – 0,5		2,28		0,5 - 1		1,07
<b>Punción - Distancia</b>	0 – 0,25	*	1,595		0 – 0,5		1,44
	0 – 0,5	*	2,946		0 – 1		1,39
	0,25 – 0,5	*	1,352		0,5 - 1		-0,047
<b>Opacidad</b>	0 – 0,25		-96,52		0 – 0,5	*	-107,69
	0 – 0,5	*	-118,31		0 – 1	*	-177,907
	0,25 – 0,5		-21,79		0,5 - 1		-70,2167
<b>Ángulo</b>	0 – 0,25	*	-9,75		0 – 0,5		-2,63
	0 – 0,5	*	-19,25		0 – 1		-5,73
	0,25 – 0,5	*	-9,5		0,5 - 1		-3,09