

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA ALTOANDINA  
DE TARMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**Título de Tesis**

**Aplicación de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de  
orégano (*Origanum vulgare*) con diferentes matrices poliméricas en  
biopelículas comestibles**

**Tesis**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

**Autor:**

Jhuliana Milagros Adama Astete

**Asesor:**

Dr. Rafael Julián Malpartida Yapias

**Línea de investigación:**

Desarrollo e innovación de productos agroindustriales

**TARMA - PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
ALTOANDINA DE TARMA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**Título de Tesis**

**Aplicación de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de  
orégano (*Origanum vulgare*) con diferentes matrices poliméricas en  
biopelículas comestibles**

**Tesis**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

**Autor:**

Jhuliana Milagros Adama Astete

**Asesor:**

Dr. Rafael Julián Malpartida Yapias

**Línea de investigación:**

Desarrollo e innovación de productos agroindustriales

**TARMA - PERÚ**

**2025**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CARÁTULA.....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLA .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>PÁGINA DEL JURADO EVALUADOR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>xxxii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>xxxiii</b>
<b>PRESENTACIÓN .....</b>	<b>xxxiv</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xxxv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxxvi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema .....	5
1.2. Hipótesis .....	9
1.2.1. Hipótesis General .....	9
1.2.2. Hipótesis específicas.....	9
1.3. Objetivos.....	10
1.3.1. Objetivo general .....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1. Antecedentes .....	11
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	11
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	15
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. Naranja .....	18
2.2.2. Cáscara de naranja .....	21
2.2.3. Orégano .....	26
2.2.4. Aceite esencial de orégano (AEO) .....	31
2.2.5. Matrices poliméricas para desarrollo de biopelículas.....	34
2.2.6. Biopelículas comestibles .....	47
2.2.8. Técnicas aplicadas en biopelículas comestibles.....	53
2.3. Definición de términos básicos .....	55

<b>III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>56</b>
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	56
3.1.1. Tipo de investigación.....	56
3.1.2. Nivel de investigación.....	56
3.1.3. Método de investigación.....	56
3.2. Diseño.....	57
3.3. Variables.....	62
3.3.1. Independientes.....	62
3.3.2. Dependientes.....	62
3.4. Operacionalización de variables.....	62
3.5. Población, muestra y muestreo.....	67
3.5.1. Población.....	67
3.5.2. Muestra.....	67
3.5.3. Muestreo.....	67
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	70
3.6.1. Equipos, materiales, instrumentos y reactivos.....	70
3.6.2. Técnicas.....	73
3.6.3. Trabajo de campo.....	75
3.6.4. Operaciones para obtención de harina de cáscara de naranja.....	76
3.6.5. Análisis granulométrico de micropartículas de cáscara de naranja.....	80
3.6.6. Proceso de extracción de aceite esencial de <i>Origanum vulgare</i> mediante el método arrastre de vapor.....	82
3.6.7. Proceso de elaboración de biopelículas comestibles.....	87
3.7. Métodos de análisis de datos.....	89
3.7.1. Determinación de análisis fisicoquímico.....	89
3.7.2. Determinación de análisis de propiedades mecánicas.....	94
3.7.3. Análisis microbiológico.....	96
3.7.4. Método casting.....	97
3.7.5. Tratamiento estadístico de datos o procesos de argumentación científica.....	97
<b>IV.RESULTADOS.....</b>	<b>100</b>
4.1. Caracterización de materia prima.....	100
4.1.2. Análisis de harina de cáscara de naranja.....	100
4.2. Análisis fisicoquímico de biopelículas comestibles.....	101
4.3. Propiedades mecánicas.....	113
4.3.1. Elongación al corte.....	113

4.3.2.	Resistencia .....	115
4.3.3.	Cohesión .....	117
4.4.	Análisis microbiológico .....	119
4.4.1.	Aerobios Mesófilo (UFC/g).....	119
4.4.2.	<i>Escherichia Coli</i> (NMP/g).....	119
4.5.	Análisis estadístico.....	120
4.5.1.	Propiedades fisicoquímicas .....	120
4.5.2.	Propiedades mecánicas .....	129
4.6.	Análisis económico.....	132
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>134</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>157</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>159</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXOS.</b>	<b>.....</b>	<b>194</b>

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla 1</b> <i>Análisis proximal de la naranja por cada 100 gramos.</i> .....	19
<b>Tabla 2</b> <i>Composición fisicoquímica de la naranja por cada 100 g de muestra fresca.</i> .....	20
<b>Tabla 3</b> <i>Análisis proximal de la cáscara de naranja por g/100 g de muestra.</i> .....	22
<b>Tabla 4</b> <i>Análisis proximal de la cáscara de naranja.</i> .....	24
<b>Tabla 5</b> <i>Composición química proximal de piel cítrico (naranja).</i> .....	25
<b>Tabla 6</b> <i>Análisis proximal de la planta orégano.</i> .....	29
<b>Tabla 7</b> <i>Variedades de orégano.</i> .....	29
<b>Tabla 8</b> <i>Composición química del aceite esencial de orégano en plena floración en 100 ml de mezcla.</i> .....	32
<b>Tabla 9</b> <i>Formulaciones de las concentraciones de biopelícula comestible en %.</i> .....	58
<b>Tabla 10</b> <i>Formulaciones de la masa total de la biopelícula comestible en cantidades.</i> ....	59
<b>Tabla 11</b> <i>Operacionalización de las variables.</i> .....	63
<b>Tabla 12</b> <i>Determinación de población y técnica de muestra.</i> .....	67
<b>Tabla 13</b> <i>Equipos utilizados para elaboración y caracterización de biopelículas comestibles.</i> .....	70
<b>Tabla 14</b> <i>Materia prima, insumos y reactivos utilizados en biopelículas comestibles.</i> .....	72
<b>Tabla 15</b> <i>Ficha de recopilación de datos experimentales para producción de biopelículas comestibles.</i> .....	74
<b>Tabla 16</b> <i>Análisis fisicoquímico de harina de cáscara de naranja (base seca).</i> .....	101
<b>Tabla 17</b> <i>Colorimetría obtenidos para <math>L^*</math>, <math>a^*</math> y <math>b^*</math>.</i> .....	103
<b>Tabla 18</b> <i>Medidas de biopelículas comestibles.</i> .....	113
<b>Tabla 19</b> <i>Propiedad mecánica para alargamiento de las biopelículas a base de cáscara de naranja y matrices poliméricas.</i> .....	115
<b>Tabla 20</b> <i>Característica de resistencia en biopelículas a partir de piel de naranja.</i> .....	117
<b>Tabla 21</b> <i>Propiedad de cohesión de biopelículas comestibles.</i> .....	118
<b>Tabla 22</b> <i>Recuento de aerobios mesófilos en biopelículas comestibles.</i> .....	119
<b>Tabla 23</b> <i>Medida de cepa microbiológica de inhibición en biopelículas comestibles.</i> ....	120
<b>Tabla 24</b> <i>Costo de producción y servicios en la elaboración de películas comestibles de cáscara de naranja, matrices poliméricas y aceite esencial de orégano.</i> .....	133
<b>Tabla 25</b> <i>Cálculos del primer tamizado de partículas (39,45 g).</i> .....	205
<b>Tabla 26</b> <i>Cálculos de la segunda repetición del tamizado de partículas (39,45 g).</i> .....	205
<b>Tabla 27</b> <i>Cálculos de la segunda repetición del tamizado de partículas (39,45 g).</i> .....	206

<b>Tabla 28</b> <i>Análisis colorimétrico de polímeros.</i> .....	214
<b>Tabla 29</b> <i>Análisis de refracción de matrices poliméricas.</i> .....	214
<b>Tabla 30</b> <i>Determinación de potencial de hidrógeno en matrices poliméricas.</i> .....	214
<b>Tabla 31</b> <i>Análisis de acidez titulable en las matrices poliméricas.</i> .....	215
<b>Tabla 32</b> <i>Caracterización de humedad inicial en matrices poliméricas utilizadas en biopelículas.</i> .....	215
<b>Tabla 33</b> <i>Análisis colorimétrico de mezclas para biopelículas comestibles.</i> .....	216
<b>Tabla 34</b> <i>Caracterización refractométrica de mezclas filmógenas.</i> .....	216
<b>Tabla 35</b> <i>Determinación de densidad aparente de formulaciones filmógenas.</i> .....	216
<b>Tabla 36</b> <i>Determinación de pH en formulaciones.</i> .....	217
<b>Tabla 37</b> <i>Análisis de acidez titulable en formulaciones filmógenas.</i> .....	217
<b>Tabla 38</b> <i>Características fisicoquímicas evaluadas en biopelículas comestibles.</i> .....	223
<b>Tabla 39</b> <i>Análisis de varianza para diferencia de color total en biopelículas comestibles.</i> .....	237
<b>Tabla 40</b> <i>Comparación de Tukey para color total.</i> .....	237
<b>Tabla 41</b> <i>Análisis de varianza para °brix en biopelículas comestibles.</i> .....	237
<b>Tabla 42</b> <i>Comparación de Tukey para sólidos solubles.</i> .....	238
<b>Tabla 43</b> <i>Análisis de varianza (ANOVA) para potencial de hidrógeno en biopelículas comestibles.</i> .....	238
<b>Tabla 44</b> <i>Comparación de Tukey para pH.</i> .....	238
<b>Tabla 45</b> <i>Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre el efecto de acidez titulable.</i> .....	238
<b>Tabla 46</b> <i>Análisis de varianza para acidez titulable en biopelículas comestibles.</i> .....	239
<b>Tabla 47</b> <i>Comparación de Tukey para acidez titulable.</i> .....	239
<b>Tabla 48</b> <i>Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre el efecto de humedad. ...</i>	239
<b>Tabla 49</b> <i>Análisis de varianza para humedad en biopelículas comestibles.</i> .....	239
<b>Tabla 50</b> <i>Comparación de Tukey para humedad en biopelículas.</i> .....	240
<b>Tabla 51</b> <i>Análisis de varianza pérdida de peso en biopelículas comestibles.</i> .....	240
<b>Tabla 52</b> <i>Comparación de Tukey para pérdida de peso en biopelículas.</i> .....	240
<b>Tabla 53</b> <i>Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre la determinación densidad.</i> .....	240
<b>Tabla 54</b> <i>Análisis de varianza para densidad en biopelículas comestibles.</i> .....	241
<b>Tabla 55</b> <i>Comparación de Tukey para densidad en biopelículas.</i> .....	241

<b>Tabla 56</b> <i>Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre la determinación espesor.</i>	241
<b>Tabla 57</b> <i>Análisis de varianza para espesor en biopelículas comestibles.</i>	241
<b>Tabla 58</b> <i>Comparación de Tukey para espesor de biopelículas.</i>	242
<b>Tabla 59</b> <i>Análisis de varianza para elasticidad en biopelículas comestibles.</i>	242
<b>Tabla 60</b> <i>Comparación de Tukey para elasticidad en biopelículas.</i>	242
<b>Tabla 61</b> <i>Análisis de varianza para resistencia en biopelículas comestibles.</i>	242
<b>Tabla 62</b> <i>Comparación de Tukey para resistencia en biopelículas.</i>	243
<b>Tabla 63</b> <i>Análisis de varianza para cohesión en biopelículas comestibles.</i>	243
<b>Tabla 64</b> <i>Comparación de Tukey para cohesión en biopelículas.</i>	243
<b>Tabla 65</b> <i>Análisis de varianza para índice de solubilidad en biopelículas.</i>	244
<b>Tabla 66</b> <i>Comparación de Tukey para índice de solubilidad.</i>	244
<b>Tabla 67</b> <i>Comparación mediante el método Tukey de color total.</i>	245
<b>Tabla 68</b> <i>ANOVA para sólidos solubles.</i>	246
<b>Tabla 69</b> <i>Comparación por método Tukey de sólidos solubles.</i>	246
<b>Tabla 70</b> <i>ANOVA para pH.</i>	247
<b>Tabla 71</b> <i>Comparación mediante método Tukey de pH.</i>	247
<b>Tabla 72</b> <i>ANOVA para acidez titulable.</i>	248
<b>Tabla 73</b> <i>Comparación por método Tukey de acidez titulable.</i>	248
<b>Tabla 74</b> <i>ANOVA para humedad.</i>	249
<b>Tabla 75</b> <i>Comparación mediante método Tukey de humedad.</i>	249
<b>Tabla 76</b> <i>ANOVA para pérdida de peso.</i>	250
<b>Tabla 77</b> <i>Comparación mediante método Tukey de pérdida de peso.</i>	250
<b>Tabla 78</b> <i>ANOVA para densidad.</i>	251
<b>Tabla 79</b> <i>Comparación mediante método Tukey de densidad.</i>	251
<b>Tabla 80</b> <i>ANOVA para espesor.</i>	252
<b>Tabla 81</b> <i>Comparación utilizando método Tukey de espesor.</i>	252
<b>Tabla 82</b> <i>ANOVA para elasticidad.</i>	253
<b>Tabla 83</b> <i>Comparación mediante método Tukey de elasticidad.</i>	253
<b>Tabla 84</b> <i>ANOVA para resistencia.</i>	254
<b>Tabla 85</b> <i>Comparación utilizando método Tukey de resistencia.</i>	254
<b>Tabla 86</b> <i>ANOVA para cohesión.</i>	255
<b>Tabla 87</b> <i>Comparación utilizando método Tukey de cohesión.</i>	255

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de causa y efecto del subproducto de naranja.</i> .....	9
<b>Figura 2</b> <i>Taxonomía de la naranja.</i> .....	19
<b>Figura 3</b> <i>Componentes de la piel de naranja.</i> .....	23
<b>Figura 4</b> <i>Taxonomía del orégano.</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Estructura de polímeros unidos en forma lineal o ramificados.</i> .....	35
<b>Figura 6</b> <i>Cualidades de matrices poliméricas en la formación de biopelículas comestibles.</i> .....	37
<b>Figura 7</b> <i>Partes estructurales del alginato de sodio.</i> .....	39
<b>Figura 8</b> <i>Empleo del alginato de sodio en alimentos.</i> .....	41
<b>Figura 9</b> <i>Componentes estructurales químicos de goma xantana.</i> .....	42
<b>Figura 10</b> <i>Utilizaciones de goma xanthan.</i> .....	43
<b>Figura 11</b> <i>Partes estructurales del agar-agar.</i> .....	45
<b>Figura 12</b> <i>Ventajas de la aplicación de biopelículas comestibles en alimentos.</i> .....	53
<b>Figura 13</b> <i>Diseño experimental de las muestras de biopelículas comestibles.</i> .....	58
<b>Figura 14</b> <i>Diseño metodológico para obtención de biopelículas comestibles.</i> .....	60
<b>Figura 15</b> <i>Procesos de elaboración de biopelículas comestibles por el método casting.</i> ..	61
<b>Figura 16</b> <i>Estructura de variables independientes y dependientes.</i> .....	62
<b>Figura 17</b> <i>Ubicación de población y muestra relacionado con cáscara de naranja.</i> .....	68
<b>Figura 18</b> .....	69
<b>Figura 19</b> <i>Identificación de orégano con aplicación “Picture This”.</i> .....	75
<b>Figura 20</b> <i>Flujograma de obtención de micropartículas de cáscara de naranja.</i> .....	78
<b>Figura 21</b> <i>Balance masico de micropartículas de cáscara de naranja (CN).</i> .....	79
<b>Figura 22</b> <i>Flujograma del proceso de análisis granulométrico de micropartículas de cáscara de naranja.</i> .....	81
<b>Figura 23</b> <i>Balance de materia para obtener micropartículas de piel de naranja.</i> .....	82
<b>Figura 24</b> <i>Diagrama de flujo para la obtención de aceite esencial de orégano aplicando método arrastre de vapor.</i> .....	85
<b>Figura 25</b> <i>Diagrama de balance de materia para obtener aceite esencial de orégano.</i> ....	86
<b>Figura 26</b> <i>Proceso de elaboración de biopelículas comestibles.</i> .....	88
<b>Figura 27</b> <i>Explicación experimental para obtener % de acidez.</i> .....	90
<b>Figura 28</b> <i>Procedimientos para calcular el % Humedad de las muestras.</i> .....	91

<b>Figura 29</b> <i>Diagrama experimental para hallar el indice de color.</i> .....	92
<b>Figura 30</b> <i>Procedimientos para determinar el % de solubilidad de biopelículas.</i> .....	93
<b>Figura 31</b> <i>Cálculos de mediciones para obtener densidad aparente.</i> .....	94
<b>Figura 32</b> <i>Determinación de cualidades mecánicas.</i> .....	95
<b>Figura 33</b> <i>Aplicación de técnica casting de moldeo mediante secado por convección.</i>	
97	
<b>Figura 34</b> <i>Luminosidad de las biopelículas comestibles.</i> .....	102
<b>Figura 35</b> <i>Diferencia total de color de Biopelículas comestibles.</i> .....	104
<b>Figura 36</b> <i>Sólidos solubles de biopelículas comestibles.</i> .....	105
<b>Figura 37</b> <i>Contenido de pH determinado en biopelículas comestibles.</i> .....	106
<b>Figura 38</b> <i>Índice de acidez titulable obtenido en biofilms comestibles.</i> .....	108
<b>Figura 39</b> <i>% de Humedad analizados en biofilms comestibles.</i> .....	109
<b>Figura 40</b> <i>Análisis de % solubilidad en biopelículas comestibles.</i> .....	110
<b>Figura 41</b> <i>Porcentaje de pérdida de peso en biofilms comestibles.</i> .....	111
<b>Figura 42</b> <i>Determinación de magnitud densidad en biomaterial comestible.</i> .....	112
<b>Figura 43</b> <i>Elongación de las biopelículas comestibles.</i> .....	114
<b>Figura 44</b> <i>% de firmeza en biopelículas comestibles.</i> .....	116
<b>Figura 45</b> <i>Fuerza de cohesión g/s en biopelículas comestibles.</i> .....	118
<b>Figura 46</b> <i>Recolección de la planta orégano.</i> .....	199
<b>Figura 47</b> <i>Pesado de orégano.</i> .....	199
<b>Figura 48</b> <i>Deshojado de orégano.</i> .....	199
<b>Figura 49</b> <i>Pesado de hojas y tallo del orégano.</i> .....	199
<b>Figura 50</b> <i>Secado de hojas de orégano.</i> .....	200
<b>Figura 51</b> <i>Pesado de hojas secadas.</i> .....	200
<b>Figura 52</b> <i>Proceso de extracción de aceite esencial de orégano.</i> .....	200
<b>Figura 53</b> <i>Proceso de purificación.</i> .....	200
<b>Figura 54</b> <i>Pesado y almacenado del aceite esencial de orégano.</i> .....	201
<b>Figura 55</b> <i>Lavado y desinfectado de cáscara de naranja.</i> .....	201
<b>Figura 56</b> <i>Pesado de cáscara de naranja.</i> .....	201
<b>Figura 57</b> <i>Secado por convección de cáscaras de naranja.</i> .....	202
<b>Figura 58</b> <i>Pesado de cáscara de naranja.</i> .....	202
<b>Figura 59</b> <i>Molienda de residuo cítrico (piel de naranja).</i> .....	202
<b>Figura 60</b> <i>Pesado, envasado y almacenado de harina de cáscara de naranja.</i> .....	202
<b>Figura 61</b> <i>Pesado de harina de cáscara de naranja.</i> .....	203

<b>Figura 62</b> <i>Pesado de tamices.</i> .....	203
<b>Figura 63</b> <i>Tamizado de partículas del subproducto de naranja.</i> .....	204
<b>Figura 64</b> <i>Tamices con muestra de subproducto.</i> .....	204
<b>Figura 65</b> <i>Pesado de tamiz con muestra retenida.</i> .....	204
<b>Figura 66</b> <i>Análisis granulométrico de micropartículas de cáscara de naranja.</i> .....	207
<b>Figura 67</b> <i>Pesado de goma Xanthan, alginato de sodio, agar agar y micropartículas de cáscara según las formulaciones, para elaboración de biopelículas comestibles.</i> .....	208
<b>Figura 68</b> <i>Pesado de glicerol, tween 80 y agua destilada.</i> .....	208
<b>Figura 69</b> <i>Proceso de agitación del agua destilada con agar-agar y alginato de sodio en el equipo agitador magnético a temperatura de 45 °C durante 25 minutos a 800 RPM.</i> .	209
<b>Figura 70</b> <i>Homogeneizado de micropartículas de cáscara de naranja, goma xantana, glicerol y tween 80.</i> .....	209
<b>Figura 71</b> <i>Vertido de solución homogénea en placas Petri y pesado.</i> .....	210
<b>Figura 72</b> <i>Proceso de secado en estufa a 40 °C durante 2 horas y 30 minutos.</i> .....	210
<b>Figura 73</b> <i>Desmoldado de biopelículas comestibles.</i> .....	211
<b>Figura 74</b> <i>Pesado de aceite esencial de orégano de acuerdo a la formulación.</i> .....	211
<b>Figura 75</b> <i>Aplicación de aceite esencial de orégano por método spray.</i> .....	211
<b>Figura 76</b> <i>Determinación de humedad en polímeros.</i> .....	212
<b>Figura 77</b> <i>Determinación de colorimetría en polímeros.</i> .....	212
<b>Figura 78</b> <i>Medición de matrices poliméricas con refractómetro.</i> .....	212
<b>Figura 79</b> <i>Análisis de pH y acidez titulable.</i> .....	212
<b>Figura 80</b> <i>Colorimetría y refractométrica de mezcla utilizado en biopelículas.</i> .....	213
<b>Figura 81</b> <i>Determinación de densidad en mezclas filmógenas.</i> .....	213
<b>Figura 82</b> <i>Medición de pH y acidez titulable de mezcla.</i> .....	213
<b>Figura 83</b> <i>Determinación de pH, acidez titulable, colorimetría, brix y humedad.</i> .....	218
<b>Figura 84</b> <i>Caracterización de colorimetría, sólidos solubles, humedad, pH y acidez titulable.</i> .....	219
<b>Figura 85</b> <i>Determinación de pérdida de peso.</i> .....	220
<b>Figura 86</b> <i>Evaluación sobre densidad y espesor.</i> .....	220
<b>Figura 87</b> <i>Determinación de índice de solubilidad de las biopelículas.</i> .....	221
<b>Figura 88</b> <i>Comportamiento de datos obtenidos en color diferencial.</i> .....	231
<b>Figura 89</b> <i>Dispersión de datos generados en sólidos solubles.</i> .....	231
<b>Figura 90</b> <i>Comportamientos de los valores para potencial de hidrógeno.</i> .....	232
<b>Figura 91</b> <i>Gráfica de dispersión de valores para acidez titulable.</i> .....	232

<b>Figura 92</b> <i>Distribución de valores para humedad del biomaterial.</i> .....	233
<b>Figura 93</b> <i>Distribución de los datos del indicador pérdida de peso.</i> .....	233
<b>Figura 94</b> <i>Dispersión de los valores obtenido en las densidades de biopelículas comestibles.</i> .....	234
<b>Figura 95</b> <i>Variación del espesor en biopelículas comestibles.</i> .....	234
<b>Figura 96</b> <i>Variabilidad de elasticidad en biopelículas comestibles.</i> .....	235
<b>Figura 97</b> <i>Análisis del comportamiento de resistencia en biopelículas.</i> .....	235
<b>Figura 98</b> <i>Variación de datos reportados para cohesión.</i> .....	236
<b>Figura 99</b> <i>Comportamiento de los valores en índice de solubilidad.</i> .....	236
<b>Figura 100</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas de diferencial de color.</i> .....	245
<b>Figura 101</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas de sólidos solubles.</i> .....	246
<b>Figura 102</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para pH.</i> .....	247
<b>Figura 103</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para acidez titulable.</i> .....	248
<b>Figura 104</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para humedad.</i> .....	249
<b>Figura 105</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para pérdida de peso.</i> .....	250
<b>Figura 106</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para densidad.</i> .....	251
<b>Figura 107</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para espesor.</i> .....	252
<b>Figura 108</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para elasticidad.</i> .....	253
<b>Figura 109</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para resistencia.</i> .....	254
<b>Figura 110</b> <i>Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para cohesión.</i> .....	255

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	195
Anexo 2. Obtención de aceite esencial de <i>Origanum vulgare</i> por el método arrastre de vapor .....	199
Anexo 3. Fotografía respecto a procesos experimental para obtención de harina de cáscara de naranja.....	201
Anexo 4. Fotografía respecto al tamizado de micropartículas de cáscara de naranja. ....	203
Anexo 5. Tablas de granulometría de partículas de cáscara de naranja. ....	205
Anexo 6. Proceso para producir biopelículas comestibles a partir de cáscara de naranja y matrices poliméricas. ....	208
Anexo 7. Caracterización fisicoquímica de mezcla filmógena y matrices poliméricas. ...	212
Anexo 8. Análisis de muestra de harina de cáscara de naranja. ....	218
Anexo 9. Análisis fisicoquímicos de biopelículas comestibles. ....	219
Anexo 10. Vista microscopio óptico de las biopelículas comestibles. ....	222
Anexo 11. Análisis mecánicos en biopelículas comestibles.....	224
Anexo 12. Análisis microbiológico de biomateriales comestibles.....	226
Anexo 13. Normas sanitarias según MINSA/DIGESA: Alimentos y bebidas para consumo humano. ....	230
Anexo 14. Modelos de regresión lineal de los datos. ....	231
Anexo 15. Resultados estadísticos para obtener el mejor tratamiento respecto a características fisicoquímicas y mecánicas.....	237
Anexo 16. Resultados estadísticos con Minitab 20 de las características fisicoquímicas y mecánicas.....	245
Anexo 17. Resultados estadísticos para obtener el mejor tratamiento de biopelículas comestibles respecto a propiedades mecánicas. ....	253
Anexo 18. Fichas de recopilación de datos experimentales para la producción de biopelículas comestibles .....	256

## PÁGINA DEL JURADO EVALUADOR

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PROFESIONAL N° 001-EPIA-FI-2025

En la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma Huancuro N° 2092, Acobamba, a los 21 días del mes de Mayo del año 2025, siendo las 10:00 horas, en el Auditorio "Danton Hidalgo Valverde" de la Facultad de Ingeniería se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designado con Resolución de Coordinación de Facultad N° 027-2024-UNAAT/FI de fecha 18 de Noviembre de 2024.

Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Mg. Perfecto Chagua Rodríguez  
Secretario : Dr. Henry Juan Javier Ninahuaman  
Vocal : Mg. Carmen Liz Sandra Solis Malaga

Con la finalidad de llevar acabo el acto académico de sustentación de tesis "Aplicación de cáscara de naranja (citrus x sinensis) y aceite esencial de orégano (Origanum vulgare) con diferentes matrices poliméricas en biopelículas comestibles", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, aprobado mediante Resolución de Coordinación de Facultad N° 022-2025-UNAAT/FI de fecha 19 de Mayo de 2025, donde se programa lugar, fecha y hora para el mencionado acto.

Sustentante(s):

Bach. Jhuliana Milagros Adama Astete  
Asesor: Dr. Rafael Julian Malpartida Yapias

Concluida la exposición y absueltas las preguntas, los miembros del Jurado Evaluador procedieron con la deliberación asignando la calificación siguiente:


Escala valorativa:


Excelente  Bueno  Regular  Deficiente


Resultado final.

Aprobado  Desaprobado  Por: Unanimidad

Para constancia se expide la presente Acta, en la ciudad de Tarma a los veintiún días del mes de Mayo de 2025.

  
Mg. Perfecto Chagua  
Rodríguez  
Presidente

  
Dr. Henry Juan Javier  
Ninahuaman  
Secretario

  
Mg. Carmen Liz Sandra  
Solis Malaga  
Vocal

Aplicación de cáscara de  
naranja (*Citrus x sinensis*) y  
aceite esencial de orégano  
(*Origanum vulgare*) con  
diferentes matrices poliméricas  
en biopelículas comestibles

por Jhuliana Milagros Adama Astete

---

**Fecha de entrega:** 19-jun-2025 11:43a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2702393112

**Nombre del archivo:** sinensis\_y\_aceite\_esencial\_de\_or\_gano\_Origanum\_vulgare\_con.pdf (20.99M)

**Total de palabras:** 58587

**Total de caracteres:** 342707

Aplicación de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) con diferentes matrices poliméricas en biopelículas comestibles

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	8%	3%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1%
3	<a href="https://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
4	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="https://repository.unej.ac.id">repository.unej.ac.id</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1%
8	<a href="https://dspace.unach.edu.ec">dspace.unach.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
10	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
11	<a href="https://repositorio.upec.edu.ec">repositorio.upec.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
12	<a href="https://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%

13	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
15	<a href="http://ri-ng.uaq.mx">ri-ng.uaq.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Politécnica Estatal de Carchi Trabajo del estudiante	<1 %
17	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	Morales Pacompia, Yuri Christian. "Nivel de conocimientos musicales de los estudiantes de la Escuela Profesional de Arte - Música de la Universidad Nacional del Altiplano 2017-II", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
20	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec">repositorio.ucsg.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.unaat.edu.pe">repositorio.unaat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://repositorio.unach.edu.pe">repositorio.unach.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://ri.uaemex.mx">ri.uaemex.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://eprints.uanl.mx">eprints.uanl.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

26	<a href="https://orcid.org">orcid.org</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="https://repositorio.umch.edu.pe">repositorio.umch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
31	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="https://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="https://revistas.unaat.edu.pe">revistas.unaat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="https://riaa-tecno.unca.edu.ar">riaa-tecno.unca.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="https://repositorio.utm.edu.ec:3000">repositorio.utm.edu.ec:3000</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="https://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="https://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="https://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="https://apirepositorio.unh.edu.pe">apirepositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
41	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

		<1 %
42	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
43	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
44	Submitted to unhuancavelica Trabajo del estudiante	<1 %
45	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	Tumi Coa, Anibal Ernesto. "Recursos naturales y conflictos sociales en la comunidad campesina de Carabaya, distrito de Ituata Carabaya", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
48	revistas.sqperu.org.pe Fuente de Internet	<1 %
49	Castro Perez, Gladys Marilu. "Composición nutricional y funcional de granos de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) sometidos a fermentación con dos inóculos de micelio ( <i>Ganoderma lucidum</i> y <i>Pleurotus ostreatus</i> ), Abancay - 2023", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
50	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
52	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

53	<a href="https://repositorio.unah.edu.pe">repositorio.unah.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="https://repositorio.usfq.edu.ec">repositorio.usfq.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
55	Mohammed Yassine Benziane, Mourad Bendahou, Fethi Benbelaïd, Abdelmounaim Khadir et al. "Efficacy of endemic Algerian essential oils against single and mixed biofilms of <i>Candida albicans</i> and <i>Candida glabrata</i> ", <i>Archives of Oral Biology</i> , 2023 Publicación	<1 %
56	<a href="https://doaj.org">doaj.org</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="https://revistas.usfq.edu.ec">revistas.usfq.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
58	Submitted to Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Trabajo del estudiante	<1 %
59	Submitted to Universidad de Almeria Trabajo del estudiante	<1 %
60	<a href="https://dehesa.unex.es">dehesa.unex.es</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="https://dspace.espol.edu.ec">dspace.espol.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="https://repositorio.utelesup.edu.pe">repositorio.utelesup.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="https://repositorio.ulasamericas.edu.pe">repositorio.ulasamericas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="https://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="https://www.dspace.unitru.edu.pe">www.dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %

		<1 %
67	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	<1 %
68	Submitted to University of Huddersfield Trabajo del estudiante	<1 %
69	Zhao Li, Meiling Zhang, Fei Li, Sheng Shi, Shuhua Wang, Chengyong Gao, Yiming Li. "Recycling of waste denim: A stepwise utilisation strategy for clean decolourisation, opening and degradation", Waste Management, 2025 Publicación	<1 %
70	Chien Ngoc Nguyen, Thi Thuy Trang Nguyen, Hanh Thuy Nguyen, Tuan Hiep Tran. "Nanostructured lipid carriers to enhance transdermal delivery and efficacy of diclofenac", Drug Delivery and Translational Research, 2017 Publicación	<1 %
71	Li-Li Xu, Li-Li Shi, Qing-Ri Cao, Wei-Juan Xu, Yue Cao, Xiao-Yin Zhu, Jing-Hao Cui. "Formulation and in vitro characterization of novel sildenafil citrate-loaded polyvinyl alcohol-polyethylene glycol graft copolymer-based orally dissolving films", International Journal of Pharmaceutics, 2014 Publicación	<1 %
72	Submitted to Tampere University Trabajo del estudiante	<1 %
73	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
74	Rojas, Jocelyn Pamela Becerra   Arbe, Cintia Patricia Rojas   Monaylla, Mercedes Natalia Tinoco   Torres, Renán Rodolfo Lúcar. "Modelo	<1 %

Prolab: ECODESK, Propuesta de Útiles de Escritorio Ecológicos para la Mejora del Manejo de Residuos del Hogar en Lima Este.", Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru)  
Publicación

75	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
76	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
77	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
78	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
79	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
80	Anthony, Gutierrez Enriquez Frank   Andrés, Martínez Vivas Cristhian   Giovanna, Ramos Chávez Patricia   Diana et al. "Modelo Prolab: Muyuriq, una Mochila Elaborada con pet Reciclado, Propuesta Financiera y Socialmente Sostenible", Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru), 2023 Publicación	<1 %
81	César Ozuna López. "Estudio de la aplicación de ultrasonidos de alta intensidad en sistemas sólido-líquido y sólido-gas. Influencia en la cinética de transporte de materia y en la estructura de los productos.", Universitat Politècnica de Valencia, 2013 Publicación	<1 %
82	Pontes, Vasco Filipe Ferreira. "Estruturas Fibrosas Bioativas com Base em Fibras Produzidas a Partir de Algas.", Universidade do Minho (Portugal), 2024 Publicación	<1 %

83	Roque Illanes, Valerio Urbano Eleazar. "Recubrimiento con biopolímeros comestibles en la conservación de poscosecha de granadilla colombiana ( <i>Passiflora ligularis</i> Juss) en condiciones naturales y refrigeradas", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) <small>Publicación</small>	<1 %
84	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC <small>Trabajo del estudiante</small>	<1 %
85	repositorio.unamba.edu.pe <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
86	Marina Jurić, Luna Maslov Bandić, Daniele Carullo, Slaven Jurić. "Technological advancements in edible coatings: Emerging trends and applications in sustainable food preservation", <i>Food Bioscience</i> , 2024 <small>Publicación</small>	<1 %
87	creativecommons.org <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
88	docplayer.es <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
89	rdu.unc.edu.ar <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
90	CONSULTORES Y AUDITORES AMBIENTALES ECOEFICIENCIA SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA. "DAAC del Proyecto Construcción del Camal de la Asociación de Carniceros de los Mercados Unidos de la Provincia de San Román - Juliaca-IGA0012137", R.D.G. N° 107-13-MINAGRI-DGAAA, 2020 <small>Publicación</small>	<1 %
91	Mestas Yucra, Daisy. "Uso de las TIC y el empoderamiento de las mujeres de la	<1 %

Asociación Unificada de Artesanos del Puerto Muelle de Puno, 2022", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

92	Submitted to University of the Western Cape Trabajo del estudiante	<1 %
93	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
94	ojs.alpa.uy Fuente de Internet	<1 %
95	repositorio.cientifica.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
96	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
97	repositorio.unaj.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
98	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
99	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
100	www.singasolina.co Fuente de Internet	<1 %
101	www.somers-ac.org Fuente de Internet	<1 %
102	Lope Dueñas, Freddy. "Efecto del color y sexo sobre las características textiles de la fibra y medidas zoométricas en alpacas Huacaya", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
103	Mozaniel Santana de Oliveira, Leo M.L. Nollet. "Bioactive Compounds - Identification and Characterization of their Food and Pharmacological Potential", CRC Press, 2025	<1 %

Publicación

104	Sara Martorell Tejedor. "Desarrollo de métodos integrados para la determinación de biomarcadores genéticos", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %
105	<a href="http://bdigital.zamorano.edu">bdigital.zamorano.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
106	<a href="http://biblioteca.udenar.edu.co:8085">biblioteca.udenar.edu.co:8085</a> Fuente de Internet	<1 %
107	<a href="http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080">dgsa.uaeh.edu.mx:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
108	<a href="http://distancia.udh.edu.pe">distancia.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
109	<a href="http://200.13.202.26/proyectos/pdf/941500927inf.pdf">http://200.13.202.26/proyectos/pdf/941500927inf.pdf</a> Fuente de Internet	<1 %
110	<a href="http://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
111	<a href="http://repositorio.chapingo.edu.mx">repositorio.chapingo.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
112	<a href="http://repositorio.espam.edu.ec">repositorio.espam.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
113	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
114	<a href="http://repositorio.unf.edu.pe">repositorio.unf.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
115	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
116	<a href="http://repositorio.utp.edu.pe">repositorio.utp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
117	<a href="http://repository.usta.edu.co">repository.usta.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
	<a href="http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com">tecnologiadelosplasticos.blogspot.com</a>	

118	Fuente de Internet	<1 %
119	Submitted to ueb Trabajo del estudiante	<1 %
120	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
121	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
122	www.grin.com Fuente de Internet	<1 %
123	www.mpg.es Fuente de Internet	<1 %
124	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Biotechnology, 2024 Publicación	<1 %
125	Arturo Barjola Ruiz. "Membranas poliméricas de intercambio iónico con aplicación en pilas de combustible de temperatura intermedia", Universitat Politècnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
126	Capcha Hinostraza, Karla Elizabeth. "Auditoria de gestión y su incidencia en la eficiencia operativa de la dirección general de administración de la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, 2015", Universidad Católica los Ángeles de Chimbote (Peru) Publicación	<1 %
127	Erwin Manuel Hernández García, Jhonatan Jhosseppey Romero Morales, Marilín Nicoll Sánchez Purihuamán, Ada Patricia Barturen Quispe et al. " Productivity of on lignocellulosic Rice Husk substrate supplemented with Sugar Industry Residual	<1 %

Biomass ", Cold Spring Harbor Laboratory,  
2025

Publicación

128 Huarachi Cruz, Cesar Efrain. "Diagnostico de patogenos e indicadores microbiológicos de la calidad de agua para consumo humano en la isla Ccapi Los Uros - Lago Titicaca - Puno, 2024", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

129 J.A. Llanos, J. Yagüe, F. Sáenz de Ormijana, M. Cabrera, J. Penas. "Dam Maintenance and Rehabilitation", CRC Press, 2017

Publicación

130 JADER RODRIGUEZ CORTINA.  
"CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.): APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", Universitat Politecnica de Valencia, 2013

Publicación

131 Jorge O. Fimbres-García, Marcela Flores-Sauceda, Elsa Daniela Othon-Díaz, Alfonso García-Galaz et al. "Facing Resistant Bacteria with Plant Essential Oils: Reviewing the Oregano Case", Antibiotics, 2022

Publicación

132 Raquel Heras Mozos. "Envases activos basados en el anclaje covalente reversible de compuestos antimicrobianos en quitosano.", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

133 Sandra Paola Rojas Lema. "Desarrollo y optimización de nuevas formulaciones de biopolímeros con principios activos para

aplicaciones en el sector envase-embalaje",  
Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

134	Z. Y. Abbasov, V. M. Fataliyev, N. N. Hamidov. "The solubility of gas components and its importance in gas-condensate reservoir development", Petroleum Science and Technology, 2017	<1 %
Publicación		
135	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
136	americana.edu.co Fuente de Internet	<1 %
137	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
138	ciateq.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1 %
139	ciencialatina.org Fuente de Internet	<1 %
140	ckd2013.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
141	doi.org Fuente de Internet	<1 %
142	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
143	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
144	es.yagkai.com Fuente de Internet	<1 %
145	institucional.us.es Fuente de Internet	<1 %
146	iris.unipa.it Fuente de Internet	<1 %

147	moam.info Fuente de Internet	<1 %
148	ojs.unemi.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
149	paulinaosoriovalen.wixsite.com Fuente de Internet	<1 %
150	rangemaster.broan-nutone.com Fuente de Internet	<1 %
151	reingtec.itsoeh.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
152	repositorio.ecci.edu.co Fuente de Internet	<1 %
153	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
154	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
155	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
156	Submitted to unsaac Trabajo del estudiante	<1 %
157	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
158	www.cochrane.org Fuente de Internet	<1 %
159	www.fontagro.org Fuente de Internet	<1 %
160	www.fundacionauna.org Fuente de Internet	<1 %
161	www.ifi.uzh.ch Fuente de Internet	<1 %
162	www.redunia.org Fuente de Internet	<1 %

163	<a href="http://www.revistas.unitru.edu.pe">www.revistas.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
164	<a href="http://www.scielo.org.pe">www.scielo.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
165	<a href="http://www.thutong.doe.gov.za">www.thutong.doe.gov.za</a> Fuente de Internet	<1 %
166	Murrugarra, Elena Lizbeth Bustamante   Pérez, Jessica Paola Flores   Castro, Ricardo Percy Córdova   Garces, Ronald Eduardo Fonseca. "Modelo Prolab: Pichaynet, Startup que Conecta a Todos los Actores en la Gestión de Residuos y Facilita la Transición Hacia la Economía Circular con Foco en los Recicladores de Base.", Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru) Publicación	<1 %
167	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
168	"Polymers for Agri-Food Applications", Springer Science and Business Media LLC, 2019 Publicación	<1 %
169	Hang Li, Ronge Xing, Zongji Wang, Guantian Li. "Advancements in xanthan gum-based film and coating for food packaging", Carbohydrate Polymers, 2025 Publicación	<1 %
170	Jonathan M. Sanchez-Silva, Ramsés R. González-Estrada, Francisco J. Blancas-Benitez, Ángel Fonseca-Cantabrana. "Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados", TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 2020 Publicación	<1 %
	archive.org	

171	Fuente de Internet	<1 %
172	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
173	oldri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
174	repositorio.uaaan.mx Fuente de Internet	<1 %
175	repositorio.ulead.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
176	Ángel Plata Sánchez. "Enhancing Biological Control of Mealybugs in Mediterranean Subtropical Crops", Universitat Politècnica de València, 2024 Publicación	<1 %

Excluir citas:  Activo  Excluir coincidencias:  Apagado  
 Excluir bibliografía:  Activo

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente investigación a Dios por brindarme fortaleza, intelecto y habilidades para encaminar mi formación académica en el cumplimiento de mis objetivos planteados para mi crecimiento profesional universitaria con esfuerzo.

A mis padres por su tolerancia, apoyo y constantes sacrificios realizados en esta etapa educativa superior.

## AGRADECIMIENTO

Manifiesto mi humilde gratitud y respeto a las personas, por su apoyo para realizar el presente proyecto de investigación.

- A Dios por su maravillosa protección, condescendencia y bendiciones para perseverar frente a las adversidades desarrollando capacidades como la resiliencia, optimismo y disciplina, permitiéndome enfrentar obstáculos para avanzar con mayor fuerza y firmeza.
- A mis padres por sus consejos, inculcarme enseñanzas con principios, virtudes y constante apoyo incondicional para mi formación educativa profesional, emocional y personal, permitiéndome encaminar mis metas planteadas hasta cumplirlos de forma correcta diligentemente con esmero.
- A mis hermanos por su apoyo brindado con acciones de motivación, determinación, paciencia, ánimos e impulsos, para alcanzar mis objetivos y metas trazadas, guiándome a la constante dedicación.
- Al Doctor Malpartida Yapias Rafael Julián por el continuo apoyo con asesoría mediante tutorías personalizada, formación investigativa, consejos y orientaciones; contribuyendo al desarrollo, análisis, planteamiento y desarrollo del proyecto tesis.
- A la plana docente de esta institución integrada por Ingenieros Agroindustriales, que tienen como labor la enseñanza de distintas asignaturas, por brindarme la oportunidad de alcanzar a ser una profesional.
- Al Instituto de investigación en Tecnologías Altoandinas (INITA) por permitirme ingresar a los laboratorios para la ejecución práctica del trabajo investigativo.
- A los facultativos, profesionales, compañeros de laboratorio y amistades por interactuar, colaborar y compartir sus conocimientos.

## PRESENTACIÓN

La producción de biopelículas comestibles empleando harina de cáscara de naranja, diferentes matrices poliméricas con aceite esencial de orégano proponen una solución innovadora y ecológica, que son de interés agroalimentario, envasado comestible, biotecnológico y desarrollo de biomateriales. El presente informe de tesis está enfocado en la reducción de residuos agroindustriales optando la cáscara de *Citrus x sinensis* como elemento de estudio e implementación de polisacáridos naturales combinada con el agente antimicrobiano.

La ejecución experimental se realizó en los laboratorios del Instituto de Investigación en Tecnologías Altoandinas (INITA) y de procesos agroindustriales, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAT), en estas instalaciones se elaboró y analizó las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los films comestibles. Para el análisis microbiológico fueron evaluadas en el laboratorio del instituto de Certificaciones nacionales de alimentos (CENASAC) acreditada por INACAL, en este ambiente fueron aplicados los métodos de ensayo comprendido en recuento de Aerobios mesófilos ( $5,9 \times 10^2$  UFC/g) y enumeración de *Escherichia Coli* (<10 NMP). Asimismo, los biomateriales comestibles contribuyen al desarrollo sostenible al brindar una alternativa efectiva para la valorización responsable de los biorresiduos orgánicos al abordar aspectos técnicos y ambientales, en la utilización de recursos naturales orientado a la funcionalidad del biomaterial al combinar los polisacáridos con aceite esencial de orégano para posteriores aplicaciones del sector agroalimentario y disminución del impacto ambiental.

## RESUMEN

La existencia de subproductos orgánicos agroindustriales en la provincia de Tarma presenta deficiencias en sus gestiones, debido a la depreciación del potencial nutricional y precarias empleabilidades en la fabricación de productos destinados al consumo humano que aportan propiedades antioxidantes y fuentes reforzantes en alternativas de bioproductos consumibles utilizando cáscara de naranja (CN). El objetivo de la presente investigación radica en “evaluar la influencia de la piel de naranja y del aceite esencial de orégano (AEO), integrando matrices poliméricas (agar-agar, alginato de sodio y goma xantana) en la producción de biopelículas comestibles”. El estudio se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo experimental y aplicando la metodología de diseño completamente al azar (DCA), donde se plantearon 4 formulaciones con tres repeticiones cada una, compuesta por una muestra control y tres tratamientos con diferentes concentraciones de harina de CN (1,17%, 1,55% y 1,93%), AEO (0,70%, 0,93% y 1,16%) y matrices biopoliméricas (2,46%, 2,44% y 2,43%), resultando un total de 12 tratamientos. A las biopelículas obtenidas se evaluaron sus propiedades físico-químicas, mecánicas y recuento microbiológico. Los resultados generaron una formulación óptima compuesta de 1,93% HCN, 2,43% material polimérico, 1,16% AEO, 15,43% de glicerol y 1,93% de tween 80, reportando valores de 13,43 °Brix, luminosidad (64,67 lux), pH (5,10), acidez (0,04%), humedad (82,88%), solubilidad (82,88%), pérdida de peso (75,17%), densidad (0,00083g/mm<sup>3</sup>) y espesor (0,83 mm). De igual forma y para las propiedades mecánicas, presentó capacidad resistente del 62,17%, cohesividad (2082,13 g/s) y elasticidad (-3,43%), promoviendo un efecto antibacteriano que ralentizó el crecimiento de bacterias *aeróbicas mesófilas* (5,9 x10<sup>2</sup> UFC/g) y *Escherichia coli* (<10 NMP). Según los parámetros fisicoquímicos, mecánicos y antimicrobianos, las biopelículas comestibles del tratamiento 3 presentaron valores aceptables proporcionando un valor potencial para los biorresiduos cítricos.

**Palabras clave:** Cáscara de naranja, aceite esencial de orégano, biopelículas comestibles, propiedades mecánicas, análisis microbiológico.

## ABSTRACT

The existence of organic agro-industrial by-products in the province of Tarma presents deficiencies in its management, due to the depreciation of the nutritional potential and precarious employability in the manufacture of products for human consumption that provide antioxidant properties and reinforcing sources in alternatives of consumable bioproducts using orange peel (CN). The objective of the present research is to “evaluate the influence of orange peel and oregano essential oil (OEO), integrating polymeric matrices (agar-agar, sodium alginate and xanthan gum) in the production of edible biofilms”. The study was developed using a quantitative experimental approach and applying the completely randomized design (CRD) methodology, where 4 formulations with three replicates each were used, consisting of a control sample and three treatments with different concentrations of NC flour (1.17%, 1.55% and 1.93%), AEO (0.70%, 0.93% and 1.16%) and biofilm matrices (2.46%, 2.44% and 2.43%), resulting in a total of 12 treatments. The biofilms obtained were evaluated for their physicochemical and mechanical properties and microbiological counts. The results generated an optimal formulation composed of 1.93% HCN, 2.43% polymeric material, 1.16% AEO, 15.43% glycerol and 1.93% tween 80, reporting values of 13, 43 °Brix, brightness (64.67 lux), pH (5.10), acidity (0.04%), moisture (82.88%), solubility (82.88%), weight loss (75.17%), density (0.00083g/mm<sup>3</sup>) and thickness (0.83 mm). Similarly, for mechanical properties, it presented a resistance capacity of 62.17%, cohesiveness (2082.13 g/s) and elasticity (-3.43%), promoting an antibacterial effect that slowed the growth of mesophilic aerobic bacteria (5.9 x10<sup>2</sup> CFU/g) and *Escherichia coli* (<10 NMP). According to physicochemical, mechanical and antimicrobial parameters, edible biofilms from treatment 3 presented acceptable values providing a potential value for citrus biowaste.

**Keywords:** Orange peel, oregano essential oil, edible biofilms, mechanical properties, microbiological analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, se estima que el 20% de las emanaciones del tipo antropogénico de metano provienen de la descomposición anaeróbica de remanentes mal gestionados, contribuyendo a cambios climáticos que afectan ecosistemas y la cadena alimentaria (ONU, 2024). Además, la contaminación orgánica persistente resulta de desechos generados desde la poscosecha hasta su distribución (Rehman et al., 2023), siendo imprescindible implementar una bioconversión sustentable de los residuos generados durante y después del procesamiento de frutas y verduras, que inherentemente contienen relevantes componentes derivados en tallo, cáscara, orujo y semillas con moléculas funcionales valiosas (Jorge et al., 2023).

Según el Ministerio del Ambiente (2020), el Perú generó 7,9 millones de toneladas de residuos clasificado en sólidos para el año 2020, reportando más del 75% residido en residuos sólidos e inorgánicos, donde los desperdicios orgánicos producidos, representaron 55,7% en comparación al tipo inorgánico identificado con 20,7%. En el periodo del 2022 se produjeron más del 57% de remanentes orgánicos disponiéndose en rellenos sanitarios (61,7%), gestiones precarias (36,5%) y biotransformación (1,8%), exigiéndose la implementación de operaciones concientizados para un desarrollo y cumplimiento responsable de estos compuestos con fines de prevenir su liberación de contaminantes (MIMAN, 2023).

En contraste, los subproductos agroindustriales como la piel de naranja sin ningún tratamiento, afectan negativamente al medio ambiente cuando son vertidos en fuentes naturales como suelos y aguas, generando diversos impactos a nivel ecosistémico al causar deterioros irreversibles en la capa de ozono, afectando los recursos hídricos, degradando la superficie e incrementando los gases de efecto invernadero, provocando la aceleración de variaciones climáticas (Borda, 2022), a su vez, la deficiente revalorización en transformaciones potenciales y extracción de componentes para producir sistemas de biomateriales activos y sostenibles (Gómez et al., 2022).

La piel de naranja posee rendimiento de pectina entre 0,98% a 20,5%, a su vez, esta fibra natural contiene metoxi encontrándose dentro del rango permitido  $7\% \pm 1,27\%$  para la solubilidad, además de su función gelificante aporta ácido galacturónico con un valor de  $77,4\% \pm 8,06$  aceptado según la FAO (Food Agriculture Organization of the United Nations) y la FDA (Food and drug Administration), y presenta porcentajes de cenizas  $3,99\% \pm 0,001\%$

indicando compuestos inorgánicos como sustancias minerales (fósforo, zinc, hierro, etc.) beneficiosas para la alimentación y la salud humana (Tovar et al., 2019).

En particular, el subproducto de naranja contiene fuentes funcionales y activas contribuyentes de pectina, lípidos, proteínas y fibra cruda (Yun & Liu, 2022). El creciente interés en los biomateriales activos utilizando cáscara de cítricos por su perfil bioactivo y nutricional se está extendiendo hasta la fecha (Lu et al., 2023).

En la actualidad las biopelículas comestibles presentan mayor interés en el área de envases, debido a su bajo costo de elaboración económico, versatilidad y la reducción de problemas ambientales por el uso de materiales plásticos, además esta capa delgada puede aplicarse sobre diferentes productos alimenticios como frutas, verdura, queso, confitería, panificación y cárnicos (Nazir & Wani, 2022).

Por otra parte, estudios alternativos de la empleabilidad de recursos naturales renovables fueron utilizados en la producción de biopolímeros para elaborar películas comestibles resistentes, y protectores de factores ambientales, físicos y mecánicos (Perera et al., 2023), mejorando las cualidades sensoriales actuando de barrera salvaguardando contra gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>), vapores y humedad (Rodrigues et al., 2021).

La capa delgada producido a partir de materiales comestibles conforman diferentes tipos de polímeros resistentes en su estructura, residido ante la problemática de conservar la vida útil de un alimento preservando sus propiedades originales fisicoquímicos y sensoriales, propone una alternativa respetuosa con el medio ambiente aportando la función de retardar la transferencia de gases (dióxido de carbono) y humedad que provocan efectos de proliferación de microorganismos patógenos (Yildirim et al., 2022).

Adicionalmente, el componente aromático aceite esencial de orégano presentan moléculas bioactivas que integra timol y carvacrol, generando propiedades antimicrobianas para la desintegración de la membrana externa de bacterias gram negativo: *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* (Carhuallanqui et al., 2020). El mecanismo bioactivo natural de esta planta se basa en compuestos derivados en timol, carvacrol y eugenol, representando entre el 65% y 90% de la composición total del AEO que inhiben el flujo de salida de bacterias

patógenas (Hao et al., 2022). Permitiendo la facilidad para incorporar en películas activas formando una solución mezclada manteniendo la dispersión uniforme (Hashim et al., 2024).

El creciente interés prometedor del desarrollo de envases y biomateriales comestibles empleando sistemas biopelíméricos naturales del tipo polisacárido (celulosa, almidón, quitosano, alginatos, pectina, carragenanos, etc.), y derivados de mezclas (García et al., 2022), conforman el grupo biodegradable de bajo costo y disponible ampliamente utilizado en biomateriales biodegradables (Hernández et al., 2023).

Los componentes polisacáridos usados en la investigación conforman alginato de sodio, agar-agar y goma xantana, brindando condiciones técnicas, mecánicas y compatibilidad combinadas en las biopelículas comestibles, además deben ayudar a proteger un producto alimenticio ante cualquier acción mecánica, física o química, favoreciendo transparencia, consumibilidad impidiendo crecimiento antibacteriano y detección percibida por los sentidos humanos (Mederos et al., 2020).

Uncu & Mocan (2022), realizaron una investigación con el propósito de elaborar películas biocompuestas empleando pectina-alginato y cáscara de naranja (CN), evaluando las propiedades mecánicas, morfológicas y térmicas, basándose en optimizar la formulación adecuada para aplicar sobre alimentos, obteniéndose un tratamiento idóneo comprendida en proporciones 0,6 g/g de polímero, 2% de  $\text{CaCl}_2$ , 0,2 g/g de glicerol y 30% de CN; mostrando resultados de  $74,32 \pm 2,32\%$  de elasticidad,  $2,10 \pm 0,17$  MPa respecto a resistencia con una permeabilidad a vapores de  $\text{H}_2\text{O}$  de  $7,44 \pm \text{g}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{kPa}\cdot\text{h}$ , aplicándose la metodología casting para su preparación. Concluyendo que la piel de naranja y las biomatrices reflejan notables efectos de capacidades térmicas, mecánicas, biodegradativas, adaptabilidad y baja permeabilidad al oxígeno.

Por tanto, la utilización de subproductos agroindustriales como la piel de naranja permiten reducir impactos negativos hacia el medio ambiente, prolongar la vida útil de almacenamiento de productos alimenticios, ayudando a conservar sus propiedades nutritivas y contribuyendo a reducir el uso de polímeros sintéticos, generando sostenibilidad económica y mayor seguridad alimentaria de consumo con la finalidad de satisfacer necesidades de los consumidores.

El presente trabajo plantea evaluar la influencia del subproducto de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de orégano (*Origanum Vulgare*) con diferentes matrices poliméricas en la producción de biopelículas comestibles; además de determinar, caracterizar y analizar sus propiedades físico-mecánicas.

El trabajo de investigación comprende ocho apartados, con integración de introducción, conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos, descritas de forma sucinta cada uno:

Apartado I: Explica la parte introductoria, en este apartado se describen secuencialmente la concepción de la problemática identificada, descripción y caracterización fundamentada con literatura actualizada, también están la hipótesis y los objetivos del problema.

Apartado II: Marco teórico; aborda los antecedentes nacionales e internacionales, más relevantes de la investigación dentro de los últimos cinco años, seguidamente se encuentra de manera detallada las bases teóricas enfocado en las variables de estudio y breve conceptualización de términos básicos.

Apartado III: Marco metodológico; representa las partes fundamentales de la investigación, donde está compuesta por variables, operacionalización de variables, tipo, nivel, método, diseño describiendo los tratamientos, así como los procesos para la realización del biomaterial comestible. Luego, están especificados la población, muestra y muestreo de las variables; agregando en la parte anterior se aborda las técnicas e instrumentos de recolección de datos para información o experimental y tratamiento estadístico, seguido del método aplicado en los análisis de datos.

Apartado IV: Resultados; en esta sección se explican los hallazgos principales en función a la ejecución, obteniéndose durante datos experimentales.

Apartado V: Discusión; detalla las comparaciones de los resultados con estudios afines contrastando las implicancias prácticas de datos obtenidos analizando factores en la presente investigación apoyándose en teorías comprobadas.

Apartado VI: Se presentó las conclusiones de manera sucinta sobre los objetivos hallados generalizando los aportes investigativos desarrollado.

Apartado VII: Recomendaciones, se propusieron nuevas perspectivas para considerar en posteriores investigaciones.

Apartado VIII: Referencias bibliográficas.

### **1.1.Problema**

Los residuos generados en la agroindustria representaron un impacto ambiental negativo causando en muchos casos daños irreversibles, deteriorando más la capa de ozono, afectando los recursos hídricos, degradando el suelo y generando gases de efecto invernadero, debido a los manejos inadecuados, insuficiente reutilización para elaboración de nuevos productos biodegradables así como productos convencionales a partir de la cáscara de naranja; al mismo tiempo existe la escasa revalorización del potencial de los residuos agroindustriales (Narethong, 2020).

La Figura 1, aclara como se reconoció el problema investigativo abordando algunas causas identificadas por categorías clasificadas por factores centrados en la generación de residuos agroindustriales sin procesos de bioconversión. Entre las principales causas están ubicadas en las ramificaciones encontrándose la administración, manipulación de a mano de obra, así como el almacenamiento inadecuado. En el desarrollo agroindustrial, influyen las actividades realizadas en los procesos deficientes de empleabilidad, transformación y producción de residuos con carencia de gestiones con implementaciones estratégicas. La utilización y fabricación de bioproductos están siendo afectadas por devaluaciones ligadas a los requerimientos y operaciones desarrolladas de manera inoportuna. Asimismo, existe la preocupación de incorporar diseños de productos sustentables orientadas a fomentar una economía circular.

Por otra parte, los métodos aplicados presentan limitaciones por las condiciones deficientes de las actividades de postcosecha y carencia de información y transferencia tecnológica para implementación de nuevos métodos operativos. La disposición inadecuada de cáscara de naranja en el entorno ambiental contribuye a la generación de lixiviados contaminantes que afectan efluentes y superficie terrestre. En definitiva, el medio ambiente es impactado por la descomposición de biomateriales orgánicos debido a las gestiones ineficientes, tratamientos incorrectos y la falta de prevención de la contaminación de recursos naturales e hídricos.

En este contexto, la aplicación analítica del método Ishikawa permitió abordar los distintos factores mencionados clasificándolos en categorías evaluada en la problemática. Asimismo, este enfoque contribuye a la identificación de alternativas de solución incorporando a los actores involucrados en los acuerdos pertinentes y la priorización efectiva de remanentes orgánicos mediante la valorización consciente del biomaterial, apoyada con la investigación para fomentar soluciones sostenibles.

La generación de residuos producidos a nivel mundial corresponde a 2 millones de toneladas por año, donde alcanzó un volumen superior al 49% representativo de 100 millones de toneladas de residuos orgánicos en el 2022 (Planet One, 2022). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2024), estiman que el 5% de los gases de efecto invernadero fueron originados por la degradación de residuos orgánicos sólidos.

La principal relevancia de los frutos cítricos está fundamentada por la industrialización de cultivos y no por su valor nutricional, incidiendo en la generación de más del 45% de residuos de cáscara de naranja, representando casi la mitad del peso del fruto dependiendo de la variedad, contribuyendo a desechar miles de toneladas de residuos sólidos durante su procesamiento para la obtención de zumos y productos procesados como los enlatados (Satari & Karimi, 2018). Además, las cantidades masivas contribuyen a riesgos ambientales, incrementando patrones climatológicos, daños al bienestar de comunidades, hábitats y alteraciones ecosistemáticas que afectan la biodiversidad, estimulado por variaciones e impactos en componentes naturales (Saeed et al., 2024).

De acuerdo con el MINAM (2020), en el Perú se generaron más de 7 millones de toneladas de residuos sólidos en el año 2020, clasificado en excedentes sólidos e inorgánicos reportando alrededor del 75%, sucesivo a los remanentes orgánicos producidos, representando el 55,7% en comparación con el 20,7 % del tipo inorgánico. En este contexto, los residuos agroindustriales están inmersos en las estadísticas halladas y plantean importantes desafíos para proteger la salud humana y promover el bienestar sostenible, implicando la necesidad de fomentar prácticas alineadas a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) alineados a prácticas sostenibles, comenzando desde producción hasta consumo final, haciendo hincapié en aquellos ODS (12 – 15) que enfatizan sobre los efectos positivos como negativos sobre el medio ambiente.

Para el 2021 los residuos municipales, evaluado por el sistema de información de gestión de residuos sólidos (SIGERSOL) dirigida por MINAM reportó la producción de más de 8 millones de toneladas compuesta por residuo orgánico indica que ascendió al 56% en comparación a la cantidad porcentual de residuo inorgánico (20 %), estas integran parte de la deficiente gestión residual municipal que atribuye responsabilidad de los gobiernos así como de la acción ciudadana frente a su disposición final que traen consecuencias perjudiciales al entorno ambiental (Diario Oficial del Peruano, 2023), por las disposiciones finales en zonas calificadas como “botaderos” debido a factores deficientes de conciencia ambiental, aumento de crecimiento poblacional y problemas gubernamentales Organismo de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA, 2023).

Conforme al Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA, 2024), el MIDAGRI, indican que la región Junín produjo 76,776 miles de toneladas del fruto naranja de variedad más predominante Valencia en el mes de Junio del año 2024. En este escenario, se identificaron manejos inadecuados arraigado desde la producción hasta su consumo final, reportando mayores volúmenes de desperdicios partiendo desde la óptica industrial y uso doméstico (FAO, 2024), incurriendo a pérdidas del valioso biorecurso asociados en agravios económicos (Ortiz et al., 2023).

En la provincia de Tarma, la mayoría de los ciudadanos desconocen sobre los efectos secundarios hacia el medioambiente ocasionados por los malos manejos de residuos agroindustriales de tipo orgánico y deficiente empleabilidad en la elaboración de diferentes productos destinados para consumo humano, alimentos para animales, compost en la agricultura u otras alternativas no perjudiciales para la sociedad, los ecosistemas, la naturaleza y recursos hídricos. Como consecuencia, según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2019), se reportó la extracción de más de 10 toneladas extraídas en tres ríos de la región.

Pasarin et al. (2023), indican que los subproductos cítricos representan un problema integrado en los residuos sólidos, debido a su alto contenido de carbohidratos, permitiendo una rápida degradación causando olores desagradables, en consecuente de su alto contenido de materia orgánica evitando la eliminación directa y en reducido tiempo degradativo, afectando a los suelos en su flora bacteriana natural y propiedades nutritivas, así como

físicas. En resultado del procesamiento industrial alimentario se originan materiales residuales, implicando intereses prometedores repercutiendo a valorizaciones sostenibles y potencialidades (Chandrasekar et al., 2024), fomentando una economía circular prometedora y eficiente (Du et al., 2024).

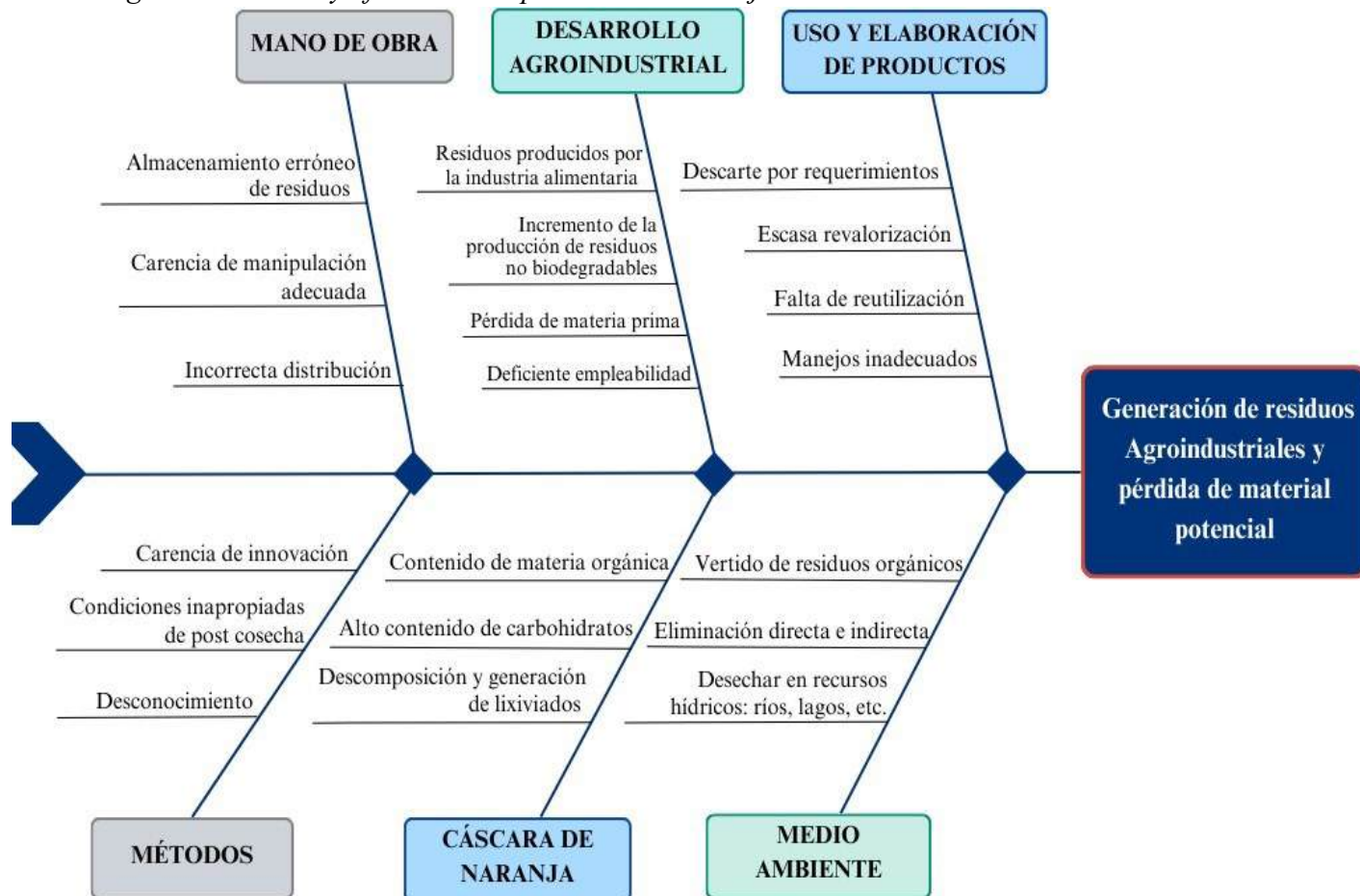
Altas cantidades de desperdicios de los subproductos de frutos de naranja generan pérdidas económicas en las empresas agroindustriales, reducción de ganancias efectuadas por las ventas en mercados y centros de establecimientos de frutas en la región Junín y la provincia de Tarma, no obstante, se evidencia que las frutas cítricas de tercera, exhibiciones de magulladuras, daños mecánicos y estado sobremaduro, son descartadas por requerimientos como tamaño, apariencia, entre otros, cuando el fruto se encuentra en condiciones idóneas para ser empleadas en la elaboración de distintos productos alimenticios a escala industrial y consumo poblacional (Sani et al., 2022).

Entre los materiales residuales de frutas (tipo cítricas) originados en las actividades agrícolas, entidades y consumidores, involucran preocupaciones financieras, ambientales, bioseguridad y energéticas (Soares et al., 2024). Aunado al contexto, surgen desafíos para transformar, modificar, explorar y aplicar, estos subproductos en nuevas alternativas alimentarias por sus componentes específicos presentes en la biomasa lignocelulósica (Chakraborty et al., 2022) y funciones singulares que aportan valor nutritivo y beneficios significativos (Lavelli, 2021).

Por ende, el proyecto investigativo planteó producir biopelículas comestibles aplicando piel de naranja, aceite esencial de orégano incorporando distintas matrices poliméricas, para evaluar, analizar y caracterizar, contribuyendo a minimizar deterioros alimentarios perecederos empleados en los tipos de sectores agropecuarios, empresarial y agroindustrial, siendo parte alternativa en la solución problemática ecológica y calidad nutricional, alienados a tendencias actuales.

**Figura 1**

*Diagrama de causa y efecto del subproducto de naranja.*



*Nota.* La representación indica de forma sucinta el causa-efecto de la identificación del problema.

## 1.2. Hipótesis

### 1.2.1. Hipótesis General

La cáscara de naranja y aceite esencial de orégano acopladas con diferentes matrices poliméricas son eficientes para el desarrollo productivo de biopelículas comestibles.

### 1.2.2. Hipótesis específicas

**H<sub>1</sub>:** Las mejores concentraciones conformadas por micropartículas de cáscara de naranja, aceite esencial de orégano y tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar y alginato de sodio) favorecen la producción de biopelículas comestibles.

**H<sub>2</sub>:** Las biopelículas comestibles a base de cáscara de naranja y aceite esencial de orégano con tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar y alginato de sodio) influyen en sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas.

**H<sub>3</sub>:** La utilización de cáscara de naranja y aceite esencial incorporados en biopelículas comestibles con tres matrices poliméricas (alginato de sodio, goma xantana y agar-agar) en las biopelículas comestibles presenta un efecto significativo en la reducción del recuento microbiológico en comparación con las películas convencionales.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la eficiencia de la cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de orégano (*Origanum Vulgare*) con diferentes matrices poliméricas en la producción de biopelículas comestibles.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las concentraciones eficientes de micropartículas de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) con tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar, alginato de sodio) para la producción de biopelículas comestibles.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las biopelículas comestibles empleando cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) con tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar y alginato de sodio).
- Evaluar el recuento microbiológico en las biopelículas comestibles a base de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) con tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar y alginato de sodio).

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Hernández et al. (2024), realizaron una investigación sobre biopelículas a partir de almidón de yuca acetilado (AYA), glicerol y aceite esencial de orégano (AEO), con el propósito de estudiar la combinación de estos elementos sobre los efectos de las peculiaridades mecánicas, tipologías colorimétricas, solubilidad y acción antimicrobiana. Para ello, usaron una MSR (metodología de superficie y respuesta) para obtener almidón acetilado y en la fabricación de films comestibles con concentraciones de glicerol (0,46 g - 0,74 g) y AEO (0,56 ml - 0,84 ml). Los resultados evidenciaron las proporciones adecuadas del polisacárido AYA (2 g), AEO (0,7 ml), glicerol (0,46 g) y CH (0,38 g), contribuyen al mejoramiento de resistencia ( $25 \pm 2$  MPa), elasticidad ( $24 \pm 3$  %), menor solubilidad efectiva ( $20 \pm 1\%$ ) e introduciendo acción bactericida superficial logrando reducir la población hasta 1,5 ciclos logarítmicos contra *E. coli* y *L. Innocua*, sin embargo, el AYA contribuyó a la hidrofobicidad. Concluyendo que la variación y añadidura de AEO, promueven ventajas en las cualidades mecánicas, antimicrobiano y estructurales de los biofilms desarrollados, favoreciendo a propuestas de envasado prometedor como material ecológico de alimentos.

Yun & Liu (2024), investigaron y desarrollaron películas comestibles a partir de alginato de sodio con polvo de cáscara de variedades de mandarina, planteando comparar las estructuras y propiedades en las películas. La metodología empleada experimentalmente estuvo basada en la utilización de polvo del subresiduo cítrico en cantidades iguales por cada variedad (12), homogeneizando 4,6 g en 170 ml de agua durante 2 min con una velocidad de 6000 rpm, luego se mezclaron 1,38 g (alginato de sodio) y 1,38 de glicerol, cuando el polvo de cáscara de mandarina se encuentra suspendida durante 1 hora a 20°C, la solución mezcla se vertió en placas y aplicó un análisis de varianza unidireccional. Los resultados precisan que las variedades chunjian (CJ) y nanfeng (NF), por su mayor contenido de pectina 18,13 0,79 y 18,43 0,50; respectivamente, contribuyeron a la estabilidad de películas en combinación con la matriz polimérica aportando mayor capacidad de barrera de agua ( $10^{-11} \text{gm}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ), así

como humedad, propiedades mecánicas y retardó la oxidación, aportando una resistencia mecánica de  $4,87 \pm 7,9$  MPa y elongación ( $13,37 \pm 24,62\%$ ), sin interferir en las funcionalidades activas de capacidad antioxidante y antimicrobiano. Concluyeron que las biopelículas evidenciaron capacidades físicas, biodegradabilidad y bioactividad antioxidante.

Bhatia et al. (2024), realizaron una investigación en la que propusieron desarrollar películas basados en la combinación de pectina y goma xantana, agregando proporciones de aceite esencial de pomelo (AEP). Aplicaron un análisis de varianza en cuatro formulaciones, seguido de una prueba Duncan, paralelamente se prepararon soluciones filmógenas (1,5 % p/v) por separado, continuando con la mezcla uniforme incorporando glicerol y se completó con la formación de moldes mediante la técnica fundición, seguido de la integración de AEP en tres tratamientos con una prueba control (PG1: 0  $\mu$ L, PG2: 20  $\mu$ L, PG3: 30  $\mu$ L y PG4: 40  $\mu$ L) secando en condiciones ambientales por 48 horas. Los resultados mostraron mejores efectos sometidos a pruebas estructurales, de barrera permeable ( $0,733 \pm 0,009$  (gmm/m<sup>2</sup>) / (m2.h. akPa)), resistencia ( $8,55 \pm 0,62$  MPa), alargamiento ( $12,68 \pm 1,52$  %), actividades antioxidantes (29,56% DPPH y 51,2 ABTS), observándose en la F4 (AEP: 40  $\mu$ L) sin variar cantidades de biomateriales permitiendo obtener una biopelícula compuesta comestible. Concluyeron que las biopelículas basadas en goma xantana y pectina con aceite esencial de pomelo, presentan propiedades funcionales, mecánicas y aislante de vapores, permitiendo emplear en el envasado de alimentos.

Los investigadores Gómez et al. (2024), indagaron en producir y analizar los efectos pertinentes a las características fisicoquímicas y particularidades funcionales (bioactividad) de films comestibles empleando alginato de sodio con diferentes proporciones de miel melipona, para el estudio utilizaron 6 ml y 4,2 ml, respectivamente. Se aplicó un ANOVA (Análisis de varianza) acoplada a comparaciones de Tukey- Kramer. En este estudio evidenció que la formulación F6 (2 g de matriz y 1,6 g de miel) permitió obtener resultados ideales respecto a las propiedades mecánicas (elasticidad: 283,88 MPa y resistencia: 18,36MPa), plastificantes y cualidades fisicoquímicas, aportando al material biocomestible.

Concluyendo que el compuesto polimérico constada de alginato de sodio acopladas con miel, aportan logros significativos cumpliendo funciones mejoradas de propiedades mecánicas por su acción plastificante y agente funcional, contribuyendo a su empleabilidad en alimentos impidiendo al deterioro de los alimentos.

Karakuş et al. (2023), ejecutaron su investigación sobre el desarrollo y caracterización de películas activas comestibles incorporando residuos de piel de naranja y granada, propusieron elaborar materiales de envasado destinados a la conservación de alimentos, aplicando prueba Duncan en los datos experimentales. Los resultados indican viabilidad mecánica en efecto de la reducción de partículas (0,39 mm y 0,55 mm), reportando mayor resistencia a la tracción (TS) y rotura (EB), para las películas a base de piel de granada mostraron 0,87 MPa y 29,87%, inhibiendo *E. coli* ( $31,25 \pm 0,96$  mm) en los biomateriales a base de piel de granada (5 % p/v), ácido cítrico (5 %) y glicerol (7 %), mientras que los films con piel de naranja no difirieron aquellas que presentan tamaños distintos en la EB ( $40,08 \pm 0,20\%$ ) y resistencia ( $0,86 \pm 0,5$  MPa), exhibiendo zonas de la cepas *E. coli* con  $29 \pm 1,41$  mm, en las biopelículas con adición de cáscara de naranja (2% p/v), 7% de ácido y glicerol (7%), sin embargo, la firmeza TS depende del menor tamaño (53 micras), influyendo en el comportamiento antimicrobiano y antioxidantes. Concluyeron que los subproductos cítricos presentan interés potencial con actividad antimicrobiana y antioxidante, destacado por su naturaleza sostenible compuesta por fenoles, vitamina C y carotenoides, además de las aplicaciones como recubrimiento de alimentos.

Cebrián et al. (2022), quienes en su investigación buscaron determinar la forma de procesar las variantes concentradas en grados de pureza de agares en la empleabilidad para producir películas de envasado y evaluar el rendimiento propicio del biomaterial, a su vez caracterizar a nivel óptico, estructural y mecánico, en cuanto a la muestra para dicho estudio emplearon 1/1 g. La metodología utilizada se basó en la fundición sustentado en producir aplicando análisis de varianza (ANOVA) para comparar cinco periodos (días) de almacenamiento (T1: 0, T2: 3, T3: 7, T4:14 y T5: 30). En esta investigación se comprobó que el tratamiento T4 permanecen con fuerza estable en condiciones de humedad relativa (53%) añadidas con glicerol, manteniendo

actividades mecánicas (E: 640MPa y R:15MPaMPa), permeabilidad frente al vapor de agua ( $1,3 \times 10^{-13} \text{kg/sm}^2 \times \text{Pa}$ ), con estructura semicristalina por su naturaleza purificada correspondiente a las moléculas superficiales del polisacárido. Se concluyó que las biopelículas con agar puro y extractos menos purificado son eficientes para producir films firmes permaneciendo mayor tiempo almacenado, reduciendo costos al obtener los biomateriales bajo protocolo sostenible.

Sierra (2021), en su investigación desarrolló biofilms biodegradables empleando harina de cáscara de naranja, proponiéndose como principal objeto para fabricar y evaluar las cualidades del tipo fisicoquímico y mecánico, este estudio administró una muestra de material reducido de 19,2 g pertinente al remanente biológico cítrico. La realización experimental se aplicó una metodología de superficie de respuesta en la empleabilidad de las variables de estudio sobre la piel de naranja y almidón, para el material activo comestible, agrupando catorce tratamientos. En este estudio investigativo se logró evidenciar que las mejores propiedades determinadas a los niveles de resistencia (1,60 MPa), elongación (25,03%), espesor (0,38 mm) y protector contra el H<sub>2</sub>O (5,77 g/m.h. kPa), correspondiente al T6 (almidón: 5,31% y piel de naranja: 1,51%), presentó ventajas ideales para su contribución en la conservación de alimentos actuando como bioempaque. Concluyendo que los parámetros mecánicos obtenidos indicaron alternativas de utilizaciones en la elaboración de empaques para alimentos sólidos aportando reducciones de impactos ambientales por medio de manufacturas sostenibles.

Taghavi et al. (2021), desarrollaron un trabajo proponiéndose fabricar películas biofuncionales con polvo de cáscara de naranja incorporando gelatina de pescado, continuando con los análisis respectivos en evaluaciones mecánicas, estructurales, físicos, químicos, microbiológicas e inhibidor de oxidación celular. Las determinaciones se compararon aplicando una metodología de Análisis de varianza (ANOVA) en las concentraciones de polvo de piel de *Citrus x sinensis* (C1: 3 %, C2: 9% C3: 12% y C4: 15%) para la preparación de biopelículas. En esta investigación se obtuvo que el tratamiento C4 (15%) mostraron mejores atributos de resistencia, protector microbiano y propiedades antioxidantes, sin embargo, la menor proporción

(C1: 3%) adicionado en las biopelículas de gelatina evidencian mejores flexibilidades (elasticidad:  $64,48\% \pm 1,75\%$ ), resistencia ( $23,21 \pm 0,57\text{MP}$ ) luminosidad de 71,36. Concluyendo que la harina de piel de naranja es una alternativa potencial y económico para emplear en las biopelículas con gelatina o distintos insumos, que evidencian funciones bioactivas y antimicrobianas.

Ramos et al. (2020), con su artículo investigativo plantearon producir bioplástico aportando una fabricación alternativa del empleo de la piel de naranja, evaluando la influencia del empleo de pectina (polímero) combinado con ácido cítrico y glicerol, continuando con las respectivas determinaciones químicas, así como físicas de los biomateriales, para ello se emplearon una muestra del 12% de glicerol. La metodología utilizada corresponde a un diseño experimental para la empleabilidad del agente plastificante (G1:3%, G2: 4% y G3: 5%) y extracción de pectina, destinado en la fabricación del bioplástico. Los resultados evidenciaron que la biopelícula G3 (5% de glicerol) presentó características uniformes, mayor flexibilidad y apariencia física aceptable, sobre los componentes microestructurales y elementales químicos. En conclusión, los biomateriales presentaron aceptables propiedades plastificantes resistentes, cualidades sensoriales para usos posteriores en alimentos y eco-amigable con el medio ambiente promoviendo al no uso de compuestos tóxicos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Moncada et al. (2022), plantearon elaborar biofilms empleando soluciones mezcladas con almidón de maíz, sorbitol y aceite esencial de orégano (AEO), además de caracterizar las propiedades antimicrobianas y mecánicas, para este estudio se empleó 5 kg de hojas de orégano. Se abordó un diseño factorial multinivel, aplicados en las variables de estudio distribuidas en almidón de papa (AP:50-75%), maíz (AM: 25-50%), sorbitol-S (60-80%) y AEO (2,6%), utilizadas en la fabricación de biopelículas. Los resultados muestran que la concentración 2,5% de AEO, logró mayor actividad inhibitoria frente a *Escherichia coli*, en cuanto a la viabilidad resistente se observó en la formulación 5 (S:60%, AP:50%) con  $6,23 \text{ N/mm}^2$  y 14,67% de elasticidad mínima. Encontrándose mayor compatibilidad en las menores cantidades en aquellos biofilms elaborados con una solución filmogénica que utilizan polímeros

hidrofóbicos, AE y agentes plastificantes, proporcionando cualidades considerables para sus posteriores usos.

Ramos (2022), planteó evaluar la idoneidad de concentraciones correspondientes al alginato de sodio (AS) y aceite esencial de tomillo (AET) para elaborar un material conservador de filetes de caballa, a su vez caracterizar sus propiedades microbiológicas y fisicoquímico, para este estudio se trabajó con muestras polimérica y planta, aplicando sobre una población de caballas. La metodología empleada a nivel estadístico constó en aplicar un análisis de varianza a las variables de estudio, respecto a las cantidades de AS (T1: 0%, T2: 1,5% y T3: 3%) y AET (T1: 0%, T2: 0,5% y T3: 1%) y su relación aplicativa a la carne del pescado caballa. En esta investigación se comprobaron la viabilidad respecto a las mejores cualidades del tratamiento 3 (AS:3% y AET: 1%), logrando proteger el producto cárnico originario del pescado contra los aerobios mesófilos, cumpliendo con la seguridad alimentaria al no exceder el parámetro (5,44 UFC/g) aceptable para consumo. El estudio concluyó que los recubrimientos con alginato de sodio y AET mantienen un comportamiento antibacteriano ayudando a conservar los productos hidrobiológicos sin afectar a sus componentes sensoriales y atributos fisicoquímicos.

Salazar (2021) se propuso evaluar las proporciones ideales correspondientes al aceite esencial de *Origanum vulgare* (AEO) y *Thymus vulgaris* (AET), incorporados en almidón de camote (AC) para fabricar biofilms activos, empleando al 3% en total por AE y 5 g (AC), a su vez, caracterizar fisicoquímicamente y microorganismos detectados. Se aplicó un análisis estadístico Anova, utilizado en comparaciones de las variables estudiados en los diferentes tratamientos de AE diseñados en 4 muestras (AEO: 1%, AEO: 2%, AET: 1% y AET:2%) y una muestra control. Los resultados indican que todos los biofilms evidencian mayores capacidades antimicrobianas (E.coli: 3,5 log CFU/g) aportados por AEO (2%), mientras que el AET al 2% añadidas mostraron menor protección frente a *E. coli* y *S. aureus*. Finalmente, concluyeron que los biofilms conservan al producto cárnico durante nueve días almacenados a 4 °C por sus composiciones inhibitorias y acción antioxidante, resaltando su potencialidad para producir envases alimenticios.

Rivera et al. (2020), se propusieron analizar las características del empaque biodegradable empleando un polímero (xantana) y almidón obtenido del tubérculo *Colocasia esculenta*, a su vez evaluaron la función biodegradativa, para ello se estudiaron dos muestras de 14,1 gramos de goma xantana (GX) y 13,9 g de almidón de vituca (AV). La metodología que se empleó consta de un diseño factorial múltiple en las variables estudiados de cantidades de GX y AV, distribuidas en nueve tratamientos variando entre 2,35 a 7 g, y 2,3 a 7 g, respectivamente, en la elaboración del biomaterial. En esta investigación sustenta que el tratamiento T3 (7,05 g xantana y 7 g de almidón) presentó mejor elasticidad con promedio de 7,1 mm, mientras que el T1 (7,05 GX y 2,3 AV) reportó mayor capacidad de biodescomposición natural con un total de 0,0258 %, que contribuyó a una mayor rigidez. Concluyeron que el empaque sostenible con polímero y almidón de vituca, aportan al posible desarrollo de procesos sintetizadas promovido por la efectividad de sus propiedades elásticas, extensibilidad y manejabilidad combinatoria entre polímeros naturales.

Alata et al. (2019), buscaron producir biopelículas aplicando piel de naranja y un polisacárido bacteriano (PB), además de evaluar las cualidades mecánicas, para este estudio se empleó dos muestras constituidas por 30 g de harina de piel de naranja (PN) y 50 g de PB. Concernientemente a la metodología experimental en la primera etapa fue encontrar la formulación idónea basado en la mezcla filmogénica: PN, pectina y glicerina, prosiguiendo con la segunda fase se consideró como base al mejor biofilm obtenido, evaluando el reemplazo parcial de PN (E1:0g, E2:15g, E3:10g y E4:5g) con PB (E1:20g, E2:5g, E3:10g y E4:15g). Los resultados previamente analizados, aseguran no alterar los atributos mecánicos de los biofilms sustituidos por celulosa bacteriana, observando que el mejor tratamiento E2 (PN:15g y PB:5g) ostentan una mejor resistencia ( $5,53\text{N/mm}^2$ ), elongación de 51,6 % y conservador a la permeabilidad al agua ( $0,0273\text{ g.mm/h.kPam}^2$ ). Concluyendo que los bioensayos de biopelículas con piel cítrica favorecen la incorporación de agentes reforzantes incrementando la aplicabilidad e integridad protector en productos alimenticios.

## **2.2.Bases teóricas**

### **2.2.1. Naranja**

#### **A) Descripción botánica**

Es un fruto cítrico de especie subtropical, sus cultivos se extienden por la selva peruana en condiciones de temperatura cálida, además del contenido de vitamina C y B, flavonoides, fibras solubles y bajas calorías; aportan beneficios hacia la salud (Brito, 2022).

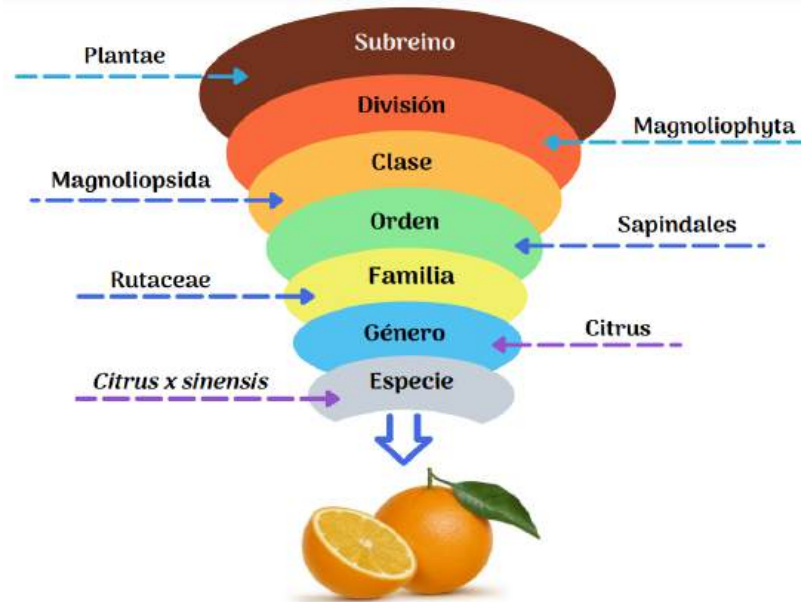
Agustí et al. (2020) señalan la forma y tamaño variables de los árboles, sus hojas son de tamaños mediano unifoliadas con espinas en las zonas axiales, con respecto a las flores presenta inflorescencia y multiflorales, por cada rama tiene 5 pétalos blancos, 20 a 40 estambre y carpelos desde 8 hasta 10. El fruto es de forma esférica de color naranjado o amarillo conteniendo zumo en cada uno, están unidos por filamentos vasculares; asimismo, sus semillas son redondas con uno o varios embriones y la corteza está caracterizada por el aceite esencial.

#### **B) Taxonomía**

La Figura 2 representa la taxonomía del fruto de naranja, explicado por componentes diferentes desde el reino a especie, este fruto conocido por sus nombres comunes como naranjo agrio, naranjo amargo y naranjo cucho.

## Figura 2

*Taxonomía de la naranja.*



*Nota.* En la figura muestra la taxonomía de la fruta naranja (*Citrus x sinensis*). Adaptado de Ollitrault et al. (2020).

### C) Composición nutricional

La naranja contiene nutrientes y fitoquímicos beneficiosos para la salud, en especial los jugos de frutas con su papel crucial en la dieta diaria de los seres humanos contribuyendo con numerosos macronutrientes (Tiencheu et al., 2021). Por consiguiente, la pulpa de este fruto cítrico es fuente de compuestos fenólicos, antioxidantes y fenólicos (Hou et al., 2021).

La Tabla 1 especifica los compuestos nutricionales de la naranja por cada 100 gramos, considerada un alimento nutritivo, dietético y terapéutico debido a sus beneficios; en efecto a su contenido resaltante de vitamina C con 50 mg, 200 mg de potasio, 36 mg de calcio, 40 µg de vitamina A, 28 mg de fósforo y bajo aporte calórico con 76%.

**Tabla 1**

*Análisis proximal de la naranja por cada 100 gramos.*

Componentes	Cantidad	Unidad	Referencias
Calorías	46	%	(Arévalo, 2013)

	0,7	%	(Arévalo, 2013)
Proteínas	0,8	g	(Córdova, 2017)
	1,00	g	(Portada, 2022)
Grasa	0,29	g	(Portada, 2022)
	0,2	%	(Arévalo, 2013)
Carbohidratos	11,5	%	(Arévalo, 2013)
Fibra cruda	2,4	%	(Arévalo, 2013)
	2	g	(Córdova, 2017)
Calcio	36	mg	(Alcívar & Alexander, 2020)
	36	mg	(Córdova, 2017)
Hierro	0,3	mg	(Alcívar & Alexander, 2020)
	0,3	mg	(Córdova, 2017)
Magnesio	12	mg	(Alcívar & Alexander, 2020)
	12	mg	(Córdova, 2017)
Fósforo	28	mg	(Alcívar & Alexander, 2020)
Potasio	200	mg	(Córdova, 2017)
Vitamina C	50	mg	(Alcívar & Alexander, 2020)
Vitamina A	40	µg	(Mendoza, 2019)
Vitamina B6	0,06	mg	(Mendoza, 2019)
Yodo	2	µg	(Alcívar & Alexander, 2020)
Zinc	0,18	mg	(Mendoza, 2019)
Tiamina	0,1	mg	(Alcívar & Alexander, 2020)

*Nota.* La tabla muestra el contenido de nutrientes de la naranja descrita por diferentes autores.

#### D) Características fisicoquímicas

**Tabla 2**

*Composición fisicoquímica de la naranja por cada 100 g de muestra fresca.*

<b>Parámetro</b>	<b>(Avalo et al., 2009)</b>	<b>(Tenorio, 2016)</b>	<b>(Yajahuanca, 2021)</b>
Sólidos solubles (°Brix)	13,00 ±0,1	13.2±0,1	11,95
Acidez titulable (%p/p, g a.c/100 muestra)	1,47±0,00	NR	0,90

Acidez iónica pH	3,63±0,01	3,41±0,01	NR
Azúcares totales (g/100ml de jugo)	6,92±0,00	NR	NR
Azúcares reductores (g/100ml de jugo)	3,08±0,02	NR	NR
Azúcares no reductores (g sacarosa/100ml de jugo)	3,84±0,02	NR	NR
Densidad (g/m <sup>3</sup> )	1,0567±0,0002	NR	NR
Vitamina C	50,05±0,78	0,65±0,01	NR

*Nota.* La tabla muestra los parámetros fisicoquímicos de 100 g muestra fresca de naranja (zumo).

NR: No reportado

La Tabla 2 muestra la composición fisicoquímica en base 100 gramos de muestra fresca de naranja (*Citrus x sinensis*), reportando mayor cantidad de vitamina C, sólidos solubles y azúcares totales; asimismo, tiene un pH ácido, densidad  $1,0567 \pm 0,0002$  y azúcares reductores  $3,08 \pm 0,02$  según Avalo et al. (2009).

### 2.2.2. Cáscara de naranja

#### A) Definición

Se define la parte externa protectora que cubre el fruto denominado cáscara o piel vegetal de color naranja con forma rugosa o lisa de sabor ácido dependiendo a la variedad, contiene fibras de celulosa, pectina y aceites esenciales; considerándose factible para elaboración de biopelículas biodegradables comestibles (Acebo, 2022).

Asimismo, el subproducto de naranja constituye más del 50% con respecto al peso total de la fruta formado por fibras celulósicas calificado como

reforzante aportando cualidades mecánicas en biomateriales comestibles (Mamman & Ramalan, 2020).

## B) Características nutricionales

**Tabla 3**

*Análisis proximal de la cáscara de naranja por g/100 g de muestra.*

Componente	Cantidad	Unidad	Fuente
Sólidos solubles	1,33 ± 1,18	%	(Andamay & Acosta, 2020)
Humedad	67,4 ± 0,78	%	(Andamay & Acosta, 2020)
	66,50 ± 0,016	%	(Tenorio, 2016)
Proteína	2,17 ± 0,26	%	(Andamay & Acosta, 2020)
	6,00	%	(Castro & Montalvo, 2019)
	82	%	(Vázquez, 2014)
Grasa	6,00	%	(Castro & Montalvo, 2019)
	0,917 ± 0,12	%	(Andamay & Acosta, 2020)
Cenizas	3,29 ± 0,04	%	(Andamay & Acosta, 2020)
	6,90	%	(Castro & Montalvo, 2019)
Fibra cruda	10,5 ± 0,06	%	(Andamay & Acosta, 2020)
	62,70	%	(Castro & Montalvo, 2019)
Carbohidratos	14,5	%	(Andamay & Acosta, 2020)
Calcio	14	%	(Vázquez, 2014)
Fósforo	2	%	(Vázquez, 2014)

*Nota.* La tabla representa la composición de la cáscara de naranja por cada 100 gramos.

La Tabla 3, muestra los componentes nutricionales de la cáscara de naranja, donde se resalta mayor contenido de proteínas con 82%, humedad 66,50 ± 0,016 %, fibra cruda 62,70 % y carbohidratos 14,5 %.

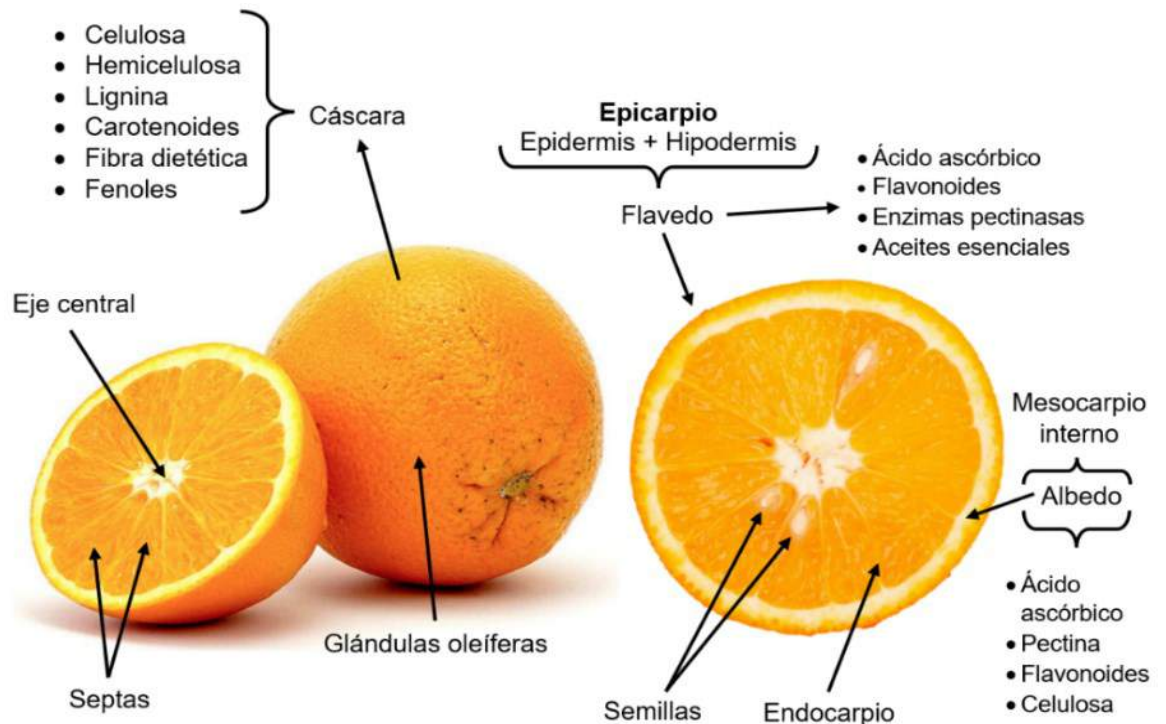
Además, los residuos de piel de naranja no presentan susceptibilidad al someter procesos térmicos debido a contenido de agua presente, manteniendo 0,687% de carbono fijo representando la parte no volátil; 0,052% de cenizas y una humedad de 73,530% (Ayala et al., 2021).

### C) Componentes de las partes de la piel de naranja

Desde investigaciones científicas hasta el campo industrial es conocido por sus atributos en fuentes bioactivos de valor significativo aplicativo en alternativas sostenibles (Moawad et al., 2022), repercutiendo a su perfil volátil indicativo a la naturaleza química acorde al contenido de carotenoides exhibida en la pigmentación y el biomaterial biológico que proporciona agentes nutracéuticos (Chávez et al., 2024). Calificado como fuente valioso preventivo de enfermedades crónicas evitando riesgos antiinflamatorios y toxicológicos (Meléndez et al., 2022).

**Figura 3**

*Componentes de la piel de naranja.*



*Nota.* La figura detalla las partes más relevantes concerniente al fruto y cáscara de naranja.

Adaptado de Wong et al. (2020).

#### D) Composición fisicoquímica

Como se observa en la Tabla 4, el subproducto (cáscara de naranja) posee relevantes componentes para la nutrición humana debido a su contenido de proteínas, carbohidratos, grasas y fibra cruda; además, presenta  $17 \pm 5\%$  de pectina natural, utilizado ampliamente en la industria agroalimentaria debido a sus propiedades gelificante, espesante y estabilizante (Fan et al., 2022).

**Tabla 4**

*Análisis proximal de la cáscara de naranja.*

Componente	Cantidad	Referencias
	10	(Cabrera et al., 2020)
Proteína %	0,28	(Dias et al., 2020)
	$6,85 \pm 0,00$	(Lachos et al., 2020)
Carbohidratos %	$58,62 \pm 0,42$	(Dias et al., 2020)
	62,70	(Castro & Montalvo, 2019)
Grasas %	3,2	(Castro & Montalvo, 2019)
	$1,55 \pm 0,17$	(Cerón & Cardona, 2011)
Fibra cruda %	$20,14 \pm 0,88$	(Dias et al., 2020)
	$10,5 \pm 0,056$	(Andamay, 2020)
	30,80	(Cabrera et al., 2020)
Cenizas %	3,61	(Ortiz et al., 2021)
	7,92	(Cabrera et al., 2020)
	$4,92 \pm 0,04$	(Dias et al., 2020)
Humedad %	$67,4 \pm 0,780$	(Andamay, 2020)
	$49,61 \pm 1,71$	(Dias et al., 2020)
	$8,71 \pm 0,03$	(Lachos et al., 2020)
	$7,1 \pm 1,2$	(Cerón & Cardona, 2011)

Sólidos solubles (°Brix)	1,33 ± 1,179	(Andamay, 2020)
Pectina %	19,62 ± 3,24	(Lachos et al., 2020)

**Tabla 5**

*Composición química proximal de piel cítrico (naranja).*

Componentes	(Huang et al., 2021)	(Zhou et al., 2023)
Celulosa (%)	20,20 ± 0,32	25,87 ± 0,89
Hemicelulosa (%)	10,09 ± 0,14	14,21 ± 1,52
Lignina (%)	8,76 ± 0,36	8,77 ± 1,28
Fibra dietética soluble (%)	16,08 ± 0,38	14,48 ± 0,61
Fibra dietética insoluble (%)	40,95 ± 0,88	50,92 ± 0,70
Pectina (%)	15,23 ± 0,50	12,60 ± 1,11
Proteína (%)	6,07 ± 0,18	6,04 ± 0,44
Ceniza (%)	3,83 ± 0,07	3,83 ± 0,02
Polifenoles (mg GAE/g)	ND	28,63 ± 1,62
Carbohidratos Totales (g)	0,93 ± 0,045	84,34 ± 0,34

*Nota.* La presente tabla indica los componentes químico proximal de la parte externa del fruto naranja.

ND: No determinado.

### **E) Compuestos bioactivos**

La cáscara de naranja contiene compuestos fenólicos con fuentes bioactivos como los ácidos fenólicos, flavonoides y polimetoxiflavonas; estos compuestos biológicos activos brindan propiedades beneficiosas para la salud como antioxidantes, antiinflamatorias, antialérgicas, antivirales, anticancerígenas, neuroprotectoras y antimicrobianos (Rafiq et al., 2018).

Gómez et al. (2019) identificaron que el tipo de polifenol encontrada en cáscara de cítricos fue la flavanona hesperidina con 280 – 673 mg.g<sup>-1</sup>; sin embargo, recalcan que para obtener más eficiencia de extracción de polifenoles,

es necesario aplicar 62°C para tener un máximo rendimiento de polifenoles en función al analito estudiado como el etanol.

Asimismo, existe una intrínseca relación de polifenoles estudiados como el caso de la arginina, con respecto a la eliminación de radicales libres DPPH y actividad antioxidante total (Oboh & Ademosun, 2012).

### **2.2.3. Orégano**

#### **A) Concepto**

El orégano es una planta originaria del Mediterráneo de Europa y Asia Central, cultivada como hiervas aromáticas en altitudes a más de 2400 m.s.n.m. en condiciones climatológicas templadas, así como ambientes soleados en suelos arcillosos e inclusive arenosos, esta especie posee hojas de color verde claro con forma ovalada. La utilización es difundida por los antepasados pobladores para infusiones, extractos, calmantes y antiparasitaria (Posligua, 2021).

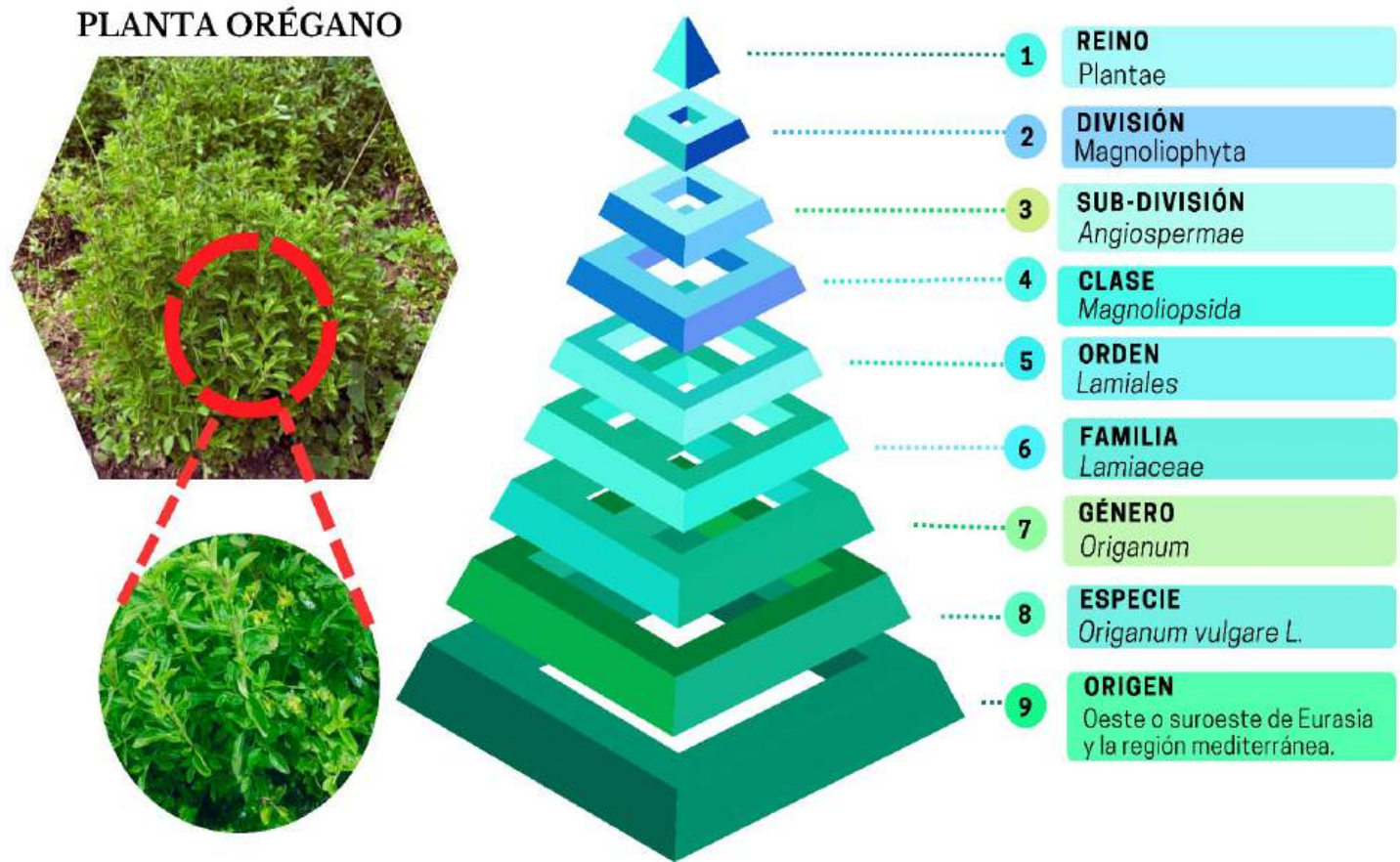
Por otra parte, su uso se encuentra extendida en campos de la medicina tradicional, industria alimentaria, farmacéutica, cosmetología y aromaterapia (Karpiński, 2020).

#### **B) Descripción taxonómica y botánica**

*Origanum vulgare* pertenece a la familia Lamiaceae, actualmente existen cuatro grupos de familias entre ellas están *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae* y *Verbenaceae*, además de encontrarse 16 a 27 géneros y más de 60 especies. Su tallo puede alcanzar alturas desde 50 a 90 cm, presenta un aroma característico debido al aceite esencial (compuesto timol) y los pelos glandulares ubicados en toda su estructura (García & Rayo, 2018).

**Figura 4**

*Taxonomía del orégano.*



*Nota.* Se representa la taxonomía de la planta orégano (*Origanum vulgare*). Adaptado de Aigaje (2015).

### **C) Características morfológicas**

#### **a) Hojas:**

Las hojas presentan coloración verde con variantes matices de formas ovaladas, similares a diseños elípticos con terminaciones en puntas características por genotipo de la planta orégano de tamaño entre 1 a 4 centímetros de largo (Aros, 2021).

#### **b) Tallo**

Tiene tallos ramificados de forma cuadrangular de coloraciones variantes dependiendo del genotipo con tonalidades verde, rojizas y violeta (Aros, 2021).

**c) Raíz**

El sistema de raíces de esta planta es delgado, fascicular, fibrosa y ramificado. Tiene rizomas en el tallo horizontal son de color negruzco donde produce nuevas raíces ayuda al crecimiento absorbiendo nutrientes del suelo, llegando a medir hasta un metro de altura en función al genotipo (Aros, 2021).

**d) Inflorescencia**

Está comprendida de una estructura de forma de espiga agrupados en racimos florales con forma cilíndrica de 18 centímetros de largo y contiene brácteas con forma alargada de 9 milímetros de largo con matiz púrpura (Díaz et al., 2020).

**e) Flor**

Variación de flores desde color blanco a púrpura, contemplando tamaños pequeños dependiendo a la variedad dispuestos en grupos en verticilos conformando espigas ubicados en las inflorescencias terminales llegando a medir hasta 10 cm de largo (Díaz et al., 2020).

**f) Fruto**

Contienen frutos en pequeñas cápsulas secas y es utilizado en la extracción de aceite esencial para producir productos en el ámbito de perfumería, medicinal y cosmético (Díaz et al., 2020).

**g) Semilla**

La semilla mide menos de 2,5 mm de color café de formas redondas con aroma característico y sabor astringente, son producidos por la planta después de la floración (Díaz et al., 2020).

**D) Composición nutricional**

Loyaga et al. (2020) indican que los componentes de la planta *Origanum vulgare*, difiere según las condiciones climáticas, el periodo de estación y el origen geográfico, existen compuestos antioxidantes primordiales como el ácido gálico, flavonoides, ácido cafeico, carvacrol y timol, estas se encuentran en las partes de las hojas.

**Tabla 6***Análisis proximal de la planta orégano.*

Componentes	Cantidad	Fuente
Proteínas	11 g	(Barral, 2020)
Carbohidratos	21,3 g	(Barral, 2020)
Grasas	10,25 g	(Barral, 2020)
Fibra	42,8 g	(Barral, 2020)
Fosforo disponible	0,23 %	(Loyaga et al., 2020)
Calcio	3,12 %	(Loyaga et al., 2020)
Lisina	1,09 %	(Loyaga et al., 2020)
Metionina + Cisteína	0,59 %	(Loyaga et al., 2020)
Metionina	0,56 %	(Loyaga et al., 2020)

*Nota.* En la tabla muestra la composición nutricional de la planta orégano por cada 100 gramos.

### E) Variedades

El Instituto Nacional de innovación Agraria (INIA) e investigadores pertenecientes a las universidades del Perú del San Agustín y Católica de Santa María identificaron dos variedades de orégano: *Origanum x plegatifolium* (Zambito) y la segunda especie es *Origaum x intercedens* conocido con el nombre orégano “chinito”, son diferenciadas por sus formas características de sus hojas, estas son cultivadas en el distrito de Chiguta, región de Arequipa (Andina, 2023).

Existen variedades de orégano agrupados por el cultivo e importancia económica a nivel mundial, explicado en la Tabla 7.

**Tabla 7***Variedades de orégano.*

Agrupación de variedad	Propiedades	Características	Bibliografía
Orégano turco ( <i>Origanum onites</i> )	Aportes digestivos, reductor del crecimiento	Hojas vellosas, flores de color purpura a blanco y planta	(Lukas & Novak, 2020)

	microbiano y reductor de oxidación celular.	de un metro de altura.	
Orégano español ( <i>Coridothymus capitatus</i> )	Antibacterianas, antiparasitarias, antioxidantes y antiviral.	Hojas puntiagudas de color verde, flores púrpuras y tallo ramificado. Flores en proceso de secado	(Tseliou et al., 2019)
Orégano griego ( <i>Origanum vulgare</i> )	Antioxidante, antimicrobiano, antiinflamatorio, antifúngico y polifenólico.	conservando vitalidad y las hojas presentan aroma y sabor intenso. Sabor intenso,	(Gutiérrez et al., 2019)
Orégano mexicano ( <i>Lipia graveolens</i> )	Protector de trastornos oxidativos y antimicrobianas.	presenta flores de color blanco, hojas ovaladas y tallo ramificadas.	(León et al., 2020)

*Nota.* La tabla explica los tipos de variedades de orégano.

#### **F) Principios bioactivos en *Origanum vulgare***

La extracción de compuestos bioactivos aplicando tecnologías verdes (plasma de descarga eléctrica de alto voltaje HVED) en las hojas secas de orégano permitió recuperar componentes polifenólicos con ventajas sostenibles sin toxicidad, influyendo en los compuestos del aceite esencial de la planta, evidenciando presentar timol, carvacrol, capacidad antioxidante y principios bioactivos al trabajar con menos del porcentaje (25%) de etanol (Nutrizio et al., 2021).

## 2.2.4. Aceite esencial de orégano (AEO)

### A) Concepto

Son compuestos aromáticos de origen vegetal extraídos a partir del *Origanum vulgare* utilizando distintos tipos de métodos con o sin emplear un solvente específico (hexano, éter dietílico, acetato de metilo, etc), poseen características particulares como metabolitos secundarios de naturaleza volátil (Avola et al., 2020).

### B) Descripción

Para extraer el aceite esencial de orégano de la planta (hojas, tallo y fruto) en estado fresco y seco, existen distintos métodos de aplicación, por su contenido de carvacrol/ $\gamma$ -terpineno entre 40 y 70 % alcanzado al inicio de floración (orégano convencional) y otros genotipos se encuentra en la extracción en la etapa en plena floración del vegetal (*Origanum griego*), este compuesto volátil se caracteriza por su aroma y sabor intenso (Węglarz et al., 2020).

### C) Componentes bioquímicos

Constituye químicamente, en su mayoría, los fenoles principales reportados como el timol y carvacrol. Estos contienen minoría de hidrocarburos monoterpénicos:  $\alpha$ -limoneno,  $\beta$ -pineno y p-cimeno, proporcionan distintas actividades benéficas incluidas notables propiedades antifúngica, antioxidantes, antibacteriana, actividad inhibidora de radicales y efectos sobre la actividad cardíaca (Zakaria et al., 2020).

Los compuestos monoterpenos registran mayores cantidades por su naturaleza vegetal a la variedad de orégano son responsables de aportar la actividad antimicrobiana por sus compuestos fenólicos específicamente timol y carvacrol.

**Tabla 8**

*Composición química del aceite esencial de orégano en plena floración en 100 ml de mezcla.*

<b>Componentes</b>	<b>(Pérez et al., 2020)</b>	<b>(Węglarz et al., 2020)</b>	<b>(Napoli et al., 2020)</b>
Carvacrol	1,7	0,83	0,23
Timol	11,90	30,87	47,04
Borneol	ND	2,74	0,11
$\alpha$ -Tujeno	0,77	4,39	1,77
$\alpha$ -Pino	0,52	0,28	0,75
Sabineno	4,44	0,51	0,16
$\beta$ -pino	0,23	3,23	0,16
$\beta$ -Mirceno	1,44	ND	2,69
$\alpha$ - Felandreno	0,32	0,41	0,36
$\alpha$ -Terpino	5,57	4,28	3,35
p-cimeno	2,73	14,53	7,42
$\beta$ -cis-Ocimeno	0,16	ND	2,79
$\gamma$ -Terpino	11,8	22,99	20,31
$\beta$ -Linalool	0,81	3,45	0,18
Cis- $\beta$ -Terpineol	20,68	0,22	0,08
Timol metil éter	1,57	0,83	0,87
Carvacrol metil éter	1,39	4,84	3,70
Trans-ocimeno	2,73	0,13	0,37
L-4-terpineol	10,09	1,24	0,47
$\alpha$ -Terpineol	2,5	4,28	0,07
$\beta$ -Cariofileno	3,31	1,18	2,08

*Nota.* Esta tabla muestra cuantificaciones variantes en los componentes del aceite esencial de orégano, analizados por diferentes autores.

ND: No detectado.

#### **D) Principios bioactivos en *Origanum vulgare***

Los compuestos fenólicos aromáticos más investigados del aceite esencial del orégano incluyen el carvacrol, timol, moléculas terpenoides,

monoterpenos ( $\rho$ -cimeno,  $\gamma$ -terpineno) y alcoholes, aportan propiedades comúnmente conocidos como antimicrobianos (inhibidor del crecimiento de microorganismos patógenos), antifúngicas, antibióticos y función antioxidante (tocoferoles, monofenoles: timol y carvacrol), ayudando a prevenir enfermedades evitando la oxidación celular al impedir la formación de hidroperóxido (D'Amato et al., 2024).

#### **E) Actividad antimicrobiana**

Los indicios en la investigación antifúngica muestran propiedades inhibitorias del aceite esencial de orégano por sus compuestos integrado de carvacrol,  $\rho$ -cimeno, terpineno, timol y linalol, estos compuestos contribuyen a suprimir el crecimiento de cepas bacterianas, variedades de microorganismos incluidos patógenos y hongos transmitidos adheridos en los alimentos, al aplicar concentraciones mínimas bactericidas e inhibitorias contra seres unicelulares perjudiciales (Cheng et al., 2024).

#### **F) Aplicaciones y usos**

Existen diversas empleabilidades del AEO en formulaciones destinados a variabilidades de ámbitos por sus propiedades medicinales, antifúngicos, antifungicidas, antivirales, antihelmíntica e insecticidas, entre ellos se encuentran en formulaciones cosméticas, nutraceúticas, alimentarios, bioenvasados, producción avícola y aditivos funcionales, por su particularidad económico y seguro (Caputo et al., 2022).

#### **G) Métodos de extracción**

##### **Extracción de aceite por arrastre por vapor**

La metodología simplificado ayuda a obtener compuestos aromáticos volátiles y agua floral (hidrolato) durante el proceso realizado en las partes de los vegetales (frutos y plantas) como las hojas, tallo, fruto, semillas, raíces y cáscaras, basado en la destilación por arrastre de vapor, al interactuar la materia prima con vapor de agua sin utilizar solventes químicos que segura la pureza y calidad, implicando desde la preparación de materia prima, la destilación simple (potencia y tiempo) y la extracción del aceite esencial y líquido (Machado et al., 2022).

La teoría científica que sustenta la extracción aceites esenciales ejecutando arrastre de vapor se basa en la ley de Danton, formulada en 1802, donde establece que la presión total ejercida en una mezcla de gases es igual a las sumas de las presiones parciales de cada componente individual (Rios, 2007; Petrucci et al., 2017). En el desarrollo del método experimental, este principio es relevante comprender los factores influyentes que permiten vaporizarse al estar bajo temperaturas menores al punto de ebullición (Klika & Votinská, 2023). Asimismo, al introducir vapor, facilita una extracción eficiente sin elevar la temperatura que degrada la calidad y composición del aceite.

### **2.2.5. Matrices poliméricas para desarrollo de biopelículas**

#### **A) Definición**

Son moléculas orgánicas que son parte de diversos productos obtenidos a partir de combustibles fósiles, asimismo, estas moléculas están formadas por unidades más pequeñas llamadas monómeros, y estos se encuentran formados por átomos de carbono (Choudhary et al., 2023).

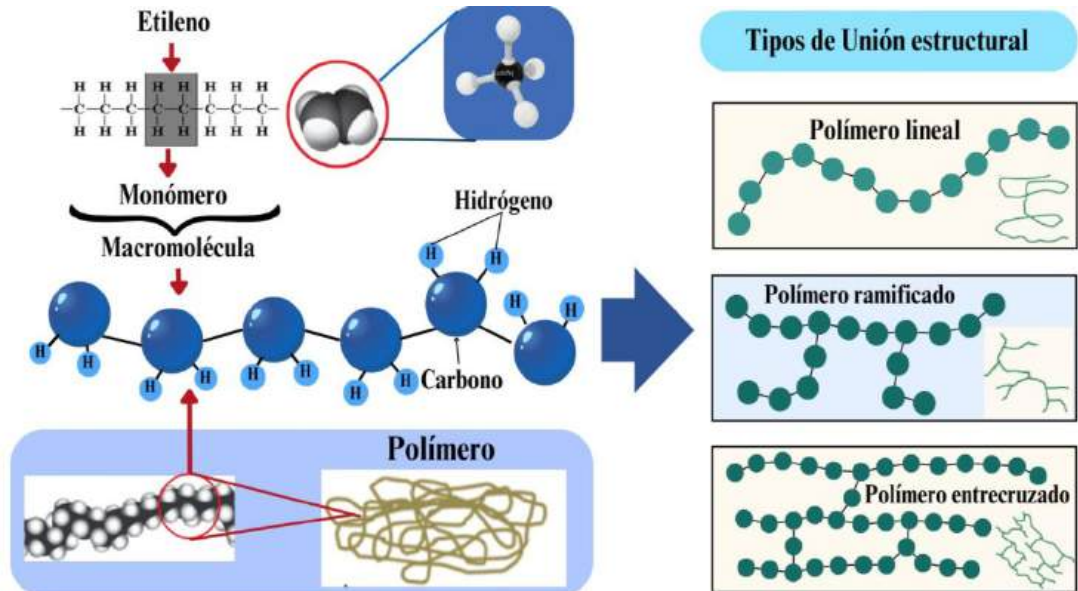
En términos científicos, las matrices poliméricas están respaldadas por la teoría de materiales compuestos, la cual se basa en su función como reforzante de otros materiales para mejorar su estructura, propiedades mecánicas y comportamiento que facilita su uso versátil en diversas aplicaciones, que abarcan desde áreas de ingeniería hasta medicina (Tsai & Marco, 2021).

#### **B) Estructura**

Rodríguez & González (2018) indican que los polímeros de cadenas largas están unidos por átomos con interacciones de electrones conteniendo alto peso molecular, cuya estructura consiste en múltiples repeticiones de moléculas de carbono explicado en la Figura 5.

**Figura 5**

*Estructura de polímeros unidos en forma lineal o ramificados.*



*Nota.* Los polímeros compuestos por clasificación de forma. Adaptado de Cortizo et al. (2023).

### C) Clasificación

- **Matrices obtenidas a partir de hidrocoloides:**

La formación de cadena polimérica agrupados de polisacáridos y proteínas con grupos complejos por cada tipo, aportan propiedades flexibles, hidrofóbica, delimitador de oxígeno y dióxido de carbono. Entre algunas variantes de esta naturaleza se encuentran goma arábica, xantana, carragenina, alginatos, pectina y carboximetilcelulosa, son viscosas en su mayoría al dispersarse con moléculas de agua (Moreno et al., 2020).

- **Matrices obtenidas a partir de polisacáridos:**

- **Almidones:** son utilizados para fabricar biopelículas y recubrimientos, debido a sus polímeros comestibles que actúa como una barrera del oxígeno, lípidos y ayudar a mejorar la textura (Guaña et al., 2022).
- **Pectinas:** integra parte del grupo de polisacáridos que se encuentran en la mayoría de las plantas, especialmente en los cítricos (Guaña et al., 2022).
- **Lípidos:** son matrices orgánicas con características insolubles o hidrofóbicos que contribuye actuando de barrera contra la humedad y conservador de la transpiración, algunos usualmente utilizados son los

ácidos grasos (compuestos por triglicéridos), aceites, ceras (abeja), lípidos compuestos (glicolípidos y fosfolípidos), derivados (terpenos, carotenoides y esteroides) hasta sustancias más simples (Zubair et al., 2021).

- **Matrices a partir de proteínas:**

Las proteínas tienen características viables para brindar rigidez, estabilidad térmica y propiedad de barrera, presentando carácter hidrofóbico al disminuir el intercambio gaseoso de oxígeno y dióxido de carbono (Solano et al., 2018).

- **Caseína:** la utilidad en producción de biopelículas comestibles es obtenida después del precipitado de la macromolécula caseína con aportes flexibilidad, coloración transparentes e insípidas, estas compuestas por varios elementos como b-lactoglobulina, peptonas, proteosas, caseinato cálcico, b-caseína y kappa caseína formadora de partículas de micela, actuador de soporte antioxidante, vitamínico y antimicrobiano (Enujiugha & Oyinloye, 2019).

- **Proteínas de lactosuero:** Las proteínas de suero polimerizadas constituyen propiedades funcionales similares a las sales emulsionantes, que tiene la función de estabilizante, ayudando a mezclar dos tipos de sustancias distintas (Solowiej et al., 2020).

- **Quitosano:** Es un polímero obtenido a partir de desechos pesqueros (exoesqueleto) mediante el proceso sometido de desacetilación en la quitina, conocido debido a la naturaleza biológica, biocompatible y resistente antimicrobiano, para uso de material activo en películas y recubrimientos comestibles aplicados como conservante de alimentos como frutas, verduras y algunos productos mínimamente procesados, conservando más tiempo sus características (Abera et al., 2024).

#### **D) Características**

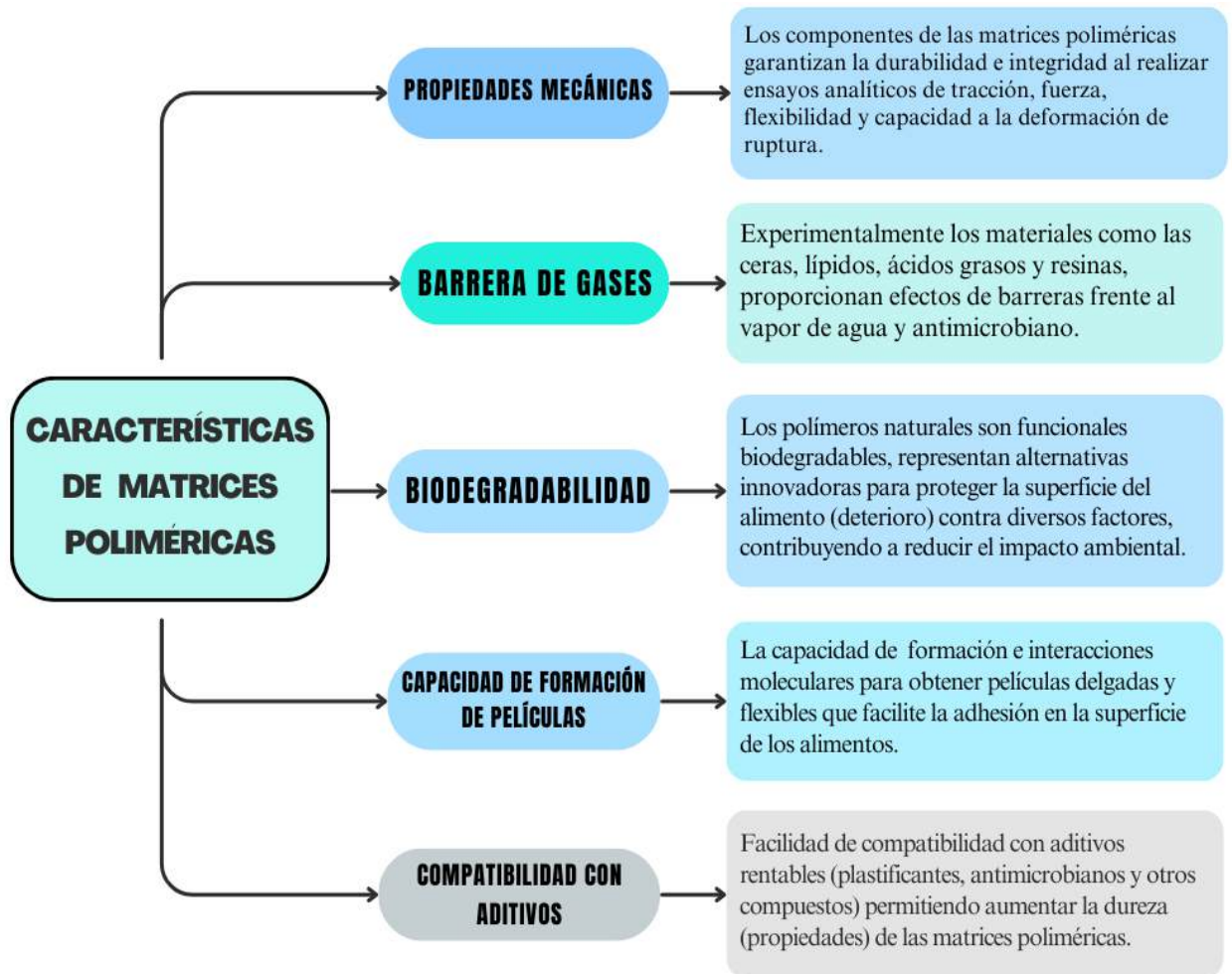
Las particularidades portadoras por la funcionalidad de las matrices poliméricas para la formación de biopelículas y recubrimiento comestibles se describen en la Figura 6. Las descripciones de las cualidades de las matrices

poliméricas fueron indicadas en función a cinco factores imprescindibles que poseen para fabricaciones posteriores, especificándose propiedades mecánicas, barrera de gases, biodegradabilidad, capacidad de interacción molecular y compatibilidad con distintos aditivos naturales.

Asimismo, el compuesto forma parte crucial en las aplicaciones y combinación con otros materiales que cumplen funciones esenciales como resistencia física, química y mecánica, proporcionando ventajas facilitadoras al desarrollo de procesamiento y reciclabilidad única de carácter biológico.

**Figura 6**

*Cualidades de matrices poliméricas en la formación de biopelículas comestibles.*



*Nota.* El esquema explica los aportes de características a partir de matrices poliméricas naturales en la producción de biopelículas comestibles. Adaptado de Barbosa et al. (2024).

### **2.2.5.1. Polímeros de origen natural**

#### **a. Polisacáridos**

Son compuestos poliméricos formado por la unión de macromoléculas de monosacáridos (hidratos de carbono) mediante enlaces de glucosídicos agrupados en homopolisacáridos y heteropolisacáridos, contribuyendo al desarrollo de estructuras orgánicas, almacenar energía y medio protector ante particulares factores o fenómenos (Wang et al., 2024).

### **2.2.5.2. Alginato de sodio (AS)**

Es un polisacárido natural marino obtenido de especies específicas de algas pardas, concretamente *Laminaria*, *Ascophyllum* y *Macrocystis*, estas son sometidos a procesos de tratado de la pared celular con solución de carbonato de sodio, seguido de una purificación para conseguir partículas granuladas en estado polvo, utilizado en productos alimenticios por sus funciones estabilizadores y agentes espesantes al formar geles en presencia de cationes divalentes de calcio al interactuar con el agua (Pan et al., 2024).

#### **a. Producción de alginato de sodio**

En síntesis, la adquisición de AS comprende varias etapas, iniciando desde la recolección, seguido del lavado de las algas frescas, continuando con un secado y moliendo hasta obtener un polvo, seguidamente se hidratan agregando productos químicos (carbonato sódico) con la finalidad de eliminar compuestos no deseados. Después, se realiza un pretratamiento ácido-alcalino con la finalidad de romper la pared celular de la planta aislando del carbonato de sodio consiguiendo el alginato de sodio a partir de la matriz de biomasa de algas (Abka et al., 2022).

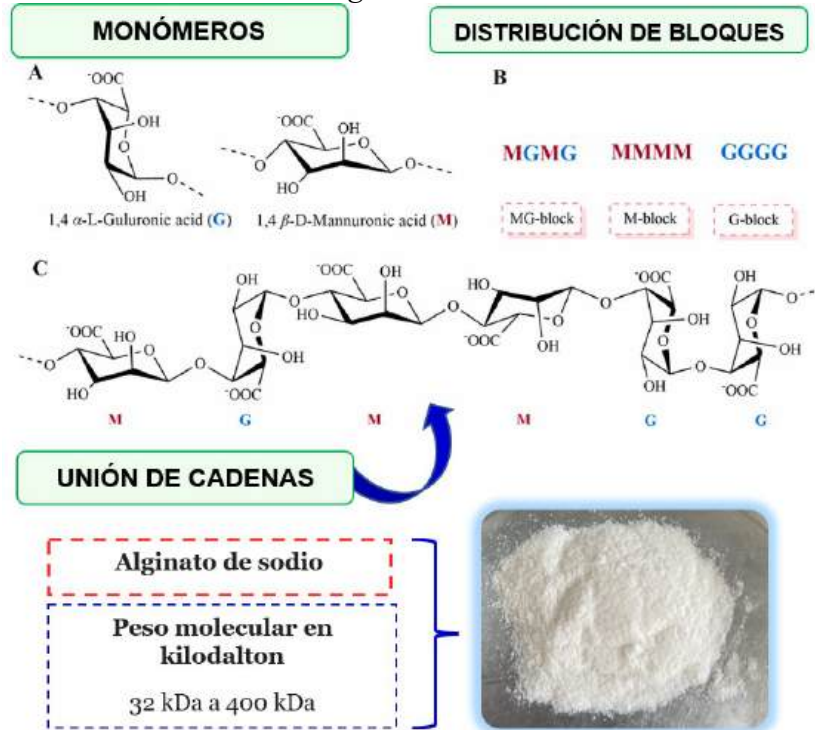
#### **b. Estructura y componentes químicos**

El polisacárido aniónico alginato de sodio comprende una estructura en unidades en monoméricas de ácido  $\beta$ -D-manurónico (M) y

un ácido  $\alpha$ -L-gulurónico (G) enlazadas con elementos glucosídicos 1-4, indicando una distribución lineal alternada en cadenas proporcionales (Mao et al., 2023).

**Figura 7**

*Partes estructurales del alginato de sodio.*



*Nota.* Representación estructural del alginato de sodio. Adaptado de Yan et al. (2024).

### c. Características de viscosidad y gelificación

El alginato de sodio (SA) tiene un comportamiento viscoso al disolverse en agua pura, resultando un fluido newtoniano cuando se aplica una velocidad baja a diferencia si aplican temperaturas altas mayor a 60 °C permite una despolimerización desintegrando a nivel molecular causando una disminución en la solución viscosa gelificante relacionada con su peso molecular y al estar en contacto con líquidos calientes (Zou et al., 2020).

El efecto gelificante del SA forma una parte imprescindible debido a su conformación de geles débiles y tiene mecanismo de formar sistemas coloidales con cationes divalentes como elementos de calcio con sensibilidad frente a un pH menor a 3,6 provocando un encogimiento de

la cadena molecular manurónico al contrario al estar en medio de pH mayor a 11 generando una viscosidad estable y expansible molecular (Nezamdoost et al., 2023).

La teoría del sistema de proceso de gelificación describe como las moléculas poliméricas se ramifican y combinan con solvente o líquido, formando una red tridimensional para formar una estructura del gel (Radaic et al., 2016). Durante este mecanismo, el gel es atrapado por la red polimérica mediante las fuerzas de Van der Waals y los enlaces de hidrógeno, permitiendo la unión entre moléculas al estabilizar la estructura del gel, mientras que factores de temperatura influyen en la formación y propiedades finales del gel (Hyacinthe & Mahapatra, 2024).

#### **d. Aplicaciones**

El alginato extraído de algas pardas (Abka et al., 2022), tiene una biodisponibilidad conservando su hidrofobicidad influyente en sus propiedades mecánicas y antibacterianas, limitando su empleabilidad en proporciones mayores en aplicaciones de biomateriales y películas (Shi et al., 2023). En particular están asociados en empleabilidades prometedoras por sus cualidades altas impidiendo transferencias de oxígeno (Ureña et al., 2023).

**Figura 8**

*Empleo del alginato de sodio en alimentos.*



*Nota.* Esquema explicando la aplicación del alginato de sodio. Adaptado de Barajas et al. (2023) y Mohajeri et al. (2021).

### **2.2.5.3. Goma xanthan**

La goma xanthan con código E415, es un polisacárido fermentado por bacterias de especies *Xanthomonas campestris* en el almidón (fécula) de maíz, presenta alto peso molecular (Mehnath et al., 2021).

La matriz es formada por las cadenas átomos de glucosa que contiene ramificaciones formando trisacáridos laterales y tiene una estructura principal  $\beta$ -D-glucosa constituida en manosa y ácido glucurónico, aportadores de características viscosas, estabilizantes y aglutinantes (Zhang et al., 2024).

#### **a. Producción**

La producción consta desde el cultivo de *Xanthomonas campestris* fermentando en medio aireado proporcionando carbohidratos

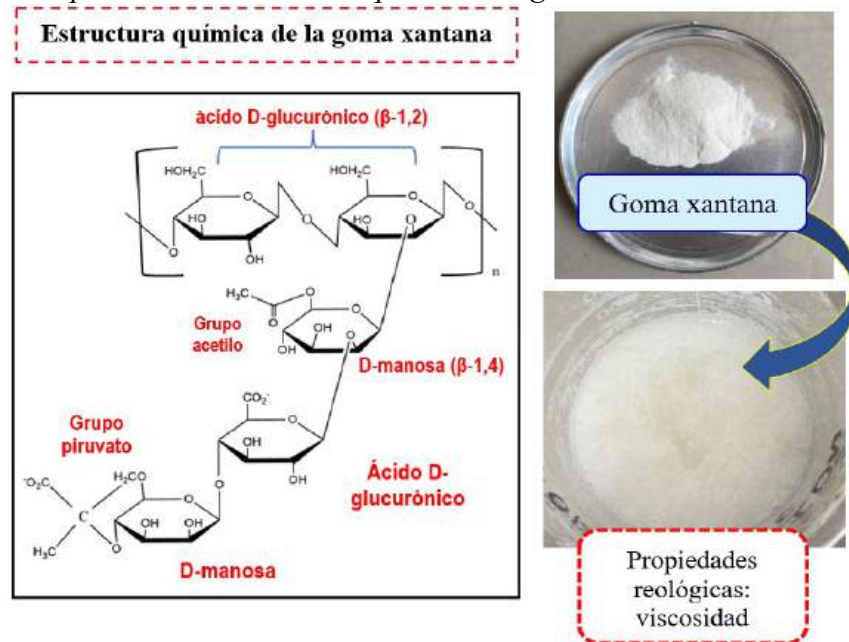
distribuidos en glucosa y sacarosa (Bhat et al., 2022), sobre fuentes nitrogenadas acoplados con sales, además mantiene un desarrollo de células bacterianas en factores desde el tipo de proceso de fermentación utilizado, medio operativo, concentración de componentes conformada en carbono y nitrógeno, parámetros influyentes basados en temperatura, pH, procesos de agitación así como el medio aireado finalizando en la eliminación de células bacterianas aplicando un tratamiento térmico y purificación empleando con disolventes orgánicos como etanol, acetona, etc., culminando en una deshidratación mecánica (Dey & Chatterji, 2023).

### b. Estructura y componentes químicos

Las partes elementales básico de GX poseen una cadena principal enlazados entre D-manosa conteniendo residuos de ácido pirúvico, más moléculas de ácido-D-glucurónico ( $\beta$ -1-2) y D-manosa ( $\beta$ -1-4), estas unidades formadas se ramifican hasta moléculas terminales conectándose en grupos de ácido pirúvico dependiente de cepa de *Xanthomonas* empleadas en su producción (Bhat et al., 2022).

**Figura 9**

*Componentes estructurales químicos de goma xantana.*



*Nota.* Esquema químico de goma xanthan. Adaptado de Jadav et al. (2023).

### c. Viscosidad

El polisacárido natural con funciones biocompatibles en forma de polvo blanquecino con solubilidad en los estados de agua fría y caliente, tienen un efecto con equilibrio térmico de sus moléculas comportándose con estabilidad en la gelificación resultando una viscosidad sin interferencias en entornos ácidos y alcalinos (Bhardwaj et al., 2024).

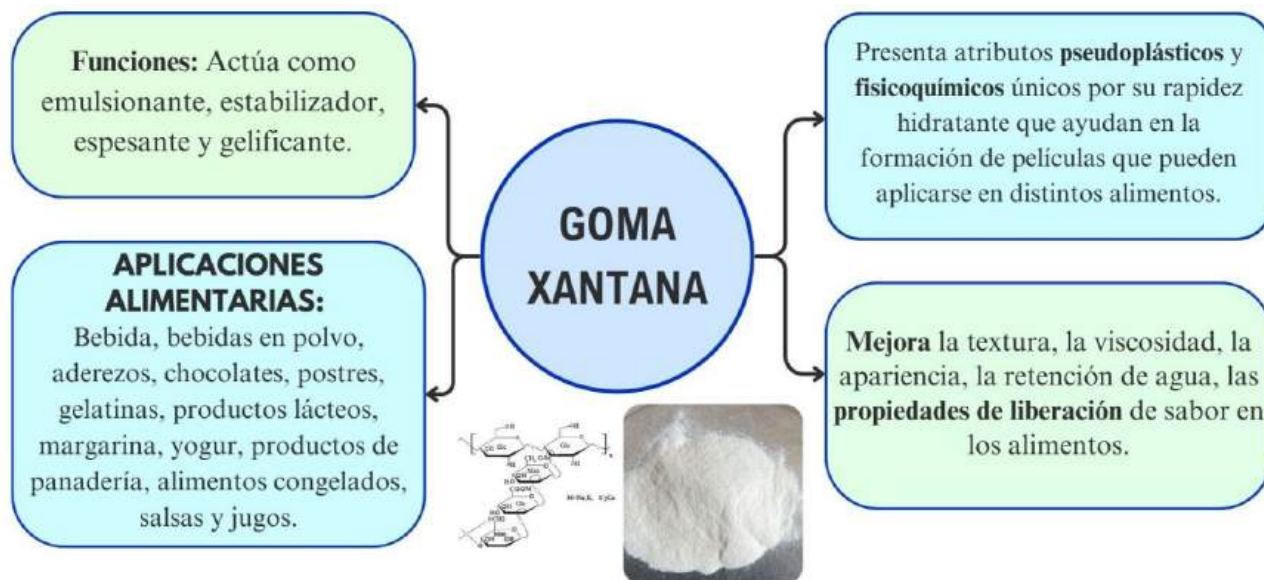
Asimismo, tiene la capacidad de formar geles debido a su alta viscosidad influida por sus cualidades adhesivas, aumentando su retención y efectividad de liberarse de forma regulada (Jadav et al., 2023).

En el caso de la goma xantana mejorada con propiedades de hinchamiento permiten una hidrofobicidad adecuada para formar geles al construirse una matriz gelificante robusto, generando una administración sostenible a sus utilidades cuando se aplica un proceso de esterificación (Rakshit et al., 2024).

### d. Aplicaciones en industria alimentaria

**Figura 10**

*Utilizaciones de goma xanthan.*



*Nota.* El esquema explica las aplicaciones en usos alimenticios. Adaptado de Nsengiyumva & Alexandridis (2022) y Bhat et al. (2022).

#### **2.2.5.4. Goma de tara**

Es obtenido a partir de las semillas de tara (*Caesalpinia Spinosa*), presenta peculiaridades espesantes y estabilizantes, usado como aditivo alimentario en las preparaciones alimenticias en helados, yogurt, mermelada, mostasa, entre otros (Mukherjee et al., 2023).

Además, es aplicado en industrias del campo textil, cosmético, farmacéutico y en películas comestibles debido a su constitución de las semillas de vegetal, comprendida de 24 % goma de tara (Janani et al., 2020).

#### **2.2.5.5. Agar Agar**

Polisacárido (polímero natural) de una sustancia gelatinosa espumante es derivada de algas rojas (*Rhodophyta*) constituida por una proteína de colágeno desnaturalizada formado por conjuntos moleculares D-galactosa y 3,6-anhidro-L-galactopiranosas, permitiendo producir geles densos para formar soluciones estables a bajas concentraciones en consecuencia a la biocompatibilidad sin toxicidad y resistentes a temperaturas hasta 85°C (Krasulya et al., 2022).

##### **a. Producción**

La extracción de agar se considera la especie cultivada *Gelidium* y *Gracilaria sp.* basadas en el proceso de producción incluyendo varias etapas, iniciando con la recolección, secado convencional o industrial con el propósito de reducir la humedad, continuando con la extracción del agar usando soluciones ácidas mejorando el rendimiento, finalizando con un filtrado y enfriamiento permitiendo solidificar prosiguiendo con el último secado para obtener un polvo final (Roy et al., 2023).

##### **b. Estructura y componentes químicos**

El agar conseguida de algas rojas presenta un redes reticuladas unidas con  $\beta$ -D-galactosa, encontrándose principales componentes agarosa y una fracción de agarpectina, en cuanto al primer polímero lineal contiene unidades alternas de  $\beta$ -D-galactosa y 3,6-anhidro-L-galactosa incorporando enlaces glucosídicos, esta parte aporta gelificación, asimismo, el segundo componente agarpectina es definida

como agarosa heterogénea basada en subunidades repetidas conformando anillos de 3,6-anhidro-L-galactosa reemplazados por grupos de piruvato, influyendo en la disminución de características gelificantes y reológicas (Bertasa et al., 2020).

**Figura 11**

*Partes estructurales del agar-agar.*



*Nota.* Diseño de estructural química de agar-agar. Adaptado de Zhao et al. (2020).

### c. Viscosidad

El agar tiene la capacidad de gelificarse a temperatura ambiente estando por debajo de 35-35°C, manteniendo su estructura con firmeza y compatibilidad amplia con el pH, durante el almacenamiento presenta un sistema viscoso debido a su movilidad molecular al aplicarse una disminución de temperatura con resistencia interceptada en las cadenas moleculares indicando la distribución fluida con energía proporcionada por la fuerza molecular formadora de viscosidad (Ye et al., 2022).

El comportamiento de los fluidos se define por su reología, en efecto a la velocidad de deformación influenciada por factores aplicados como la temperatura, densidad y esfuerzo cortante presentes en el sistema de partículas fluidas dentro de un solvente (Cheng et al., 2023), siendo

necesario inducir deformación en el fluido al aplicar fuerza que resulta una viscosidad variable denominados fluidos no newtonianos (White, 2004).

#### **d. Aplicaciones en procesamiento industrial alimentario**

El ingrediente versátil es ampliamente utilizado en la industria alimentaria debido a sus propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes, entre algunas aplicaciones se reportan a continuación:

- **Envases comestibles:** Es utilizado para producir películas comestibles bioplásticos con acción activa permitiendo conservar productos lácteos al reducir la carga microbiana (Contessa et al., 2021).
- **Aditivos alimenticios:** Por su función gelificante es utilizada en formulaciones alimentarias aplicando en arroz análogo, elaboración de gelatinas, bebidas gelatinosas y gelatinas (Mostafavi & Zaeim, 2020).
- **Películas biodegradables:** Estudios investigativos evidencian desarrollos de biomateriales comestibles a base de agar empleados en empaques sostenibles ambientalmente contribuyendo a mejorar la seguridad alimentaria.

#### **2.2.5.6. Plastificantes**

##### **a. Glicerina**

Es un aditivo plastificante a la vez emulsificador, utilizado en las películas y recubrimientos comestibles, estos compuestos no volátiles con bajo peso molecular, ideales para interactuar con los polímeros facilitando el incremento de resistencia al proporcionar mayor elasticidad frente a la ruptura de las biopelículas incrementando la firmeza (Pak et al., 2020).

#### **2.2.5.7. Aditivos alimentarios**

##### **a. Agua destilada**

Es usual utilizar el líquido purificado con tratamiento esterilizado para disolver las mezclas de matrices poliméricas, harinas, polvos, plastificantes, antimicrobianos y aditivos, estos compuestos son sumergidas para originar una solución uniforme y homogénea (Arvapalli et al., 2022).

### **b. Polisorbato 80**

Este aditivo alimentario identificado con E433 conocido como Tween 80 (polioxietileno-sorbitán-20-monooleato), es aceptado por la Unión Europea para su uso en diferentes aplicaciones, presenta funciones características (aceitoso, viscoso y amarillento) con funciones emulsionantes, tensoactivo, modificadores de la tensión superficial, estabilizador y disolventes de grasas, empleado en alimentos, farmacéuticos, cosméticos y soluciones químicas (Huang et al., 2020).

### **2.2.6. Biopelículas comestibles**

#### **A) Concepto**

Capa formada por un material comestible y compuestos naturales extraídos de fuentes a partir de plantas, semillas, verduras, frutas, algas, cáscaras, entre otros, complementando con materiales poliméricas como proteínas o polisacáridos en una solución hidrocoloides, el cual puede colocarse sobre una superficie nivelada con el propósito de proporcionar una barrera frente al vapor de agua atmosférico, oxígeno y dióxido de carbono, además de aportar propiedades funcionales y bioactivas (Kaur et al., 2023).

#### **B) Tipos de biopelículas comestibles utilizados en frutas**

Es necesario que las biopelículas sean inocuas para los consumidores, asimismo, estos pueden estar compuestos por polímeros como los hidrocoloide y componentes hidrofóbicos (lípidos), las cuales proporcionan características beneficiosas de barrera protectora frente al vapor de agua, dióxido de carbono y oxígeno; además de las propiedades mecánicas (Aguilar et al., 2020).

Existen diferentes componentes para elaboración de estos biofilms comestible, entre ellas se encuentran las siguientes:

- **Hidrocoloides:** Conformado por grupos de polímeros heterogéneos de cadena larga de grupo hidroxilo, presenta comportamientos hidrofóbicos para su posterior uso como matriz de recubrimientos (Senturk et al., 2018).
- **Proteínas:** Moléculas de tamaños grandes conformada por aminoácidos, donde las biopelículas a base de proteínas poseen efectivas propiedades

mecánicas y fácil biodegradabilidad, pero sin características de barrera ante la humedad (Chaquilla et al., 2018).

- **Lípidos:** Macromoléculas formadas por carbono, oxígeno e hidrógeno; estas biomoléculas se extraen de las plantas como ceras y se sugiere emplear con estructura baja en polares para elaboración de biopelículas, debido a su resistencia a la difusión del agua (Hassan et al., 2018).
- **Compuestos:** Los recubrimientos a base de combinación de proteínas, polisacáridos y lípidos, permiten incrementar sus propiedades mecánicas, así como físicas; en cuanto a las biopelículas comestibles se producen en biocapas de doble capa, donde la primera capa (polisacárido) está recubierta por la segunda capa de lípidos (Moghadam et al., 2020).
- **Aditivos:** La incorporación de distintos tipos de aditivos contribuyen a mejorar o modificar las funciones nutricionales, mecánicas y sensoriales; otorgando algunas ventajas de permeabilidad al vapor de agua evitando la absorción de la humedad cuando se adiciona un plastificante hidrofóbico como glicerol, ácidos grasos, polietilenglicol y sorbitol (Senturk et al., 2018).

### C) Clasificación de biopelículas

- **Películas simples:** Consiste emplear solo un material para la elaboración de películas incorporadas con agentes mejoradores más conservadoras, formadas destinados en aplicaciones alimentarios (Rodrigues et al., 2021).
- **Películas compuestas:** Basado en combinación polímeros, emulsionantes, ceras y plastificantes, con la finalidad de generar la resistencia (mecánicas), rendimiento de barrera contra el aguay conservador del producto adherido por tiempos prolongados manteniendo menor cambios de composición (Yu et al., 2024).
- **Películas activas:** Es conocida por sus aportes de múltiples funcionalidades, elaborados con subproductos, compuestos aromáticos y materiales antioxidantes, permite brindar propiedades mejoradas biológicamente y características mecánicas, independiente al uso de compuestos bioactivos naturales (Jahromi et al., 2020).

#### **D) Diferencias entre películas comestibles (PC-Biofilms) y recubrimientos comestibles (RC)**

Están diferenciados por la forma de aplicación, el RC se sumerge los alimentos en soluciones líquidas mezcladas seguidamente de un secado mientras que los PC requiere de preformación y luego solidificar para obtener láminas uniformes manipulables (Bautista et al., 2023).

##### **2.2.6.1. Propiedades fisicoquímicas**

Las biopelículas están caracterizadas por su barrera de permeabilidad frente a los gases y vapor de agua, las cuales coadyuvan al deterioro de los alimentos; esta propiedad física permite mejorar las propiedades mecánicas manteniendo la estructura molecular con el propósito de conservar sus componentes volátiles, actuando como transporte de aditivos alimentarios y funcionales (Sánchez, 2020).

Por otra parte, las propiedades funcionales de los polímeros utilizados dependen del contenido de agua y humedad.

Poseen propiedades físicas descrita a continuación:

- **Color:** La tonalidad de las biopelículas se atribuye a la estructura química relacionada con el peso molecular del material polimérico empleado (Atarés & Chiralt, 2016). Utilizando las coordenadas del método Cielab se detectan la cuantificación emitida por un equipo colorímetro para cada determinar cada terminología:  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (matices rojos +a variando hasta verde -a) y  $b^*$  (posición + indica amarillo y -verde), con la finalidad de evaluar el color objetivo sumado a valores numéricos con la visualización humana (Chavesta et al., 2022).

La teoría de colores opuestos fundamenta el modelo Cielab, utiliza los colores verde, azul, amarillo y rojo como base, permitiendo ubicar los datos de color en un plano cartesiano mediante las escalas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , además al sustituir los valores obtenidos para estas escalas de ecuaciones, generando un vector de cromaticidad que permite analizar la matiz del objeto estudiado (Orlando et al., 2023).

- **Espesor:** Es una medida de grosor de la biocapa, influyendo a la resistencia actuando de barrera superficial protegiendo frente a la interacción másica y gases externos, este parámetro contribuye a las cualidades mecánicas más eficientes (Sood & Saini, 2022).
- **Solubilidad:** Definido como la magnitud máxima de soluto que puede disolverse en un determinado solvente a cierta temperatura, permitiendo la resistencia de la absorción del agua en un medio húmedo para evitar la generación de agentes microbianos (Vásquez et al., 2017).

$$Pérdida\ de\ peso = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100 \dots\dots\dots Ec.1$$

La solubilidad está fundamentada en principios termodinámicos, equilibrio químico, integrados con la Ley de Henry que destaca la relación entre el soluto y el solvente, enfatizando que a mayor presión favorece una solubilidad deseada (Abbasov et al., 2017). Sin embargo, en el caso de gases disueltos en solventes, la solubilidad es influenciada por parámetros de presión y temperatura (Iulianelli & Drioli, 2020).

- **Brillo:** Se determina mediante un instrumento brillómetro según los ángulos desde la normal de la superficie y tiene una valoración unidades de brillo (UB) (Whitby, 2019).

## 2.2.6.2. Propiedades mecánicas

### 2.2.6.2.1. Tensión en el límite proporcional

La mayor capacidad de tensión que puede resistir un material cuando se aplica una carga manteniéndose sin desviación frente al comportamiento tensión-deformación, en función a la teoría ley de Hook (Otàlora et al., 2020).

### 2.2.6.2.2. Esfuerzo a la tracción en la fluencia

Indica el punto de fluencia, de acuerdo al incremento de la deformación sin alterar la tensión de la biopelícula comestible, enmarcando la relación tensión-deformación (Páez & Hamón, 2018).

### 2.2.6.2.3. Resistencia a la tensión ( $\sigma$ )

Es la máxima tensión soportada por la biopelícula comestible cuando se encuentra con una carga sujeto a tracción o corte, donde el aumento de la tracción conlleva a una modificación física como fisuras (Alata & Cuadros, 2017).

La teoría de tensión de Von Mises explica la manera de energía elástica de un material inducen fluencia y flujo elástico, donde se resalta al indicador de fallo en el diseño de materiales dúctiles, permitiendo analizar el comportamiento estructural y componentes al someter cargas, ayudando a determinar criterios de resistencia ante tensiones mecánicas y deformaciones permanentes (Wright, 2011).

La determinación se realiza mediante la siguiente ecuación (2).

$$\sigma = \frac{F_{\text{máx}}}{S} \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{ Ec. 2}$$

**Donde:**

**Fmáx:** cociente entre la máxima fuerza soportada por la biopelícula.

**S:** sección transversal en el tiempo 0.

### 2.2.6.2.4. Módulo elástico

Es conocido como módulo de Young, se calcula considerando la pendiente lineal inicial en la curva de esfuerzo – deformación, es decir la capacidad de flexibilidad de las biopelículas desde la longitud original; a su vez debe incluirse parámetros como la fuerza de tensión, porcentaje de elongación y módulo de Young según norma ASTM D828-95 (Sierra, 2021).

Los cálculos del módulo de Young se realizan con la ecuación 3:

$$\text{Módulo de Young (Y)} = N/m^2 \dots\dots\dots \text{ Ec.3}$$

### **Ley de Hook:**

En particular, la propiedad del módulo de elasticidad está relacionada con la ley de Hook, fundamentada por el científico Robert Hook en 1676, donde describe la relación entre la fuerza aplicada y el desplazamiento depende del de la constante del material, estableciendo que la deformación es directamente proporcional a la fuerza ejercida (Morell, 2022).

Posteriormente, Thomas Young introdujo el concepto de tensión en la comprensión de módulo elástico (módulo de Young), que describe la relación de tensión de tensión y deformación en un material causado por la compresión sometida, donde un mayor valor de modulo indica que el recurso presente un carácter rígido (Estudillo et al., 2023).

#### **a. Porcentaje de elongación (%E)**

Representa al porcentaje del cambio de longitud inicial hasta observar su rompimiento de la biopelícula comestible, su cálculo está determinada entre la longitud de la biopelícula de ensayo con modificaciones (Lf) y la longitud inicial (Lo), como se muestra en la ecuación 4 (Tafa et al., 2023).

$$\%E = \frac{LF-Lo}{Lo} \dots\dots\dots Ec.4$$

### **2.2.7. Ventajas de las biopelículas comestibles**

El recubrimiento aplicado en los alimentos ofrece una serie de beneficios eficientes encontrándose de forma detallada en la Figura 12, entre ellas están la protección de regulación del intercambio de gases actuando como transporte de sustancias bioactivas, minimizando el desarrollo microbiano, físico y fisiológico. Además, es considerado una alternativa sostenible frente al uso excesivo de plásticos tradicionales respondiendo a las demandas versátiles de los consumidores modernos.

**Figura 12**

*Ventajas de la aplicación de biopelículas comestibles en alimentos.*



*Nota.* La figura muestra las ventajas de la aplicación de las biopelículas comestibles. Adaptado de Zamudio (2014) y Mederos et al. (2020).

## **2.2.8. Técnicas aplicadas en biopelículas comestibles**

### **2.2.8.1. Técnicas para recubrimientos comestibles**

#### **a. Técnica Inmersión**

Es un método muy utilizado, consiste en aplicar las matrices comestibles al sumergir el alimento en una solución filmogénica, es empleada para diferentes alimentos con formas irregulares; no obstante, requiere drenar el material sobrante, limpiar y secar, para obtener una biopelícula uniforme sobre el producto, garantizando la impregnación completa de la capa polimérica delgada (Iguasnia, 2021).

### **b. Técnica Spray**

Se emplea una solución filmógena presurizada, el cual permite generar recubrimientos comestibles para luego ser usadas en alimentos con superficie lisa hasta uniformes, y también pueden en la separación de componentes con distintas proporciones de humedades del contenido del alimento a cubrir (Khin et al., 2024).

### **2.2.8.2. Técnicas para elaboración de biopelículas comestibles**

#### **a. Técnica Casting**

Consiste en verter un líquido sobre un molde almacenado a ciertas condiciones con el fin de formar un material rígido para lograr la reproducción de manera similar que un molde; contribuyendo ventajas con respecto a buena distribución de espesor uniforme, máxima pureza, estabilidad dimensional y firmeza (Liu et al., 2024).

La teoría de reducción de humedad del solvente filmógeno está sustentado por principios químicos estructurales de interacción molecular, ciencia de materiales y termodinámica, para la formación de biomateriales utilizando complementos poliméricos, plastificante y solvente, siguiendo un proceso de evaporación al aplicar temperatura y control de humedad, hasta obtener una película (Escobar et al., 2009; Oliveira et al., 2015; Berti et al., 2024).

#### **b. Extrusión**

Es una tecnología utilizada en la elaboración de alimentos, donde requiere aplicar parámetros de temperaturas altas a menor tiempo, sometidos a velocidad y tamaño de tornillo, durante los procesos de extrusión de plásticos, pero con ausencia de reportes empleados en películas comestibles, sin embargo, es aplicado para modificar procesando materiales biopoliméricos empleados en las formulaciones de las soluciones de películas comestibles (Cheng et al., 2023).

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Análisis microbiológico:** Procedimientos para cuantificar e identificar el número de microorganismos patógenos presentes en el material biológico de análisis, el cual se realiza en laboratorios especializados (Carrasco et al., 2020).
- **Antimicrobiano:** Son sustancias con diferentes propiedades inhibitorias al desarrollo y crecimiento de microorganismos patógenos, así como toxinas microbianas (Wakamatsu & Miyata, 2021).
- **Antioxidante:** Moléculas existente en determinados alimentos que ayudan a prevenir la degradación celular evitando su oxidación, además de reducir el padecimiento de algunas enfermedades causada por la acción de los radicales libres a nivel molecular (Christian et al., 2023).
- **Biopelícula:** Es una sola o agrupaciones de capas delgadas de biopolímeros formado antes de utilizar sobre los alimentos que aportan ventajas ante la conservación ayudando en el intercambio de oxígeno y vapor de agua, controlando la ganancia de humedad retrasando cambios adversos a las características sensoriales y nutricionales sin generar modificaciones de textura debido a su naturaleza con capacidades distintas (Villar, 2021).
- **Bioactivos:** Componentes biológicos de los alimentos que presentan actividades influyentes a nivel celular y fisiológicas, las cuales contribuyen a la salud por medio de su ingesta (Urrialde et al., 2022).
- **Fenoles:** Sustancias químicas denominados metabolitos secundarios de las plantas en forma de polímeros y poseen actividad antioxidante según su estructura o tipo de polifenol (Zhao et al., 2020).
- **Fuerza de tracción:** Es la fuerza sometida a la tensión de materiales o muestras hasta la resistencia a medida del incremento de tracción aplicando mayores fuerzas antes de romperse (Diaz et al., 2023).
- **Granulometría:** Estudio basado en la medición de partículas sólidas fraccionadas en pequeños tamaños, las cuales componen una muestra (Dussán et al., 2019).
- **Polímeros:** Son sustancias formadas por macromoléculas enlazados por enlaces covalentes con peso molecular menor a 100 veces de las moléculas pequeñas, además

estas pueden ser de origen natural (proteínas, fibras naturales como lana y seda) y sintético debido a sus moléculas artificiales (Billmeyer, 2020).

- **Timol:** Es un monoterpeno (2-isopropil-5metifenol) presente en los aceites esenciales extraídos de algunas plantas, este compuesto tiene propiedades antimicrobiano y desinfectante (Zaïri et al., 2020).

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

Por su finalidad de las condiciones metodológicas experimentales, la investigación es de tipo aplicada, debido a que el proyecto está orientado al desarrollo de producción de biopelículas comestibles a partir de cáscara de naranja, aceite esencial de orégano con matrices poliméricas: goma xanthan, alginato de sodio y agar agar; para sus posteriores análisis fisicoquímicos, características mecánicas y actividad antimicrobiana (Esteban, 2018).

##### **3.1.2. Nivel de investigación**

La investigación admite un nivel experimental – explicativa, debido a que el propósito es buscar las causas enfocada en la unidad de análisis, donde requiere de métodos analíticos en función con los enfoques deductivo e inductivo para determinar el causal de la razón del estudio, cuyo objetivo es identificar la relación entre las variables dependientes ( $V_y$ ) e independientes ( $V_x$ ).

Por consiguiente, se propone evaluar la producción de biopelículas comestibles con diferentes cantidades de concentración mencionados en la Tabla 9: 1,17%, 1,55% y 1,93% (harina de cáscara de naranja) 0,70%, 0,93% y 1,16% (aceite esencial) y 2,46%; 2,44%; 2,43% y 2,5% (matrices poliméricas).

##### **3.1.3. Método de investigación**

El método de investigación es hipotético-deductivo, porque está orientada en una investigación experimental, basado en la hipótesis realizada de los datos prácticos y se utiliza la deducción para comprobar las hipótesis planteadas de acuerdo a los resultados obtenidos.

### 3.2. Diseño

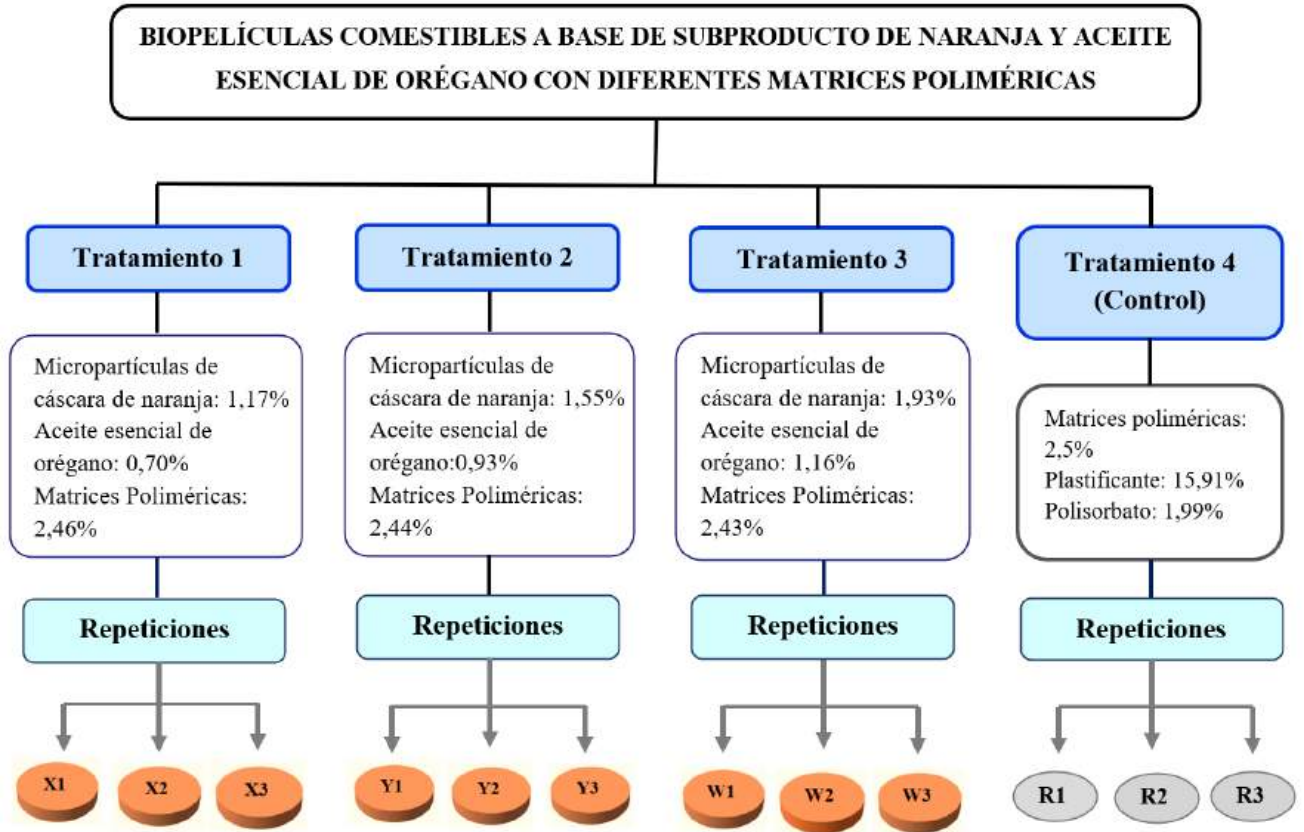
El diseño de investigación es experimental debido a que se determinó las concentraciones de micropartículas de cáscara de naranja y aceite esencial de orégano con tres matrices poliméricas (goma xanthan, agar agar y alginato de sodio), para el desarrollo idóneo del proceso de producción de las biopelículas comestibles, asimismo se evaluó las características de actividad antimicrobiana.

Adicionalmente, se controló y manipuló las variables  $V_x$  = Cáscara de naranja, aceite esencial de orégano y matrices poliméricas y la variable  $V_y$  = Propiedades fisicoquímicas y características mecánicas, de igual manera se buscó identificar la conexión entre las variables dependiente e independiente.

La metodología del presente trabajo de investigación es de forma aplicada de diseño experimental con mediciones controles según las condiciones causa-efecto. Se formuló 3 tratamientos y una muestra control, con 3 repeticiones para aplicar el diseño completamente aleatorizado (DCA) en las variables independientes, donde se realizó una clasificación de los dos tipos de variables (independiente y dependiente) considerando las formulaciones con proporciones diferentes de micropartículas de cáscara de naranja (Tabla 9 y 10), verificando la confiabilidad y generalización de los resultados. Seguidamente se analizó los datos considerando el ANOVA (análisis de varianza) con prueba significativa de Tukey  $p < 0,05$  diferenciada.

**Figura 13**

*Diseño experimental de las muestras de biopelículas comestibles.*



*Nota.* La figura representa el diseño experimental de las biopelículas comestibles.

La Figura 13 describe el diseño experimental de 3 muestras con tres tratamientos cada una y una muestra de control, para comparar los efectos con respecto al análisis fisicoquímicos y mecánicos.

**Tabla 9**

*Formulaciones de las concentraciones de biopelícula comestible en %.*

Ingredientes	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (Muestra Control)
Micropartículas de cáscara de naranja	1,17	1,55	1,93	-
Aceite esencial de orégano	0,70	0,93	1,16	-
Goma xanthan	1,17	1,16	1,16	1,19
Agar Agar	1,09	1,09	1,08	1,11

Alginato de sodio	0,20	0,19	0,19	0,20
Glicerol	15,62	15,52	15,43	15,91
Tween (polisorbato) 80	1,95	1,94	1,93	1,99
Agua destilada	78,10	77,61	77,13	79,59
<b>Total</b>	100	100	100	100

*Nota.* La tabla representa las formulaciones de los ingredientes para las biopelículas comestibles en porcentaje.

**Tabla 10**

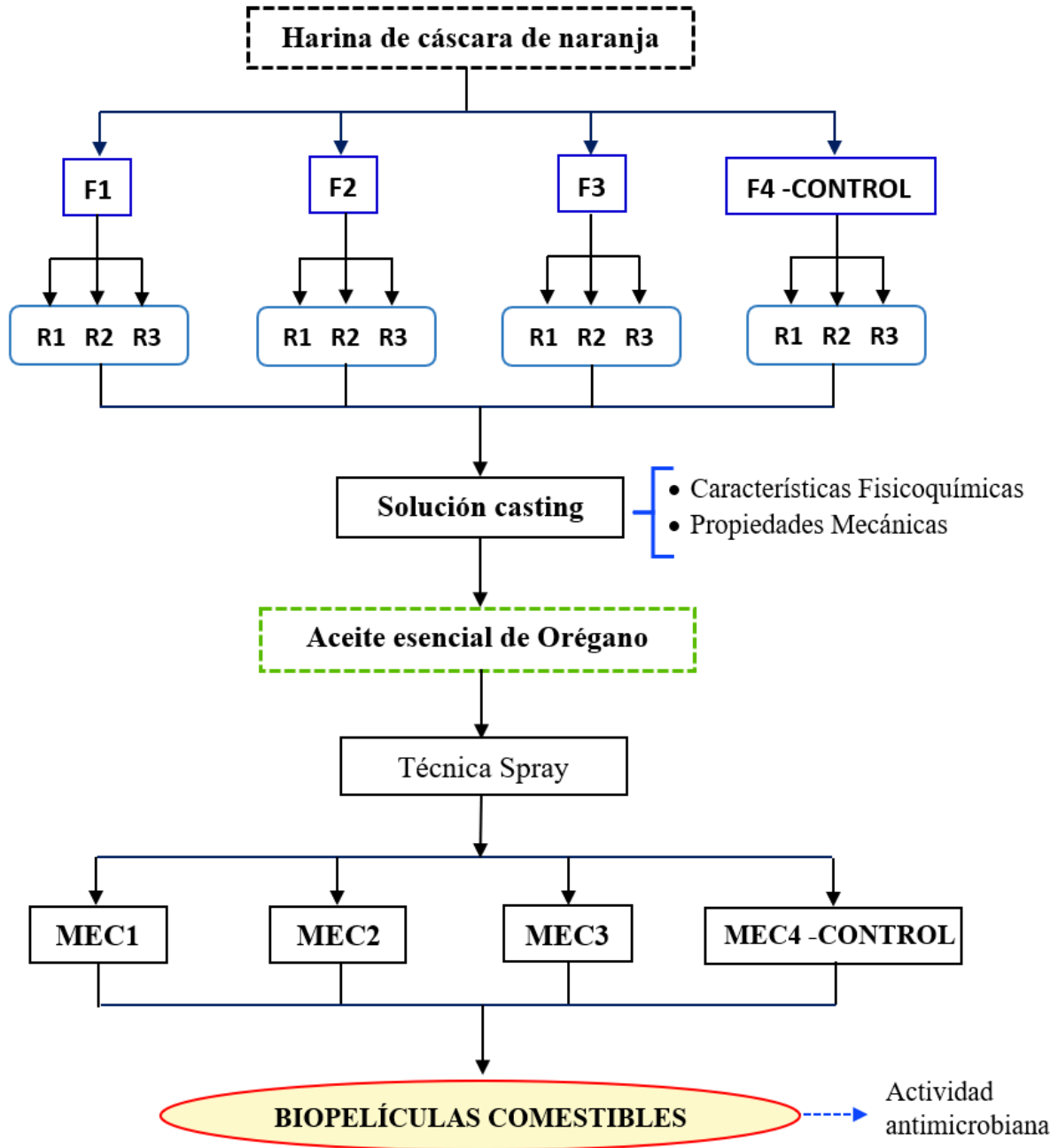
*Formulaciones de la masa total de la biopelícula comestible en cantidades.*

<b>Ingredientes</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4 (Muestra Control)</b>
Micropartículas de cáscara de naranja (g)	1,5	2	2,5	-
Aceite esencial de orégano	0,9	1,2	1,5	-
Goma xanthan (g)	1,5	1,5	1,5	1,5
Agar Agar (g)	1,4	1,4	1,4	1,4
Alginato de sodio (g)	0,25	0,25	0,25	0,25
Glicerol (ml)	20	20	20	20
Tween (polisorbato) 80	2,5	2,5	2,5	2,5
Agua destilada (ml)	100	100	100	100
<b>Total</b>	128	129	129	126

*Nota.* La tabla indica las cantidades para cada formulación a partir del residuo cítrico, aceite esencial y matrices poliméricas, empleados en la producción de biopelículas comestibles.

**Figura 14**

*Diseño metodológico para obtención de biopelículas comestibles.*



**Leyenda:**

F: Formulación

F1: Formulación 1 - Muestra

F2: Formulación 2 - Muestra

F3: Formulación 3 - Muestra

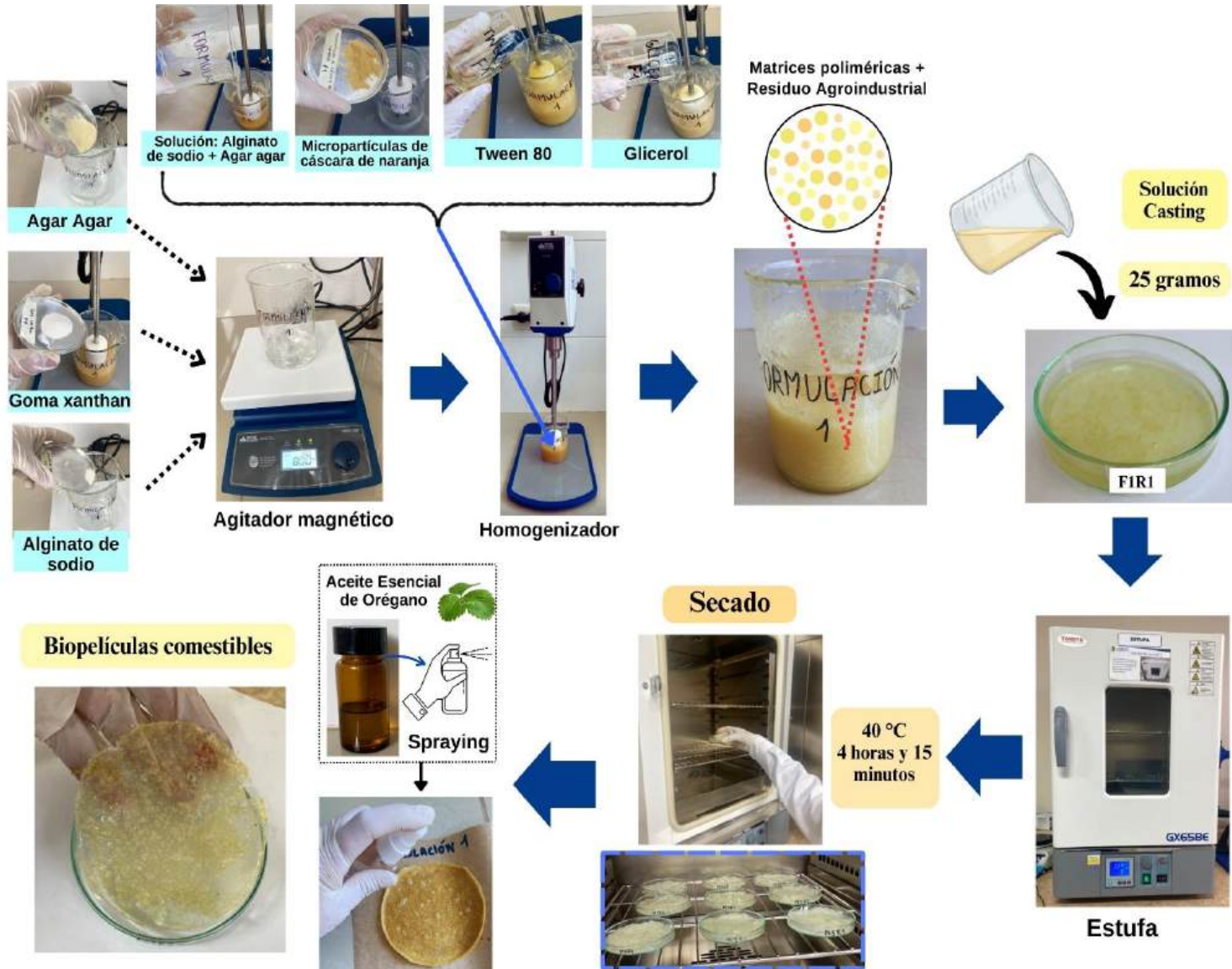
F4C: Muestra 4 control

R: Repeticiones

MEC: Muestra efectiva por consideración

**Figura 15**

*Procesos de elaboración de biopelículas comestibles por el método casting.*



*Nota.* La figura representa las etapas de la producción de biofilms comestibles.

### 3.3. Variables

#### 3.3.1. Independientes

- **X1:** Cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*).
- **X2:** Aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare*).
- **X3:** Matrices Poliméricas: Goma xanthan, agar agar y alginato de sodio.

#### 3.3.2. Dependientes

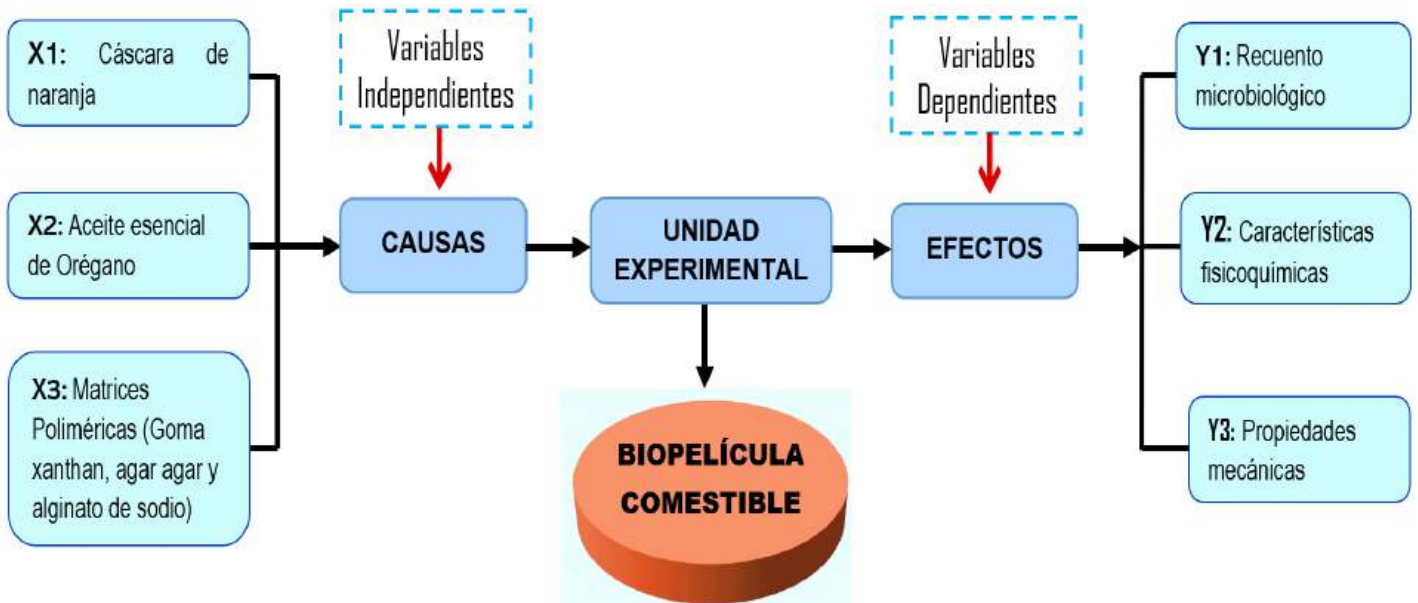
- **Y1:** Recuento microbiológico
- **Y2:** Propiedades fisicoquímicas
- **Y3:** Propiedades mecánicas

### 3.4. Operacionalización de variables

Las variables de estudio comprenden  $V_x$  = Cáscara de naranja, aceite esencial de orégano y matrices poliméricas, y  $V_y$  = Análisis microbiológico, propiedades fisicoquímicas y características mecánicas, debido a que el estudio evaluado se adquirieron valores cuantitativo clasificados en categorías medibles (Figura 16).

**Figura 16**

*Estructura de variables independientes y dependientes.*



*Nota.* La esquematización explicada en la figura detalla el modelo teórico respecto al desarrollo práctico de las variables para la producción de biopelículas comestibles.

**Tabla 11**

*Operacionalización de las variables.*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES E INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
Cáscara de naranja	Es la piel de la naranja (subproducto), ubicada en la parte externa del fruto denominada flavedo y por debajo se encuentra el albedo (Muñoz et al., 2021).	La cáscara de naranja es la capa externa de la fruta cítrica sometido a los procesos para la obtención de harina desde la recolección, pesado, lavado, desinfección, pelado, despulpado, secado, molienda, tamizado y almacenado.	Propiedades físicas Kilogramos (kg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza de precisión</li> <li>• Molino de cuchillas</li> <li>• Tamizadora</li> <li>• Técnica gravimétrica</li> <li>• Metodología ANSI</li> </ul>	
<b>Variables independientes</b>	Aceite esencial de Orégano (AEO)	Es un aceite concentrado aromático compuesto por químicos volátiles, extraído de diferentes partes del vegetal <i>Origanum vulgare L.</i> (Wang et al., 2022).	El líquido transparente aceitoso del vegetal aromático (orégano) fue obtenido al aplicar el método arrastre de vapor sobre las hojas y los tallos, considerando parámetros operativos de presión y temperatura de condensación para la separación del flujo	kg mililitro (ml) Tiempo: hora, minutos Potencia (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extractor de aceites esencial</li> <li>• Método: arrastre de vapor</li> <li>• Balanza de precisión</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>

Matrices	poliméricas: Son polímeros que ayudan a la goma xhantan, agar agar y alginato de sodio.	Son polímeros que ayudan a la estabilidad estructural de las moléculas (Ahmad et al., 2023).	condensado y los compuestos volátiles. Los biopolímeros constados de materiales compuestos y estructurales de origen natural fueron empleados en cantidades formuladas en el diseño de investigación para la producción de biopelículas de acuerdo a los tratamientos comprobados experimentalmente ejecutando procedimientos comprendidos desde pesado, agitación y homogeneización de la solución gelificada y secado.	Concentración porcentual porcentajes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Agitador magnético</li> <li>• Homogeneizador</li> <li>• Técnica casting</li> </ul>
<b>Variables dependientes</b>	Recuento microbiológico	Consiste en el desarrollo de procedimientos orientados a cuantificar e identificar organismos microscópicos en una muestra mediante la aplicación de métodos analíticos validados (Peña et al., 2022).	Las evaluaciones de análisis microbiológico de los agentes no visibles fueron desarrolladas en los laboratorios calibrados de Cenasac certificado por Indecopi, cumpliendo las directrices del INACAL y seguimiento de procedimientos para las evaluaciones de recuento microbiano de	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aerobios mesófilos (UFC/ml)</li> <li>- Coliformes (NMP/g)</li> <li>- Tiempo (min, horas)</li> </ul>	<p><b>Método de ensayo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuento de <i>aerobios mesófilos</i>: ICMSF. 2DA ED. VOL. 1, Método 1, 120-124</li> <li>• Enumeración de <i>Escherichia coli</i>: ICMSF.</li> </ul>

<p>Propiedades fisicoquímicas</p>	<p>Son las características biológicas según su composición física y el comportamiento químico (Sohni et al., 2024).</p>	<p>aerobios mesófilos y <i>Escherichia coli</i>.</p> <p>Las características fisicoquímicas permiten identificar los rasgos de las biopelículas comestibles para determinar los aspectos químicos y físicos, aplicando los AOAC y NTP, además de emplear los equipos inherentes a cada una de los atributos de los biofilms.</p>	<p>- Humedad (%)</p> <p>- Acidez titulable (%)</p> <p>- Potencial de hidrógeno (pH)</p> <p>- Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</p> <p>- Sólidos solubles (°Brix)</p> <p>- Color (lux)</p> <p>- % pérdida de peso</p> <p>- Índice de solubilidad (g/L).</p>	<p>2DA ED. VOL. 1, 132-134, 138 (M1) – 142</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Norma técnica sanitaria (NTS)</li> <li>● Analizador de humedad</li> <li>● Instrumento de medición: Refractómetro digital Abbemat 3000</li> <li>● Potenciómetro</li> <li>● Refractómetro</li> <li>● Método AOAC 930.15 (humedad)</li> <li>● AOAC 945.12 (°Brix)</li> <li>● AOAC 942.15 (acidez titulable)</li> <li>● AOAC 981.12 (pH)</li> <li>● Densidad: NTP 319.081</li> <li>● Metodología: Titulación</li> <li>● Técnica: Observación</li> <li>● Colorímetro</li> <li>● Sistema Cielab</li> <li>● Formatos de pruebas características</li> </ul>
-----------------------------------	---	---	--	---

Propiedades mecánicas	Es una característica inherente propia del material, estas se determinan mediante experimentos sometidas a fuerzas externas, algunas de las pruebas más importantes son las de tracción, flexión e impacto (López & Jiménez, 2015).	Las cualidades distinguidas de carácter mecánico del material estudiado, se emplearon equipos de laboratorio de la UNAAT, fórmulas y métodos ASTM perteneciente de la organización de normas internacionales aplicables a diferentes materiales, estos instrumentos y normativas permitieron determinar y analizar indicadores como módulo de elasticidad, elasticidad, espesor y resistencia, del biomaterial investigado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espesor (mm)</li> <li>- Módulo de elasticidad (N/m<sup>2</sup>)</li> <li>- Porcentaje de elongación (%)</li> <li>- Esfuerzo de Tracción en la Fluencia (MPa)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vernier digital</li> <li>● Analizador de textura universal</li> <li>● Método ASTM D882-97</li> <li>● Ficha de datos</li> </ul>
-----------------------	---	---	--	---

*Nota.* La tabla muestra las variables, dimensiones, indicadores y técnicas de recolección de datos del presente proyecto investigativo.

### 3.5. Población, muestra y muestreo

#### 3.5.1. Población

La población está enmarcada en la producción de cáscara de naranja de los puestos comerciales de ventas de frutas mercado Manuel Odría y la planta de orégano se recolectaron de los campos ubicados en el centro poblado de Huichay ubicado en la provincia de Tarma, región Junín (Tabla 12).

#### 3.5.2. Muestra


La muestra es 1,975 kilogramos de cáscara de naranja obtenido de la fruta cítrica fresco que se adquirió del mercado localizado en Tarma y el aceite esencial de orégano se empleó 10 mililitros, se obtuvo de hojas y tallos de la planta variedad *Origanum Vulgare*.

#### 3.5.3. Muestreo

El tipo de muestreo es no probabilístico, a su vez es de tipo intencional. El muestreo no probabilístico no es dependiente de la probabilidad, estadística y procedimientos mecánicos; se basa en las características consideradas en la investigación según el planteamiento de estudio (Hernández Sampieri et al., 2014).

**Tabla 12**

*Determinación de población y técnica de muestra.*

Determinación de la población	Determinación de la muestra
El objeto estudiado representativo indica un macro análisis, generado en la etapa del uso para elaboraciones y obtención de productos al extraer la parte comestible del fruto <i>Citrus x sinensis</i> , en el mercado Manuel el Odría, distrito y provincia de Tarma. Región Junín.	 <p data-bbox="911 1641 1394 1720"><b>Muestreo no aleatorio o de juicio investigativo</b></p> <p data-bbox="911 1731 1394 1973">Este tipo de técnica empleado en la selección para muestras corresponde al muestreo no aleatorio con selección intencional, donde se seleccionó 1,976 Kg de cáscara fresca de naranja y 17</p>



El segundo objeto de macro análisis está ubicado en el centro poblado de Casamachay Huichay, distrito de Tarma de la provincia de Tarma, región Junín, representa la planta orégano obtenida en la etapa de cosecha.

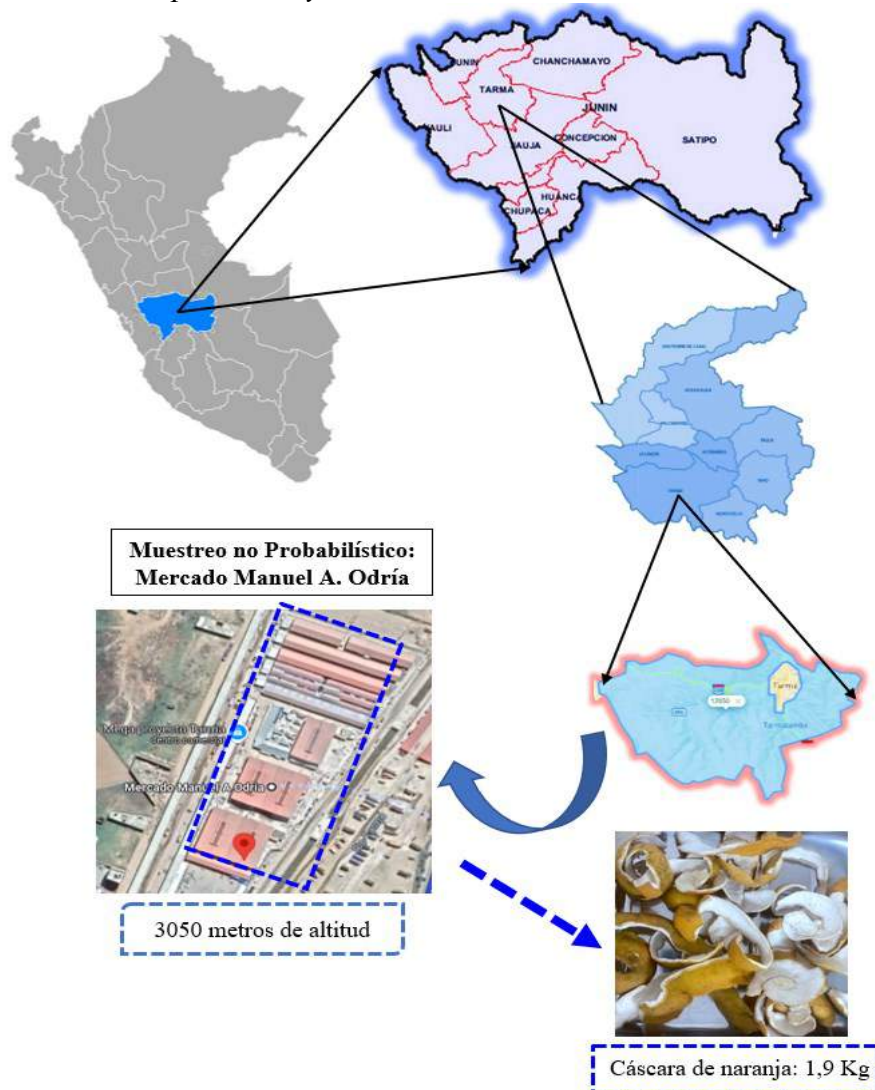
kilogramos de orégano en la etapa de cosecha de variedad *Origanum vulgare*, donde se racializó los procesos de extracción para obtener aceite esencial.



En el esquema visualizado en la Figura 17, explyra la población y muestra del estudio identificado en la presente investigación, indicando la región Junín y distrito de Tarma, como el lugar localizado para obtener la cáscara de naranja especificando el tipo de muestreo y cantidad empleada.

**Figura 17**

*Ubicación de población y muestra relacionado con cáscara de naranja.*

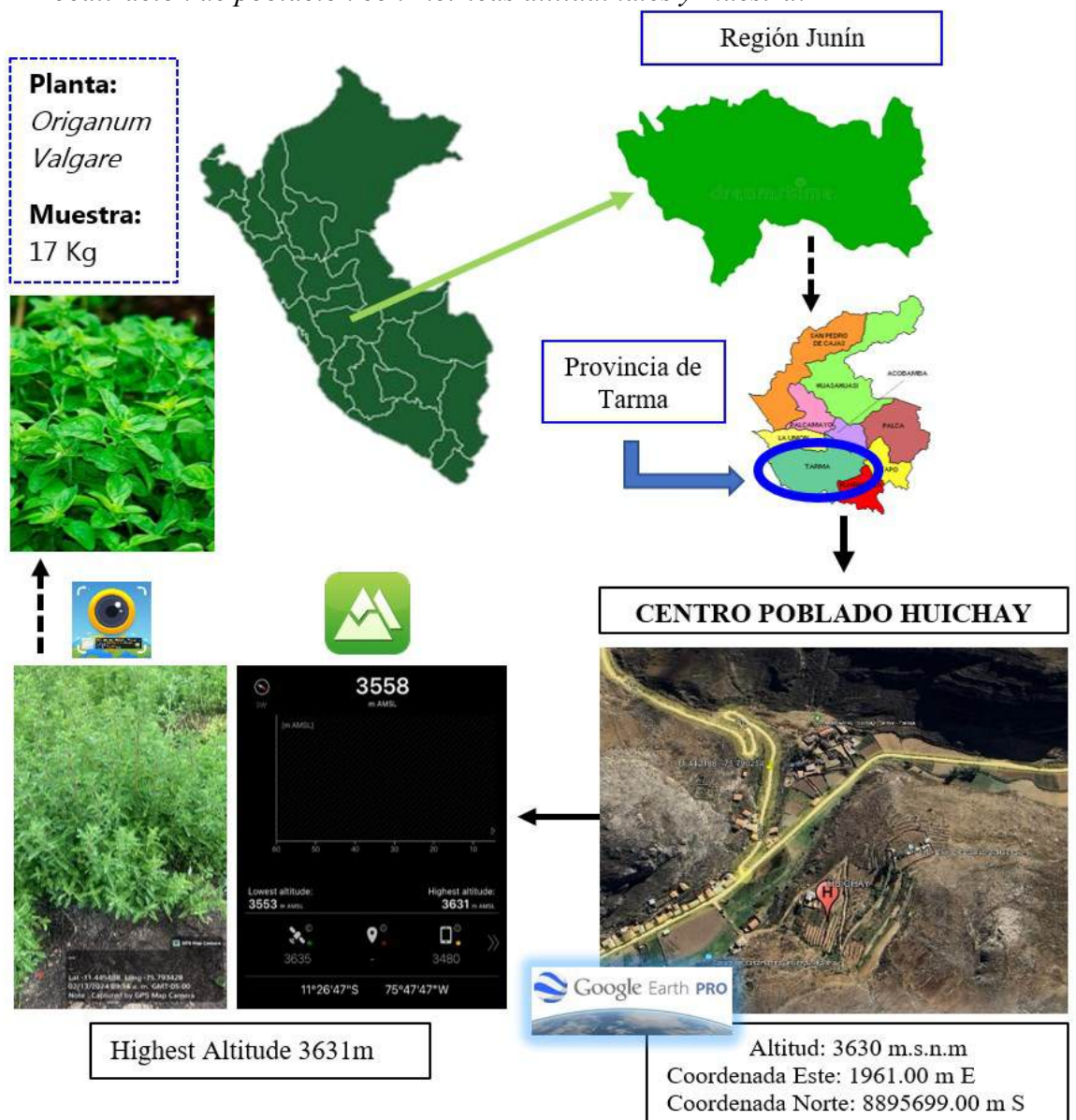


*Nota.* La figura representa la localización de la población y muestra investigado. Elaboración propia.

Para la segunda muestra de orégano se adicionó la ilustración respecto a la población corroborada con aplicaciones móvil que contribuyeron a la ubicación, altitud, fecha y hora, utilizando la cámara GPS, versión 1.6.8 y altímetro, versión 3.0. Después de obtener los datos detectados fueron introducidos en el programa del sistema de informa geográfica a nivel del globo terráqueo direccionado con visualizaciones satelitales con mayor exactitud de la zona del centro poblado Huichay de la provincia de Tarma, donde se recolectó 17 kg de muestra vegetal.

**Figura 18**

*Localización de población con métricas altitudinales y muestra.*



*Nota.* La fotografía expone el mapeo geográfico de la población del *Origanum vulgare* e incorporación de vista satelital Google Earth Pro, 2020 y la muestra.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.6.1. Equipos, materiales, instrumentos y reactivos

##### a) Equipos

**Tabla 13**

*Equipos utilizados para elaboración y caracterización de biopelículas comestibles.*

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Extractor de aceites esenciales	Figmay	EXT-LAB
Deshidratador de alimentos	Tidar®	FM: 12038A2HBL
Estufa de secado	Taisite Labsciencas	FCD – 3000Serials
Molino de cuchillas	Retsch®	GM 300
Molino de cuchillas	Wiley Mill	Thomas T4724E25
Homogeneizador	50HZ Daihan Scientific	HS-30E
Mufla	Reles	H L / D 6 L
Analizador de humedad	RADWAG®	MA 50/1.R
Tamizadora vibratorio	Retsch	AS 200 basic
Refractómetro digital	Anton Paar	ABBEMAT 3X00
Agitador magnético	Daihan Scientific	MSH-20D
Analizador de textura universal	Agrosta Cε Belle	Design by Klotz
Microscopio óptico	Optica®	Microscopes Italy
Vernier digital	mix®	proveedor Sinergia científica®
Colorímetro portátil	Konica Minolta	Color reader CR - 20
pH-metro portátil directo	Hanna HI99121	HI991001
Refractómetro	HANNA	HI 96801
Micropipeta	Scilogex	YL19BAH0097965 CE
Congelador / Freezer	25 °C Freezer Meling Biomedical	DW-YL270
Balanza electronic	Electronic Weigxing balance	Dp digital presision®

Balanza analítica	ThermoLab <sup>®</sup>	FA2104B
Balanza gramera	RADWAG <sup>®</sup>	WTC 3000
Balanza de precisión	Bioevopeak <sup>®</sup>	serie BP – 2C

#### **b) Materiales e instrumentos**

- Matraz Erlenmeyer 500 ml, 250 ml, 1000 ml
- Viales color ámbar de 15 ml
- Bureta de vidrio 25 ml
- Pipetas pasteurs
- Piseta de laboratorio
- Matraz aforado 500 ml
- Picnómetro
- Soporte universal
- Embudo de vidrio
- Pinzas soporte
- Vasos precipitados: 250 ml, 100 ml, 50 ml y 500 ml.
- Placas Petri de vidrio 10 centímetros de diámetro
- Tamices Retsch ASTM E11
- Picnómetro
- Pipetas de 1 ml, 5 ml, 10 ml y 500 ml
- Probeta de 100 ml
- Placas Petri de aluminio y vidrio
- Instrumento de registro
- Ficha y cuadros de registros experimentales.

#### **c) Utensilios y otros**

- Papel Whatman 1442, grado N° 42, circles 125 mm
- Parafilm “M”, marca laboratory film
- Bolsa de polietileno alta densidad
- Recipientes de acero inoxidable
- Mortero con pilón de porcelana
- Spray atomizador de plástico
- Platos de acero inoxidable
- Papel toalla y papel tisú
- Cuchillos no dentados

- Manguera de silicona
- Cinta Masking tape
- Cuchara espátula
- Barra magnética
- Papel aluminio
- Papel Kraft

#### d) Materia prima, insumos y reactivos

**Tabla 14**

*Materia prima, insumos y reactivos utilizados en biopelículas comestibles.*

<b>Materia prima</b>	<b>Insumos</b>	<b>Reactivos</b>
Cáscara de naranja, variedad Valenciana	Goma xanthan, marca food grade Deosen	Etanol al 96%
<i>Origanum vulgare</i> , variedad griega	Alginato de sodio, marca Mixo lab Perú	Sulfato de sodio Anhidro, marca J.T.Baker
	Agar Agar, marca USP, marca Oregon Chem group	Agua destilada
	Glicerina Líquida	Hipoclorito de sodio
	Tween 80 (polisorbato), marca Oregon Chem group	Fenolftaleína, marca Biodisc
		Solución de Lugol parasitológico, marca Diaglobal
		Solución de hidróxido de sodio NaOH 0,1 N
		Buffer de calibración pH 4,0-ácido, 7,00-neutro y 10,01-alcalino, marca OAKLON®

#### f) Materiales y accesorios de escritorio

- Marcador indeleble
- Cuaderno de campo

- Cinta masking
- Engrapador
- Perforador
- Hoja bond
- Lapiceros
- Laptop
- Tijera
- Lápiz

### **3.6.2. Técnicas**

#### **a) Análisis documental**

Para la recolección de información se realizó revisiones bibliográficas confiables en las diferentes bases de datos indizadas, considerando literatura científica como artículos originales, tesis, libros, páginas de organizaciones, entre otros; las cuales contribuyeron al desarrollo del proyecto.

#### **b) Observación**

Consistió en registrar los valores analizados que fueron obtenidos mediante uso de equipos con la finalidad de analizar los datos más importantes.

#### **c) Procedimientos registrados de datos**

La recolección se obtuvo de los datos según los objetivos propuestos siguiendo los diagramas experimentales por cada etapa comprendida en la investigación planteada.

**d) Instrumentos:** La recopilación de datos se realizó en la ficha recolección de datos de los procesos realizados para la producción de biopelículas comestible en la Tabla 15, donde se especificó las actividades por proceso pertinente con previa planificación, señalando cantidad de ingreso muestral, salida y merma identificada en cada etapa experimental.

**Tabla 15**

*Ficha de recopilación de datos experimentales para producción de biopelículas comestibles.*

	<b>FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS</b>			
	<b>LABORATORIO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL</b>			
	Método y técnica utilizado:			
Nombre:	Jhuliana Milagros Adama Astete			
Tipo de evaluación:	Obtención de harina de cáscara de naranja (HCN)	Análisis granulométrico de HCN	Extracción de aceite esencial de orégano	Producción de biopelículas comestibles
Fecha de ejecución:				
Inicio				
Salida	Hora de inicio:		Hora salida:	

<b>PROCESOS DESARROLLADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES</b>				
N°	ACTIVIDAD	INGRESO DE MUESTRA	MUESTRA DE SALIDA	MERMA
<b>Extracción de aceite esencial por arrastre de vapor</b>				
1	Recepción de materia prima: Orégano			
2	Deshojado			
3	Secado			
4	Extracción de aceite esencial			
5	Decantado y purificación			
6	Almacenado			
<b>Obtención de micropartículas de cáscara de naranja</b>				
1	Recepción de HCN			
2	Selección y clasificación			
3	Pesado			
4	Lavado y desinfección			
5	Molienda			
6	Análisis granulométrico; Tamizado			
7	Empacado al vacío			
<b>Análisis granulométrico de micropartículas de piel de naranja</b>				
1	Recepción de micropartículas de subproducto de naranja y pesado			
2	Elección de tamices			
3	Pesado de tamices			
4	Tamizado vertical			
5	Pesado 2 de muestra retenida + tamiz			
6	Micropartículas de cáscara de naranja (MCN)			
7	Almacenado de MCN			
<b>Elaboración de biopelículas comestibles</b>				
1	Recepción de materia prima e insumos			
2	Pesado			
3	Diluido			
4	Mezclado y homogeneizado			
5	Vertido			
6	Secado			
7	Desmoldado y selección			
8	Biomaterial comestible			
9	Almacenado			

*Nota.* Elaboración propia.

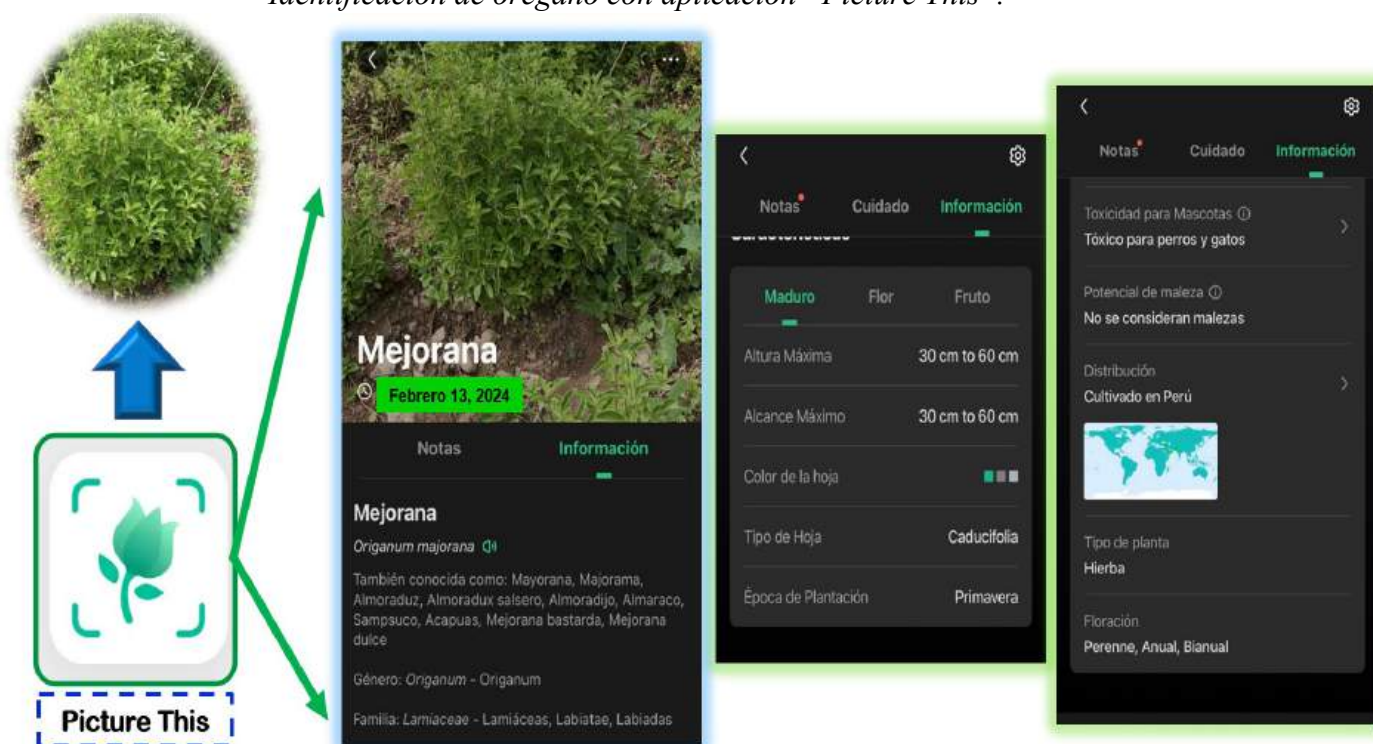
### 3.6.3. Trabajo de campo

#### a) Identificación de la planta

La planta orégano (*Origanum vulgare*) se identificó con la ayuda de los pobladores de Casamachay Huichay, guías de libro “Manual Técnico de cultivo ecológico de orégano” (Klauer, 2009), artículos y una aplicación reconocedora de vegetales “Picture This – Guía de plantas”, mediante la cámara del móvil contribuyó para distinguir de manera correcta la muestra vegetal para la extracción de aceite esencial propuesta en la investigación.

#### Figura 19

Identificación de orégano con aplicación “Picture This”.



Nota. Elaboración propia.

#### b) Preparación de la muestra

La planta *Origanum vulgare* recolectada, se colocaron en bandejas de acero inoxidable.

#### c) Extracción de subproducto de naranja

El residuo agroindustrial es obtenido de manera manual separando la parte piel (cáscara) de la pulpa, luego se secaron aplicando el método tradicional por secado directo utilizando un deshidratador de alimentos, en modo

pasivo de tipo convección forzada durante 2 horas y 30 min con la finalidad de reducir la cantidad de humedad de las cáscaras y facilitar la obtención de micropartículas del residuo agroindustrial de *Citrus x sinensis*.

- d) Extracción de aceite esencial de orégano.
- e) Elaboración de biopelículas comestibles.
- f) Análisis fisicoquímicos, microbiológico y mecánicas de las biopelículas comestibles.

#### **3.6.4. Operaciones para obtención de harina de cáscara de naranja**

##### **a) Recepción**

En esta etapa se recibieron la fruta naranja en estado fresco adquirida del mercado Manuel Odría.

##### **b) Selección y clasificación**

Consistió en seleccionar aquellas cáscaras en buen estado, considerando el tamaño, color, aroma y sin defectos mecánicos, físicos y/o signos visibles de ataque fúngico como moho (hongo microscópico).

##### **c) Pesado 1**

Consistió en pesar la naranja utilizando una balanza de precisión con características como marca Bioevopeak y serie BP - 2C.

##### **d) Lavado y desinfección**

Se efectuó el lavado utilizando abundante agua para reducir las impurezas removiendo restos de tierra, luego se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio (6 ml - cloro comercial) de 50 ppm de cloro libre con agua (6 L), durante 20 minutos y después se lavó nuevamente con 7 L de agua (H<sub>2</sub>O) fría en condición de 25°C (Toribio & Rodríguez, 2024).

##### **e) Pelado y fraccionado**

Cada unidad del fruto se despojó manualmente utilizando un cuchillo no dentado cortando la cáscara en pequeños tamaños (5 cm de largo x 3 cm de ancho).

**f) Pesado 2**

Nuevamente se procedió a pesar con el propósito de comprobar la cantidad disponible de residuo orgánico para brindar valorización.

**g) Secado**

Las cáscaras del cítrico se secaron mediante método convección en el equipo deshidratador de alimentos durante 2 horas con 30 min a 45°C, con la finalidad de reducir el contenido de humedad.

**h) Molienda**

Se realizó la molienda de la muestra (cáscara de naranja – 200g) en el molino Wiley de tipo disco único durante 1 hora triturado por el efecto de impacto y fricción, con finalidad de reducir las dimensiones de cáscara de naranja hasta obtener tamaños pequeños de partículas utilizando mallas de 0,85 mm; 0,5 mm; 0,25 mm y un recipiente para recolectar la harina cernida.

**i) Tamizado**

Las micropartículas de cáscara de naranja fueron pesados y colocados en tamices de diferentes tamaños con la finalidad de conseguir la granulometría de micropartículas más fina acorde a la metodología ASTM E-11, considerando desde 1 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) hasta 1000 micras.

**j) Empacado al vacío**

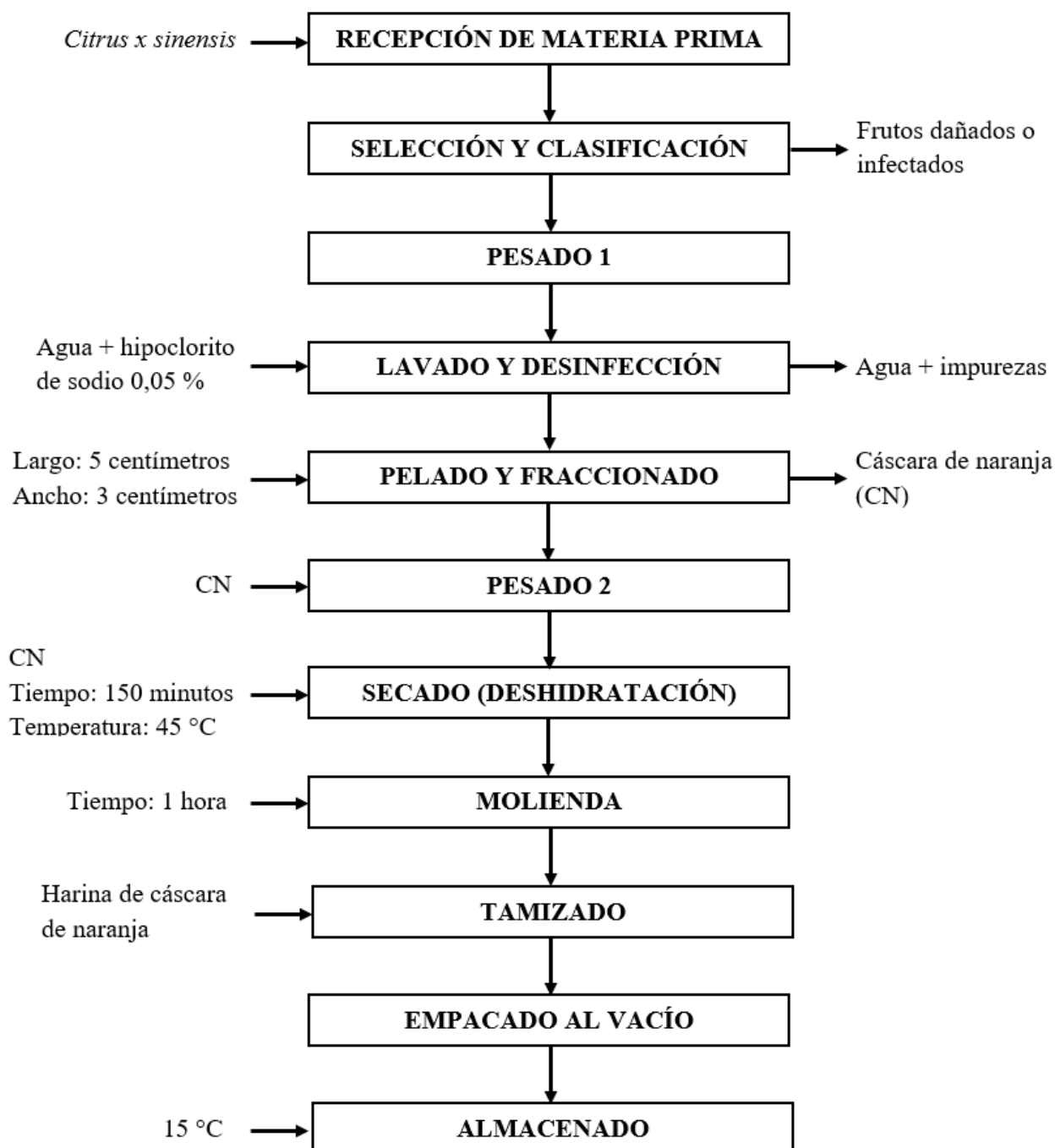
Comprendió en extraer el aire dentro del envase (bolsa transparente de polietileno) para conservar la harina del residuo cítrico por más tiempo evitando la degradación de propiedades fisicoquímicas, sensoriales, nutricionales y preservando la vida útil inhibiendo la proliferación microbiana.

**k) Almacenado**

La muestra se almacenó a 15°C para emplear en las formulaciones de biopelículas comestibles.

**Figura 20**

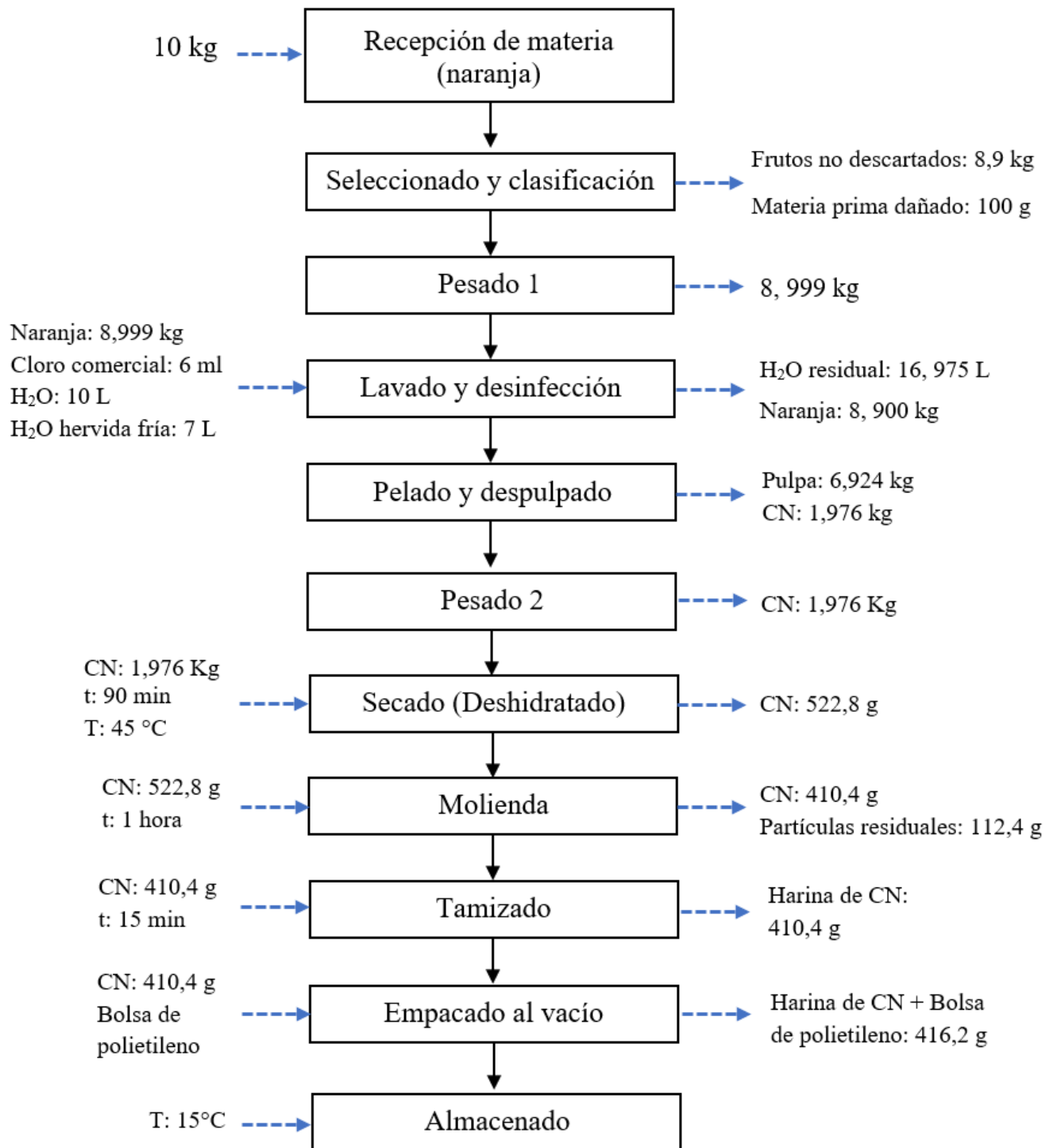
*Flujograma de obtención de micropartículas de cáscara de naranja.*



*Nota.* La figura presenta las operaciones correspondientes para la obtención de harina de piel de naranja. Elaboración propia.

**Figura 21**

*Balance masico de micropartículas de cáscara de naranja (CN).*



*Nota.* El esquema detalla el balance másico del polvo de piel de naranja.

Elaboración propia.

### **3.6.5. Análisis granulométrico de micropartículas de cáscara de naranja**

#### **a) Recepción de micropartículas de subproducto de naranja y pesado**

Las micropartículas se pesaron por separado permitiendo eliminar e identificar pérdida del material utilizando una balanza analítica, considerando la cantidad de 39,45 gramos de muestra cercana del peso trabajado por Gómez & Ramírez (2020), en la ejecución del proceso para granulometría de harina del subproducto cítrico.

#### **b) Elección de los tamices**

Consistió en elegir el tamaño de los tamices considerando la cantidad de la muestra para adicionar en el análisis granulométrico y con respecto a las aberturas de malla fueron seleccionados de forma que las partículas de la muestra permanezcan cubiertas. Para cernir los granos se utilizaron los tamices ASTM E11-17 con tamaño de mallas 1,4 mm (abertura) N°14, 850  $\mu\text{m}$  N°20, 500  $\mu\text{m}$  N°35 y 250  $\mu\text{m}$  N°60 (American National Standards Institute [ANSI], 1988).

#### **c) Pesado de los tamices**

Se pesó cada tamiz sin carga realizando las anotaciones del peso registrado por cada tamiz y la base, utilizando una balanza de precisión.

#### **d) Tamizado vertical**

Primero se colocó la muestra en el tamiz inicial del equipo tamizador vibratorio marca Retsc, modelo AS 200 basic empezando desde el mayor tamaño sin forzar a que pase por las rejillas del siguiente tamiz, prosiguiendo con la programación de forma digital el parámetro de amplitud vibratoria a 70 mm basado en la agitación continua durante 15 minutos. Asimismo, la agitación se realizó tres repeticiones aplicando los mismos parámetros.

#### **e) Pesado de la muestra retenido más tamiz**

Luego de transcurrir el tiempo se registraron los pesos por cada tamiz con el material retenido aplicando la técnica de pesado diferencial, donde el peso por tamiz con el material detenido por los orificios de la malla es restado con el peso del tamiz sin carga de forma separada por tamaños.

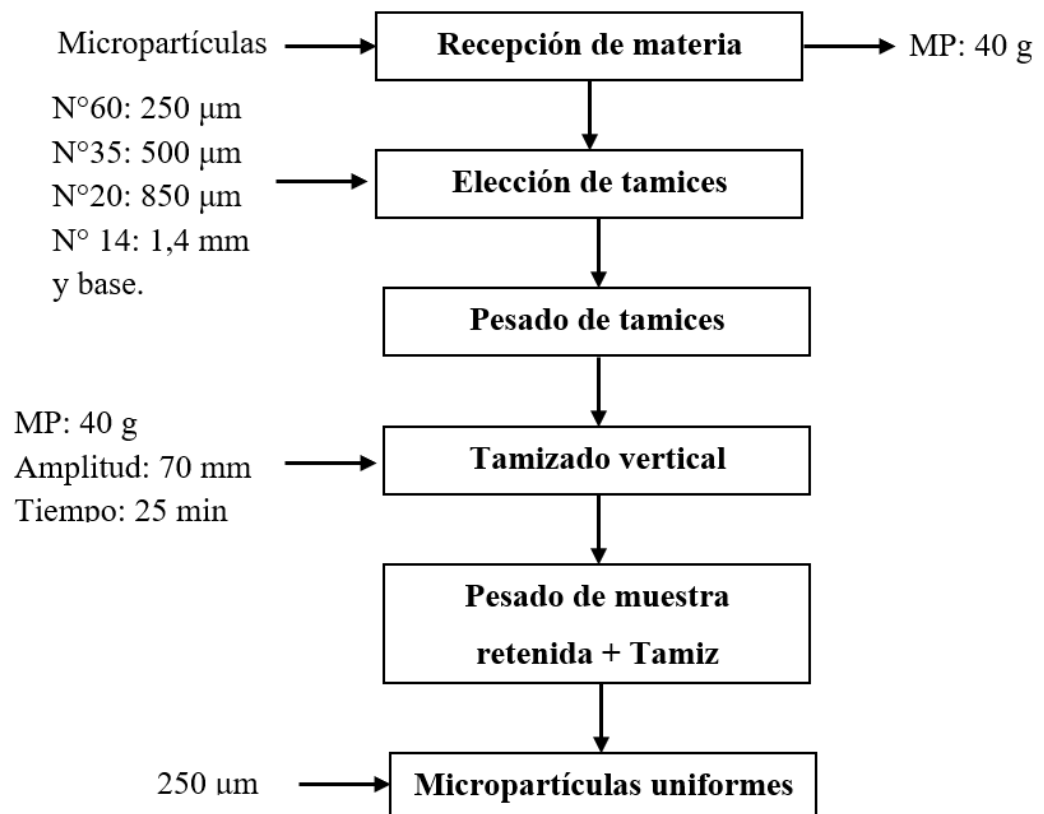
Prosiguiendo con la acción de extraer la muestra en la base de los tamices que fueron analizado por repetición de tamizado en la obtención de fracciones granulométricas individuales.

**f) Micropartículas uniformes**

Se obtuvieron las micropartículas de 250  $\mu\text{m}$  de granulometría fina con la finalidad de emplear en la mezcla de solución para las biopelículas comestibles de manera homogénea sin acumulaciones, que fueron almacenados a una temperatura de 20°C.

**Figura 22**

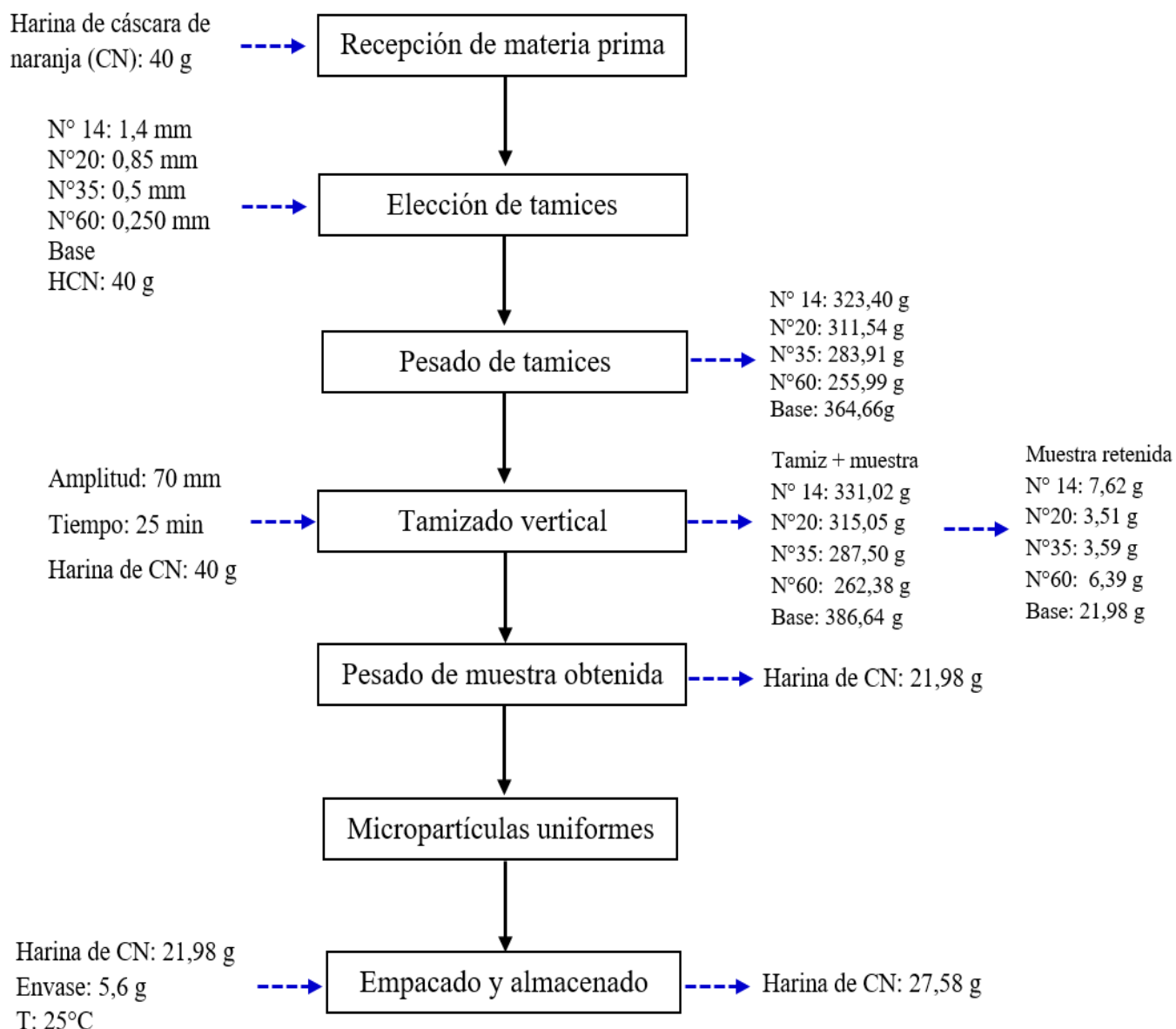
*Flujograma del proceso de análisis granulométrico de micropartículas de cáscara de naranja.*



*Nota.* Especificación de los procesos realizados en los procesos para análisis granulométrico en harina de piel de naranja. Elaboración propia.

**Figura 23**

*Balance de materia para obtener micropartículas de piel de naranja.*



*Nota.* Balance de masa identificado en los procesos desarrollados en la obtención de harina de piel de naranja. Elaboración propia.

### 3.6.6. Proceso de extracción de aceite esencial de *Origanum vulgare* mediante el método arrastre de vapor

#### a) Identificación de materia prima

Consistió en coleccionar la planta de orégano identificando de manera profesional en función a los conocimientos basados en sus características para cosechar en el centro poblado Casamachay Huichay ubicado en el distrito de Tarma, provincia de Tarma, región Junín.

#### **b) Pesado 1**

Se pesó la planta comprendida en hojas y tallo, empleando la balanza de precisión.

#### **c) Selección y clasificación**

Se realizó con la finalidad de clasificar aquellas plantas sin características con coloración negruzca, tamaños y roturas por efectos mecánicos manipulables.

#### **d) Desojado**

Las hojas se separaron del resto del vegetal (tallo) de forma manual evitando dañar y marchitar, conservando el aroma de las hojas.

#### **e) Secado**

Después del desojado se sometió a secar naturalmente mediante temperatura ambiente sobre papel kraft, sin presencia de radiación solar y evitando el contacto con gotas de agua durante 4 días hasta conseguir un secado uniforme.

#### **f) Pesado 2**

Las hojas y tallo se pesaron por separado registrando las cantidades en una libreta de campo.

#### **g) Extracción de aceite esencial (destilación por arrastre de vapor)**

Para la extracción del compuesto aromático de *Origanum vulgare*, primero se colocaron las hojas en cestos, introduciendo en el sistema de calefacción, continuando con el encendido del equipo “extractor de aceites esenciales, marca Figmay, modelo EXT-LAB”, programando la potencia a 60% por un periodo de 2 horas y 30 minutos, además de activar la conexión de agua.

La muestra es sometida al vapor de agua sobrecalentado, donde la esencia es arrastrada hasta obtener el aceite esencial en el colector separado del hidrolato llenado en el matraz Erlenmeyer.

#### **h) Decantado**

En este proceso se enfrió el sistema para la separación de fases (aceite esencial y agua floral (hidrolato) encontradas por separado por la diferencia de densidad.

#### **i) Purificación**

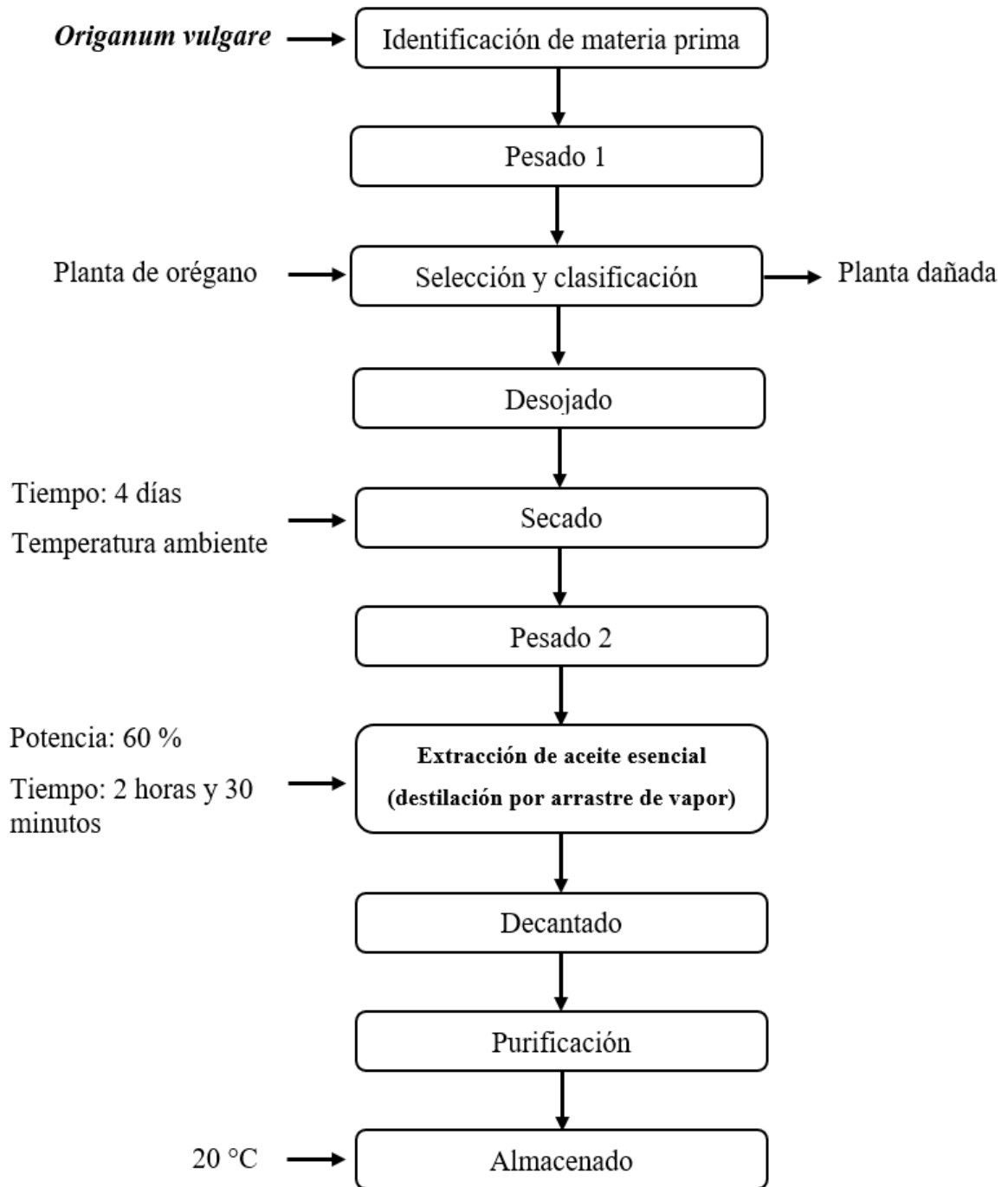
Consistió en absorber el contenido de hidrolato unido en el aceite esencial con sulfato de sodio Anhidro y se filtró en viales ámbar.

#### **k) Almacenado**

La muestra se almacenó a 20°C en ausencia de radiación solar para su posterior aplicación.

**Figura 24**

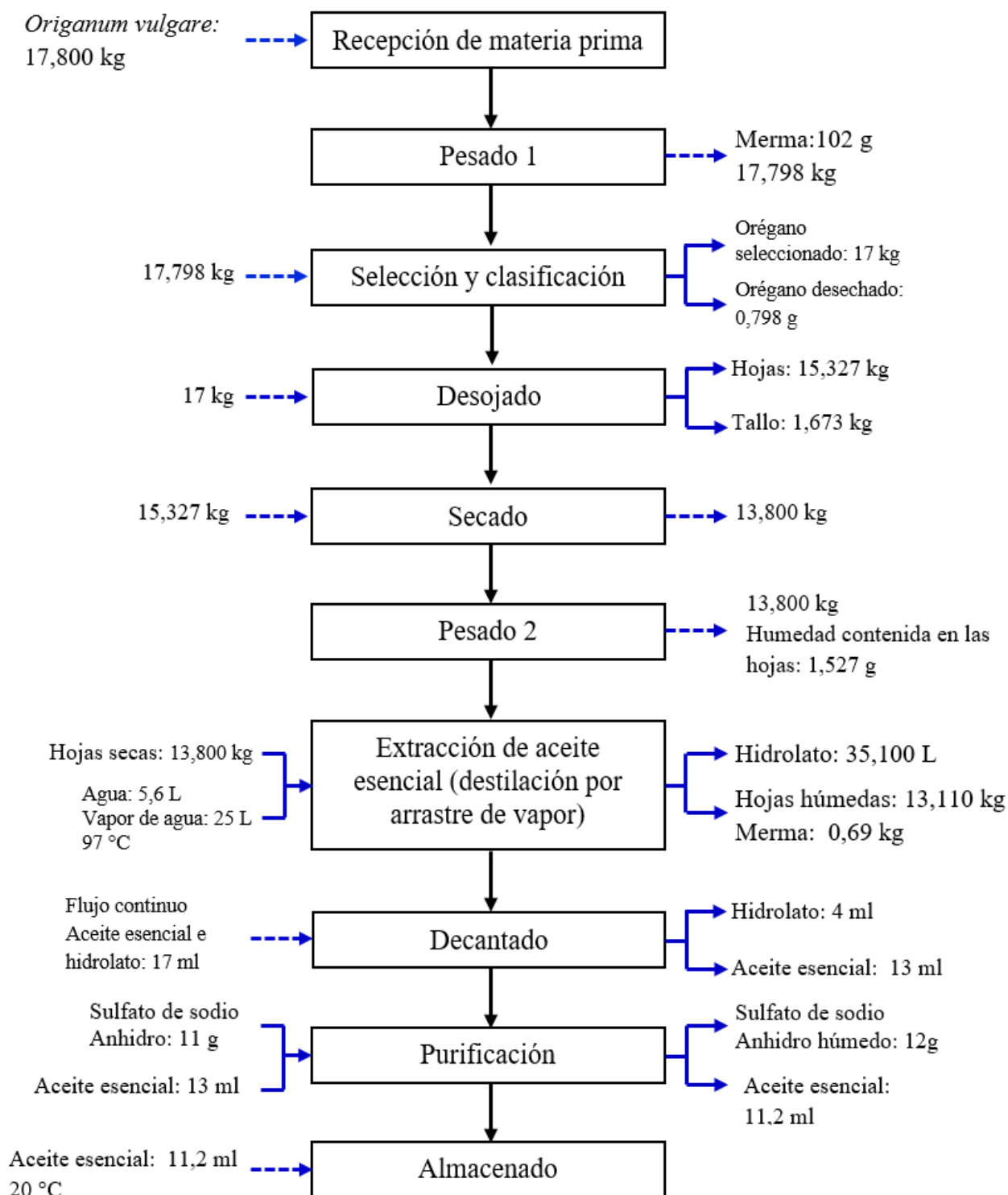
*Diagrama de flujo para la obtención de aceite esencial de orégano aplicando método arrastre de vapor.*



*Nota.* El flujograma señala los procesos para obtención de aceite esencial de orégano. Elaboración propia.

**Figura 25**

*Diagrama de balance de materia para obtener aceite esencial de orégano.*



*Nota.* La figura muestra el balance de materia para la extracción de aceite esencial de orégano. Elaboración propia.

### **3.6.7. Proceso de elaboración de biopelículas comestibles**

#### **a) Recepción de materia prima e insumos**

Se recibieron las micropartículas de cáscara de naranja: 387,99 g, aceite esencial de orégano: 11,2 g y las matrices poliméricas (goma xanthan: 100g, agar agar: 100 g y alginato de sodio: 50 g).

#### **b) Pesado**

Se utilizó una balanza analítica para el pesado de agua destilada y glicerol en vasos precipitados y el pesaje de micropartículas de cáscara de naranja, aceite esencial de orégano (F1: 0,9 g F2: 1,2 g, F3: 1,5 g), goma xanthan (F1: 1,5 g F2: 1,5 g, F3: 1,5 g y MC F4: 1,5 g), agar agar (F1: 1,4 g. F2: 1,4 g, F3: 1,4 g y MC F4: 1,4 g), alginato de sodio (F1: 0,25 g F2: 0,25 g, F3: 0,25 g y MC F4: 0,25 g) y polisorbato 80 (F1: 2,5 g F2: 2,5 g, F3: 2,5 g y MC F4: 2,5 g).

#### **c) Diluido**

Esta operación consistió mezclar las matrices poliméricas de manera automatizada utilizando un agitador magnético digital programando la velocidad a 800 RPM por 15 minutos a 45°C, donde se diluyó en 50 mL de agua destilada añadiendo el agar agar, luego de 10 min, agregar el alginato de sodio hasta obtener una mezcla homogénea.

#### **d) Mezclado y Homogenizado**

En 50 mL de agua destilada se procedieron añadir las micropartículas de cáscara de naranja con movimiento constante por 5 minutos, seguido se trasvasó la mezcla (alginato de sodio y agar agar) homogeneizado, continuando con la incorporación de goma xantana, tween 80 y glicerol, durante 45 min, de acuerdo a las formulaciones hasta obtener una mezcla homogénea.

#### **e) Pesado y Vertido**

Se emplearon placas petri rotuladas de 10,5 cm de diámetro y 2 mm de altura, para verter la mezcla homogénea aplicando movimiento ligeramente sobre la placa para evitar la separación de los componentes, cuando se mantiene registrando la lectura de la balanza analítica alcanzando un peso final de 25 gramos, continuando con el esparcimiento uniforme de la solución filmógena formada.

## f) Secado

Una vez obtenida la mezcla gelatinosa, se procedió a llevar las placas Petri en la estufa por 255 minutos a 40 °C.

## g) Desmoldado y selección

Después del secado se evaluaron cada una de las biopelículas secas, clasificando y descartando las que presentaban burbujas, fraccionamiento, rupturas o grumos.

## h) Aplicación de aceite esencial

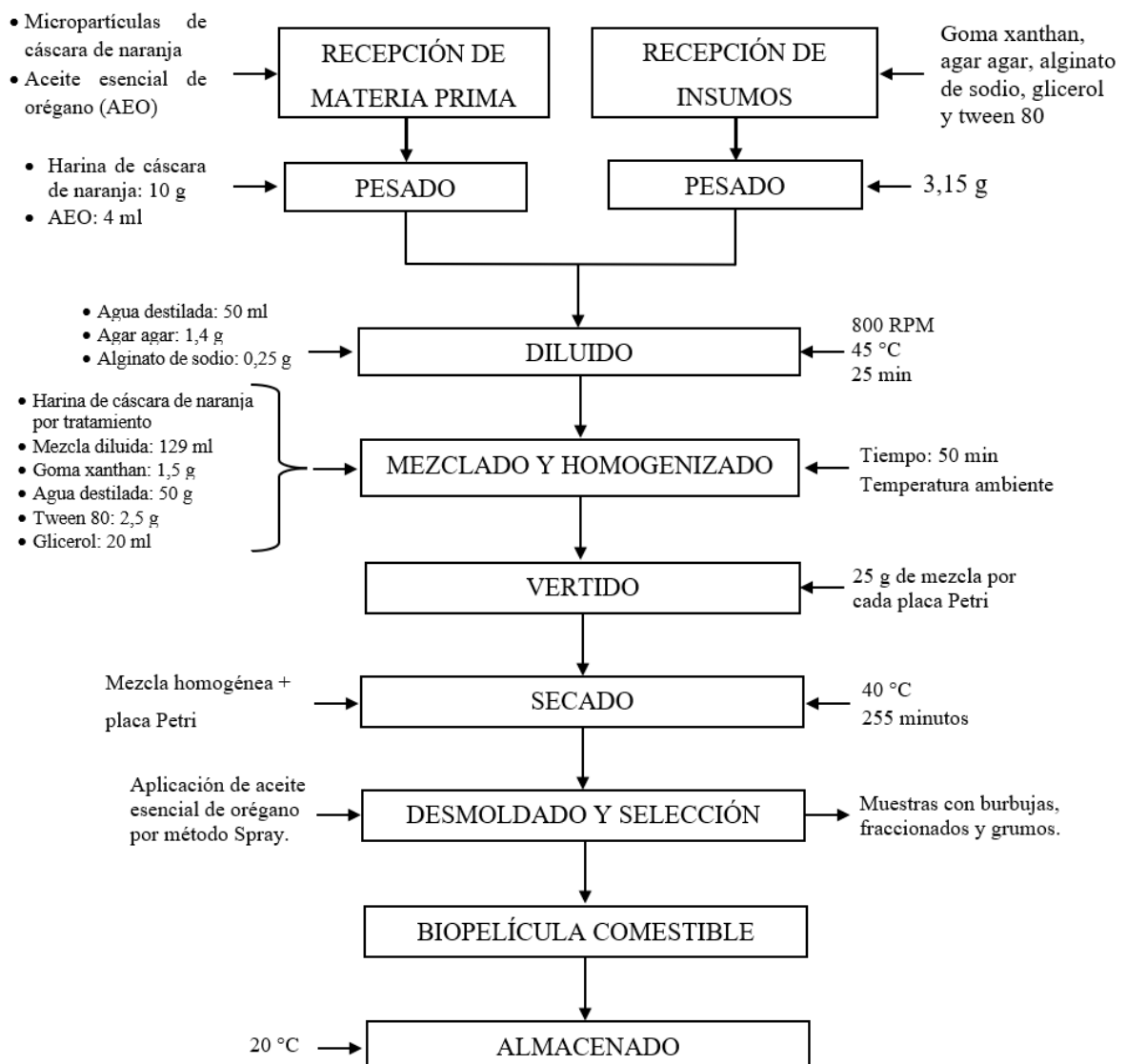
En esta etapa se aplicó el aceite esencial de *Origanum vulgare* mediante método spray.

## i) Almacenado

Primero consistió en desplegar cuidadosamente la biopelícula comestible de las placas petri y luego colocar sobre papel kraft con la finalidad de evitar la absorción de humedad del medio ambiente.

**Figura 26**

*Proceso de elaboración de biopelículas comestibles.*



### 3.7. Métodos de análisis de datos

- Método ASTM D882-97 para características mecánicas.
- Método ASTM E11-17 de las aberturas nominales de tamiz para desarrollar análisis granulométrico de micropartículas de cáscara de naranja.
- Normas AOAC (Métodos Oficiales de Análisis, Asociación de Químicos Analíticos Oficiales).

#### 3.7.1. Determinación de análisis fisicoquímico

**a. Determinación °Brix:** Se utilizó el método 932.12 y se adoptó el método descrito por Association of Official Analytical Chemists International (A.O.A.C., 2007), determinando el monto de sólidos solubles totales presentes en las biopelículas comestibles, mediante el equipo refractómetro digital marca Anton Paar / Abbemat 3000.

**b. pH:** Se determinó por el método potenciométrico, de acuerdo a la AOAC 981.12 (2005), con inmersión del electrodo en la mezcla diluida (muestra: 1g + agua destilada: 9 ml), con previa calibración con solución buffer de pH 4 y 7, se visualiza la lectura registrada del pH-metro (Miranda, 2023).

**c. Acidez titulable %**

Se empleó la metodología explicada por AOAC (1997), considerando la adición de 1g de muestra en 9 ml de agua destilada, mezclado uniformemente la solución para agregar tres gotas de fenolftaleína al 1% agitando constantemente durante 2 min, continuando con la titulación verificando la cantidad gastada de hidróxido de sodio (NaOH) empleando una bureta de 25 ml, observando el cambio de tonalidad rosado en efecto de la reacción registrando el volumen en una ecuación Ec. 5 para cuantificar el porcentaje de acidez contenida en la muestra descrito por Miranda (2023).

**Figura 27**

*Explicación experimental para obtener % de acidez.*



**Acidez titulable**

$$\% \text{ Acidez} = \frac{\text{mL NaOH} \times \text{N} \times \text{meq}}{\text{M}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec.5}$$

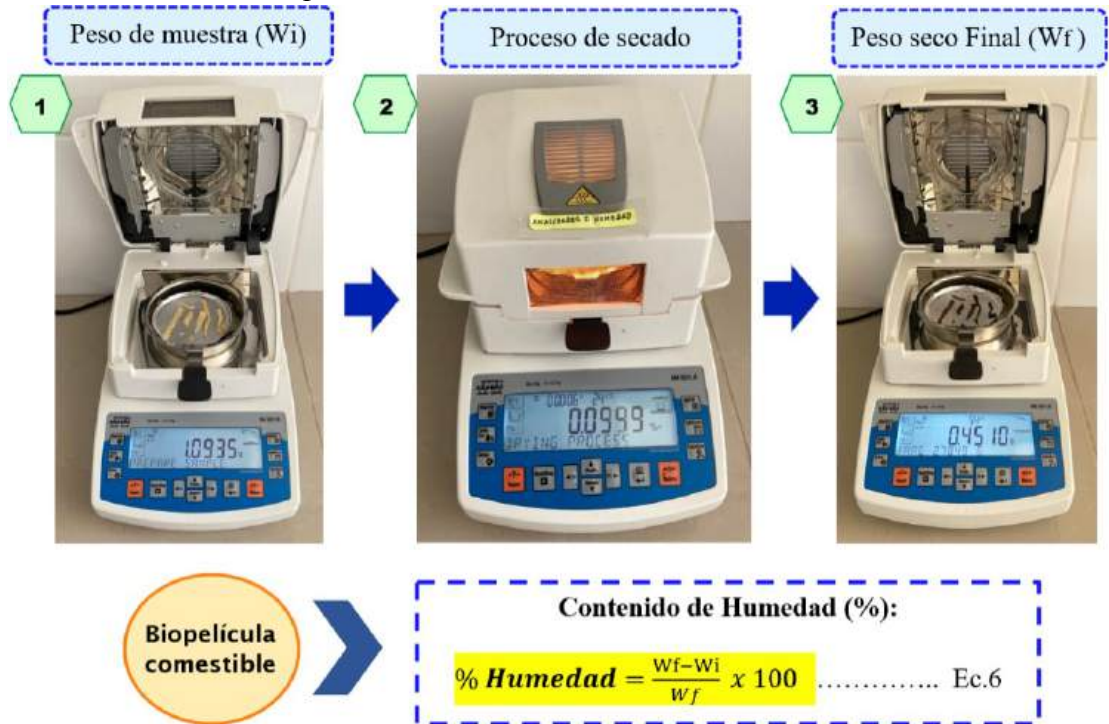
**Donde:**

- V: Volumen de NaOH gastado en la muestra
- N: normalidad - NaOH
- Meq: miliequivalente del ácido predominante
- M: Cantidad de muestra en gramos

**d. Humedad:** El contenido de humedad está basado en el método descrito por AOAC (2000), se determinó evaluando inicialmente el peso ( $W_i$ ) de la muestra de biofilm referencial a 1g utilizando un analizador, comenzando introducir la muestra en una placa petri de aluminio anotando la cantidad inicial, dejando realizar el proceso programado de secado constante a  $120^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar un peso final consistente ( $W_f$ ), luego se calculó el contenido de humedad empleando una ecuación indicada en la Figura 28 (Venkatachalam et al., 2024).

**Figura 28**

*Procedimientos para calcular el % Humedad de las muestras.*



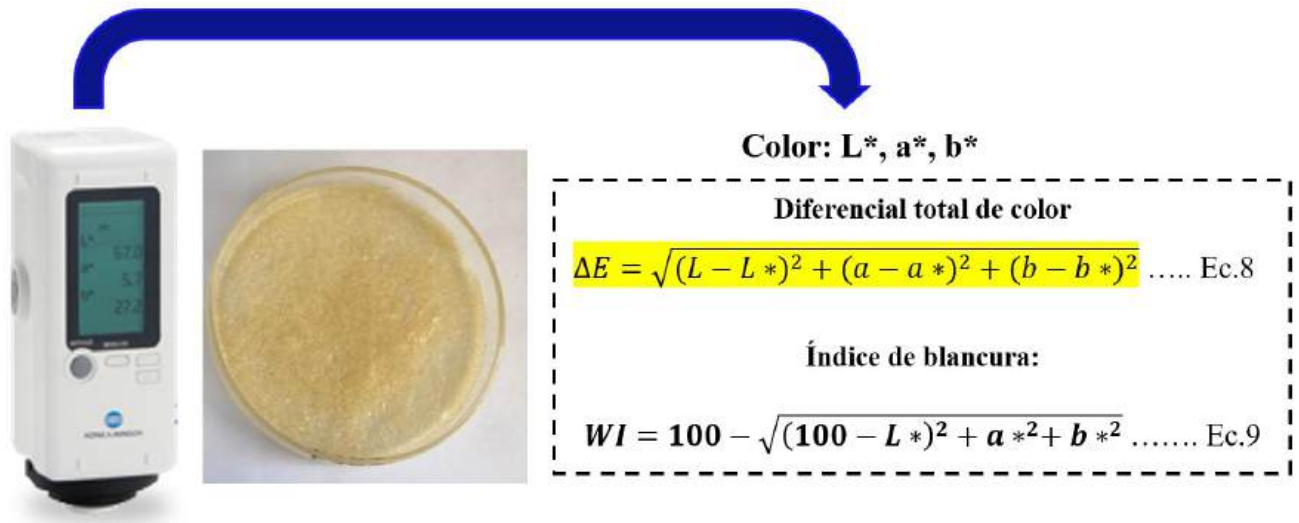
**e. Pérdida de peso (%):** Este índice determina la reducción del peso inicial partiendo desde la solución filmógena al aplicar un proceso de secado para obtener una biopelícula con peso minimizado debido a la evaporación, siendo registrados la lectura de los pesos utilizando una balanza analítica con la finalidad de sustituir en la fórmula, la cantidad resultante se expresa como porcentaje-%, evaluando el método gravimétrico desarrollado (Xin et al., 2020).

$$\%PP = \left( \frac{\text{Peso inicial (Pi)} - \text{Peso final (Pf)}}{\text{Peso inicial (Pi)}} \right) * 100 \dots\dots\dots \text{Ec.7}$$

**f. Colorimetría:** Se empleó el equipo colorímetro analizador digital previamente calibrado, marca Konica Minolta para determinar el color de los biofilms comestibles, aplicando el método del sistema Cielab, donde L\* indica luminosidad, a\* y b\* son las coordenadas cromáticas, este parámetro informa la cuantificación de tonalidad predominante de los compuestos presentes en el biomaterial, hallando un color identificando con la aplicación de ecuaciones (Zhang et al., 2019).

**Figura 29**

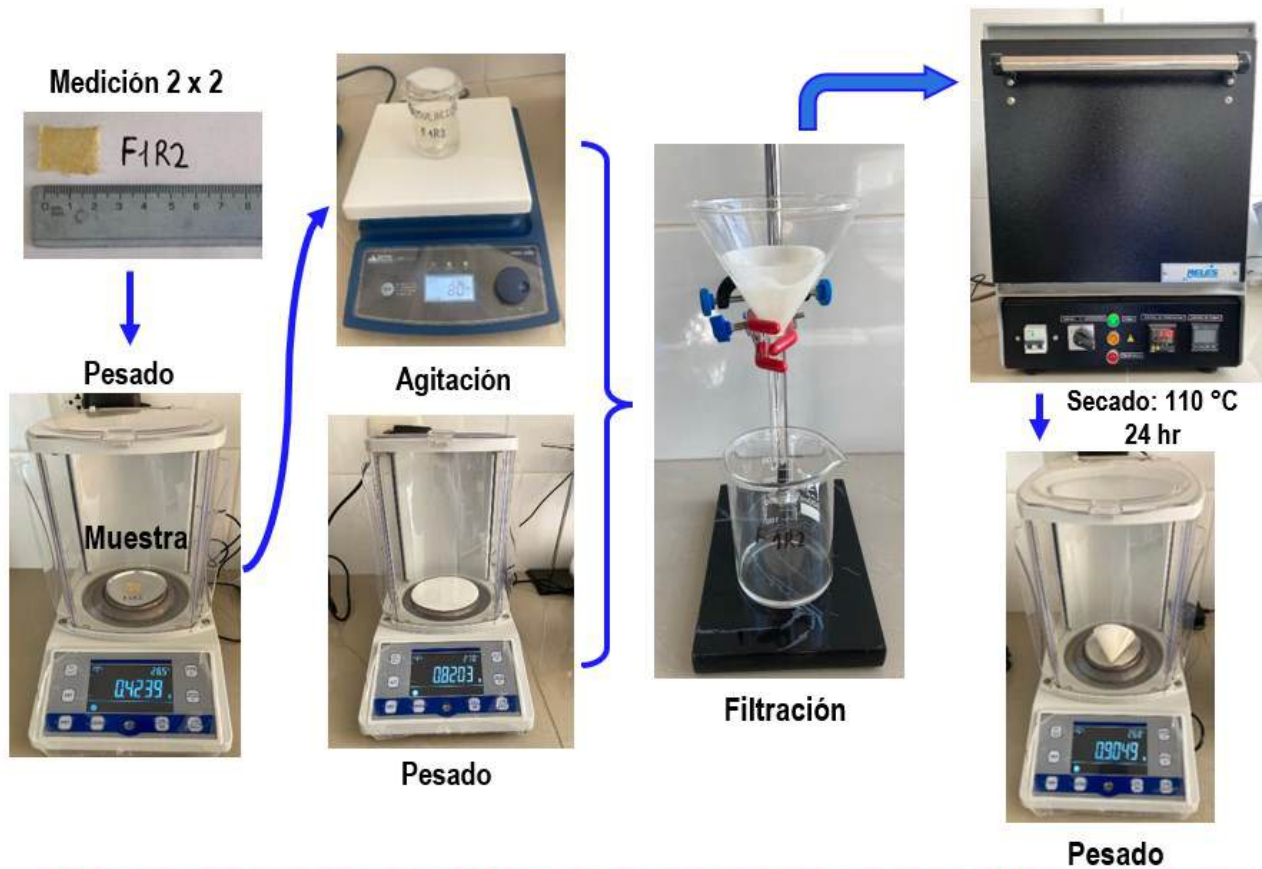
*Diagrama experimental para hallar el índice de color.*



- g. Índice de solubilidad (S):** Para la determinación de solubilidad de las biopelículas sintetizadas, cada muestra se fraccionó en pequeños trozos con dimensiones de 2 x 2 cm descrita por Evangelho et al. (2019), seguido del pesado ( $W_i$ ) se sumergió en 50 ml de agua destilada colocado sobre un agitador magnético programando los parámetros de RPM modificado al mínimo de 80 y temperatura 25°C durante un periodo de 24 horas, previamente cerrado herméticamente para evitar la evaporación de la muestra diluida (Wei et al., 2024). Prosiguiendo con el método modificado para filtrar por 7 horas con 30 min a temperatura ambiente utilizando papel Whatman la solución gelificada, después se secó nuevamente en mufla a 110 °C durante 24 h, continuando con el pesado de cada muestra secado y se realizó los cálculos del % de solubilidad utilizando una ecuación detallada en la Figura 30 (Maran et al., 2013).

**Figura 30**

*Procedimientos para determinar el % de solubilidad de biopelículas.*



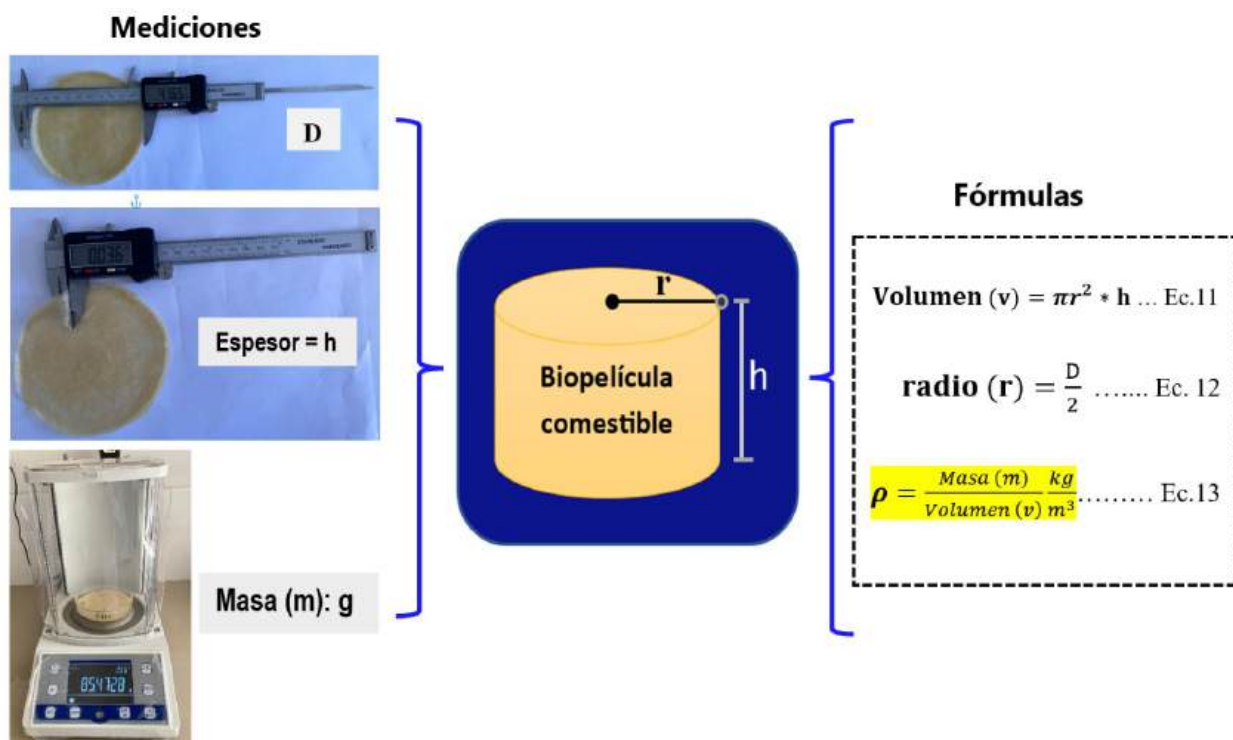
**Ecuación de % Solubilidad**

$$S(\%) = \frac{\text{Peso seco inicial } (W_i) - \text{Peso seco final } (W_o)}{\text{Peso seco inicial } (W_i)} * 100 \dots\dots\dots \text{Ec. 10}$$

**h. Densidad:** Para determinar el cálculo de densidad por cada biofilm, primero se procedió a medir las distancias del segmento diámetro y grosor (h), empleando un vernier digital para reemplazar los datos registrados en fórmulas para hallar el volumen total m<sup>3</sup> y radio, seguido de la masa obtenida pesando en una balanza analítica, terminando en sustituir las cantidades determinados en la ecuación acorde a las especificaciones de la normativa ASTM D-4254.

**Figura 31**

*Cálculos de mediciones para obtener densidad aparente.*



- i. **Espesor:** El grosor se examinó por cada biopelícula midiendo con un vernier digital calibrado al introducir la muestra entre las mordazas interiores y verificando la lectura obtenida expresado en mm observando en la pantalla del instrumento (Venkatachalam et al., 2023).

### 3.7.2. Determinación de análisis de propiedades mecánicas

- a. **Resistencia a la tracción:** Se determinó con el método AOAC D882, las muestras se cortaron en rectángulos de 5 cm (largo) y 2,5 cm (ancho), previamente acondicionadas durante 24 horas con una humedad relativa de 50% en un desecador manteniendo una solución saturada de bromuro de sodio - NaBr (Viteri, 2020).

Aplicando tasas de tracción desde 1 a 500 mm/min hasta que la muestra se rompa al administrar resistencia a la tracción colocando las biopelículas comestibles en mordazas de retención del equipo texturómetro, considerando una separación inicial de 32 mm entre mordazas y velocidad de deformación de 0,5 mm/s (Choudhary et al., 2023).

**b. Porcentaje de elongación:** Se midió la longitud inicial ( $L_0$ ) y final ( $L_f$ ) de las muestras de biopelículas al realizar la prueba de resistencia a la tracción, seguido de los cálculos mediante la fórmula adoptada por ASTM D828-97:

$$\%E = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec.14}$$

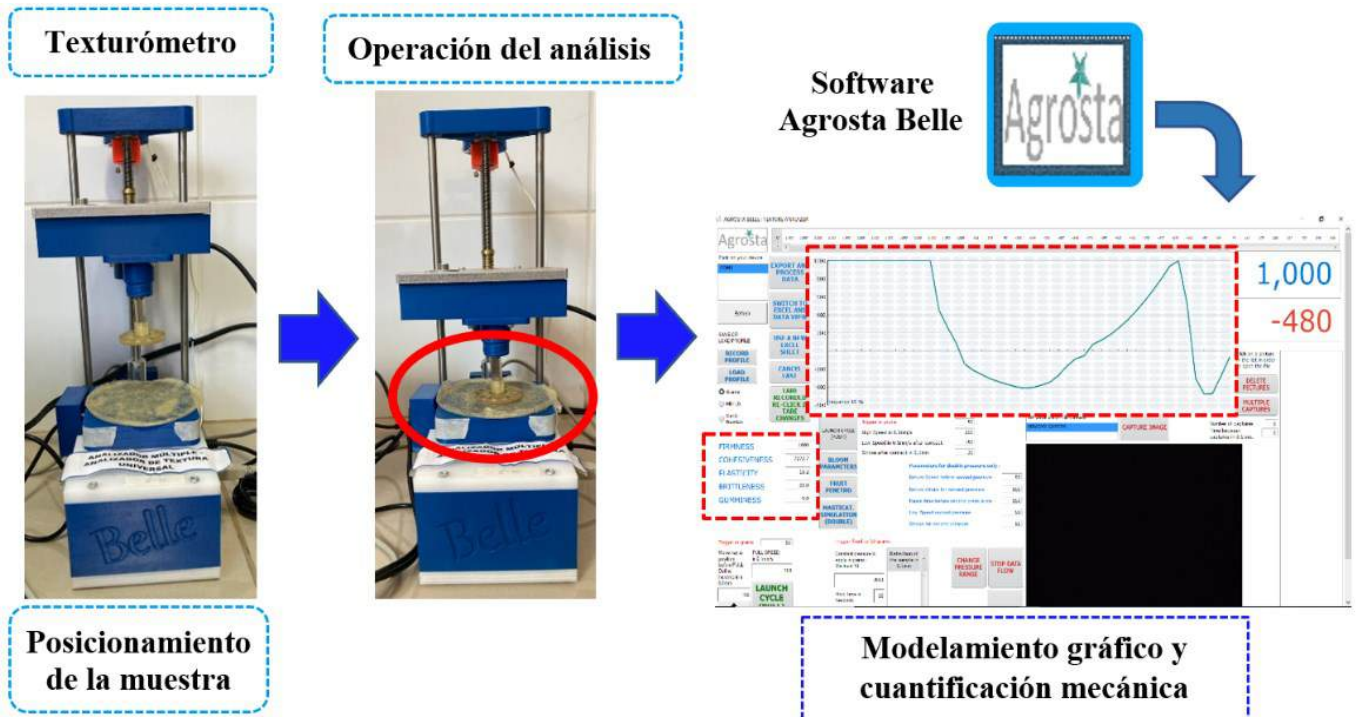
**c. Módulo de elasticidad:** Según norma ASTM D828-95, se comprobó el módulo elástico relacionada a la zona elástica y el esfuerzo a la tensión con la deformación, mediante la siguiente ecuación (Sánchez, 2020):

$$\text{Módulo de Young (Y)} = N/m^2 \dots\dots\dots \text{Ec.15}$$

**d. Análisis de peculiaridades mecánicas**

Respecto a las propiedades mecánicas se empleó un equipo analizador texturómetro integrado al software Agrosta Belle para hallar el porcentaje de elasticidad, firmeza y resistencia del biomaterial comportándose más tenaz evitando rompimiento y deformación, la obtención de las mediciones se registra en el programa establecido después de digitar los parámetros constituidos en tiempo (150 s), cantidad (50g), presión (95), velocidad alta (200 mm/s) y baja de retorno (100), modificando según la metodología ASTM D882-18 para aplicar pruebas analíticas sobre cualidades mecánicas básicas del biomaterial desarrollado por Domínguez et al. (2019).

**Figura 32**  
*Determinación de cualidades mecánicas.*



### 3.7.3. Análisis microbiológico

Para la favorable evaluación se ejecutó los métodos de ensayo comprendida en la enumeración de *Escherichia coli* y recuento de aerobios mesófilos, siendo necesarios el desarrollo de los procedimientos destinados a la cuantificación de microorganismos aerobios mesófilos y *E. coli*, presentes en las biopelículas comestibles siguiendo las directrices del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las Normas Técnicas Sanitaria (NTS), ejecutados en los laboratorios de CENASAC aprobados por el INACAL.

La identificación pertinente abarca desde la preparación de muestra, previamente pesado para su correspondiente uso, donde la cantidad de 30 gramos fueron recepcionados por la institución mencionada, estas fueron recibidas en condiciones estériles para analizarlos en 24 horas y almacenarlos a 4 °C, en caso de no terminar el análisis de inmediato. Asimismo, se empleó una dilución inicial de 1:10 empleando diluyentes de agua peptonada salina (APS) para un mejor recuento posterior (NTP, 2007).

El segundo proceso constó en aplicar el método de cuantificación para aerobios mesófilos, elegido por su eficiencia de cuantificación seleccionando número más probable (NMP), prosiguiendo con la realización del medio de cultivo utilizando agar peptonado con extracto de levadura y glucosa, continuando con el proceso analítico basado en inocular e incubar, transfiriendo 1 ml de disolución preparada sobre placas petri llevando a incubación a 30 °C durante 24 horas. Después de este penúltimo periodo se procede al conteo de colonias y los resultados fueron expresados en unidades formadoras de colonia (UFC/g).

En el caso de evaluación de enumeración *Escherichia coli* en las biopelículas se cumplió los principios establecidos en la NTS (2017), contribuyendo a la confiabilidad, por ende, se ejecutó siguiendo las pautas efectuando la selección de muestra considerando la naturaleza aséptica y homogeneizando en una disolución de agua peptonada salina (APS) bajo una proporción 1:10 para facilitar el conteo de bacteria.

Consecutivamente, se empleó el método número más probable (NMP) constituido en la inoculación de una disolución en tubos con un líquido denominado caldo *Escherichia coli* (EC), ayudando a estimar el conteo utilizando tablas estadísticas relacionando datos positivos con el número

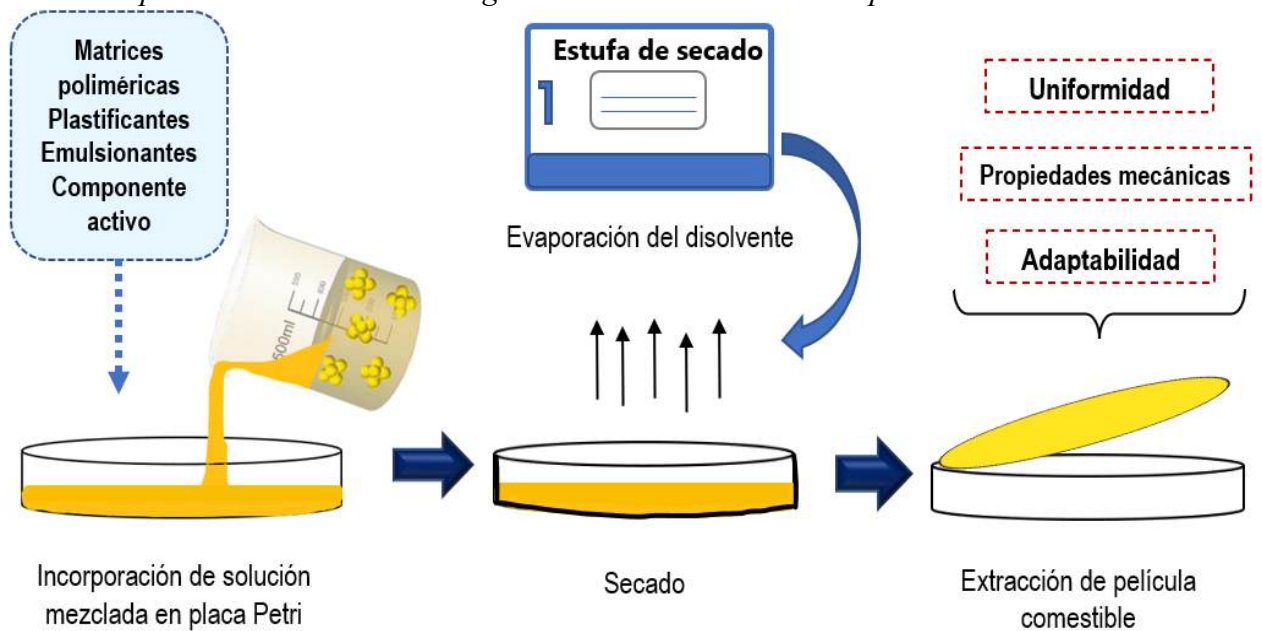
microorganismos. Asimismo, se incluyó la siembra en placas a temperatura de 34 °C por 24 horas, continuando con la selección de colonias diferentes para validarlos y posteriormente los resultados fueron expresados en NMP/g e interpretados considerando los límites aceptables de acuerdo al cumplimiento a las normativas nacionales de establecimientos requeridos en alimentos deshidratados similares a la muestra estudiada.

### 3.7.4. Método casting

Este método forma parte de uno de los más utilizados para la elaboración de películas comestibles, facilitando la obtención de una capa delgada rígida con un moldeo uniforme, debido a que consiste en un proceso de verter una solución líquida o semilíquida en un molde (placa petri) y secar mediante calor utilizando una estufa de secado o dejarlo a temperatura ambiente para su reacción, formación y consistencia (Cantero et al., 2023).

**Figura 33**

*Aplicación de técnica casting de moldeo mediante secado por convección.*



*Nota.* Explicación experimental del método casting. Adaptado de Pan et al. (2024).

### 3.7.5. Tratamiento estadístico de datos o procesos de argumentación científica

#### 3.7.5.1. Modelo estadístico

Para el presente trabajo de investigación se aplicó los siguientes tratamientos estadísticos:

El diseño empleado en la investigación experimental corresponde al diseño completamente al azar (DCA), debido a que se manipuló una sola variable independiente, con respecto a la concentración en porcentaje (%) de micropartículas de cáscara de naranja (1,17; 1,55 y 1,93) para la elaboración de biopelículas comestibles con tres matrices poliméricas (goma xanthan, agar agar y alginato de sodio), continuando con la aplicación del aceite esencial (0,70 %; 0,93 % y 1,16 %) y la evaluación de los contaminantes microbiológicos.

En la determinación de las características fisicoquímicas y mecánicas de las biopelículas comestibles, se hallaron con el diseño completamente aleatorio (DCA), en función a las variables independientes y dependientes, donde los tratamientos fueron asignados de forma aleatoria a cada unidad experimental basado en un diseño variado y homogéneo sin ningún bloqueo, el cual es eficiente debido a la simplicidad de su aplicación.

**Hipótesis a probarse son:**

**H<sub>0</sub>:** Los tratamientos tienen buenas concentraciones de micropartículas de cáscara de naranja y extracto de orégano con tres matrices biodegradables (goma xanthan, alginato de sodio y agar-agar) para producir biopelículas comestibles.

**H<sub>a</sub>:** Al menos uno de los tratamientos es diferente de los otros.

**Nivel de significación:**

$$\alpha = 0,05$$

Para determinar las diferencias entre los tratamientos, se realizó a través del análisis de varianza (ANOVA) con 95% de significancia y prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), para diferenciar los tratamientos con el programa estadístico Minitab® 20 y Microsoft Excel 2020.

Por el contrario, en el caso de no cumplir los requisitos previos de supuestos de normalidad fue necesario contrastar la hipótesis que no siguen una distribución normal mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis de las medianas muestras evaluadas.

En la condición de comprobación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad, para proceder a ejecutar el análisis de varianza de los datos de medias de los grupos para identificar diferencias significativas entre ellas.

El modelo aditivo lineal general para el desarrollo experimental y los resultados (análisis fisicoquímico y mecánico), se utilizó la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_i \dots\dots\dots \text{Ec. 16}$$

**Donde:**

$i$  = Tratamientos con micropartículas de cáscara de naranja (4)

$j$  = Réplicas o repeticiones (3)

$Y_{ij}$  = Variable respuesta que se obtiene del  $i$ -ésimo tratamiento y la  $j$ -ésima repetición

$\mu$  = Efecto de la media general

$T_i$  = Efecto del tratamiento  $i$ , siendo  $i$  = los diferentes % de micropartículas de cáscara de naranja.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental en la repetición  $j$ -ésima asociada al  $i$ -ésimo tratamiento.

**Modelo aditivo lineal**

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}; \begin{cases} i = 1, 2, 3, \dots, k \ (k = \text{Tratamientos}) \\ j = 1, 2, 3, \dots, b \ (b = \text{Bloques}) \end{cases}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = La medición que corresponde al tratamiento  $i$  y al bloque  $j$ .

$\mu$  = La media global poblacional.

$\tau_i$  = El efecto debido al tratamiento  $i$ .

$\beta_j$  = El efecto debido al bloque  $j$ .

$\varepsilon_{ij}$  = El error aleatorio atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

**Comparación en medias de tratamientos:**

**Método Tukey**

El método estadístico establecido en experimentos comparativas de medias muestrales entre grupos con el propósito de generar una conclusión acertada sobre toma de decisiones finales, específicamente en tratamientos que difieren por sus datos obtenidos en sus medias de más de dos conjuntos,

permitiendo facilitar una fiabilidad significativa comprobada con el valor crítico obtenido en la ejecución del desarrollo de la ecuación utilizado después de un análisis de varianza (Agbangba et al., 2024; Hernández Sampieri et al., 2014; Gutiérrez & Vara, 2012).

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N - k)\sqrt{CME/n_i} \dots\dots Ec. 17$$

**Donde:**

**$T_{\alpha}$ :** Diferencia muestral de tratamientos entre los valores de medias.

**CME:** Cuadrado medio del error.

**$N_i$ :** Número de observaciones por tratamiento.

**k:** Dígitos de tratamientos.

**N-k:** Grados de libertad para el error.

**$\alpha$ :** Nivel de significancia

**$q_{\alpha}(k, N - k)$ :** Son puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado.

## IV.RESULTADOS

### 4.1.Caracterización de materia prima

#### 4.1.2. Análisis de harina de cáscara de naranja

La Tabla 16 expone los componentes fisicoquímicos de la harina de piel de naranja (*Citrus sinensis*), denotando un aspecto visual del valor de luminosidad ( $L^*$ ) previamente medido con el espacio CIElab, reportando 228,377 por su tonalidad amarilla verdoso y brillante característico, observado en la cáscara de naranja, responsables del color en la muestra analizada. Asimismo, la desviación estándar de 1,735 indicó la variabilidad medida en las muestras fueron influenciadas por el índice de madurez, variedad Valencia y composición nutricional. En cuanto a la tonalidad naranja, fue disminuyendo por la presencia de color amarillo ( $b^*$ ) cuantificado en 22,16 e incrementando el matiz verde ( $a^*$ ) tornándose un valor negativo -3,274 cercano al aspecto verde amarillento.

La muestra del biorresiduo (harina de cáscara de naranja) presentó un potencial de hidrógeno con 3,77 repercutiendo a la calidad sensorial por su estabilidad de su conversión en acidez titulable moderada (0,0082 %).

Respecto a la humedad se encontró valores medianamente bajos de 17,647%  $\pm$  1,735 % por su naturaleza higroscópica, mientras que los sólidos solubles simbolizaron un índice de calidad para su aplicación posterior por sus componentes de azúcares orgánicos en la harina del subproducto cítrico (naranja) con 7,44 °Brix, atribuidos al contenido de compuestos libres azucarados que presentó una concentración total de 15,18 g/100g y 7,55 g/100g de azúcar invertida por los monosacáridos comprendidos de glucosa y fructuosa.

**Tabla 16**

*Análisis fisicoquímico de harina de cáscara de naranja (base seca).*

<b>Características fisicoquímicas (b.s)</b>	
Humedad (%)	17,647 $\pm$ 1,735
°Brix (SST)	7,44 $\pm$ 0,311
Sacarosa (g/100g)	7,43 $\pm$ 0,233
Fructuosa (g/100g)	7,75 $\pm$ 0,283
Azúcar invertida (g/100g)	7,55 $\pm$ 0,256
pH	3,77 $\pm$ 0,014
% Acidez titulable	0,0082 $\pm$ 0,0013
L*	228,377 $\pm$ 3,137
a*	-3,274 $\pm$ 0,546
b*	22,16 $\pm$ 1,02

*Nota.* La tabla representa las características fisicoquímicas de harina de cáscara de naranja.

#### **4.2. Análisis fisicoquímico de biopelículas comestibles**

##### **A) Colorimetría**

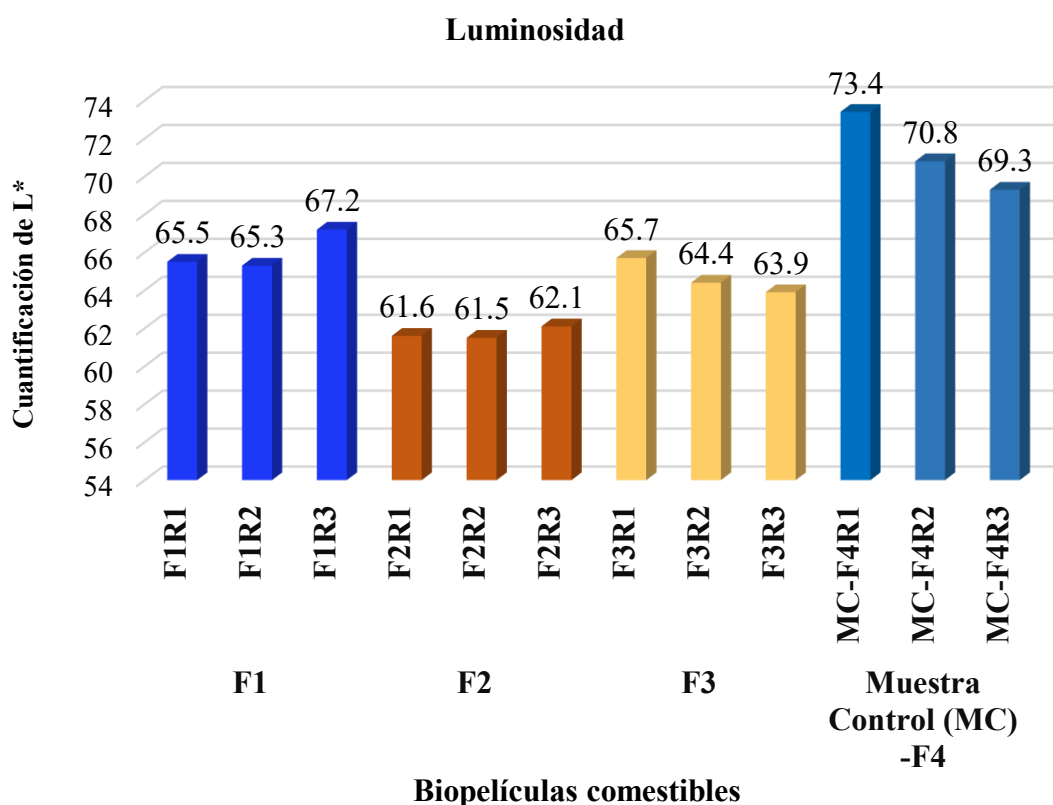
La Figura 34 registra los valores de luminosidad exhibidas en todas las muestras, observando incrementos en la muestra control (MC-F4R1:73,4) con tonalidades blanquecinas concernientes a la interacción de las estructuras de las matrices poliméricas con el plastificante glicerol, en comparación a las demás muestras evidenciando variaciones con la menor concentración de HCN mostrando cercanía al valor blanco conteniendo datos altos, reportando ascendencia en F1R3 con 67,2 dependiente a la pigmentación naranja presente

en la harina de piel de naranja relacionados con las condiciones de obtención y tipo de procesamiento desarrollado.

Por el contrario, el tratamiento F2R2, que utilizó HCN (2 g) y biopolisacárido (3,15 g), generó un menor valor L\* de 61,5 debido a su estructura química peculiar que interactúa con las moléculas de los bioinsumos biológicos poliméricos y los compuestos nutricionales de HCN.

**Figura 34**

*Luminosidad de las biopelículas comestibles.*



*Nota.* La figura representa el contenido de luminosidad en las muestras de película.

La Tabla 17, detalla la transcripción de valores (L\*, a\* y b\*) indicados en la lectura colorimétrica sobre las variantes de color encontrados en las biopelículas con HCN, mostrando que fueron positivas disminuyendo alternamente en algunas repeticiones por formulación acentuando valores diferenciados, indicando que el color naranja conforme al aumento de concentraciones de HCN añadidas, presentaron un pigmento característico que contribuye al incremento de valores para a\* y b\*.

En comparación a los valores obtenidos en la muestra control-F4, exponen valores negativos para b\* incrementado valores positivos en b\* en efecto a los colores blancos visualizados en los polímeros, en la primera cualidad

correspondiente a las variaciones progresivas de tonalidades blancas hasta amarillentas debido a los componentes característicos por tipo de biomatriz empleado, en cambio los valores para  $a^*$  se modificaron de acuerdo a las coloraciones tornándose negativo, confirmando buenas propiedades ópticas de las biopelículas relacionados con este parámetro visual.

El mayor valor de  $L^*$  obtuvo el tratamiento MC-F4R1 con 73,4 debido a los matices blanquecinos típicas de los biopolímeros utilizados (goma xantana: 1,5 g, agar agar: 1,4 g y alginato de sodio: 0,25 g) en su preparación a diferencia de la cantidad mínima (61,5) evidenciada en la F2R2 que integra polímeros (3,15 g) combinado con HCN (2 g).

Respecto a la cualidad  $a^*$  mostró una mayor cantidad de 5,4 en F3R3 formulada con más proporción de HCN (2,5 g) y polímeros (3,15 g), mientras que la MC- F4R2 reportó un bajo valor negativo de -0,6. Para la cromaticidad  $+b^*$ , se identificó los colores direccionados al matiz azul, donde la F2R1 (29,2) tuvo un mayor valor a diferencia de 2,2 localizado en MC-F4R3 (Biopolímeros: 3,15 g).

**Tabla 17**

*Colorimetría obtenidos para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .*

Formulaciones	Repeticiones	Parámetros de color		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
F1 (HCN 1,17%)	F1R1	65,5	2	23,5
	F1R2	65,3	2,6	25,5
	F1R3	67,2	1,3	17,6
F2 (HCN 1,55%)	F2R1	61,6	4,6	29,2
	F2R2	61,5	3,6	27,3
	F2R3	62,1	4,1	28,7
F3 (HCN 1,93%)	F3R1	65,7	4,6	28,7
	F3R2	64,4	4,4	27,1
	F3R3	63,9	5,4	28,4
Muestra Control (MC) -F4	MC-F4R1	73,4	-0,4	2,8
	MC-F4R2	70,8	-0,6	3,6
	MC-F4R3	69,3	-0,4	2,2

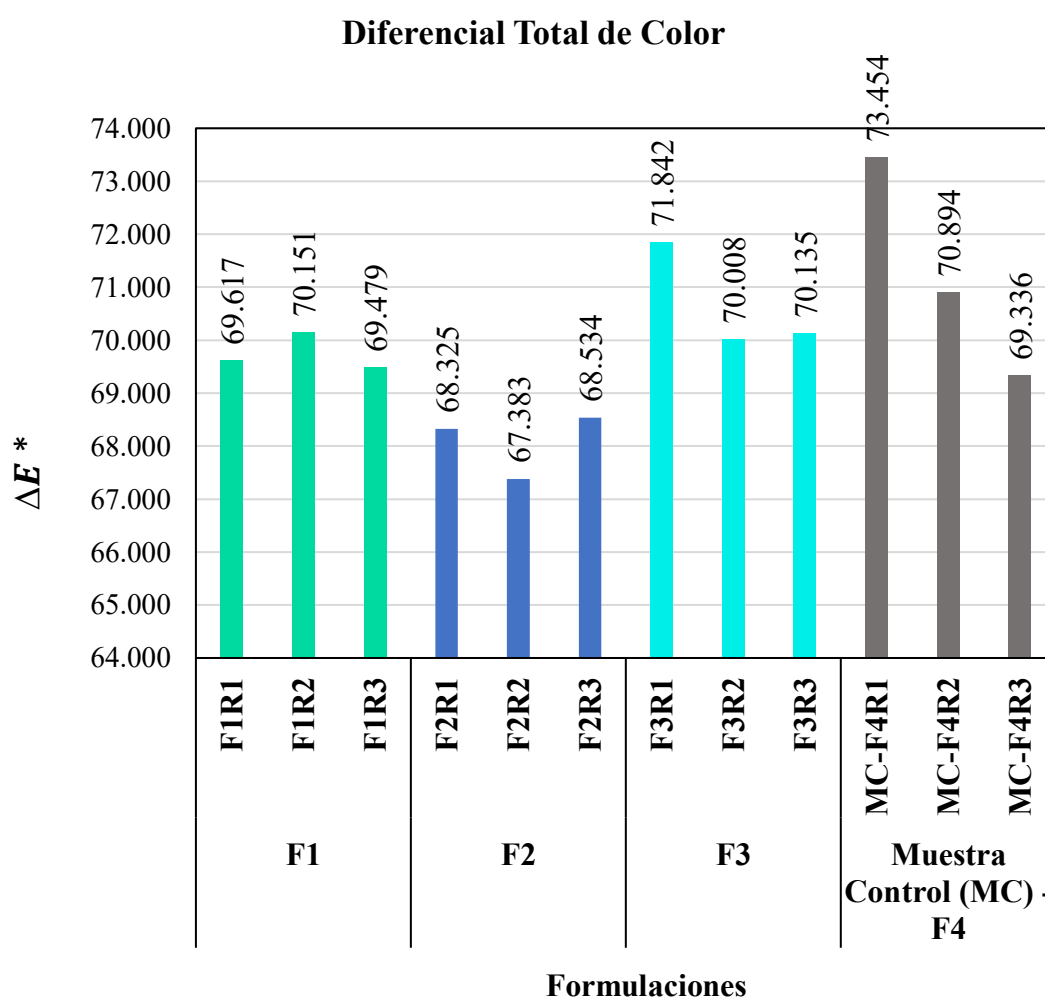
*Nota.* En la tabla puntualiza datos del parámetro coloración en biopelículas.

Los datos respecto a diferencia total de color ( en biopelículas comestibles se observan en la Figura 35, detallando que la F4 – MC sin harina de piel de naranja obtuvieron valores superiores en todas sus repeticiones (R1: 73,454, R2:70,894 y R3:69,336) en comparación a las demás formulaciones experimentales incidiendo valores altos encontrados en F3 (R1: 71,842, R2:70,008 y R3:70,135) con adición de HCN generando una percepción óptica agradable promoviendo la funcionalidad del biofilm producido.

La determinación del color total entre las muestras experimentales, la formulación F2R2 presentó un valor mínimo de 67,383 y la F3R1 tuvo un mayor valor de 71,842 al estar influenciadas por el aumento de proporción de HCN, a diferencia de la muestra control que solo contiene polímeros con una percepción visual blanquecina y clara.

**Figura 35**

*Diferencia total de color de Biopelículas comestibles.*



*Nota.* El gráfico de columnas presenta las cantidades de Color Total de las películas.

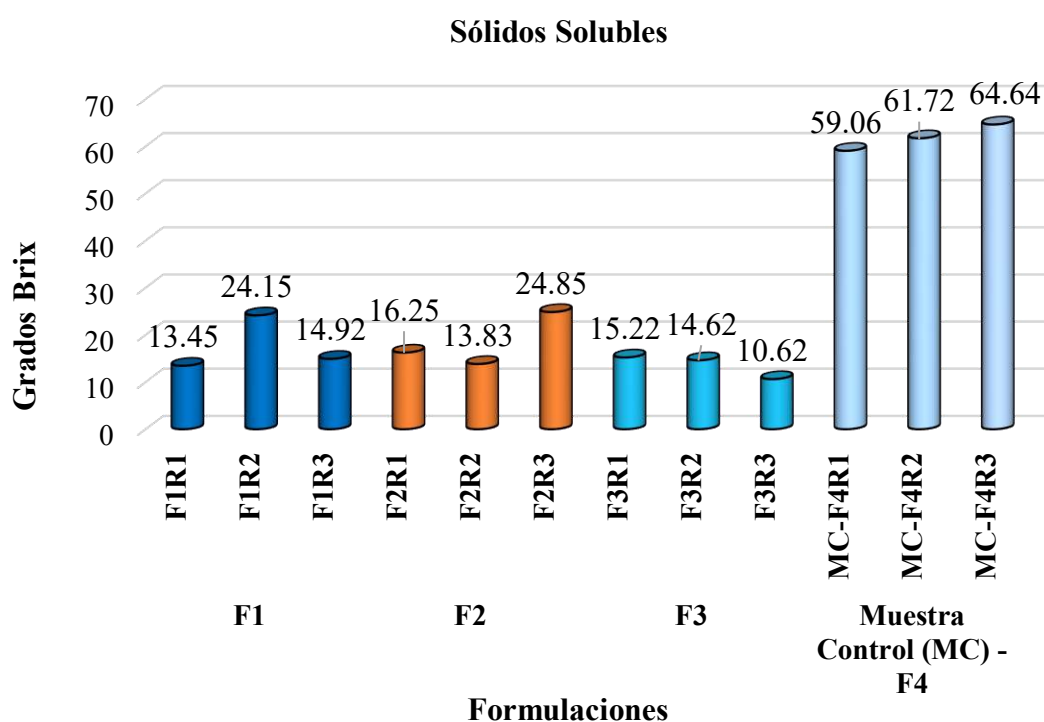
## B) Caracterización refractométrica

La evaluación de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix), indicó valores aceptables en la F4-control reportando mayores efectos de las interacciones de moléculas por la cualidad de cada biopolisacárido, plastificante y polisorbato 80 utilizado para obtener un biomaterial comestible, expresando una oscilación desde 59,06 hasta 64,64. Los resultados difieren de las demás formulaciones analizadas con mayor reducción en F3 encontrando F3R3:10,62  $^{\circ}$ Brix, mientras que la muestra control incrementaron en todas sus repeticiones, debido al contenido de 70,76 $^{\circ}$ Brix hallado en el plastificante, influyendo indirectamente cuando se fusionan con otros insumos y su actividad viscosa gelificante por las matrices poliméricas, diferenciándose en la F2R3 que evidenció un valor más alto de 24,85  $^{\circ}$ Brix.

Análíticamente aquellos biofilms comestibles que emplearon el biorresiduo cítrico son susceptibles a cambios degradativos por sus componentes orgánicos y deben conservarse en almacenamiento en condiciones acondicionados a temperatura ambiente evitando presencia de luz para minimizar la reducción de compuestos biológicos, cambios oxidativos y descomposición.

**Figura 36**

*Sólidos solubles de biopelículas comestibles.*



*Nota.* La figura presenta el contenido de  $^{\circ}$ Brix en biopelículas comestibles.

### C) Potencial de Hidrógeno

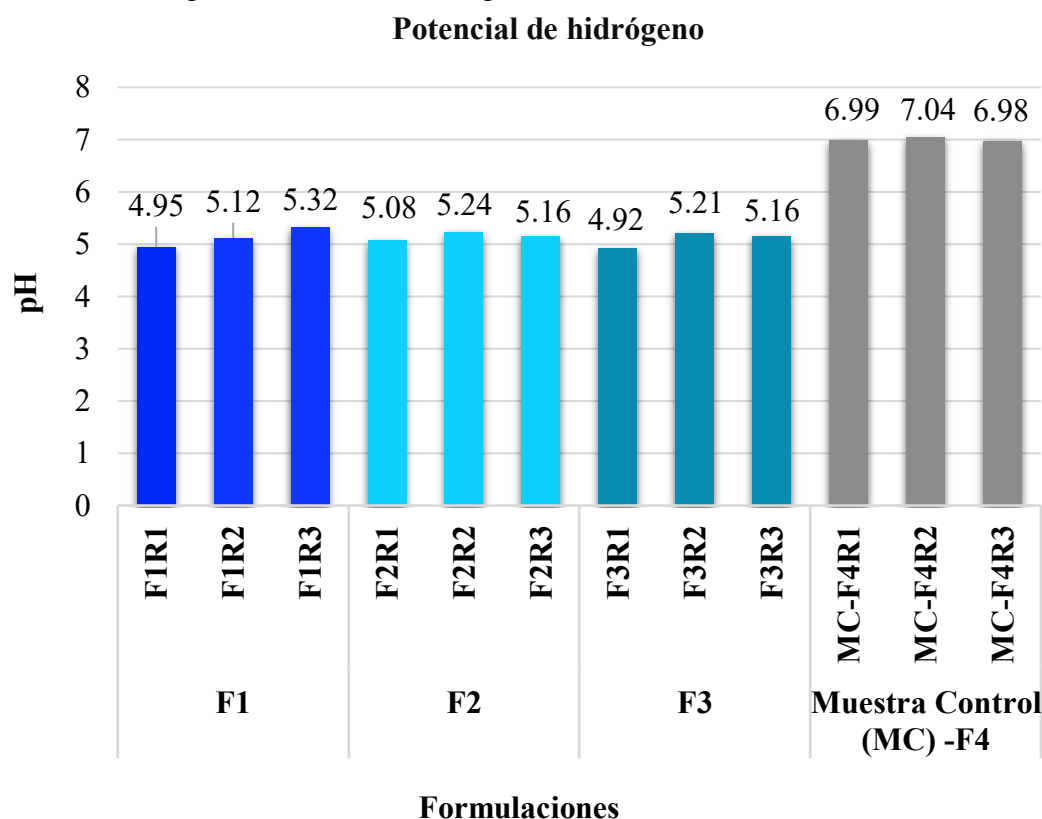
El análisis del pH en las muestras adicionadas con micropartículas de piel de naranja, evidencian valores ácidos con carácter cítrico natural, informando variaciones desde 4,92 (valor más bajo-F3R1) y 5,32 (valor alto-F1R3), en contraste al incremento identificado en la muestra control (MC-F4) distinguiéndose un pH neutral evaluado en todos sus tratamientos que fluctúan entre 6,98 hasta 7,04 (F4: 2,5% de matrices poliméricas).

También, se reconoció que el tratamiento F3R1 formulado con los componentes comprendidos de HCN (1,93%), polisacáridos (2,43%), glicerina (15,43%), tween 80 (1,93%) y agua destilada (77,13%), mostró un pH inferior de 4,92.

El efecto de los datos disminuidos con aplicaciones combinatorias entre matrices poliméricas (goma xantana, agar agar y alginato de sodio) están asociados al contenido de pH por bioelemento individual y la utilidad del subproducto cítrico en proporciones distintas, influyendo al parámetro analizado en las formulaciones F1, F2 y F3.

**Figura 37**

*Contenido de pH determinado en biopelículas comestibles.*



*Nota.* La figura presenta los valores de pH en las películas biológicas comestibles.

#### **D) Acidez Titulable**

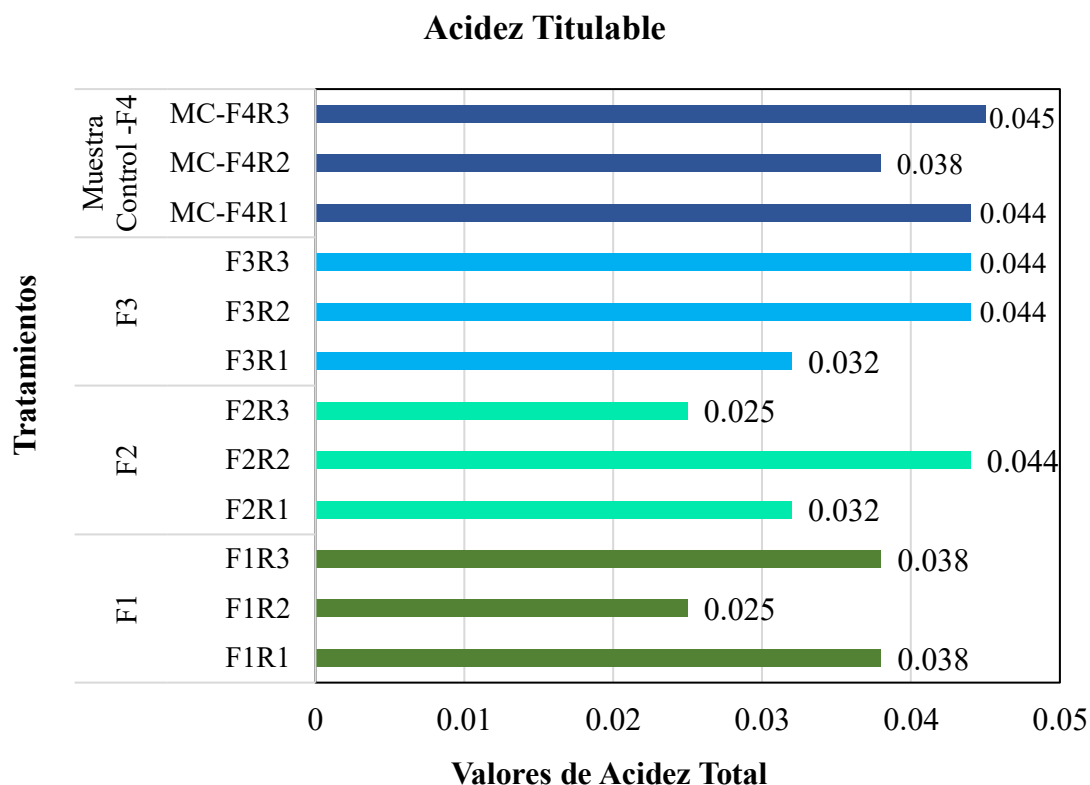
De acuerdo a los resultados pertenecientes a valores de acidez titulable, se exponen el % predominante determinados en tipo de ácido algínico (MControl) y cítrico (F), evidenciando fluctuaciones en todas las formulaciones, notándose niveles de tendencias similares en MC-F4 y F3, observándose un aumento sostenido en todas las muestras formuladas, siendo la muestra control y la F3 con 1,93% de HCN declarando mayores valores de acidez, seguido de F2 con 1,55% de HCN hallándose variaciones distintas respecto a las demás muestras.

Los valores calificados como ácidos reportaron la Muestra Control F4 variando desde 0,038% hasta 0,045% en contraste al aporte gelificante por biomatrices añadidos en el tratamiento, mientras las repeticiones para F3, F2 y MC-F4, fueron registrados con un rango máximo similar de 0,044% en las repeticiones F3R2, F3R3, F2R2 y MC-F4R1. En general, estos valores identificados en el presente estudio fueron los más altos, diferenciándose de las demás formulaciones por las singularidades, composición y concentración de cada bioinsumo empleado.

Los datos obtenidos en la F1R2 y F2R3, presentaron una acidez menor con 0,025%, en efecto a las bajas concentraciones incorporadas de HCN de 1,5g y 2g, correspondientemente por formulación individual. Asimismo, la interacción de HCN con los demás componentes naturales dentro del sistema filmógeno, fueron afectados por la liberación ácida de cada biomaterial durante el análisis.

**Figura 38**

*Índice de acidez titulable obtenido en biofilms comestibles.*



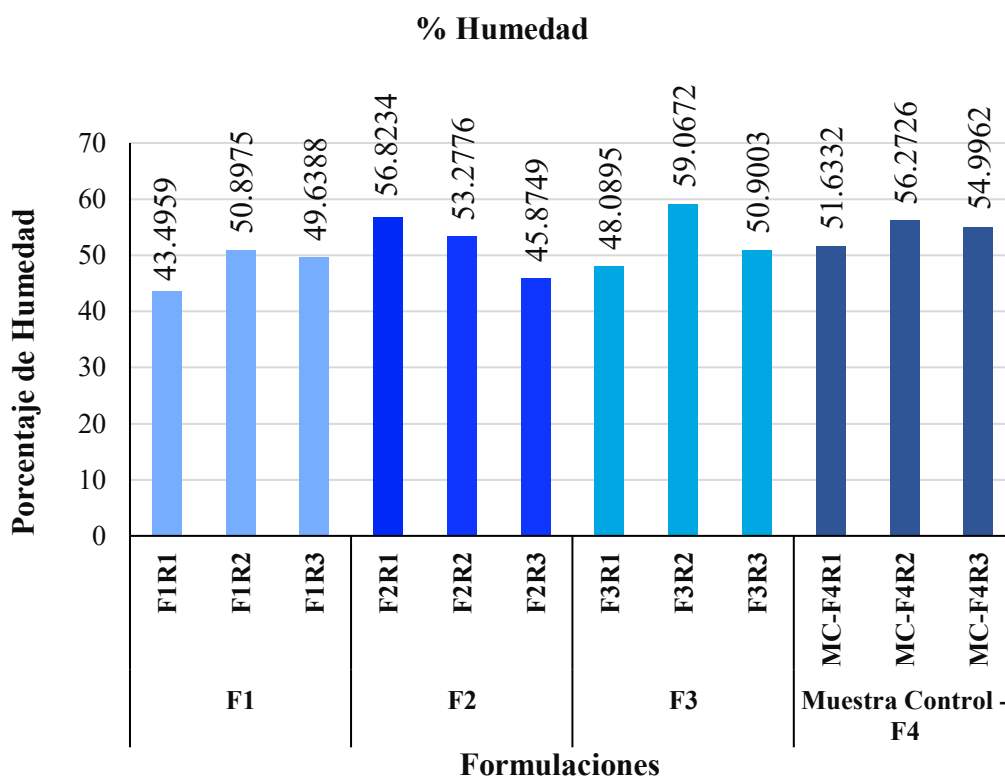
*Nota.* La figura muestra la caracterización de acidez titulable en las películas comestibles.

### **E) Humedad**

En la Figura 39 se observa los análisis con respecto a contenidos de humedad expresado en %, mostrando mayores valores en la F3R2 (HCN al 1,93%) con mayor contenido del 59,067% diferenciándose de la muestra control con datos levemente menores ostentando 56,273% (MC-F4R2) hasta 51,633% (MC-F4R1) al exteriorizar comportamientos variantes en todas sus repeticiones, en comparación a F2 se distinguió fluctuaciones descendentes (R1: 56,8234, R2: 53,2776 y R3: 45,8749) debido al proceso térmico aplicado y la duración para obtener las biopelículas comestibles, siendo la F1R1 que contuvo una menor acidez del 43,4959%, considerado ideal frente a las demás formulaciones.

**Figura 39**

*% de Humedad analizados en biofilms comestibles.*



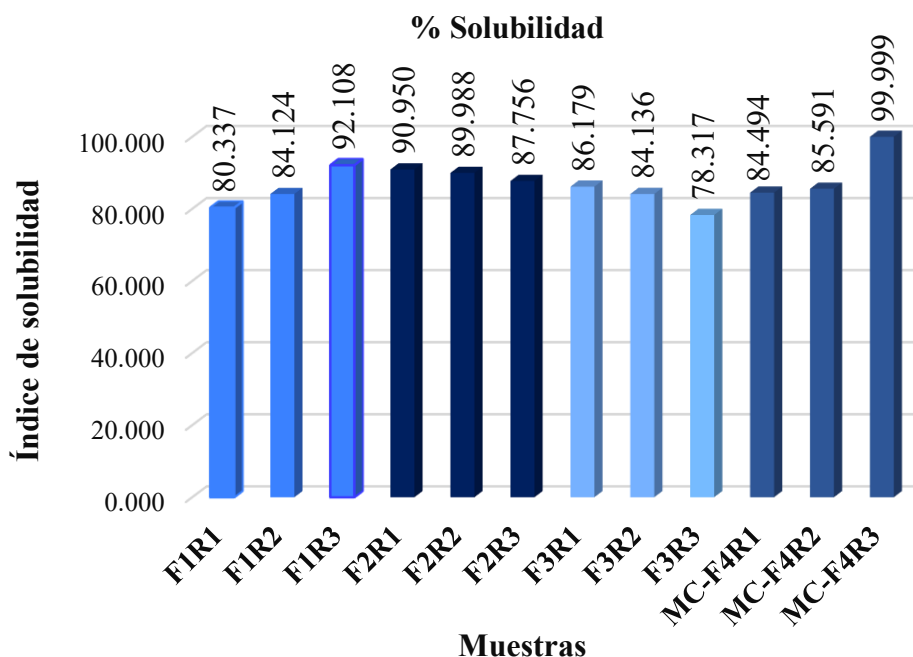
*Nota.* En la figura presenta el contenido de humedad de los biomateriales desarrollados.

## **F) Índice de solubilidad**

La valoración del índice de solubilidad evidenció una menor cantidad en la muestra experimental F3R3 con 78,317 % compuesta por 1,93% de HCN, mientras que la F1R3 presentó un aumento del 92,108%, en cambio la muestra control MC-F4R3 obtuvo un valor superior del 99,999% presentando aumentos indeseables frente a la disminución a la ruptura y su capacidad interactiva en condiciones húmedas al estar en contacto con líquidos que influyen a factores de liberación de compuestos antimicrobianos y control de migración de humedad dependiendo del equilibrio entre la solubilidad y resistencia, requiriendo una disminución lenta beneficiosa.

**Figura 40**

*Análisis de % solubilidad en biopelículas comestibles.*



*Nota.* En la figura de barras se exhibe el % de solubilidad de las biopelículas.

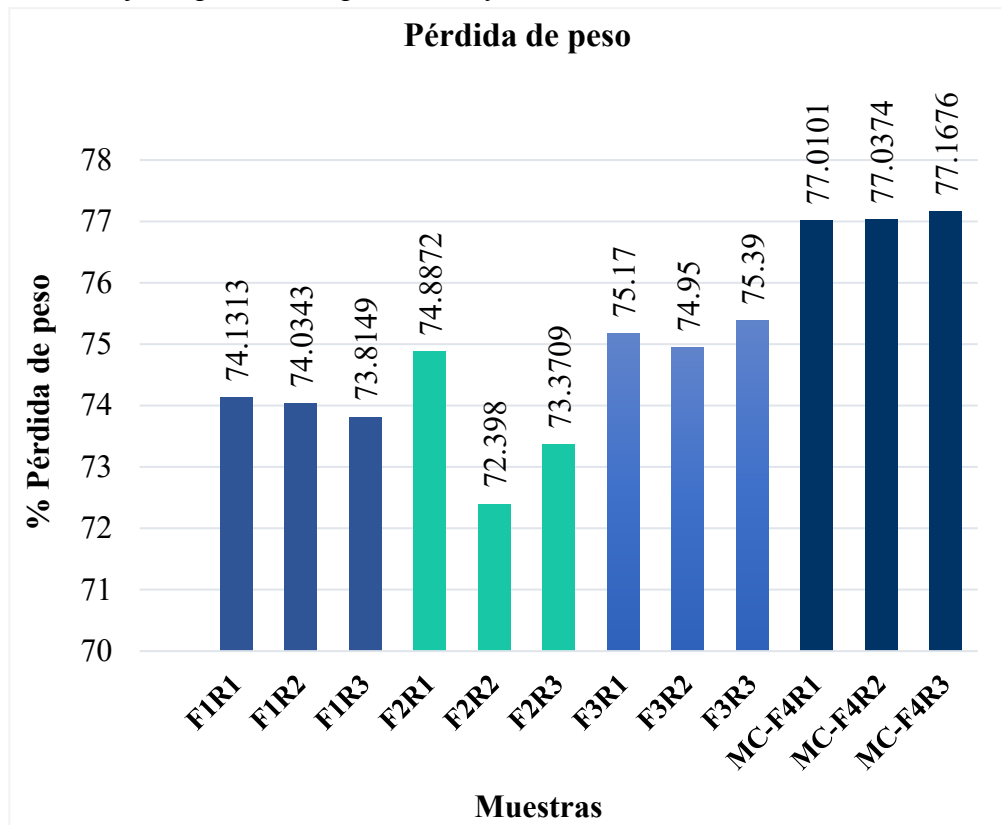
### G) Pérdida de peso

Los resultados respecto a contenidos de pérdida de peso se visualizan diferencias medidas respecto a la reducción del peso inicial en todas las muestras aplicando harina de cáscara de naranja coadyubando una capacidad de barrera que impide la pérdida de agua y componentes volátiles, promoviendo eficacia al mínimo deterioro limitando intercambios gaseosos y exposición a factores ambientales sugiriendo valores más bajos que representa una percepción efectiva de este indicador evaluado.

En la Figura 41, se aprecia que los porcentajes de pérdida de peso en biopelículas comestibles presentaron mayores disminuciones en los tratamientos evaluados, demostrando cambios no graduales en la muestra control-F4 con valores similares (R1:77,010, R2:77,037 y R3:77,168) en comparación al dato mínimo correspondiente a F2R2: 72,398% para actuar como semipermeable protegiendo sus compuestos sensoriales y bioactividad funcional. A diferencia del biomaterial formulado F3R3 tubo una solubilidad calificada como valor máximo experimental de 75,393%.

**Figura 41**

*Porcentaje de pérdida de peso en biofilms comestibles.*



*Nota.* La figura ilustra la disminución de peso evaluado en los tratamientos de películas.

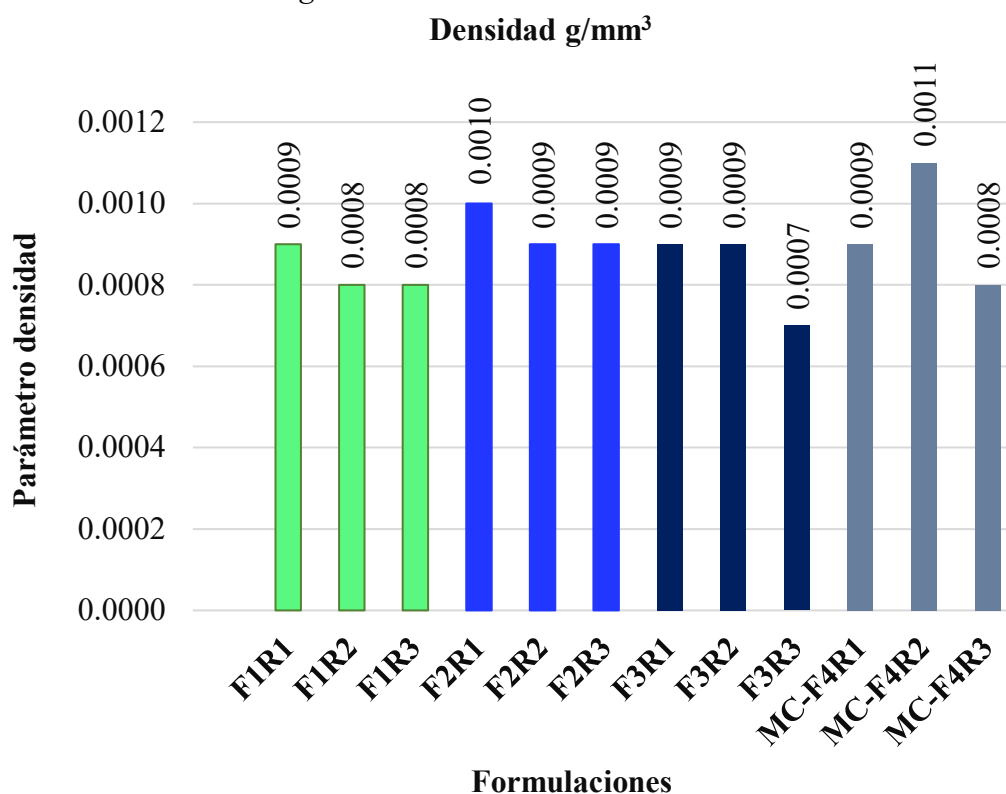
## H) Densidad

Para la magnitud densidad, se indica en la Figura 42, mostrando mínimos incrementos observados en F3R3 con  $0,0007 \text{ g/cm}^3$  considerando una menor densidad tendiendo a disminuir su resistencia por la condición única estructural del biomaterial que presentan cúmulos de partículas al comportarse menos aceptables. Por el contrario, la F2R1 reportó el valor máximo con  $0,0010 \text{ g/mm}^3$  al aplicar 1,55% de HCN contribuyendo a una estructura compacta mejorando e intercambiando humedad con el medio sin difusiones de gases como oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua.

En la muestra MControl-F4, la repetición R2 evidenció un alto cuantío de  $0,0011 \text{ g/mm}^3$ , en contraste al menor parámetro físico con  $0,0008 \text{ g/mm}^3$  (MC-F4R3), causado por la añadidura de polímeros naturales que proporcionan estructuras e interacciones modificadas a nivel molecular.

**Figura 42**

*Determinación de magnitud densidad en biomaterial comestible.*



*Nota.* En la figura se expone las mediciones para densidad en películas.

## I) Dimensiones físicas

Los datos expuestos en la Tabla 18, se especifican las mediciones para diámetro, espesor y área por cada muestra producida, subsistiendo un factor relevante imprescindible del espesor influyente directamente en las características mecánicas analizadas, a diferencia del área y diámetro, están inmersos al tamaño de la biopelícula y efectividad contra el medio gaseoso brindando mejores propiedades de barrera afectando al grosor permitiendo permutar vapores de agua en los valores obtenidos.

La F3R3 tiene mayor espesor del  $0,98 \text{ mm} \pm 0,051 \text{ mm}$ , con el aumento ligeramente en harina del subproducto de naranja, diferenciado de la muestra control-F4R2 con menor valor de  $0,60 \text{ mm} \pm 0,021 \text{ mm}$ , perturbando su efectividad resistente a tensiones y funcionalidades del biomaterial analizado.

El tratamiento con una mayor área, se identificó en F1R1 con  $18912,605 \text{ mm}^2 \pm 5,812 \text{ mm}^2$ , mientras que la cuantificación más baja presentó la MC-F4R3  $17277,347 \pm 12,088 \text{ mm}^2$ . Prosiguiendo con las estimaciones observadas en el diámetro de muestras experimentales correspondió una baja

cantidad de  $104,84 \pm 0,525$  mm (F3R3) encontrándose por debajo de  $108,98$  mm  $\pm 0,461$  mm registrado en F1R1.

El tratamiento control contuvo un alto diámetro de  $105,83$  mm  $\pm 0,746$  mm (MC-F4R2) difiriendo del mínimo dato con  $104,02$  mm  $\pm 0,037$  mm medido en MC-F4R3.

**Tabla 18**

*Medidas de biopelículas comestibles.*

Formulaciones	Tratamientos	Diámetro mm	Espesor mm	Área mm <sup>2</sup>
F1	F1R1	$108,98 \pm 0,461$	$0,75 \pm 0,041$	$18912,605 \pm 5,812$
	F1R2	$107,81 \pm 0,384$	$0,88 \pm 0,071$	$18555,455 \pm 9,704$
	F1R3	$106,65 \pm 0,339$	$0,93 \pm 0,088$	$18178,227 \pm 4,133$
F2	F2R1	$105,81 \pm 0,417$	$0,70 \pm 0,039$	$17818,983 \pm 17,221$
	F2R2	$108,31 \pm 0,400$	$0,80 \pm 0,059$	$18699,356 \pm 15,523$
	F2R3	$105,91 \pm 0,270$	$0,84 \pm 0,053$	$17899,041 \pm 13,523$
F3	F3R1	$105,00 \pm 0,25$	$0,76 \pm 0,065$	$17568,77 \pm 10,878$
	F3R2	$108,08 \pm 0,304$	$0,75 \pm 0,062$	$18603,623 \pm 7,290$
	F3R3	$104,84 \pm 0,525$	$0,98 \pm 0,051$	$17588,109 \pm 12,152$
MC-F4	MC-F4R1	$105,43 \pm 0,450$	$0,75 \pm 0,033$	$17708,618 \pm 8,501$
	MC-F4R2	$105,83 \pm 0,746$	$0,60 \pm 0,021$	$17792,428 \pm 10,072$
	MC-F4R3	$104,02 \pm 0,037$	$0,86 \pm 0,057$	$17277,347 \pm 12,088$

*Nota.* En la tabla detalla las dimensiones en biopelículas comestibles formuladas.

### 4.3. Propiedades mecánicas

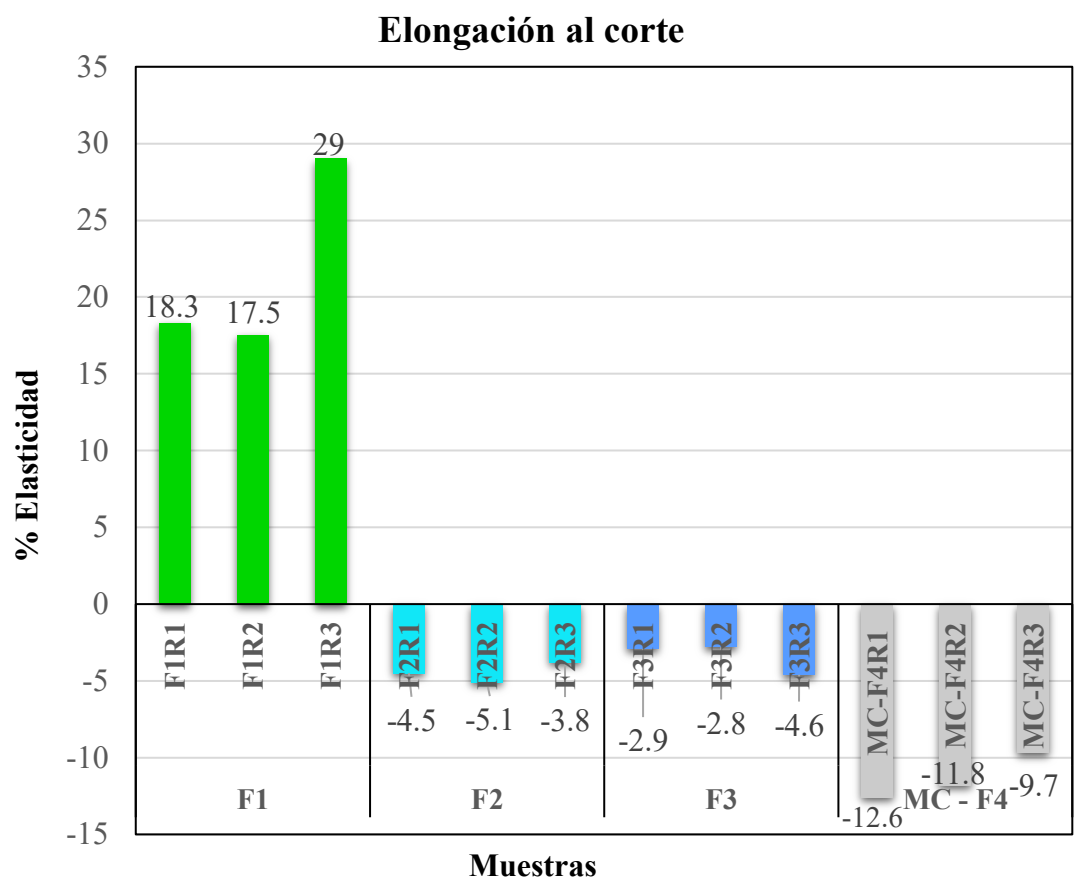
#### 4.3.1. Elongación al corte

El análisis de elongación al corte es registrado en la Figura 43, explayan una disminución de concentración de HCN al facilitar una mayor elasticidad observado en la muestra F1R3 con 29%, diferenciándose con la MControl-F4R3 con -9,7% (valor mayor negativo). Igualmente, los tratamientos restantes evidencian fluctuaciones decrecientes con tendencia negativa desventajosa, notándose disminuciones en F2 (-3,8) y F3 (-2,8), debido al incremento de concentración de HCN aplicado en biofilms comestibles sin demostrar mayor elasticidad de alargamiento, mientras el valor negativo es mayor significa que es menor comparado a la cantidad alta negativa por su lejanía del valor cero, demostrando compresión que estimulan rupturas y alargamientos deformativos.

Indicando un alto porcentaje positivo de elongación facilitan ventajas resistentes frente a la flexibilidad y tensiones mecánicas que aseguran funciones sin tendencias a fracturas comprometiendo una integridad natural de las biopelículas comestibles, siendo sugerible ajustar las concentraciones de las biomatrices, plastificante y biorresiduo cítrico para una adecuada interacción entre los compuestos originales con el fin de incrementar la resistencia a la tracción optimizando la flexibilidad del biomaterial formulado.

**Figura 43**

*Elongación de las biopelículas comestibles.*



*Nota.* La figura detalla el porcentaje de elasticidad medida en películas.

Para la propiedad elástica de las biopelículas comestibles, presentaron una variabilidad moderadamente baja al identificar que los datos están cercanos a la media muestral con una dispersión aproximada al valor cero, indicando que los tratamientos experimentales evidencian una elasticidad estable, mientras la formulación control mostró una disgregación mínima elevada.

La F1 presentó una elasticidad positiva alta en la F1R3 con  $29 \pm 0,187$  en comparación a la F3R3 con  $-4,6 \pm 0,125$  y la muestra control con alargamiento a la rotura negativa  $-9,7 \pm 0,309$  (MC-F4R3), estos datos indicaron la cercanía a la media minimizando una dispersión baja con mayor confiabilidad de medición para elegir el mejor tratamiento de F1.

**Tabla 19**

*Propiedad mecánica para alargamiento de las biopelículas a base de cáscara de naranja y matrices poliméricas.*

<b>Formulaciones</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Elasticidad (%)</b>
<b>F1</b>	<b>F1R1</b>	$18,3 \pm 0,164$
	<b>F1R2</b>	$17,5 \pm 0,262$
	<b>F1R3</b>	$29 \pm 0,187$
<b>F2</b>	<b>F2R1</b>	$-4,5 \pm 0,082$
	<b>F2R2</b>	$-5,1 \pm 0,125$
	<b>F2R3</b>	$-3,8 \pm 0,170$
<b>F3</b>	<b>F3R1</b>	$-2,9 \pm 0,170$
	<b>F3R2</b>	$-2,8 \pm 0,082$
	<b>F3R3</b>	$-4,6 \pm 0,125$
<b>MC-F4</b>	<b>MC-F4R1</b>	$-12,6 \pm 0,205$
	<b>MC-F4R2</b>	$-11,8 \pm 0,245$
	<b>MC-F4R3</b>	$-9,7 \pm 0,309$

#### **4.3.2. Resistencia**

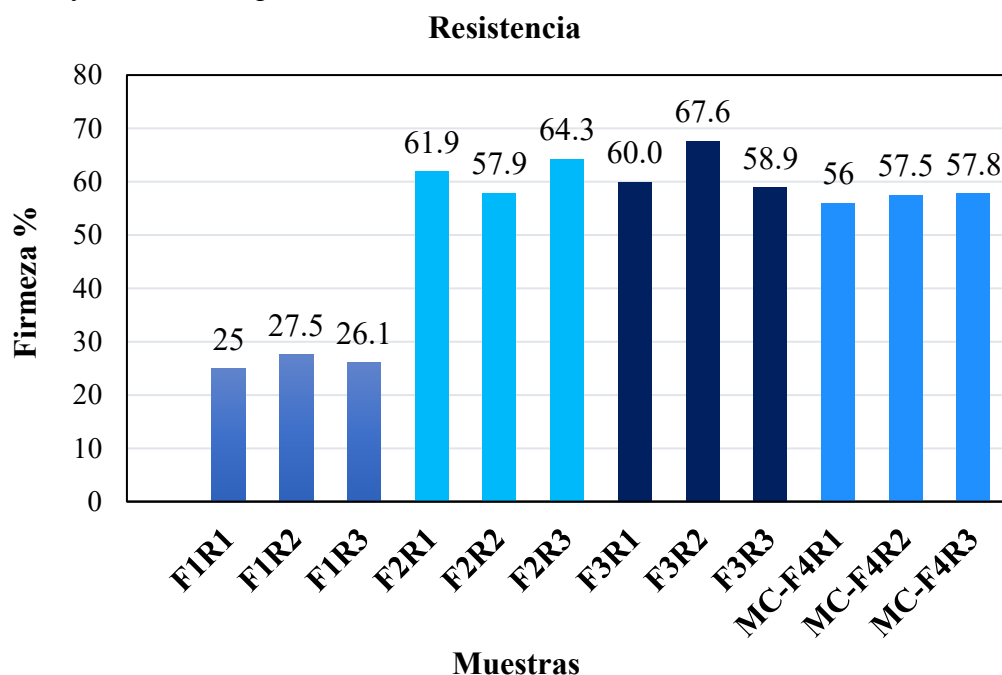
La Figura 44, presenta los valores de firmeza examinados en las biopelículas comestibles, reconociendo que la mejor muestra F3R2 mostró una cifra elevada con 67,6% demostrando consistencia eficiente a diferencia del valor bajo reportado en F1R1 (25%), debido a las débiles conexiones moleculares entre los componentes de polisacáridos y la baja concentración de HCN (1,17%) usados, comprobando una deficiente resistencia sin estabilidad influyendo por la carencia de interacciones firmes con glicerol agregado a los polímeros interfiriendo en las cadenas moleculares de

polímero-polímero que denotan mayor resistencia al aplicar procesos adecuados para su fabricación.

En diferencia del MControl-F4, presentaron resistencias medias en todas las repeticiones, exteriorizando una alta firmeza identificado en MC-F4R3 con 57,8 % y un menor valor de 56% en MC-F4R1.

**Figura 44**

*% de firmeza en biopelículas comestibles.*



*Nota.* La figura de barra señala el contenido de resistencia porcentual en las formulaciones de películas comestibles.

La F3R2 evidencia una resistencia fuerte de  $67,6 \pm 0,210$  y tiene una rigidez dentro de la estructura molecular de la biopelícula, siendo más fuerte que el biomaterial control con  $57,5 \pm 0,287$  en MC-F4R2. Con la disminución de concentración de HCN y matrices poliméricas se redujo hasta  $25\% \pm 0,450$  en la F1R1.

**Tabla 20***Característica de resistencia en biopelículas a partir de piel de naranja.*

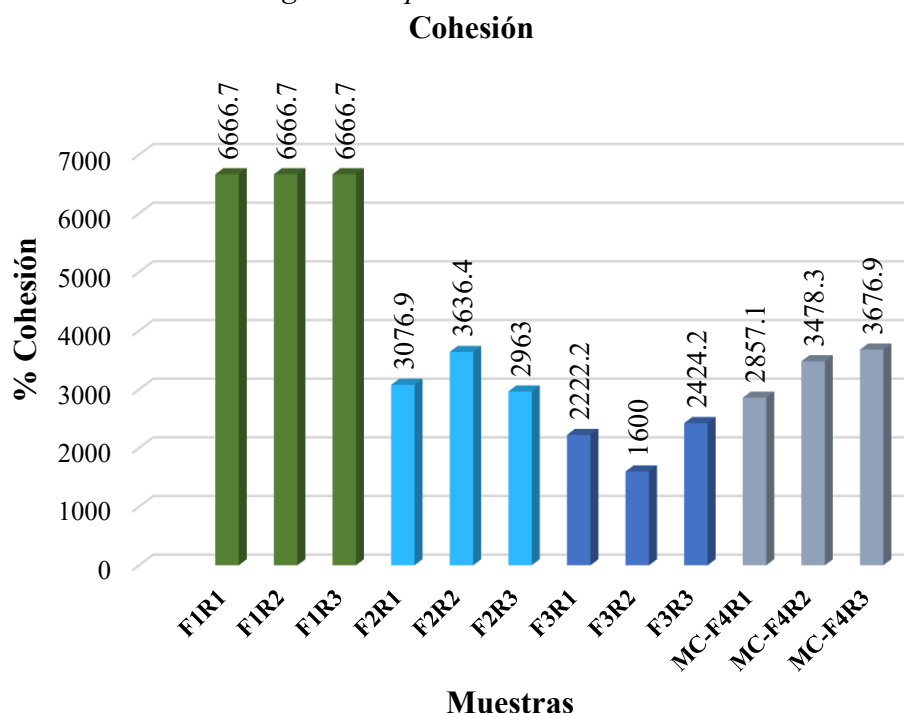
<b>Formulaciones</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Resistencia (%)</b>
	<b>F1R1</b>	25 ± 0,450
<b>F1</b>	<b>F1R2</b>	27,5 ± 0,189
	<b>F1R3</b>	26,1 ± 0,086
	<b>F2R1</b>	61,9 ± 0,205
<b>F2</b>	<b>F2R2</b>	57,9 ± 0,272
	<b>F2R3</b>	64,3 ± 0,245
	<b>F3R1</b>	60 ± 0,408
<b>F3</b>	<b>F3R2</b>	67,6 ± 0,210
	<b>F3R3</b>	58,9 ± 0,309
	<b>MC-F4</b>	<b>MC-F4R1</b>
<b>MC-F4R2</b>		57,5 ± 0,287
<b>MC-F4R3</b>		57,8 ± 0,123

#### 4.3.3. Cohesión

Los valores de cohesión en biopelículas comestibles están presentes en la Figura 45, detallando los valores porcentuales de cohesión, donde presentaron un mayor incremento en la muestra F1 (R1, R2 y R3: 6667,7g/s) evidenciando una cantidad alta en comparación con la muestra control-F4 que exteriorizan un rango inferior oscilando entre 2857,1 g/s (MC-F4R1) hasta 3676,9 g/s (MC-F4R3), asimismo, un menor valor experimental fue expuesta por la F3R2 con 1600%, concluyendo que los menores valores se muestran en la F3 debido al tamaño y concentración del subproducto de piel de naranja añadido en la elaboración de biofilms comestibles.

**Figura 45**

*Fuerza de cohesión g/s en biopelículas comestibles.*



*Nota.* Caracterización mecánica de cohesión en películas.

Adicionalmente, se evaluó la firmeza de las muestras empleando el equipo analizador de textura universal, marca Agrostá Cε Belle para indagar la propiedad de tensión, obteniendo valores similares con 1000 por cantidad gramos expresado en firmeza (g/s), evidenciando que todas las muestras estudiadas tienen comportamientos similares con variaciones desiguales en los tipos de propiedades mecánicas analizados.

La concentración más baja de HCN (1,17%) combinada con glicerol y matrices poliméricas produjo valores altos de cohesión en todas las repeticiones de F1 (6666,7 g/s), a diferencia de F3R2 con adición de HCN mayor (1,93%) generó un valor menor con  $1600 \pm 0,450$ .

**Tabla 21**

*Propiedad de cohesión de biopelículas comestibles.*

Formulaciones	Tratamientos	Cohesividad (g/s)
F1	F1R1	$6666,7 \pm 0,163$
	F1R2	$6666,7 \pm 0,249$
	F1R3	$6666,7 \pm 0,125$
F2	F2R1	$3076,9 \pm 0,294$

	<b>F2R2</b>	3636,4 ± 0,163
	<b>F2R3</b>	2963 ± 0,216
	<b>F3R1</b>	2222,2 ± 0,205
<b>F3</b>	<b>F3R2</b>	1600 ± 0,450
	<b>F3R3</b>	2424,2 ± 0,125
	<b>MC-F4R1</b>	2857,1 ± 0,125
<b>MC-F4</b>	<b>MC-F4R2</b>	3478,3 ± 0,262
	<b>MC-F4R3</b>	3676,9 ± 0,163

#### 4.4. Análisis microbiológico

##### 4.4.1. Aerobios Mesófilo (UFC/g)

La Tabla 22, presenta los resultados microbiológicos expresado en UFC/g (unidad formadora de colonias) evaluados en la muestra control y los demás tratamientos con aplicación de harina de piel de naranja y aceite esencial de orégano, reportando un recuento de Aeróbios mesófilos más alto en la muestra control-F4 ( $9,9 \times 10^2$  UFC/g) comprobándose la efectividad en aquellas muestras que contienen concentraciones de AEO, donde la F3 compuesta al 0,93% de AEO ( $5,9 \times 10^2$  UFC/g) indicando menor contaminación y calidad antibacteriana patógena en biopelículas comestibles.

**Tabla 22**

*Recuento de aerobios mesófilos en biopelículas comestibles.*

<b>Resultados de recuento de Aerobios Mesófilos</b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>Cantidad % AEO</b>	<b>% Harina de cáscara de naranja</b>	<b>UFC/g</b>
F1	0,70	1,17	$7,3 \times 10^2$
F2	0,93	1,55	$8,1 \times 10^2$
F3	0,16	1,93	$5,9 \times 10^2$
MC -F4	0%	0%	$9,9 \times 10^2$

##### 4.4.2. *Escherichia Coli* (NMP/g)

Conforme con la Tabla 23, evidencian menores cantidades de 10 representando presencia de bacterias negativas en todas las muestras expresados como número más probable por gramo (NMP/g), las especies gram (-) *Escherichia coli* logran disminuirse considerablemente al aplicar

AEO en combinación con HCN en las biopelículas demostrando sensibilidad bacteriana del grupo negativo investigado en el presente proyecto, este agente activo antimicrobiano justifica comportamientos efectivos al contribuir en el control del crecimiento fúngico, aportando una seguridad alimentaria y calidad indicando un menor riesgo de contaminación evitando presencias de patógenos evitando el deterioro del biomaterial comestible.

**Tabla 23**

*Medida de cepa microbiológica de inhibición en biopelículas comestibles.*

<b>Resultados de enumeración de <i>Escherichia Coli</i></b>			
<b>Tratamiento con AEO</b>	<b>Tratamiento con AEO %</b>	<b>% Harina de cáscara de naranja</b>	<b>NMP/g</b>
F1	0,8	0,78	< 10
F2	1	1,17	< 10
F3	1,2	1,6	< 10
MControl-F4	0%	0%	< 10

#### **4.5. Análisis estadístico**

##### **4.5.1. Propiedades fisicoquímicas**

###### **A) Color**

El análisis de varianza para Color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) presentes en las biopelículas precisando un  $p(0,0000176) < 0,05$  distintivo con diferencias significativas, en efecto se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%, indicando que las muestras tienen distinciones en sus cantidades en diferencial de color característico (Tabla 39 – Anexo 15).

La biopelícula F2-BC generó el mayor incremento de color total basado en el promedio final, donde su promedio corresponde al 109,81% mayor que los demás tratamientos. En efecto es necesario realizar una prueba de medias para definir las diferencias entre las formulaciones propuestas seleccionando el tratamiento idóneo.

Las comparaciones para identificar el mejor tratamiento respecto a Color total se aplicó el método Tukey, donde las medias F1, F2 y F3 comparten una letra significativamente igual en los tratamientos. Existen diferencias características en las biopelículas obtenidas, el tratamiento F1 es diferente a las demás muestras generando 29,433 frente a las

biopelículas con proporciones distintas de HCN y biomatrices poliméricas (Tabla 40 – Anexo 15).

Las biopelículas con diferentes contenidos resultan diferenciales estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ), registrándose incrementos del valor de color sobre los biomateriales. Además, la formulación F1 con 1,17% de contenido de harina de subproducto de naranja generó disconformidad con la muestra control formulada solo con matrices poliméricas al 18,803.

El aumento del contenido tuvo mayor promedio la F2 con 36,603 en comparación con los demás tratamientos, resultando un buen aspecto de color, aunque a nivel estadístico no presenta diferenciación.

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Diferencia Total de Color} = 29,771 - 0,337 \text{ Tratamiento\_F1} + 6,832 \text{ Tratamiento\_F2} + 4,472 \text{ Tratamiento\_F3} - 10,967 \text{ Tratamiento\_MC-F4}$$

### **B) °Brix**

En referencia a los valores obtenidos y analizados aplicando un ANOVA para el contenido de sólidos solubles (°Brix) presentes en las biopelículas, se aclaró que la  $F_{\text{calculada}}$  es mayor que la  $F_{\text{tabla}}$ , implicando que los biofilms que contienen valores diferentes en sus tratamientos fueron derivados al rechazo de la hipótesis nula, indicando que la HCN y matrices poliméricas influyen en el contenido de este parámetro (Tabla 41 – Anexo 15).

De acuerdo con las comparaciones la F1, F2 y F3 comparten una letra en común afirmándose que no existen diferencias en los demás tratamientos manteniendo un comportamiento similar en cada repetición afirmándose significancias demostrado a nivel estadístico, mientras que la muestra control F4 tiene mayor promedio (61,81) frente al F3 (13,49) cuando se emplea HCN (1,93%).

Las muestras de biopelículas tuvieron un efecto sobre el incremento de sólidos solubles ( $p: 0,000003095 < 0,05\%$ ), así mismo, la

biopelícula con 1,93% de contenido de subproducto de naranja generó una diferencia estadística con el tratamiento control.

El aumento del nivel de °brix en las biopelículas desde 1,17% (F1) hasta 1,93% (F2), resultante del menor promedio final de sólidos solubles en la biopelícula respecto a la formulación comprendida con 1,93% (F3) de harina de cáscara de naranja.

El aumento de cantidad con harina del subproducto cítrico logró un efecto significativo hasta la F2, en comparación con la muestra control teniendo un rendimiento mayor sin aplicación de HCN, aunque estadísticamente no puede ser denominado significativo. Indicando un modelo lineal simple para explicar la relación entre las variables de estudio (V.I) y V. respuesta (variables dependientes).

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Sólidos solubles (°Brix)} = 27,78 - 10,27 \text{ Tratamiento\_F1} - 9,47 \text{ Tratamiento\_F2} - 14,29 \text{ Tratamiento\_F3} + 34,03 \text{ Tratamiento\_MC-F4}$$

### **C) pH**

Los resultados del ANOVA estimaron un mayor valor F calculado (160,395) que el valor tabular 4,07, indicando la existencia de un factor influyente para caracterizar el potencial de hidrógeno en las películas significando una relación entre la variabilidad de contenidos pH y las variables estudiadas (matrices poliméricas, HCN y glicerol), describiendo una ecuación de regresión (Tabla 43 – Anexo 15).

Existen diferencias estadísticamente demostrativas al nivel del 95% de confiabilidad entre las biopelículas comestibles HCN probadas. La biopelícula MC F4-BC presentó una mayor ganancia del potencial de hidrógeno, su promedio es de 21,01% mayor que las demás muestras.

Las comparaciones Tukey entre los tratamientos estudiados que muestran valores significativos mejores en las formulaciones F1 y F3, rechazándose la hipótesis nula con un p-valor menor a 0,05% presentando valores decrecientes, demostrándose resultados iguales estadísticamente (Tabla 44 – Anexo 15).

Demostrándose la igualdad de contenido del potencial de hidrógeno manteniendo un patrón similar en los tratamientos cuando se aplicó la concentración de HCN y la F4-MControl es diferente con mayor promedio de 7, sin embargo, estadísticamente no es característico representativo.

Se obtuvo una ecuación de primer grado que demostró la relación expresiva entre las variables de estudio, relacionando con la media obtenida en todos los tratamientos.

#### **Ecuación de regresión:**

$$\text{pH} = 5,5975 - 0,4675 \text{ Tratamiento\_F1} - 0,4375 \text{ Tratamiento\_F2} - 0,5008 \text{ Tratamiento\_F3} + 1,4058 \text{ Tratamiento\_MC-F4}$$

#### **D) Acidez titulable**

Respecto al contenido de acidez total en las biopelículas, se evidencian valores identificadas en biopelículas observándose diferencias mínimas entre cada valor reportado por tratamiento, afirmándose similitudes en todas las muestras diferenciándose mínimamente en los valores decimales debido al componente empleado para fabricar el biomaterial (Tabla 45 -Anexo 15).

Considerándose que los residuos no tienen una distribución normal, es necesario precisar las hipótesis para la decisión, aprobándose la  $H_0$ , comprobándose en el desarrollo del método Tukey, explicando que las muestras estudiadas originaron iguales efectos en el incremento de cantidades de acidez titulable.

En el caso muestra un p-valor mayor que el criterio significativo, afirmándose la aceptación de hipótesis nula, confirmándose la generación de iguales en incrementos de valores en acidez titulable encontrados en los tratamientos.

Como  $F_c (1,1180) < F_t (4,07)$  al menos uno de los tratamientos genera mínimas diferencias en la cantidad de valores en acidez titulable. Se valida la hipótesis nula ( $H_0$ ). Asimismo, es necesario aplicar

comparaciones con pruebas de Tukey para evaluar las diferencias significativas mínimas entre las muestras empleando concentraciones variantes (Tabla 46 – Anexo 15).

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Acidez Titulable} = 0,03742 - 0,00375 \text{ Tratamiento\_F1} - 0,00375 \text{ Tratamiento\_F2} + 0,00258 \text{ Tratamiento\_F3} + 0,00492 \text{ Tratamiento\_MC-F4}$$

La biopelícula no presentó estadísticamente una diferencia significativa en los resultados obtenidos respecto a los tratamientos, en el caso de todos los tratamientos muestran resultados similares al nivel estadístico comprobado, aunque las biopelículas con 2,25% de contenido de matrices poliméricas perceptible cuando se somete a verificar el sabor casi ácido peculiar en la combinación de los biopolímeros empleados en su formulación (Tabla 47 – Anexo 15).

### **E) Humedad**

Las biopelículas no presentan disyuntivas entre los tratamientos analizados mostrados en la Tabla 48 - Anexo 15, sobre el efecto humedad en las biopelículas, además de la prueba de medias. Sin embargo, por cada tratamiento registró diferencias en las sumas totales con altos valores en la todos los tratamientos, además solo una muestra precisó una menor cantidad en la F1.

Para la toma de decisión se planteó dos hipótesis para diferenciar la mejor muestra, explicándose:

**H<sub>0</sub>:** Las muestras estudiadas generan iguales efectos en el incremento de porcentajes de humedad.

**H<sub>1</sub>:** Al menos una de las muestras en estudio produce diferencias estadísticamente significativas en el aumento de cantidad en humedad.

En efecto a los resultados detallados en la Tabla 49 – Anexo 15, la  $F_c (1,0063) < F_t (4,07)$  no existe diferencias entre los tratamientos en el incremento de valores en humedad, tomando la decisión de aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ), siendo necesario realizar comparaciones desarrollando el método Tukey para identificar las diferencias significativas entre las

muestras incorporadas con biopolisacáridos y un subproducto de piel de naranja, en referencia a los resultados en cada componente tiene su oportuna afinidad de actuar en la interacción molecular influyente para obtener biomateriales comestibles.

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Humedad} = 51,75 - 3,74 \text{ Tratamiento\_F1} + 0,24 \text{ Tratamiento\_F2} + 0,94 \text{ Tratamiento\_F3} + 2,55 \text{ Tratamiento\_MC-F4}$$

En la Tabla 50 – Anexo 15, se identificó que los tratamientos no presentan estadísticamente una diferencia significativa en los resultados obtenidos, concluyéndose que no conservan una distribución normal en cuanto a contenido promedio de humedad de biopelículas es 54,301% para muestra control-F4; 52,686%, en muestra F3; menciona un 51,992%, para F2 y 48,01% en F1. Indicando la mejor concentración óptima comprueba la F1 con 48,0107 logrando mantener una reducción mínima adecuada para evitar la susceptibilidad antibacteriana, mientras que el tratamiento control tuvo un valor mayor con 54,3007, aunque estadísticamente no es diferenciado.

### **F) Índice de solubilidad**

En función al requisito para la prueba de normalidad, los datos provinieron de una distribución normal con tendencia céntrica enfocada a la regla de decisión respecto al valor  $p(0,100) > 0,05$ ; se admitió la  $H_0$ , apoyándose en los datos que efectuaron una disposición simétrica alrededor de su media presentando evidencia en sus cifras normales.

En la Tabla 65 (Anexo 15) detalla  $F_c(1,07) < F_t(4,07)$  no existe diferencias entre los tratamientos en el incremento de valores en % solubilidad. Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ). Siendo necesario realizar comparaciones aplicando método Tukey para reconocer las desigualdades entre las muestras adicionadas con polisacáridos y harina de piel de naranja en la fabricación de biopelículas.

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Índice de solubilidad \%} = 87,00 - 1,48 \text{ Tratamientos\_F1} + 2,57 \text{ Tratamientos\_F2} - 4,12 \text{ Tratamientos\_F3} + 3,03 \text{ Tratamientos\_MC-F4}$$

Las biopelículas presentaron resultados estadísticos iguales para estos cuatro tratamientos, en referencia a los valores obtenidos experimentales poseen semejantes comportamientos experimentales en la aplicación de condiciones de temperatura y periodo de secado para producir. En referencia al aumento de cantidades en el índice de solubilidad con el incremento de micropartículas de piel de naranja, siendo favorable una menor índice de solubilidad para conservar la parte física de las biopelículas evitando la interferencia de gases no deseables con el medio externo, obteniéndose en F3 (82,877), evidenciándose no significativo estadísticamente (Tabla 66 – Anexo 15).

### **G) Pérdida de peso**

Existen diferencias estadísticamente significativas al nivel del 95% de confiabilidad entre las biopelículas comestibles con harina de cáscara de naranja probadas. La biopelícula MC F4-BC genera el mayor incremento de pérdida de peso, su promedio es de 231,22% mayor que las demás muestras.

Como  $F_c (17,9174) > F_t (4,07)$  al menos una biopelícula genera diferencias en los valores de pérdida de peso. Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), permitiendo conservar sus cantidades por un periodo más largo evitando la degradación de sus componentes integrados en la estructura del biomaterial (Anexo 15 -Tabla 51).

En relación con el aspecto sobre la disminución de peso se especifica los tratamientos F1 y F2 presentando promedios similares en la reducción de peso mientras que las dos muestras F3 y MC F4-BC generan diferencias estadísticamente significativas al nivel de confianza de 95% entre formulaciones.

En los valores registrados en formulaciones con HCN indican más altos, resultando menor el valor de pérdida de peso promedio final de la biopelícula comestible respecto al tratamiento con 1,93% de HCN. Los biomateriales empleando 2,5 gramos de micropartículas de cáscara de naranja, tuvieron menores cantidades con respecto a la muestra control,

indicando que una menor pérdida de peso es favorable en efecto a la volatilidad no deseada.

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Pérdida de Peso} = 74,947 - 0,953 \text{ Tratamientos\_F1} - 1,395 \text{ Tratamientos\_F2} \\ + 0,223 \text{ Tratamientos\_F3} + 2,125 \text{ Tratamientos\_MC-F4}$$

### **H) Densidad**

Se visualiza valores cercanos entre las muestras estudiados en la Tabla 55 – Anexo 15, justificando una igualdad en el promedio con 0,003mm, estando intrínsecamente la aplicación del método Tukey aplicado en los datos obtenidos en la experimentación.

En cuanto a los valores para densidad, se acepta la hipótesis nula reconociendo iguales efectos, aclarando que las variables (HCN y matrices poliméricas) producen equivalencias en las magnitudes de densidad en todas las muestras de películas.

En la Tabla 54 – Anexo 15, detalla  $F_c (0,9231) < F_t (4,07)$  no prueban diferencias entre los tratamientos en el incremento de valores en densidad. Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), especificando que es inevitable realizar el método Tukey para reconocer desigualdades entre las muestras desarrolladas mediante método casting.

En la ecuación lineal es demostrado la interacción entre las variables estudiadas integrando una ecuación de normalidad  $y = 0,178x + 0,5$  permitiendo establecer la distribución normal de acuerdo con el patrón que siguen los puntos obtenidos de los residuos y  $R^2 = 0,9387$ .

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Densidad} = 0,000883 - 0,000050 \text{ Tratamientos\_F1} + 0,000050 \text{ Tratamientos\_F2} \\ - 0,000050 \text{ Tratamientos\_F3} + 0,000050 \text{ Tratamientos\_MC-F4}$$

Acorde al resultado de comparación pruebas de Tukey detallados en la Tabla 55 – Anexo 15, las biopelículas no presentan distinciones estadísticamente significativo en los tratamientos, contemplando que los promedios tienen igualdades a nivel numérico, aunque se afirma una concurrencia opuesta significativo.

## I) Espesor

El análisis ANOVA que se evaluó es expuesta en la Tabla 57 (Anexo 15), reportando un F calculada (0,6829) menor que la F tabulada (4,07), indicando la existencia de similitud en las cantidades de espesor por muestra con concentraciones distintas de HCN demostrándose una inexistencia diferenciada estadísticamente aceptándose el supuesto nulo sin incrementos en las cantidades de espesor, siendo factible realizar una prueba de medias para verificar cuales son diferentes entre los tratamientos de biopelículas y poder elegir el tratamiento ideal a nivel del 95% de confiabilidad.

En contraste a los resultados experimentales, se revelan semejanzas entre los valores obtenidos por muestra para el espesor medidos en las superficies de biopelícula, transcurriendo al desarrollo de pruebas de Tukey para corroborar la existencia de valores diferentes entre las muestras.

En la Tabla 58 (Anexo 15) muestra la comparación entre los tratamientos evidenciado por método Tukey, identificándose patrones iguales en los resultados obtenidos, prevaleciendo un efecto resistente a nivel experimental aportando mayores peculiaridades elásticos más resistentes ante la tendencia de ruptura, evidenciándose una cantidad mínima alta en el valor reportado en F1 con 0,853mm de espesor.

En el reconocimiento del incremento significativo entre las muestras, son evaluados en función a la estadística, detallando un mínimo aumento registrado en la F1 con una concentración menor de HCN (1,17%) y un menor promedio confirmado en el tratamiento control (0,74).

Para medir la calidad de ajuste del modelo de regresión lineal se utilizó el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2 = 0,9387$ ) y un modelo lineal para hallar la normalidad de los residuos obtenidos en los tratamientos ( $y = 0,178x + 0,5$ ) adecuando una explicación estadística de la interacción entre los factores intervinientes (V.I y V.D.).

#### 4.5.2. Propiedades mecánicas

$$\begin{aligned}\text{Espesor} = & 0,8000 + 0,0533 \text{ Tratamiento\_F1} - 0,0200 \text{ Tratamiento\_F2} \\ & + 0,0300 \text{ Tratamiento\_F3} \\ & - 0,0633 \text{ Tratamiento\_MC-F4}\end{aligned}$$

##### A) Elongación al corte

El ANOVA para elongación al corte se exhibe en la Tabla 59 (Anexo 15), donde evidencia la interacción de harina de piel de naranja y las matrices poliméricas generando un impacto positivo en los tratamientos validándose un p-value (0,000010485) menor que 0,05%, indicándose que producen diferencias comprobadas estadísticamente en el incremento de cifras respecto a elasticidad.

El mejor tratamiento es evidenciado en la F1 con un valor superior de 21,6% detallándose en la Tabla 60 (Anexo 15), donde se comprobó con la técnica Tukey la verificación de desigualdades de padrón entre las muestras.

La muestra F1 es diferente a las demás muestras con mayor contenido 21,6% de resistencia con una confianza de 95% mientras que la MC-F4 control detalla un menor valor -1,3667 semejante a los tratamientos F2 y F3.

Los tratamientos muestran diferencias estadísticamente significativo entre las biopelículas obtenidas, la MC F4-BC genera una diferencia significativa (-1,3667) frente a las demás formulaciones. Las biopelículas con distintas concentraciones de contenido tuvieron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ), precisando el efecto sobre el incremento cuantificable de resistencia en los biomateriales comestibles.

La reducción de ganancias acentuados en los promedios para resistencia está acreditadas a las proporciones de HCN. En aquellas biopelículas que contiene menos concentraciones del subproducto de naranja tuvieron mayores valores de firmeza, justificándose estadísticamente satisfactorio.

### **Ecuación de regresión**

$$\text{Elasticidad} = 0,583 + 21,02 \text{ Tratamientos\_F1} - 5,05 \text{ Tratamientos\_F2} - 4,02 \text{ Tratamientos\_F3} - 11,95 \text{ Tratamientos\_MC-F4}$$

El análisis de normalidad es constatado mediante la prueba Shapiro Wilk a fin de seleccionar un modelo experimental no paramétrico, considerando un motivo las variables no siguen una ley normal en los datos, existiendo solo una distribución cercana a la línea céntrica inusual debido a que algunos puntos tienen una actuación dispersa, validándose un menor coeficiente cuadrático  $R^2 = 0,7785$  lejano al valor uno esperado con una ecuación lineal de  $y = 0,0198x + 0,4884$  retribuida por la afinidad peculiar de cada tratamiento formulado con proporciones diferentes para la producción de biomateriales comestibles.

### **B) Resistencia**

En correlación al análisis de varianza detallado en la Tabla 61 (Anexo 15), se comprobó el rechazo de hipótesis nula con el valor  $F_c (99,7162) > F_t (4,07)$  mencionando que al menos una biopelícula contiene aumento de resistencia, corroborando diferencias significativas al nivel del 95% de confiabilidad estadística entre las biopelículas integradas con HCN y biomatrices poliméricas. Identificándose que la F3-BC demuestra un excelente incremento de resistencia, su promedio es mayor al 186,50% diferenciándose a las demás muestras.

La mayoría de las muestras son diferentes estadísticamente significativo respecto a la formulación F3, F2 y MControl, mientras que la F1 con menor concentración de HCN (1,17%) es considerado desigual por su contenido de valor inferior 26,2%, evidenciándose que la muestra óptima corresponde a F3-BC con 62,1666% (Tabla 62 - Anexo 15). Validándose mediante el modelo matemático ( $y = 0,1135x + 0,5002$ ) sobre la interacción entre las variables estudiadas.

### **Ecuación de regresión:**

$$\text{Resistencia} = 51,708 - 25,51 \text{ Tratamiento\_F1} + 9,66 \text{ Tratamiento\_F2} + 10,46 \text{ Tratamiento\_F3} + 5,39 \text{ Tratamiento\_MC-F4}$$

El incremento de concentración de HCN originan superiores promedios, reconociendo tratamientos disimiles con valores que

comparten una letra común, validándose estadísticamente al 95% de confianza. El contenido de resistencia aumento a medida que se incrementó la proporción de HCN, desde 1,17% hasta 1,93%, resultando menor en el promedio final de resistencia en F1.

Las biopelículas aplicadas con micropartículas de cáscara de naranja que asientan una concentración de 1,93%, tuvo un mejor resultado consistente oponiéndose a la Muestra control: 57,1; precisando la comprobación estadística no relativa, teniendo una correlación proporcional entre las variables X (independientes) e Y (dependientes) con un valor aproximado a uno observándose la aleatoriedad en los residuos de películas comestibles demostrando un coeficiente cuadrático de  $R^2 = 0,9187$ .

### **C) Cohesión**

La evaluación a la variable cohesión, las conexiones moleculares del biomaterial, se verificaron estadísticamente los datos obtenidos en el análisis de varianza precisado en la Tabla 63 (Anexo 15), las diferencias corroboradas al nivel del 95% de confiabilidad entre las biopelículas, confirmaron el rechazo de la hipótesis nula en efecto al incremento distintivo por repetición desarrollado. La biopelícula F1 tiene un mayor promedio de 6666,70 que logra ofrecer una cohesión mayor comparado con los demás tratamientos.

Existen diferencias en las muestras F1 y MControl-F4 en comparación con las formulaciones con valores cercanas F2 y F3, indicando semejanzas estadísticas característicos en los resultados conseguidos en los tratamientos mencionados. Señalando un mayor valor promedio en F1-BC (6666,7) correspondiente al parámetro analizado en las biopelículas.

La atribución de las concentraciones de HCN evidencian una preponderancia en las cantidades para cohesión en biopelículas comestibles, demostrando que la variable independiente afecta al proceso indicador, representando un efecto principal X1 (micropartículas de

cáscara de naranja) sobre la respuesta por obtener un mayor valor de  $F_c$  (94,178).

Después de desarrollar el análisis de regresión lineal con los valores reportados, se obtuvo el modelo mostrado a continuación:

#### **Ecuación de regresión:**

$$\text{Cohesión} = 3828 + 2839 \text{ Tratamiento\_F1} - 602 \text{ Tratamiento\_F2} - 1746 \text{ Tratamiento\_F3} - 490 \text{ Tratamiento\_MC-F4}$$

En la F1 exterioriza un promedio final superior de 6666,7 comparada con los tratamientos debido a la combinación concentrada con 1,17% de HCN y los componentes poliméricos, revelando una capacidad conectiva compatible, evaluando mediante el método Tukey.

#### **4.6. Análisis económico**

El análisis económico se desarrolló basado en costos comprendidos desde el personal, producción y servicios, además de la venta unitaria con margen (10%) de ganancia influyendo en la venta total y rentabilidad, integrando un cálculo formulado constada de costo total/venta total multiplicada por 100, obteniéndose el valor del 91% respectiva a rentabilidad en la elaboración de biopelículas comestibles aplicando piel de naranja, diferentes polímeros naturales y aceite esencial de orégano.

**Tabla 24**

*Costo de producción y servicios en la elaboración de películas comestibles de cáscara de naranja, matrices poliméricas y aceite esencial de orégano.*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Precio unitario	CANTIDAD	COSTO TOTAL
<b>PERSONAL</b>				<b>S/ 10.68</b>
Operario	-	S/ 10.68	1	S/ 10.68
<b>COSTOS DIRECTOS</b>				
<b>MATERIA PRIMA, INSUMOS Y OTROS</b>				<b>S/ 168.30</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Naranja	Kg	S/ 2.00	2.5	S/ 5.00
<b>Orégano</b>	Kg	S/ 3.00	8.50	S/ 25.50
Goma xantana	g	S/ 32.50	1.10	S/ 35.75
<b>Alginato de sodio</b>	g	S/ 1.00	25.00	S/ 25.00
Agar Agar	g	S/ 0.12	50.00	S/ 6.00
<b>Tween 80</b>	g	S/ 0.15	150.00	S/ 22.50
Glicerina Líquida USP	ml	S/ 1.60	18.00	S/ 28.80
<b>Agua destilada</b>	L	S/ 9.00	1.50	S/ 13.50
<b>Hipoclorito de sodio</b>	ml	S/ 0.02	100.00	S/ 1.50
<b>Alcohol 96°</b>	L	S/ 0.01	500.00	S/ 4.75
<b>MATERIALES</b>				<b>S/ 12.50</b>
<b>Papel Kraft</b>	Mts2	S/ 2.00	1	S/ 2.00
<b>Papel de aluminio</b>	Mts2	S/ 3.00	1	S/ 3.00
Spray atomizador de plástico	Unid	S/ 2.00	1	S/ 2.00
Cinta Masking tape	Unid	S/ 2.50	1	S/ 2.50
Papel toalla y papel tisú	Mts2	S/ 3.00	1	S/ 3.00
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>S/ 77.40</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				<b>S/ 4.50</b>
Operario	Jornal - H	S/ 4.50	1	S/ 4.50
<b>SERVICIOS</b>				<b>S/ 8.90</b>
AGUA	Global	S/ 2.30	1	S/ 2.30
ELECTRICIDAD	kWh	S/ 6.60	1	S/ 6.60
<b>VIÁTICOS Y MOBILIDA</b>				<b>S/ 64.00</b>
Transporte	-	S/ 8.50	5	S/ 42.50
Imprevistos	-	S/ 7.50	1	S/ 7.50
Mantenimiento	-	S/ 14.00	1	S/ 14.00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>S/ 268.88</b>
CANTIDAD DE PRODUCCIÓN (150 g)				<b>28</b>
COSTO UNITARIO				<b>S/ 9.50</b>
PRECIO DE VENTA				<b>S/ 10.50</b>
VENTA TOTAL				<b>S/ 294.00</b>
RENTABILIDAD %				<b>91.46</b>

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis de harina de cáscara de naranja

En la formulación para la obtención de biopelículas comestibles se analizó el tamaño de las partículas adquiridos al final del proceso de cernido, presentando micropartículas de tamaño de 250  $\mu\text{m}$ , considerándose una medida grande en comparación a 150  $\mu\text{m}$  según Karakuş et al. (2023), quienes indicaron que no influyen en sus características colorimétricas como luminosidad, siendo el valor obtenido de 65,56 a diferencia del mayor valor evaluado con 228,377 en HCN del presente estudio.

Además, las partículas con menor tamaño favorecen una superficie en las biopelículas más agradable visualmente y es un factor clave para mejorar la distribución intensificando la uniformidad en el proceso de fabricación de biomateriales con matrices biológicas cooperando factibles propiedades de barrera y mecánicas (Khalil et al., 2023).

### 5.2. Análisis fisicoquímicos de biopelículas comestibles

#### A) Color total

Para la intensidad de color, las biopelículas presentaron mayor luminosidad en la muestra F1R3: 67,2 con 0,78% de HCN combinada con matrices poliméricas al 2,48% y en la muestra control-F4 ( $L^*$ : 73,4) sin integración del biorresiduo de harina de piel de naranja manteniendo un matiz blanquecino en todas las repeticiones con efecto presente a la pigmentación de los biopolímeros. En comparación con el mayor valor reportado por Karakuş et al. (2023), obtuvieron 84,61 de  $L^*$  con adición de polvo de cáscara de naranja (2%) sin bioinsumos poliméricos, en efecto al contenido alto de carotenoides tornándose más amarillento para los biomateriales desarrollados.

Asimismo, Yun et al. (2023), determinaron valores de color con  $80,81 \pm 0,12$  y diferencia de color total ( $\Delta E$ ) registrando  $66,68 \pm 0,15$  en biopelículas compuestas por 4,6 g de HCN con 0,46g de alginato de sodio. De igual manera, en la investigación realizado por Sierra (2021), evidenció un valor de 12,10 en diferencial colorimétrica encontrado, en cambio la muestra F3R1 tiene un alto contenido con 71,842, superando el contenido mencionado.

Contrastado con el hallazgo realizado por Oun et al. (2024), quienes caracterizaron el diferencial de coloración en películas indicadoras de color aplicando 3g de agar y 0,9g de glicerol, presentando un  $\Delta E$  mínimo cantidad del  $6,4 \pm 0,9$  comprobada con el color original transparente en la matriz polimérica transformándose en pigmento amarillo detectable por el ojo humano.

La cuantificación de propiedades de color en películas a base de agar muestran un alto valor de  $L^*$  con 96,94 indicando una apariencia clara y transparente visualizado en la superficie de películas utilizando 0,79% del polisacárido, presentando un  $\Delta E$  incremento no demostrativo de  $0,29 \pm 0,03$  (Wang et al., 2018).

Aquellas películas preparadas con alginato de sodio al 5%, se encontraron una desviación estándar del  $68,7\% \pm 0,1\%$  en diferencial de color mayor ( $\Delta E$ ), pero bajos en comparación a 71,842% descubierta (Biao et al., 2019).

Las películas comestibles a partir del 1% de goma xantana y almidón de yuca, obtuvieron  $27,77\% \pm 0,48\%$  de color diferencial total, concordados con las variaciones de valores de  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $L^*$  y espesor afectando los cambios de matices, en contraste del valor se observó por encima del contenido determinado (Shi et al., 2024).

El análisis de color total en películas comestibles del 10% de alginato de sodio (AS) y extractos de piel de batata morada (EPBM) es comparado con  $22,4\% \pm 0,4\%$  los valores conseguidos, evidenciando un bajo valor influyente del aumento de AS y EPBM produciendo un  $\Delta E$  más profundo (Zhao et al., 2022).

## **B) °Brix**

El análisis para sólidos solubles, el tratamiento control-F4 presentó mayor cantidad con 64,64 °Brix en verificación a las muestras incorporadas con harina del subproducto de naranja acertando 24,85 mayor en la F2R3, seguido de la F1R2 con 24,15 en efecto a la adición de matrices poliméricas compuesta por moléculas y unidades distintas.

En estudios se observaron una reducción de sólidos solubles entre  $9,3 \pm 0,24$  en películas compuestas utilizando formulaciones que contienen 4% de polvo de cáscara de naranja, alginato de sodio y pectina, este valor es explicado por la naturaleza viscosa del polisacárido añadido y la interacción de moléculas de azúcares en la solución filmógena mezclada (Rai et al., 2019).

El contenido de azúcares predominantes en la harina de CN influye en el valor de °Brix del biomaterial final optimizando las cualidades sensoriales, además el interés sobre el enfoque innovador para producción de biomateriales comestibles combinado con harina de cáscara de naranja, agar-agar, goma xantana y alginatos de sodio, promueven ventajas en las características mecánicas, físicas y sensoriales.

Analíticamente aquellos biofilms comestibles que emplearon el biorresiduo cítrico son susceptibles a cambios degradativos por sus componentes orgánicos y deben conservarse en almacenamiento acondicionado a temperatura refrigerativa sin presencia de luz para minimizar la reducción de compuestos biológicos, cambios oxidativos y descomposición, explicados en los estudios de Zielinska & Michalska (2016) y Shu et al. (2020).

Existe conexión directa entre el contenido de azúcares totales repercutiendo un equilibrio del grado dulzor y la acidez presente en el producto (Zeliou et al., 2018). La influencia del estado maduro que se encuentre el fruto cítrico influye en la cáscara protectora contra daños físicos, químicos y biológicos, admitiendo menores valores de sólidos solubles  $1,34 \pm 0,01$  °Brix con un total de azúcar  $5,60 \pm 0,02$  g/100g<sup>-1</sup> (Teixeira et al., 2020).

Bansal et al. (2024), indican que mantuvieron los niveles de sólidos solubles en  $7,16 \pm 1,34$  °Brix examinados en películas basados en 2% de goma xantana y 5% de almidón de sarraceno, impartiendo contenido de azúcares inferiores al disminuir la concentración teniendo un desempeño reducido y satisfacción consumible, estando por debajo a los valores alcanzados.

En mención al alginato de sodio, se estiman valores progresivos en sólidos totales reconocidos en películas con 1%, produciendo un contenido fluctuando entre  $86 \pm 10,88$  °Brix reflejando la capacidad de retención de

azúcares preservando su estabilidad microbiológica y propiedades sensoriales, superando al valor cuantificado (Benlloch et al., 2024).

### C) pH

La muestra experimental F1R3 con un pH de 5,32 es menor a diferencia del tratamiento control F4R2 con 7,04 que integran solamente insumos polisacáridos que aportan eficientemente una textura y viscosidad final del biomaterial, presentan inestabilidad en el proceso gelificante proporcionando una menor consistencia debido a la dispersión de iones como calcio (Browning et al., 2021), permitiendo la formación de geles suaves defectuoso retenedor de cualidades texturales y sensoriales deficientes al someter temperatura e interacciones de monómeros, dependiendo a la cantidad empleada (Belattmania et al., 2020).

La combinación de los biocomponentes no solo afecta al potencial de hidrógeno, también a las funciones mecánicas, actividad antifúngica y capacidad de barrera, afectando directamente las características sensoriales, textura y percepción afiliada del biomaterial. Cabe precisar que un pH no solo permite mejorar las características sensoriales y mecánicas del biomaterial producido que aportan una estabilidad conservadora sin degradarse con facilidad, en adición al valor de la cáscara de naranja manteniendo valores  $4,87 \pm 0,01$  de acidez (Teixeira et al., 2020).

El valor de pH en la biopelícula F1R3 incorporado con harina de piel de naranja refleja una valoración ácida en comparación con la muestra control-F4 que reportó un contenido neutro. Alata et al. (2019) evidenciaron que la pectina encontrada en la cáscara de naranja presentó favorables cualidades mecánicas considerando un rango óptimo de 6, sugiriendo una formulación equilibrada entre las biomatrices acopladas a subproductos agroindustriales ayudan a maximizar la resistencia y flexibilidad.

La utilización de alginato de sodio en películas al 5% proporcionada m/m, disponen un pH alcalino de 11 superando al valor investigado con 7,04 neutro en la formulación control y 5,32 ácido para F3, favoreciendo una estructura mecánica y eficiente barrera al oxígeno (Amado et al., 2024). Sin embargo, valores registrados en películas añadidas al 1,5% de alginato de sodio (p/v) y 1% de extracto de cáscara de batata morada, conceden el desarrollo de

un indicador inteligente sensible al pH contribuyente a monitorear el estado guiándose del color tornándose desde rojo hasta amarillo variando el pH oscilando desde 2 a 13 (Zhao et al., 2022).

Se caracterizó el pH en películas integrando 0,2% de goma xantana, 0,5% de alginato de sodio y 0,6% de pectina, obteniéndose un valor creciente de  $5 \pm 8$  debido a los cambios de estructura de los polisacáridos (Li et al., 2023).

#### **D) Acidez titulable**

Acorde a la concentración de acidez en biopelículas, la muestra MC-F4R3 presentó 0,045% mientras que las formulaciones F1R2 y F2R3, fueron identificados con menor valor favorable de 0,025%. Estas cantidades analizadas repercuten de la composición fisicoquímica de los polímeros y del biorresiduo añadido en la producción de biopelículas.

El parámetro relevante es empleado para evaluar la calidad y estabilidad de las biopelículas contrarrestando deficiencias en inhibir bacterias fúngicas, resistencias mecánicas y conservador de componentes naturales (Torrenegra et al., 2021).

La investigación en el valor de acidez titulable, solo en la piel de naranja evidencia un 0,41% de ácido cítrico es responsable del aroma y sabor en los bioproductos comestibles que adicionan para su fabricación (Teixeira et al., 2020). El promedio para películas basados en harina de cáscara de naranja fue de  $0,044\% \pm 0,032\%$ . Este valor es decreciente del cuantificado por Brito (2022), quien halló 0,70 por ciento para películas con 3% de pectina obtenido de piel de naranja.

La película comestible con 0,67% de alginato de sodio presentó  $0,448 \pm 0,129\%$ , precisando que es un valor alto contrastado con las repeticiones del F3 con 0,19% del polisacárido indicado (Suresh et al., 2022).

El contenido porcentual percibido se halla por debajo de 0,384% determinadas en películas mezcladas con 1% de goma xantana provocando un retardo leve en el crecimiento de agentes microbianos, mientras que un valor menor de 0,032% (F3R1) manifiesta factibilidad frente a efectos negativos (Kumar et al., 2021).

El contenido de % acidez titulable depende de las cantidades evaluadas por cada biopolímero y harina del subproducto de naranja y concentraciones

empleadas en la preparación del biomaterial comestible, subsistiendo un factor clave para hallar un valor porcentual de este parámetro adecuado para garantizar calidad y seguridad. Los resultados muestran un valor similar en los tratamientos F1R1, F1R3 y MC-F4R2 con 0,038%.

Concluyendo que este indicador clave y predisponible en los aspectos del biomaterial orgánico, partiendo desde la percepción sensorial, funcionalidad conservadora hasta su estabilidad inhibitoria aportando aceptabilidad, calidad y preservando cualidades deseadas conservándose en propicias condiciones de almacenamiento (Beltagi et al., 2022).

### **E) Humedad**

El mínimo resultado obtenido correspondió a F1R1 con 43,4959% en biopelículas transcurriendo una imparcialidad mayor contrastando con estudios realizados por Yun et al. (2023), quienes obtuvieron biopelículas comestibles con polvo de piel de naranja presentando una humedad entre  $18,16\% \pm 25,25\%$  favoreciendo su conservación estructural interna. En comparación con las películas control sin adición de HCN, explicados por Taghavi et al. (2021), se percibió aumentos de humedad mientras la incorporación de HCN al 12% ( $12,11\% \pm 0,05\%$ ) no presentó cambios frente a contenidos mayores de humedad relacionado con hidrofobicidad influyentes a la flexibilidad y capacidad de estiramiento.

En todas las muestras analizadas presentaron variaciones discontinuas con fluctuaciones diferentes que indicaron una disminución favorable que eviten el crecimiento microbiano por su bajo porcentaje, siendo la humedad más elevada con 59,0672% (F3R2) dependiente del contenido de humedad analizada por cada matriz polimérica y la HCN.

Los investigadores Vonnie et al. (2023), evaluaron el contenido de humedad en biopelículas hallando  $10,59\% \pm 0,41\%$  precisando la interacción de la HCN con almidón de plátano al 3% (6g) durante la formación del biomaterial, se exteriorizan internamente enlaces de hidrógeno con grupos hidroxilos que permiten tener una capacidad bioabsorbente de agua.

Nkede et al. (2024), utilizaron 1% de alginato de sodio en películas comestibles, donde encontraron un valor inferior  $26,99 \pm 0,88\%$  ayudando a

limitar las interacciones entre la matriz polimérica y agua reduciendo su absorción no preferible.

El desarrollo de películas empleando 3% de agar añadiendo celulosa bacteriana, permiten disminuir el contenido de humedad hasta  $19,50 \pm 0,09$  % comparada al valor superior obtenido (Wang et al., 2018).

En cuanto a películas con adición mínima de goma xantana al 2% p/v contribuyen en la formación de hidrógeno restringiendo zonas de hidroxilo capaces de interactuar con  $H_2O$ , contribuyendo a disminuir el porcentaje de humedad al  $10,36 \pm 0,45$  %, aparte de diferir con el resultado generado (Bansal et al., 2024). Instando a las proporciones bajas de goma xantana (0,5g), carragenina (1g) y goma gellan (0,25g) permiten una disminución de hasta 16,5% a 21,51% indicando que no existe coincidencia con el contenido del parámetro obtenido (Balasubramanian et al., 2018).

En referencia a las investigaciones desarrolladas, reportan valores bajos comparado con los valores altos obtenidos para % humedad de biopelículas, en efecto a la integración de tres matrices biopoliméricas (agar agar, goma xantana y alginato de sodio) y harina de piel de naranja, que mantienen una naturaleza hidrofóbico influyente a la composición final de este parámetro estudiado, siendo un factor desventajoso que deben ser investigados y analizados por su peculiaridad integral.

También, el contenido de humedad en equilibrio recae hasta  $7,7 \pm 0,8$ % presenciadas en películas de xantana (10 g) y 0,30 g/g de almidón de yuca, disminuyendo la adsorción de agua correlacionada a la formación de enlaces de hidrógeno entre cadenas de goma xantana y almidón (Hernández et al., 2021).

#### **F) Índice de solubilidad (IS)**

En el tratamiento control F4R3 reportó 99,999% superior a 78,317% en F3R3, en virtud del contenido de pectina y estructura química de los polisacáridos, donde es preferible el menor IS controlado para mejorar la resistencia a la disolución.

Cuánto mayor contenido de valores porcentuales, manifiestan ascendientes influencias de conservación de integridad afectada por su naturaleza hidrofóbica de los biopolímeros y las funciones específicas de los bioinsumos empleados en la elaboración de biopelículas comestibles requiriendo un equilibrio adecuado en la combinación de los componentes integrados en la emulsión filmógena (Baswal et al., 2020).

Atendiendo a una excelente solubilidad en agua son intervenidas por su funcionalidad y estructura química de los polisacáridos utilizados en la formulación, adecuando proporciones ideales que proporcionen una apariencia agradable añadiendo cierto sabor representativo (Mohamed et al., 2020).

El polvo de piel de naranja contribuye a incrementar los valores para índice de solubilidad, registrando 14,90% por Sierra (2021), pero diferenciándose en la presente investigación para el % de solubilidad indicando un alto contenido con 78,317%, teniendo la función de aportar facilidad de disolverse en agua, éstas desigualdades son debido a las temperaturas aplicadas para secar cumpliendo con el proceso de análisis desarrollados por los investigadores. Incidiendo en la insolubilidad es causada por la celulosa asistida en HCN generando desventajas físicas debido a la reducción de grupos hidroxilos libres (OH) interfiriendo en las cadenas de polímeros provocando menores valores de insolubilidad en agua en las biopelículas (Chatariya et al., 2022).

Valores de IS  $16 \pm 22\%$  fueron reportados por Choo et al. (2021) al adicionar AEO al 2,5% incorporando almidón con quitosano, manifestándose como mayor resultado hallado. Asimismo, Li et al. (2023) indican que un índice sobresaliente de solubilidad es influenciado por los grupos hidrofílicos encontrados en polisacáridos como alginato de sodio y goma xantana, donde las películas elaboradas con estas matrices contienen  $57,66\% \pm 1,31\%$ .

Películas formuladas en base de goma xantana (90:10) y almidón de yuca (0,30 g/g) generan un porcentaje superior de  $89,7\% \pm 0,1\%$  de IS diferente al valor resultante determinado (Hernández et al., 2021). En el mismo contexto se encontró un rango ligero menor con  $52,38\% \pm 1,08\%$  diferente en

biocapas comestibles con adición de goma xantana (2%) y 1,25% de aceite esencial de limoncillo (Bansal et al., 2024).

El valor caracterizado se encuentra por encima del valor encontrado por Qin et al. (2023) para películas con 3,3% p/p de agar y glucomanano de konjac con una relación de  $24,8 \pm 3,6\%$ . Por otra parte, al analizar películas con alginato de sodio mezcladas con extracto de té verde (2%p/v), la solubilidad se expresó como el tiempo hasta formar una solución transparente, obteniéndose  $245,33\% \pm 5,03\%$  (Benlloch et al., 2024).

Vonnie et al. (2023), obtuvieron  $16,66\% \pm 1,64\%$  de solubilidad indicando que es un parámetro crítico en el caso si las biopelículas están en contacto con agua, induciendo a la formación de geles formados por los iones del alginato de sodio. El resultado obtenido es superior al hallado por Chanataxi (2023), quien evaluó películas a base de almidón de camote combinada con porcentajes de albedo cítrico (1%) presentando un contenido de  $73,28\% \pm 9,53\%$ .

### **G) Pérdida de peso**

El análisis de pérdida de peso se evidenció diferenciaciones de valores reductores en todas las muestras, donde la muestra control presentó mayor pérdida F4R3: 77,168%, seguido de la F3R3 con 75,393% y los menores valores óptimos obtenidos fueron 72,398% y 73,371 % encontrados en F2R2 y F2R3, respectivamente. Las cantidades dependen del proceso realizado para el desarrollo de biopelículas que aplican parámetros térmicos a determinadas duraciones.

La mayor pérdida de peso se obtuvieron en películas en el rango de  $25,03 \pm 60,43\%$  al añadir 10% de piel de naranja, por debajo del valor resultante analizado (Sambudi et al., 2022).

Un máximo peso perdido del 80 % exhiben las películas con alginato de sodio (1,5%) acreditando una superación comparada con el porcentaje obtenido determinado (Bhatia et al., 2023).

Complementando, se determinó un valor menor al resultado con 54,075% de pérdida de peso en películas aplicando goma xantana y quitosano al 1% (Tabassum et al., 2023). Paralelamente, existe una relación entre pérdida de agua ligada y degradación al glicerol resultando una mayor pérdida de peso

de 99% en películas basados en 3,9 p/p de agar y glicerol del 30% (Qin et al., 2023).

La finalidad de las biopelículas deben ser diseñadas para ser semipermeables, actuando como controladores del intercambio de gases, humedad y vapores al estar en contacto con el medio externo. Esto permite preservar sus propiedades funcionales enfatizado en optimizar las formulaciones más idóneas que promuevan biomateriales sostenibles (Bocker & Silva, 2024).

## **H) Densidad**

En la muestra MC-F4R2 con  $0,0011 \text{ g/cm}^3$ , tuvo una diferencia mínima con  $0,0001 \text{ g/cm}^3$  en comparación con F2R1 ( $0,0010 \text{ g/cm}^3$ ), esta cuantificación es mayor frente al estudio desarrollado por Vonnie et al. (2023), reportaron  $0,20 \pm 0,08 \text{ g/cm}^3$  en películas de cáscara de huevo y polvo de piel de naranja, debido a la existencia de estructura porosa. A pesar del área indagado, investigaciones demuestran la capacidad bioabsorbente calificando un material y polímero biodegradable prometedor para aplicaciones de películas comestibles consistentes (Terzioğlu et al., 2021).

El contenido de pectina en HCN contribuye a un eficaz enlace con los biopolisacáridos añadidos en las biopelículas, que actúan como estabilidad estructural aportando una resistencia a la tensión que cooperan a la funcionalidad como barrera y sus propiedades.

Los resultados explicados contrastando densidades de los biofilms comestibles, indican eficacia y aceptación en futuras aplicaciones alimentarias alternativas (Guo et al., 2021).

Chang et al. (2022), mencionan la influencia del espesor a partir de la cantidad mayor determinado favorece al incremento del comportamiento resistente. En cuanto a la medición de densidad, los autores Gómez et al. (2024), evidenciaron  $0,34 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$  en biopelículas combinadas con alginato de sodio y miel melipona.

Las películas añadidas con 0,5 % alginato de sodio, 0,2% de goma xantana y 0,6% de pectina, tuvieron una densidad  $1,5 \pm 1,2 \text{ g/cm}^3$  mayor al valor obtenido (Li et al., 2023). Conjuntamente, Capar (2023), expone que las

películas añadidas con 2 g de alginato de sodio y 10% de extracto de hojas de *Vitis vinifera* conducen a un cambio estructural facilitando una mayor interacción entre los enlaces de hidrógeno del alginato con las moléculas de agua confirmando una densidad alta con  $3,13 \pm 0,058 \text{ g/cm}^3$ .

## I) Espesor

El mayor espesor presentó el tratamiento F3R3 con 0,98 mm mientras que la muestra control MC- F4R2 midió un menor espesor de 0,60 mm. Entre las razones del grosor analizado están afectados por factores de proporciones de componentes empleados, condiciones experimentales de proceso para elaboración y la interacción entre componentes de polisacáridos, glicerol y HCN.

Se realizó las mediciones para el espesor de películas registrando un promedio de 0,07 mm diferenciado en muestra control revelando mayor contenido con 0,11 mm, indicando la causa acumulativa de AEO e insuficiente uniformidad de las partículas al homogeneizar la solución (Moncada et al., 2022), acorde a los resultados evidencian mayores valores para espesor en F3R3 con 0,98 mm, este valor se encuentra por encima de 0,38 mm de películas con albedo cítrico al 1% y 6% de almidón modificado (Chanataxi, 2023).

Incluso, se reporta por debajo del valor hallado con 0,31mm en películas a base de 7% de pectina (Canaviri & Mamani, 2020). A mayor espesor, atribuye una relación directa entre cantidad adicionada de biopolímeros empleados en biopelículas y tamaño de grosor, favoreciendo mayores propiedades que eviten intercambios de elementos de agua y vapores del ambiente (Fehlberg et al., 2020).

Gómez et al. (2024) reportaron cantidades menores entre  $0,07 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$  relacionado con las partículas de alginato de sodio para producir películas a diferencia del mayor espesor determinado. En comparación con Benlloch et al. (2024), obtuvieron un rango menor al valor determinado de  $0,1158 \pm 0,0171 \text{ mm}$  en películas de alginato de sodio al 2%. Siendo los valores altos hallados respecto a  $0,09 \pm 0,01 \text{ mm}$  en películas con 2g de AS (Alshehri et al., 2024).

Saccol et al. (2024), obtuvieron menores valores con  $0,037 \pm 0,003$  mm en biopelículas incorporadas con 1% de goma xantana y carragenina. Además, películas con 3 g de agar presentaron  $0,791 \text{ mm} \pm 2,1 \text{ mm}$  menor al valor identificado en el estudio ejecutado (Oun et al., 2024).

Sin embargo, se encontró por debajo al resultado medido diferenciado con  $1,244 \text{ mm} \pm 0,037 \text{ mm}$  en películas con adición del 5% de alginato de sodio según Biao et al. (2019).

Hernández et al. (2021), mencionan que un mayor espesor debe atribuirse a la fluidez del material durante el proceso de comprensión en caliente dependiendo de la viscosidad en condiciones de temperatura sometidas para su fabricación, plasmando un grosor final de  $0,21 \pm 0,02$  hallados en películas de goma xantana (10 g) y almidón de maíz (0,30 g/g).

La incorporación de biomateriales poliméricas y harina de piel de naranja generan un aumento en valores causando un incremento del parámetro medible a medida que se añaden mayores concentraciones genera un grosor cercano a la muestra control. Fehlberg et al. (2020), afirman que un incremento de espesor está asociado al tamaño y contenido del sólido de HCN compuesta por fibras solubles e insolubles, permitiendo aumentar notablemente el espesor de las biopelículas (Terzioğlu et al., 2021).

### **5.3. Propiedades mecánicas**

#### **A) Elongación al corte**

Las muestras analizadas con incorporación de harina de piel de naranja obtuvieron un efecto positivo frente a la muestra control para el parámetro %*E*, reportando mayores cantidades en la formulación 1 (F1R3) detallando una elasticidad mayor con 29% a diferencia de -2,8% determinado en F3R2.

Indicando un alto porcentaje positivo de elongación facilitan ventajas resistentes frente a la flexibilidad y tensiones mecánicas que aseguran funciones sin tendencias a fracturas comprometiendo una integridad natural de las biopelículas comestibles, siendo sugerible ajustar las concentraciones de las biomatrices, plastificante y biorresiduo cítrico para una adecuada interacción entre los compuestos originales con el fin de incrementar la resistencia a la tracción optimizando la flexibilidad del biomaterial formulado.

Rivera et al. (2020), obtuvieron  $7,81\text{mm} \pm 6,32\text{mm}$  en el bioempaque aplicando xantana (7,05g) y almidón (7g). En referencia a los autores Jorge et al. (2023), agencian resultados en biopelículas con adición del subproducto de naranja entre  $2,28\% \pm 16,80\%$ .

Sustancialmente, la influencia de glicerol (10%) no evidencia secuelas significativas en la elongación de películas con piel de naranja obteniendo una alta cifra desde 42,79% al 1,07% (Karakuş et al., 2023), valores bajos evaluados en la presente investigación muestran elongación sin tendencia a la ruptura.

Los valores porcentuales de elongación reducen por la disminución de la movilidad entre las cadenas poliméricas, en efecto al incremento de moléculas químicas de células halladas en harina de piel de naranja alcanzando un valor de 14% encontrados en biofilms (Chatariya et al., 2022).

En cuanto a la adición de goma xantana y aceite esencial de granada permiten mejorar la elasticidad con  $52,84\% \pm 3,41\%$  en biopelículas para un cambio estirable y flexible antes de presentar un punto de ruptura (Bhatia et al., 2024).

La piel de naranja es fuente de polisacáridos ayudando a mejorar las uniones intermoleculares con otros polisacáridos permitiendo incrementar la resistencia de elongación en biopelículas que las contengan (Ren et al., 2019). Taghavi et al. (2021), reportan un rango alto de  $64,48\% \pm 1,75\%$  en películas concentrados con polvo de piel de naranja combinando con gelatina.

Por el contrario, películas que incluyen goma xanthan (17,5%), goma algarroba (82,5%) y glicerol (35%), tienen una elongación superior de  $39,4 \pm 2,8\%$  afirmando una distinción eficiente (Kurt et al., 2017).

Li et al. (2023), prepararon películas indicadoras a base de pectina (0,6%), alginato de sodio (0,5%) y goma xanthan (0,2%), presentando 15% de alargamiento al rompimiento causado por la dispersión desigual de los polisacáridos incorporados. Sustancialmente cada componente aporta en el desarrollo de la película adhesiva compuestas por 2,50% de alginato de sodio (AS), 7,50% de goma xantana (GX) y 10% de glicerol, confirmando un valor prominente en el módulo elástico  $23 \pm 4\%$  inducida por el aumento de AS suscitando vínculos firmes y sólidas (Pagano et al., 2021).

Del mismo modo Benlloch et al. (2024), destacaron que el parámetro de elasticidad fue mayor señalando  $54,48 \pm 5,84\%$  en películas comestibles de 0,5% de alginato de sodio, reduciendo a fenómenos mecánicos adaptándose en superficies sosteniendo el control de intercambio gaseoso como  $O_2$  y  $CO_2$ . El efecto de 4% goma xantana sobre las propiedades estructurales de elongación en películas compuestas fueron comprobados con rendimiento del 31,22% de alargamiento sin ruptura promovida por la gelatinización del almidón de yuca facilitando la continuidad comprensible formando estructuras elásticas (Shi et al., 2024).

El sistema híbrido proteína-polisacárido proporcionan un entorno favorable apoyando un alargamiento de rotura mejorando hasta  $94,3\% \pm 7\%$  en películas sintetizadas utilizando polímeros de goma xantana (0,1g) y aislado de proteína de soja (6g-APS), en efecto de la formación reticulada covalente en la formación de cristales de ASP (Jaberifard et al., 2024).

La fracturabilidad de 50% agar agar es responsable de la deformación por la tracción frente a ruptura elástica evidenciando una película compuesta de agar con una emisión estimulada por agregación aumentando la interacción firme entre moléculas de agar generando  $39,6 \pm 5,1\%$  (Yang et al., 2024).

## **B) Resistencia**

La muestra F3R2 integrado por 1,17% de HCN y 2,46% de biomatrices, exhibiendo un contenido mayor de 67,6% respecto a resistencia a la ruptura mientras que la MC-F4 evidenció un valor menor con 56%.

En comparación con las biopelículas a base de pectina de piel de naranja y gelatina presentan un mayor valor de  $14,36 \pm 0,49$  expresado en MPa para resistencia (Jridi et al., 2020). Asimismo, Karakuş et al. (2023) informan que las biopelículas fabricadas a partir de piel de naranja combinadas con ácido al 3% y 7% de glicerol, tienen un rango de resistencia con  $0,86 \pm 0,05$  MPa.

La resistencia reportada por Sierra (2021), investigaron que las concentraciones de componentes de fibra de cáscara de naranja están ligados a la resistencia registrando 8,31 N/mm en las películas comestibles.

Los autores Taghavi et al. (2021), evidenciaron una resistencia mínima de  $27,22 \pm 0,65$  MPa cuando la concentración de harina de piel de naranja es 15% para fabricar biopelículas. Debido al compuesto fenólico presente en la

cáscara de naranja ayudó a la formación de enlaces estables de átomos de hidrógeno (H) con moléculas receptoras que las captan (Yun et al., 2023).

Las películas de pectina al 50 % cáscara de naranja mezcladas con 50% de gelatina muestran  $14,36 \pm 0,49$  MPa de resistencia a la tracción derivando una entereza protectora contra factores extraños resguardando al rompimiento durante la manejabilidad (Jridi et al., 2020).

Los parámetros de resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura confirman propiedades mecánicas en las películas por las interacciones moleculares en matrices poliméricas químicamente similares, aumentando con más fuerza la resistencia (Shivangi et al., 2021). Diferenciándose sin coincidencia en los valores alcanzados en películas de alginato de sodio (11,70 MPa) debido a las conexiones de grupos hidroxilo y carboxilo del alginato menguando la movilidad de la cadena (Capar, 2023).

En el caso de una película comestibles multicomponentes de alginato de sodio (2,5%), goma arábiga (1%), glicerol (2%) y emulsión de natamicina (100  $\mu\text{g/ml}$ ), se estudió que la resistencia a la tracción exhibe un mejor rendimiento al 22 MPa en el efecto del aumento de fuerzas de cohesión entre las conexiones de cadenas constatada por la sinergia entre los polímeros (Yuan et al., 2022).

Bansal et al. (2024), evaluaron que el análisis de resistencia para películas (2% de goma xantana y 5% de almidón de trigo sarraceno) mantienen un valor inferior a  $14,3 \pm 1,28$  MPa demostrando una estabilidad desarrollando una red compacta en la formación de enlaces de hidrógeno perseverando un decreciente grado de deformación.

De acuerdo a la literatura, las propiedades físicas y mecánicas de las biopelículas de agar adicionadas con crecientes cantidades de glicerol permiten disminuir la resistencia y elongación en la ruptura aumentando la solubilidad (Arham et al., 2016). Afirmándose que la incorporación de agar (25%) combinada con glicerol (20%) pueden ajustarse a límites deseados generando  $25 \pm 8$ MPa de resistencia por el desempeño de cada componente presente en las películas (Akkaya et al., 2020).

En contraste, los biopolímeros empleados forman gelificantes firmes que ayudan a intensificar la resistencia mecánica por su peculiaridad única y acoplando proporciones suficientemente admisibles de fibras como celulosa, pectina y hemicelulosa que contribuyan componer una estructura compacta de los biomateriales comestibles aumentando la cohesividad entre las moléculas intervinientes combinadas previamente.

La administración correcta de matrices poliméricas concede una organización estructural óptima forjando una resistencia rígida por su biocompatibilidad no tóxica facilitando una actividad biodegradativa sostenible descritos por los investigadores Deng et al. (2022) y Zhao et al. (2022).

### **C) Cohesión**

Los resultados acontecidos en la Figura 45, reveló que las menores concentraciones del empleo de harina de piel de naranja generan altos valores de cohesividad g/s, en el caso de F1 (6666,7 g/s) refleja un valor similar en las repeticiones diferenciándose del menor dato perteneciente a F3R2 (1600 g/s) y comparados con la muestra control con un rango fluctuando entre 2857,1 g/s a 3676,9 g/s.

La capacidad del biomaterial desarrollado con la empleabilidad de biomatrices poliméricas combinadas con harina del subproducto de naranja contribuyen la facilidad para unirse entre sí afectando su resistencia, firmeza y durabilidad, siendo inevitable detallar los componentes que interactúan para una contribución mostrando cohesión factible.

La existencia del mecanismo adyacente por las interacciones de pectina de cáscara de naranja (75%) y glicerol (3%) en las películas bioplásticas a base de pectina con alto contenido de grupos metoxi conservando un alto grado de esterificación confiriendo una mayor resistencia a la tracción a  $23,976 \pm 3,993$  MPa reduciendo la deformación del  $31,37 \pm 4,765\%$  por la cohesividad manifestado (Cadenas et al., 2022).

La piel de naranja contiene polisacáridos distribuidos en celulosa, hemicelulosa y pectina (Felicia et al., 2024), aportando una fuerza de cohesión

en las biopelículas logrando incrementar su resistencia al formar enlaces moleculares mejorando la estructura e incrementando valores de elasticidad manteniendo la integridad natural y estructural original (Bocker & Keven, 2024).

La goma xantana mezclada con aislado de proteína de soja con proporción 2:1 demuestran una integridad estructural y rendimiento mecánico con excelente tenacidad demostrando un valor  $21,75 \pm 3$  MPa relacionado con la red robusta existente en las películas (Jaberifard et al., 2024).

Respecto al polisacárido empleado con mayor concentración en la biopelículas denominado goma xantana contiene características versátiles por su estructura biocompatible y soluble con agua en estado frío y caliente, exhiben una estructura química basado en subunidades agrupados en pentasacáridos acoplado a bioresiduos en cantidades variables como d-glucosilo, ácido d-glucurónico y D-manosilo (Kumar et al., 2018), favoreciendo a la formación de geles con viscosidad contribuyendo una estabilidad cohesiva de las biopelículas (Bhardwaj et al., 2024).

El fenómeno de viscosidad al corte en el rango de 0,1 a 30S-1 resalta un refuerzo de interacción intermolecular en películas compuesta de alginato de sodio (0,6%) y una concentración incrementada de pectina (4g/L), provocando un tenue acortamiento de distancia, alcanzando una resistencia máxima de  $34,89 \pm 0,43$  MPa debido a los grupos carboxilo en AS (Fan et al., 2021).

El polímero alginato de sodio calificado como polisacárido aniónico tiene sus conexiones que permiten mejorar las características gelificantes hidrofílicos y formar resistencia en los biomateriales (Luo et al., 2022), a su vez están estructurados en ácidos  $\beta$ -D-manurónico y  $\alpha$ -L-gulurónico, formando cadenas secuenciales de monómeros presentando funciones biodegradables, biológicas y compatibilidad con diferentes bioinsumos poliméricos (Ore et al., 2020).

Yang et al. (2024) trabajaron películas de agar sintetizando una nueva molécula inducida por agregación de bactericida fotodinámica favoreciendo al incremento entre moléculas de agar configurando y dispusieron una mejor

disminución deformativa con mayor tenacidad hasta 30% corroborando valores de  $15,4 \pm 0,9$  MPa en resistencia de cohesión.

Del mismo modo Bertasa et al. (2020), explican que el agar agar denominado hidrocoloide-polisacárido poseen funciones similares estabilizantes gelificantes en presencia de agua y su estructura constituida en una red tridimensional contribuyendo a la posesividad del biomaterial comestible proporcionando estabilidad térmica y mecánica, debido a sus moléculas químicas de agarosa y agarpectina, que facilitan interacciones entre los grupos hidroxilo.

Concerniente a la propiedad cohesiva puede verse afectada por los polisacáridos utilizados en la formulación de la película (Tavares et al., 2021). Explorando en el caso de la glicerina empleada para mejorar la flexibilidad y que por ende permite desplazamientos moleculares asequibles evitando rompimientos incidiendo aseguramiento de una distribución uniforme debido a un buen nivel de cohesión dentro de las películas (Lisitsyn et al., 2021).

Al mismo tiempo, el parámetro mecánico determinado refleja una originalidad molecular y funcionalidad factible manteniendo unidades de moléculas agrupadas dentro del biomaterial comestibles durante su procesamiento y aplicabilidad, evitando fraccionamientos que puedan alterar su función de barrera protectora que no suministren intercambios propicios entre gases y humedad, manteniendo su resistencia contra la progresión de microorganismos patógenos.

#### **5.4.Actividad antimicrobiana**

##### **5.4.1.1.Aerobios mesófilos (UFC/g)**

Los biomateriales que contienen agentes inhibitorios de microorganismos como la adición de aceite esencial de orégano combinada con harina de piel de naranja mantienen contenidos bajos en aerobios mesófilos ayudan a verificar una mayor eficacia en los procedimientos desarrollados de limpieza y desinfección inocua en condiciones adecuadas que contribuyan conservaciones frente al deterioro de las biopelículas y su aplicabilidad.

En estudios previos afirman eficiencias antibacterianas sobre las películas que contienen aceites esenciales de orégano (Matheus et al.,

2021), indicando efectos eficaces a nivel microbiológico generando resultados significativos revelando algunas bases moleculares de los mecanismos de inhibición mejorando sus propiedades de barrera contra factores externos perjudiciales al ejecutar monitoreos desinfectantes, limpieza y almacenamiento, asegurando un criterio de calidad eficaz (Zhang et al., 2021).

Las bacterias mesófilas arábicos fueron inhibidos por las películas que contenían AEO al 0,17% con una contribución de reducción del recuento bacteriano aceptable hasta 4,5 log UFC/g (Pirozzi et al., 2020).

Los componentes antimicrobianos consolidados en AEO aportan en la reducción de contenidos de aeróbicas mesófilas encontrados en películas notándose  $4,5 \times 10^4$  UFC/g al aplicar 0,3g del agente inhibidor antimicrobiano (György et al., 2023).

El Codex Alimentarius (2015), estableció límites microbiológicos en alimentos para consumo, recomendando no exceder los valores de  $10^5$  UFC/g, sin embargo, se debe evaluar el tipo de producto consumible, en contraste a los hallazgos muestran menores en todas las formulaciones planteadas de biopelículas comestibles cumpliendo con los niveles permisibles que aseguran la seguridad alimentaria.

Las biopelículas comestibles desarrolladas registraron valores por debajo de contenidos aceptados para aerobios mesófilos en productos alimenticios deshidratados por la Norma Técnica Sanitaria (NTS) aprobada por R.M. 591 de criterios microbiológicos, precisando las condiciones de calidad microbiológica e inocuidad para asegurar el consumo humano.

Según la NTS aprobado para el rango límite permisible entre  $10^4$  y  $10^6$  por gramo de Aerobios mesófilos en el tipo de producto deshidratado, la mejor muestra F3 (0,93% AEO y 1,6% HCN) evidenció encontrarse por debajo a los valores indicados con  $5,9 \times 10^2$  UFC/g, mientras que los demás tratamientos registraron contenidos mínimamente elevados comparado con la formulación ideal seleccionado.

#### 5.4.1.2. *Escherichia coli* (NMP/g)

Todas las muestras de biopelículas comestibles presentaron valores similares  $<10$  NMP/g de la bacteria negativa *Escherichia coli*, en relación al valor obtenido se debe al mismo procesamiento desarrollado en condiciones higiénicas ejercidas para su fabricación y fueron almacenadas las muestras en el mismo lugar, además podría atribuirse a la contaminación externa independientemente a las actividades antibactericidas de los biocomponentes y los biopolisacáridos empleados en la fabricación del mencionado biomaterial estudiado.

Películas comestibles de goma xantana (XG) fueron analizadas en la función antimicrobiana, corroborando una eficiencia con zonas de inhibición de  $28,65 \pm 0,14$  mm (Bansal et al., 2024), en contraste al polisacárido microbiano extracelular es distinguida por su estructura de macromoléculas proporcionada por sus características viscosas creando una red tridimensional accediendo su uso como estabilizante en las formulaciones (Fan et al., 2021).

Moncada et al. (2022), constataron inhibición bacteriana parcial logrando contrarrestar una mínima presencia de *Escherichia coli* al adicionar 1% y 2,5% de aceite esencial de orégano en las biopelículas, este efecto es relacionado a la naturaleza volátil del AEO durante la producción del biomaterial mostrando pequeñas zonas sin contenido de bacterias del tipo gramnegativo.

En el estudio desarrollado por Salazar (2021), determinaron una mayor actividad antimicrobiana en las biopelículas que contenían AEO por sus componentes más predominante carvacrol cooperando a la degradación y desorganizando la membrana citoplasmática y la capa externa de las bacterias *E. coli*, cuando se adiciona 1% de AEO.

En referencia a los autores Hernández et al. (2024), realizaron biomateriales antimicrobianos incorporados con AEO al 0,7% y glicerol al 0,46%, ayudando a las funciones de barrera contra *E.coli* y *L.innocua* manteniendo una efectiva solubilidad promoviendo la propuesta de un biomaterial activo con efecto bactericida logrando reducir 1,5 ciclos Log después del almacenamiento.

De manera similar, Roshandel et al. (2022) desarrollaron películas incorporando 1,5% de AEO identificando una reducción eficaz del crecimiento bacteriano de *E. coli*. hasta 22,5 mm de zona de inhibición, debido a la sensibilidad inducida por el componente aromático carvacrol presente en el orégano.

La investigación desarrollado por Wang et al. (2024), demostraron una mejor inhibición en efecto del aporte del AEO evidencia insensibilidad a *E. coli* al incorporar microcápsulas de AEO al 5% combinada con aislado de proteína de soja/carboximetilcelulosa sódica al 1%, exhibiendo aumentos en las zonas circulares que impiden crecimientos del *E. coli* con 30 mm atribuyendo a la fuerte actividad bacteriostática del AEO liberado en microcápsulas, sumando a esta investigación Mukurumbira et al. (2022), señalan que las alteraciones en la membrana celular de las bacterias, logrando una mayor resistencia evitando el desarrollo de microorganismos, repercutiendo a la aplicación de agentes antibacterianos en las mezclas filmógenas.

El criterio microbiológico para *E. coli* fue un número de 6,5 mm del diámetro de zona de inhibición hallado en películas activas basados en polvos de residuos de naranja (10 g) disueltas en 100 ml en el disolvente agua para un nuevo biofilm (Khalil et al., 2023). La capacidad de las películas desarrolladas a partir de cáscara de naranja al 5% y 7% de glicerol, permiten salvaguardar la actividad antimicrobiana contra *E. coli* inhibiendo hasta 27 mm en el diámetro de la zona superficial (Karakuş et al., 2023).

Los valores estimados de reducción del desarrollo de *E. coli* resaltan mínima inhibición de en las zonas de películas de agar (50%) exponiendo un rango inferior de  $0,682 \pm 0,00055$  mm en el área estudiado comprobando una baja agilidad antibacteriana (Akkaya et al., 2020).

Por otra parte, las películas incorporadas con alginato de sodio presentan una concentración mínima inhibitoria al 0,25 mg/ml, permitiendo reducir el desarrollo de *E. coli* hasta un valor máximo de 8 Log UFC/g en un periodo de 24 horas y por debajo afectando la

propagación reportada en 4,5 Log UFC/g durante 2 días (Lopes et al., 2023).

Además, la baja presencia de la bacteria analizada implica las condiciones adecuadas de manejabilidad y preparación higiénicas realizadas, contribuyendo a una mejor estabilidad reduciendo el riesgo al deterioro, indicando que sus propiedades por agente utilizado evidencian inhibiciones ventajosas para retardar el crecimiento fúngico.

La investigación en películas aplicando goma xantana y proteína de soja (2:1), incorporando propóleo y nanotubos de halloysita como refuerzo, se evaluó la capacidad antifúngica obstaculizando el crecimiento del ADN y ARN bacteriano del *E. coli* mostrando efectividad del 7% (Jaberifard et al., 2024).

Los resultados experimentales evidencian que el grupo de bacterias gram-negativas exhiben una estructura compleja compuesta por membranas externa que permiten protegerlos frente a daños (Zhao et al., 2022).

Por otra parte, la plasticidad genética evolutiva de *E. coli* promueven apariciones de microorganismos híbridos originando una resistencia a los antimicrobianos capaces de formar adherencias agregativas con la toxina Shiga (Braz et al., 2020), que pueden actuar como patógenos oportunistas provocando infecciones extraintestinales (Kim et al., 2020), infecciones condicionadas desde diarrea moderada hasta transmisiones peligrosas de enfermedades riesgosas causando el desarrollo del síndrome hemolítico urémico influyente en infecciones intestinal y reducción del flujo sanguíneo en los riñones obstruyendo el sistema urinario.

Según Codex Alimentarius y FAO (2015), precisaron en sus directrices la inocuidad alimentaria recomendando procurar la ausencia detectable deshidratadas, desecadas o liofilizadas, encontrándose las muestras analizadas con un valor aceptable de <10 NMP/g.

En general según FAO (2010), permiten un número máximo de hasta 100 NMP/g, dependiendo del tipo de proceso aplicado, enfatizando una formulación adecuada de *E. coli* por cada 25g de muestra, con el propósito de garantizar inocuidad y calidad. Por otra parte, la Normativa Sanitaria Nacional establece un contenido menor de  $5 \times 10^2$  NMP/g para frutas y hortalizas, y manipulación higiénica estricta cumpliendo las normas para evitar la contaminación por bacterias como *E. coli*.

## VI. CONCLUSIONES

- En la presente investigación se evidenció la efectividad influyente de las micropartículas de cáscara de naranja combinadas con diferentes matrices poliméricas (alginato de sodio, goma xantana y agar-agar) aplicando aceite esencial de *Origanum vulgare* en la producción de biopelículas comestibles, ocasionando efectos compatibles por su biofuncionalidad demostrando manejabilidad y homogeneidad permitiendo caracterizar, analizar y evaluar.
- Las concentraciones efectivas se identificaron en la formulación F3-BC produciéndose biopelículas con 1,93% de micropartículas de piel de naranja, 1,16% de AEO; 1,16 % para goma xantana; 1,08% de agar agar; 0,19% de alginato de sodio; 15,43% de glicerol; 1,93% de polisorbato 80 y 77,13% de agua destilada, exhibiendo una factibilidad estructural física, óptica y uniformidad eficiente.
- En la caracterización fisicoquímica se observaron diferencias significativas entre las muestras analizadas, la muestra control F4R1 mostró el mayor valor de diferencial de color total (73,454%), mientras que F2R2 presentó un valor más bajo (67,383%). En cuanto a los sólidos solubles, el tratamiento MC-F4R1 reportó un valor alto de 64,64 °Brix, en contraste con el mínimo de 10,62 °Brix en F3R3. En referencia al contenido de pH más elevado se encontró en MC-F4R2 (7,04), confrontando al cuantío bajo de 4,92 en F3R1. Asimismo, la acidez titulable fue más en MC-F4R3 (0,045%) comparada con F2R3 y F1R2 con 0,025%. La humedad presentó un menor contenido en F1R1 (43,50%) y mayor concedida en F3R2 (59,067%). El índice de solubilidad constató más sobresaliente en MC-F4R3 (99,999%), frente al más bajo en F3R3 (78,317%). La pérdida de peso se manifestó más superior en MC-F4R3 (77,168%) que en F2R2 (72,398%). Para el parámetro densidad se presencié un contenido bajo de 0,0007 g/mm<sup>3</sup> identificado en F3R3 difiriendo del alto valor con 0,0011 g/mm<sup>3</sup> (MC-F4R2), indicando presentar una estructura más compacta que aporta una resistencia y durabilidad. Finalmente, el espesor fue mayor en F3R3 (0,98 mm) al añadir micropartículas de cáscara de naranja de tamaño 25 µm, en comparación con MC-F4R2 (0,60 mm).

- Para las propiedades mecánicas fueron influenciadas indirectamente por las matrices poliméricas y harina de piel de naranja sobre los valores, consiguiendo apreciar una elasticidad superior en la F1R3 con 29% distinguiéndose de la deficiente flexibilidad encontrado en MC-F4 (-12,6%), debido a la acción del glicerol, explayando un incremento de resistencia en 67,6% transmitida en F3R2 discrepando del ínfimo valor abarcado por F1R1 (25%) y aclarando una excelente cohesividad expuesta en F1 (6666,7 g/s) denotando una mejor unión de las moléculas, evitando rupturas y manteniendo su forma legítima, distinguiéndose del valor más bajo notándose en F3R2 (1600 g/s).
- El recuento microbiológico en las biopelículas comestibles evidenció una cantidad decreciente de aerobios mesófilos en el tratamiento F3 (AEO: 1,5 ml y HCN: 2,5 g) con  $5,9 \times 10^2$  UFC/g, diferenciándose de la muestra control-MC (matrices poliméricas: 3,15 g) que registró  $9,9 \times 10^2$  UFC/g. Ambos valores respaldan aceptabilidad al encontrarse por debajo de los límites permisibles entre  $10^4$  a  $10^5$  UFC/g, establecidos en la NTS para productos deshidratados. En contraste a *Escherichia coli*, todas las muestras presentaron  $<10$  NMP/g, debido a los componentes antifúngicos y acción antimicrobiana del aceite esencial de orégano, especialmente por su contenido de carvacrol (1,7%), timol (11,90%) y flavonoides (20,56 mg/g). Adicionalmente, todas las formulaciones tuvieron un valor elevado de *E. coli* ( $< 10$  NMP/g) comparado con el límite  $<3$  NMP/g, admitido en las normativas para ciertos productos de confitería hidrobiológicos y harinas, mientras que el Codex Alimentarius restringe la presencia de *E. coli* en los alimentos.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se sugiere a los investigadores evaluar el tamaño de partículas obtenidas a partir de harina de cáscara de naranja y distintas especies de subproductos cítricos, utilizando como alternativa en la obtención de películas comestibles resistentes. Siendo imprescindible realizar pruebas preliminares con formulaciones concentradas basándose en cantidades individuales de polímeros naturales, sustancias reforzantes, antimicrobianos y bioinsumos agroindustriales, para producir películas activos comestibles funcionales, sustentando sus componentes originales beneficiando propiedades mecánicas y fisicoquímicas.
- Controlar los parámetros en criterios de revoluciones por minuto (RPM), velocidad y temperatura que procuran procesos favorables de agitación por cada agregación de los insumos con la finalidad de obtener una dilución homogénea uniforme sin presencia de burbujas indeseadas que afectan la solución filmógena final continuando con un secado controlado en la elaboración de biomateriales comestibles.
- Evaluar en próximas investigaciones los cambios estructurales y de superficie en las biocapas elaborados con polisacáridos poliméricos interactuados con AEO y harina de subproductos orgánicos cítricos, realizando pruebas profundas de microscopía ampliada. Asimismo, es necesario conocer el tipo de insumo a emplear para la elaboración de biopelículas comestibles con distintos niveles de concentraciones sugiriendo ideales propiedades mecánicas que deben reflejar una resistencia efectiva, elongación a la tracción superior al 50% y una buena cohesión interna adhesiva entre las cadenas poliméricas y moleculares.
- Considerar formas tecnológicas ecológicas conservadoras de aplicación del aceite esencial de orégano evitando la volatilización de sus componentes, contemplando una eficiente administración con extensión controlada de compuestos aromáticos concentrados mediante nanotecnologías, micro y encapsulación, que preservan sus funciones antimicrobianas al interactuar con moléculas poliméricas y bioinsumos cítricos obtenidas de biorresiduos agroalimentarios.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasov, Z., Fataliyev, V., & Hamidov, N. (2017). The solubility of gas components and its importance in gas-condensate reservoir development. *Petroleum science and technology*, 35(3), 249-256. <https://doi.org/10.1080/10916466.2016.1251459>
- Abera, B., Duraisamy, R., & Birhanu, T. (2024). Study on the preparation and use of edible coating of fish scale chitosan and glycerol blended banana pseudostem starch for the preservation of apples, mangoes, and strawberries. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100916. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100916>
- Abka, R., Tounsi, L., Shahabi, N., Patel, A., Abdelkafi, S., & Michaud, P. (2022). Structures, Properties and Applications of Alginates. *Marine Drugs*, 20(6), 364. <https://doi.org/10.3390/md20060364>
- Acebo, J. (2022). *Incidencia de tres láminas de riego en el desarrollo morfológico en el cultivo de naranja (Citrus x sinensis)* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3889>
- Agbangba, C. E., Aide, E., Honfo, H., & Kakai, R. (2024). On the use of post-hoc tests in environmental and biological sciences: A critical review. *Heliyon*, 10(3), e25131. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25131>
- Aguilar, J., García, I., & Quiroz, J. (2020). Alargamiento de la vida de anaquel de las frutas por el uso de biopelículas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 40-45. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.1.6>
- Agustí, M., Mesejo, C., Reig, C., Martínez-Fuentes, A., Zaragoza, S., & Primo, E. (2020). El tamaño del fruto en los cítricos. *Levante Agrícola*, 451, 57-67.
- Ahmad, S., Habib, S., Nawaz, M., Shakoore, R., Kahraman, R., & Mohammed, T. (2023). The role of polymeric matrices on the performance of smart self-healing coatings: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 124, 40-67. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.04.024>
- Aigaje, C. (2015). *Respuesta de tres tipos de abonadura orgánica en el cultivo de Orégano (origanum vulgare l.) en la parroquia de Cangahua, provincia de Pichincha* [Tesi de pregrado, Babahoyo: UTB, 2015]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/989>
- Akkaya, N., Ergun, C., Saygun, A., Yesilcubuk, N., Akel, N., Halil, I., Turcomano, S., & Catalgil, H. (2020). New biocompatible antibacterial wound dressing candidates; agar-locust bean gum and agar-salep films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 430-438. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.214>

- Alata, E., & Cuadros, Y. (2017). *Formulación y evaluación físico mecánica de películas biodegradables en base a residuos cítricos y celulosa bacteriana* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4612>
- Alata, E., Cuadros, Y., Miranda, L., & Esperanza, M. (2019). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 231-241. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.80>
- Alcívar, M., & Alexander, M. (2020). *Desarrollo de una galleta a partir de la sustitución parcial de harina de trigo por las obtenidas de las cáscaras de naranja (Citrus × sinensis) y zanahoria (Daucus carota)*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/15267>
- Alshehri, A., Kamel, R., Gamal, H., Sakr, H., Saleh, M., Shahat, D., Mohamed, A., Mohamed, S., & Mahmoud, E. (2024). Sodium alginate films incorporated with *Lepidium sativum* (Garden cress) extract as a novel method to enhancement the oxidative stability of edible oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 265, 130949. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130949>
- Amado, L., de Souza, K., & Mauro, M. (2024). Alginate and pH Improve Properties of Soy Protein-based Films. *Food Biophysics*, 19(2), 256-268. <https://doi.org/10.1007/s11483-023-09823-5>
- Andamay, M. (2020). *Impregnación al vacío de proteínas de lactosuero concentrado en las cáscaras de naranja valencia (Citrus Sinensis)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6123>
- Andamay, M., & Acosta, E. (2020). Impregnación al vacío de proteínas de lactosuero concentrado en las cáscaras de naranja valencia (*Citrus sinensis*). *Revista chilena de nutrición*, 47(6), 975-982. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000600975>
- Andina, A. peruana de noticias. (2023). *Investigadores descubren dos nuevas variedades de orégano en Arequipa*. <https://andina.pe/agencia/noticia-investigadores-descubren-dos-nuevas-variedades-oregano-arequipa-319832.aspx>
- Arévalo, M. (2013). Determinaciones cuantitativas en naranja mediante tecnologías NIRS. *Universidad Pública de Navarra*, 67, 11-33.
- Arham, R., Mulyati, M., Metusalach, M., & Salengke, S. (2016). Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. *International Food Research Journal*, 23(4), 1669-1675.

- Aros, F. (2021). *Caracterización morfo-fenológica de cuatro accesiones de orégano cultivadas bajo invernadero* [Tesis Doctoral, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.]. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12532>
- Arvapalli, S., Miryala, M., Sakai, N., Murakami, M., & Jirsa, M. (2022). Novel ultra-sonic boron refinement in distilled water for cost-efficient fabrication of MgB<sub>2</sub> bulk ceramic superconductors. *Ceramics International*, 48(19), 28102-28111. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.115>
- Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>
- Avalo, B., Pérez, S., & Tovar, M. (2009). Caracterización preliminar del proceso de concentración del jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos. *Interciencia*, 34(11), 784-790.
- Avola, R., Granata, G., Geraci, C., Nápoles, E., Graziano, A., & Cardile, V. (2020). Oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil provides anti-inflammatory activity and facilitates wound healing in a human keratinocytes cell model. *Food and Chemical Toxicology*, 144, 111586. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111586>
- Ayala, J., Montero, G., Coronado, M., García, C., Curiel, M., León, J., Sagaste, C., & Montes, D. (2021). Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars. *Molecules*, 26(5), 1348. <https://doi.org/10.3390/molecules26051348>
- Balasubramanian, R., Kim, S., & Lee, J. (2018). Novel synergistic transparent k-Carrageenan/Xanthan gum/Gellan gum hydrogel film: Mechanical, thermal and water barrier properties—ScienceDirect. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.110>
- Bansal, H., Singh, H., Singh, S., Sharma, A., Singh, J., Kaur, K., & Mehta, S. (2024). Preserving plum perfection: Buckwheat starch edible coating with xanthan gum and lemongrass essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 274, 133239. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133239>
- Barajas, P., González, M., & Espinosa, H. (2023). Recent Advances in Probiotic Encapsulation to Improve Viability under Storage and Gastrointestinal Conditions and Their Impact on Functional Food Formulation. *Food Reviews International*, 39(2), 992-1013. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1928691>

- Barbosa, J., Espinosa, H., Cardona, A., & Haro, J. (2024). Polymer-based encapsulation in food products: A comprehensive review of applications and advancements. *Journal of Future Foods*, 5(1), 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.01.003>
- Barral, E. (2020). *Evaluación del comportamiento agronómico de 10 especies aromáticas en invernadero en la estación experimental Patacamaya* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/25312/T-2786.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baswal, A., Dhaliwal, H., Singh, Z., Mahajan, B., Kalia, A., & S Gill, K. (2020). Influence of carboxy methylcellulose, chitosan and beeswax coatings on cold storage life and quality of Kinnow mandarin fruit. *Scientia Horticulturae*, 260, 108887. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108887>
- Bautista, P., Pierro, P., Amaya, S., Mares, E., García, B., Cruz, G., & Regalado, C. (2023). Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de quinoa y quitosano reforzado con aceites esenciales de hierba limón y canela encapsulados en partículas de sílice mesoporosa. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 140-150. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.22>
- Belattmania, Z., Kaidi, S., El Atouani, S., Katif, C., Bentiss, F., Jama, C., Reani, A., Sabour, B., & Vasconcelos, V. (2020). Isolation and FTIR-ATR and <sup>1</sup>H NMR Characterization of Alginates from the Main Alginophyte Species of the Atlantic Coast of Morocco. *Molecules*, 25(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/molecules25184335>
- Beltagi, H., Eshak, N., Mohamed, H., Bendary, E., & Danial, A. (2022). Physical Characteristics, Mineral Content, and Antioxidant and Antibacterial Activities of Punica granatum or Citrus sinensis Peel Extracts and Their Applications to Improve Cake Quality. *Plants*, 11(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/plants11131740>
- Benlloch, M., Gentile, P., Taylor, L., & Girón, J. (2024). Alginate edible films as delivery systems for green tea polyphenols. *Food Hydrocolloids*, 158, 110518. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110518>
- Bertasa, M., Doderó, A., Alloisio, M., Vicini, S., Riedo, C., Sansonetti, A., Scalarone, D., & Castellano, M. (2020). Agar gel strength: A correlation study between chemical composition and rheological properties. *European Polymer Journal*, 123, 109442. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109442>

- Berti, S., Jagus, R., Flores, S., & González, C. (2024). Antimicrobial Edible Starch Films Obtained By Casting and Thermo-compression Techniques. *Food and Bioprocess Technology*, *17*(4), 904-916. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03172-4>
- Bhardwaj, B., Vihal, S., Pahwa, R., Agarwal, S., Gupta, B., Yang, J. C., Chauhan, R., Chellappan, D., Gupta, G., Singh, S., Dua, K., & Negi, P. (2024). Recent advancements in xanthan gum-based gastroretentive floating formulations: Chemical modification, production and applications. *Carbohydrate Polymers*, *348*, 122809. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122809>
- Bhat, I., Wani, S., Mir, S., & Masoodi, F. (2022). Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *42*, 102328. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102328>
- Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Shah, A., Alrasbi, A., Jawad, M., Koka, E., & Mohan, S. (2024). Structural, mechanical, barrier and antioxidant properties of pectin and xanthan gum edible films loaded with grapefruit essential oil. *Heliyon*, *10*(3), e25501. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25501>
- Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Shah, Y. A., Jawad, M., Al-Azri, M. S., Ullah, S., Anwer, M. K., Aldawsari, M., Koca, E., & Aydemir, L. Y. (2023). The Effect of Sage (*Salvia sclarea*) Essential Oil on the Physiochemical and Antioxidant Properties of Sodium Alginate and Casein-Based Composite Edible Films. *Gels*, *9*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/gels9030233>
- Biao, Y., Yuxuan, C., Qi, T., Ziqi, Y., Yourong, Z., McClements, D., & Chongjiang, C. (2019). Enhanced performance and functionality of active edible films by incorporating tea polyphenols into thin calcium alginate hydrogels. *Food Hydrocolloids*, *97*, 105197. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105197>
- Billmeyer, F. (2020). *Ciencia de los polímeros*. Reverte.
- Bocker, R., & Keven, E. (2024). Pulsed electric field technology as a promising pre-treatment for enhancing orange agro-industrial waste biorefinery. *RSC Advances*, *14*(3), 2116-2133. <https://doi.org/10.1039/D3RA07848E>
- Bocker, R., & Silva, E. (2024). Sustainable pectin-based film for carrying phenolic compounds and essential oil from *Citrus sinensis* peel waste. *Food Bioscience*, *61*, 104526. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104526>
- Borda, B. (2022). Filtración de la cáscara de naranja, para la potabilización del agua de lluvia en las zonas rurales de San Ramón, Junín. *Revista Científica Pakamuros*, *10*(1), 91-105. <http://190.119.95.85/index.php/pakamuros/article/view/271>

- Braz, V., Melchior, K., & Moreira, C. (2020). Escherichia coli as a Multifaceted Pathogenic and Versatile Bacterium. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *10*, 548492. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.548492>
- Brito, A. (2022). *Evaluación comparativa de la pectina obtenida de la cáscara de naranja y del quitosano como recubrimientos comestibles para fresas* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/index.php>
- Browning, K., Stocker, I., Gutfreund, P., & Clarke, S. (2021). The effect of alginate composition on adsorption to calcium carbonate surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, *581*, 682-689. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.07.088>
- Cabrera, A., Lammoglia, M., Martínez, C., Rojas, R., & Montero, F. (2020). Utilización de subproductos de naranja (*Citrus sinensis* var. Valencia) en la alimentación para rumiantes. *Abanico veterinario*, *10*. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.6>
- Cadenas, M., Leo, G., & Hernández, L. (2022). Mechanical and Thermal Properties of Bioplastic Film Obtained From Orange Peel. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1950220/v1>
- Canaviri, M., & Mamani, L. (2020). *Elaboración y caracterización de películas y recubrimientos comestibles a base de pectinas obtenidas a partir de cáscaras de naranja y toronja* [Thesis, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/30138>
- Cantero, S., Roure, C., Boccardo, A., Lerman, P., & Lucci, R. (2023). Desarrollo y caracterización de estructuras porosas de titanio mediante gel-casting y sinterización para aplicaciones biomédicas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, *28*(2), e20230040. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2023-0040>
- Capar, T. (2023). Characterization of sodium alginate-based biodegradable edible film incorporated with *Vitis vinifera* leaf extract: Nano-scaled by ultrasound-assisted technology. *Food Packaging and Shelf Life*, *37*, 101068. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101068>
- Caputo, L., Amato, G., Bartolomeis, P., De Martino, L., Manna, F., Nazzaro, F., De Feo, V., & Barba, A. (2022). Impact of drying methods on the yield and chemistry of *Origanum vulgare* L. essential oil. *Scientific Reports*, *12*(1), 3845. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07841-w>
- Carhuallanqui, A., Salazar, M., & Ramos, D. (2020). Efecto antimicrobiano del aceite esencial de Orégano frente a *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus*.

- Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 25-33.  
<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.530>
- Carrasco, D., Espinoza, R., Alejandro, G., Martínez, J., Santamaría, J., Zúñiga, F., Endara, P., & Terán, R. (2020). Evaluación de la calidad microbiológica de productos naturales procesados de uso medicinal comercializados en Quito, Ecuador. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(3), 431-437.  
<http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2020.373.4889>
- Castro, D., & Montalvo, E. (2019). *Efecto de la adición de fibra de bagazo de naranja (Citrus aurantium) en el perfil reológico, características fisicoquímicas y sensoriales del yogurt* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5323>
- Cebrián, V., Göksen, G., Martínez, A., López, A., & Martínez, M. (2022). Agar-based packaging films produced by melt mixing: Study of their retrogradation upon storage. *Algal Research*, 66, 102802. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102802>
- Cerón, I., & Cardona, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86.
- Chakraborty, R., Vilya, K., Pradhan, M., & Nayak, A. K. (2022). Recent advancement of biomass-derived porous carbon based materials for energy and environmental remediation applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 10(13), 6965-7005. <https://doi.org/10.1039/D1TA10269A>
- Chanataxi, Á. (2023). *Desarrollo, caracterización y evaluación de películas comestibles con base de almidón de camote (Ipomoea batatas), sobre criterios de calidad de tomates almacenados al ambiente* [Tesis de pregrado]. <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/68ce777f-8c15-4314-ab22-0946b79cddad/content>
- Chandrasekar, C., Carullo, D., Saitta, F., Krishnamachari, H., Bellesia, T., Nespoli, L., Caneva, E., Baschieri, C., Signorelli, M., Barbiroli, A., Fessas, D., Farris, S., & Romano, D. (2024). Valorization of citrus peel industrial wastes for facile extraction of extractives, pectin, and cellulose nanocrystals through ultrasonication: An in-depth investigation. *Carbohydrate Polymers*, 344, 122539. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122539>
- Chang, Q., Li, C., Sui, J., Waterhouse, G., Zhang, Z., & Yu, L. (2022). Cage-like eggshell membrane-derived Co-CoxSy-Ni/N,S-codoped carbon composites for

- electromagnetic wave absorption. *Chemical Engineering Journal*, 430, 132650. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132650>
- Chaquilla, G., Balandrán, R., Mendoza, A., Mercado, J., & Chaquilla, G. (2018). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *CienciaUAT*, 12(2), 137-147.
- Chatariya, H., Srinivasan, S., Choudhary, P., & Begum, S. (2022). Corn starch biofilm reinforced with orange peel powder: Characterization of physicochemical and mechanical properties. *Materials Today: Proceedings*, 59, 884-892. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.339>
- Chavesta, M., Montenegro, R., Romero, J., Tomazello, M., Carneiro, M., & Nisgoski, S. (2022). Colorimetría y densitometría en madera de Guazuma crinita. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 24(32), 1-12. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-221x2022000100432>
- Chávez, E., Gastélum, A., Pérez, E., Ramos, P., Estarrón, M., Reza, E., Hernández, C., Mora, S., De los Santos, B., Guerrero, J., Monribot, J., Orozco, N., & Jacobo, D. (2024). Bioactive properties of spearmint, orange peel, and baby sage oleoresins obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction and their integration into dark chocolate. *Food Chemistry*, 463, 141306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141306>
- Cheng, J., Velez, F., Singh, P., & Cui, L. (2024). Fabrication, characterization, and application of pea protein-based edible film enhanced by oregano essential oil (OEO) micro- or nano-emulsion. *Current Research in Food Science*, 8, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100705>
- Cheng, L., Fan, W., & Ji, Y. (2023). Thermodynamic modeling procedure for modeling viscosity of polymer solutions. *Fluid Phase Equilibria*, 572, 113848. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2023.113848>
- Choo, K., Lin, M., & Mustapha, A. (2021). Chitosan/acetylated starch composite films incorporated with essential oils: Physicochemical and antimicrobial properties. *Food Bioscience*, 43, 101287. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101287>
- Choudhary, S., Sharma, K., Mishra, P. K., Kumar, V., & Sharma, V. (2023). Development and characterization of biodegradable agarose/gum neem/nanohydroxyapatite/polyoxyethylene sorbitan monooleate based edible bio-film for applications towards a circular economy. *Environmental Technology & Innovation*, 29, 103023. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103023>

- Christian, T., Djouhou, F., Koudoro, Y., Dahouenon, E., Avlessi, F., Sohounhloue, C., & Simal, J. (2023). Essential oils as natural antioxidants for the control of food preservation. *Food Chemistry Advances*, 2, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100312>
- Codex Alimentarius. (2015). *Programa conjunto FAO/OMS sobre aditivos alimentarios*. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/search/es/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=aerobios+mes%C3%B3filos&cof=FORID%3A9>
- Contessa, C., Souza, N., Gonçalo, G., Moura, C., da Rosa, G., & Moraes, C. (2021). Development of Active Packaging Based on Agar-Agar Incorporated with Bacteriocin of *Lactobacillus sakei*. *Biomolecules*, 11(12), 1869. <https://doi.org/10.3390/biom11121869>
- Córdova, B. (2017). *Efecto de la sustitución parcial de salvado de avena (avena sativa) por residuos de pulpa de naranja (citrus sinensis) en polvo sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una barra alimenticia a base de quinua (chenopodium quinoa wild)* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/3778>
- Cortizo, M., Oberti, T., & Peruzzo, P. (2023). *Introducción a la síntesis de polímeros*. Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/161059>
- D'Amato, S., Rossi, C., Maggio, F., Valbonetti, L., Savini, V., Paparella, A., & Serio, A. (2024). Antilisterial Effectiveness of *Origanum vulgare* var. *Hirtum* and *Coridothymus capitatus* Essential Oils and Hydrolates Alone and in Combination. *Foods*, 13(6), 860. <https://doi.org/10.3390/foods13060860>
- Deng, J., Zhu, E.-Q., Xu, G.-F., Naik, N., Murugadoss, V., Ma, M.-G., Guo, Z., & Shi, Z.-J. (2022). Overview of renewable polysaccharide-based composites for biodegradable food packaging applications. *Green Chemistry*, 24(2), 480-492. <https://doi.org/10.1039/D1GC03898B>
- Dey, R., & Chatterji, B. (2023). Sources and methods of manufacturing xanthan by fermentation of various carbon sources. *Biotechnology progress*, 39(6). <https://doi.org/10.1002/btpr.3379>
- Diario oficial del peruano, E. diario. (2023). *Situación actual de los residuos sólidos*. El Peruano. <https://www.elperuano.pe/noticia/216136-situacion-actual-de-los-residuos-solidos>

- Dias, P., Sajiwanie, J., & Rathnayaka, R. (2020). Chemical Composition, Physicochemical and Technological Properties of Selected Fruit Peels as a Potential Food Source. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S240-S251. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1717402>
- Díaz, C., González, M., Guzmán, M., Núñez, G., & Moreno, S. (2020). The oregano of the genus *Lippia* (Verbenaceae) and *Poliomintha* (Lamiaceae) in the state of Nuevo León, Mexico. *Polibotánica*, 50, 1-18. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.1>
- Díaz, E., Cabrer, C., Díaz, Y., Chumacero, J., & Gamboa, P. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>
- do Evangelho, J., da Silva, G., Biduski, B., El Halal, S., Kringel, D., Gularte, M., & da Rosa, Z. (2019). Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 222, 114981. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114981>
- Domínguez, P., García, I., Güemes, N., Totosaus, A., & Passaro, C. (2019). Textura, color y aceptación sensorial de tortillas y pan producidos con harina de ramón (*Brosimum alicastrum*) para incrementar la fibra dietética total. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 699-719. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num3\\_art:1590](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1590)
- Du, Y., Zhang, S., Waterhouse, G., Zhou, T., Xu, F., Wang, R., Sun, D., & Wu, P. (2024). High-intensity pulsed electric field-assisted acidic extraction of pectin from citrus peel: Physicochemical characteristics and emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, 146, 109291. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109291>
- Dussán, S., Hurtado, D., & Camacho, J. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3-10. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>
- Enujiugha, V., & Oyinloye, A. (2019). Protein-Lipid Interactions and the Formation of Edible Films and Coatings. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 478-482. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21477-7>
- Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harsipe, R., & Márquez, R. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: Estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *INNOTEC*, 33-36. <https://doi.org/10.26461/04.07>

- Esteban, N. (2018). Tipos de Investigación. *Universidad Santo Domingo de Guzmán, 1-4*.  
[https://core.ac.uk/display/250080756?utm\\_source=pdf&utm\\_medium=banner&utm\\_campaign=pdf-decoration-v1](https://core.ac.uk/display/250080756?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1)
- Estudillo, E., Gutiérrez, F., González, D., Valdez, B., & Abud, M. (2023). Desarrollo y caracterización de películas activas con nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde. *Biotecnia*, 25(1), 109-115.  
<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1683>
- Fan, R., Wang, L., Fan, J., Sun, W., & Dong, H. (2022). The Pulsed Electric Field Assisted-Extraction Enhanced the Yield and the Physicochemical Properties of Soluble Dietary Fiber From Orange Peel. *Frontiers in Nutrition*, 9.  
<https://doi.org/10.3389/fnut.2022.925642>
- Fan, Y., Yang, J., Duan, A., & Li, X. (2021). Pectin/sodium alginate/xanthan gum edible composite films as the fresh-cut package. *International Journal of Biological Macromolecules*, 181, 1003-1009. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.111>
- FAO. (2010). *PnblicaciOn de la resolnciOn N" 243-2009 (COMIECO-LV) de fecha 19 de mayo del 2009, que alJrobo el Reglamento Tr'cnico Centroamericano RTCA 67.04.50:08 Alimentos. Criterios MicrobiolOgicos 11ara la Inocuidad de Alimentos*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/cos89760.pdf>
- FAO. (2024). *Mercados y Comercio*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/4/y5143s/y5143s0z.htm>
- Fehlberg, J., Lee, C., Matuana, L., & Almnar, L. (2020). Orange peel waste from juicing as raw material for plastic composites intended for use in food packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(26), 48841. <https://doi.org/10.1002/app.48841>
- Felicia, W., Kobun, R., Nur, N., Mantihal, S., & Huda, N. (2024). Chitosan/aloe vera gel coatings infused with orange peel essential oils for fruits preservation. *Current Research in Food Science*, 8, 100680. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100680>
- García, L., Cabrera, G., Soria, C., Castaño, J., Guadarrama, A., & Rodríguez, S. (2022). Progress in Starch-Based Materials for Food Packaging Applications. *Polysaccharides*, 3(1), 136-177. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3010007>
- García, M., & Rayo, N. (2018). *Elaboración de sazoador completo a base de especias como culantro, orégano, ajo, cebolla, pimienta negra y comino, producido en la planta piloto Mauricio Díaz Müller en el periodo septiembre—Diciembre 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/6998>

- Gómez, D., Rodríguez, J., & Salcedo, O. (2022). Fruit Peels as a Sustainable Waste for the Biosorption of Heavy Metals in Wastewater: A Review. *Molecules*, 27(7), 2124. <https://doi.org/10.3390/molecules27072124>
- Gómez, E., Rosales, N., León, M., & Madrid, Y. (2019). Citrus peels waste as a source of value-added compounds: Extraction and quantification of bioactive polyphenols. *Food Chemistry*, 295, 289-299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.136>
- Gómez, E., Santana, T., Owen, P., Vázquez, E. O., Sierra, J., & Vargas, M. (2024). Propiedades fisicoquímicas y bioactividad de películas comestibles basadas en alginato y miel melipona. *Biotecnia*, 26, 16-25. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26i1.2028>
- Gómez, M., & Ramírez, L. (2020). Evaluación de las características físicas, químicas y sensoriales de la harina de maíz precocidad con salvado de arroz en la elaboración de arepas. *Revista Alfa*, 4(10), Article 10. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v4i10.71>
- Guaña, F., Vaca, M., & Aguilar, J. (2022). Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *FACSALUD-UNEMI*, 6(10), 18-32. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol6iss10.2022pp18-32p>
- Guo, Z., Ge, X., Yang, L., Gou, Q., Han, L., & Yu, Q. (2021). Utilization of watermelon peel as a pectin source and the effect of ultrasound treatment on pectin film properties. *LWT*, 147, 111569. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111569>
- Gutiérrez, E., Antunes, M., Acosta, B., Gutiérrez, J., & Basilio, J. (2019). Cellular antioxidant activity and in vitro inhibition of  $\alpha$ -glucosidase,  $\alpha$ -amylase and pancreatic lipase of oregano polyphenols under simulated gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 116, 676-686. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.096>
- Gutiérrez, H., & Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México DF: McGraw-Hill Interamericana.
- György, É., Laslo, É., & Salamon, B. (2023). Antimicrobial impacts of selected Lamiaceae plants on bacteria isolated from vegetables and their application in edible films. *Food Bioscience*, 51, 102280. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102280>
- Hao, Y., Kang, J., Yang, R., Li, H., Cui, H., Bai, H., Tsitsilin, A., Li, J., & Shi, L. (2022). Multidimensional exploration of essential oils generated via eight oregano cultivars: Compositions, chemodiversities, and antibacterial capacities. *Food Chemistry*, 374, 131629. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131629>

- Hashim, S., Tahir, H., Mahdi, A., Zhang, J., Zhai, X., Al-Maqtari, Q., Zhou, C., Mahunu, G., Xiaobo, Z., & Jiyong, S. (2024). Enhancement of a hybrid colorimetric film incorporating *Origanum compactum* essential oil as antibacterial and monitor chicken breast and shrimp freshness. *Food Chemistry*, *432*, 137203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137203>
- Hassan, B., Chatha, S., Hussain, A., Zia, K., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 1095-1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
- Hernández, E., Vargas, M., & Chiralt, A. (2021). Thermoprocessed starch-polyester bilayer films as affected by the addition of gellan or xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, *113*, 106509. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106509>
- Hernández, M., Ludueña, L., & Flores, S. (2023). Citric acid, chitosan and oregano essential oil impact on physical and antimicrobial properties of cassava starch films. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *5*, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100307>
- Hernández, M., Ludueña, L., & Flores, S. (2024). Combined effect of oregano essential oil and glycerol on physicochemical properties of antimicrobial films based on chitosan and acetylated cassava starch. *Food Hydrocolloids*, *156*, 110259. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110259>
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Hou, J., Liang, L., Su, M., Yang, T., Mao, X., & Wang, Y. (2021). Variations in phenolic acids and antioxidant activity of navel orange at different growth stages. *Food Chemistry*, *360*, 129980. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129980>
- Huang, J., Liao, J., Qi, J., Jiang, W., & Yang, X. (2021). Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. *Food Hydrocolloids*, *110*, 106140. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106140>
- Huang, Z., Tu, C., Liu, H., Wang, L., Zhu, Z., & Watanabe, I. (2020). The composition analysis of free and bonded fatty acids in Polysorbate 80 by on-line two-step pyrolytic methylation-gas chromatography. *Microchemical Journal*, *159*, 105342. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105342>
- Hyacinthe, N., & Mahapatra, D. (2024). Gelation Dynamics steering Frontiers in Technology: Unraveling Hotspots and Research Trends through Scientometric

- insights. *International Journal of Biological Macromolecules*, 281, 136156.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136156>
- Iguasnia, A. (2021). *Técnicas utilizadas para la conservación de frutas y vegetales mediante biopelículas a partir de matrices poliméricas naturales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7891>
- Iulianelli, A., & Drioli, E. (2020). Membrane engineering: Latest advancements in gas separation and pre-treatment processes, petrochemical industry and refinery, and future perspectives in emerging applications. *Fuel Processing Technology*, 206, 106464. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106464>
- Jaberifard, F., Almajidi, Y., Arsalani, N., & Ghorbani, L. (2024). A self-healing crosslinked-xanthan gum/soy protein based film containing halloysite nanotube and propolis with antibacterial and antioxidant activity for wound healing. *International Journal of Pharmaceutics*, 656, 124073.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124073>
- Jadav, M., Pooja, D., Adams, D., & Kulhari, H. (2023). Advances in Xanthan Gum-Based Systems for the Delivery of Therapeutic Agents. *Pharmaceutics*, 15(2), 402.  
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020402>
- Jahromi, M., Niakousari, M., Golmakani, M., & Mohammadifar, M. (2020). Physicochemical and structural characterization of sodium caseinate based film-forming solutions and edible films as affected by high methoxyl pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1949-1959.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.057>
- Janani, N., Zare, E., Salimi, F., & Makvandi, P. (2020). Antibacterial tragacanth gum-based nanocomposite films carrying ascorbic acid antioxidant for bioactive food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 247, 116678.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116678>
- Jorge, A., Gaspar, M., Henriques, M., & Braga, M. (2023). Edible films produced from agrifood by-products and wastes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103442. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103442>
- Jridi, M., Abdelhedi, O., Salem, A., Kechaou, H., Nasri, M., & Menchari, Y. (2020). Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. *Food Hydrocolloids*, 103, 105688. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105688>

- Karakuş, E., Ayhan, Z., & Haskaraca, G. (2023). Development and characterization of sustainable-active-edible-bio based films from orange and pomegranate peel waste for food packaging: Effects of particle size and acid/plasticizer concentrations. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101092. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101092>
- Karpiński, T. (2020). Essential Oils of Lamiaceae Family Plants as Antifungals. *Biomolecules*, 10(1), 103. <https://doi.org/10.3390/biom10010103>
- Kaur, J., Singh, J., Rasane, P., Gupta, P., Kaur, S., Sharma, N., & Sowdhanya, D. (2023). Natural additives as active components in edible films and coatings. *Food Bioscience*, 53, 102689. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102689>
- Khalil, R., Sharaby, M., & Abdelrahim, D. (2023). Novel active edible food packaging films based entirely on citrus peel wastes—ScienceDirect. *Food Hydrocolloids*, 134, 107961. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107961>
- Khin, M., Ahammed, S., Kamal, M., Saqib, M., Liu, F., & Zhong, F. (2024). Investigating next-generation edible packaging: Protein-based films and coatings for delivering active compounds. *Food Hydrocolloids for Health*, 6, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2024.100182>
- Kim, S., Gatsios, A., Cuesta, S., Lam, Y., Wei, Z., Chen, H., & Crawford, J. (2020). Characterization of Autoinducer-3 Structure and Biosynthesis in *E. coli* | ACS Central Science. *ACS central science*, 6(2), 197-206. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.9b01076>
- Klauer, D. (2009). *Manual Técnico de Cultivo ecológico de orégano (Origanum sp. L)* (Primera Edición). Biblioteca Nacional del Perú. <https://louvaincooperation.org/sites/default/files/2019-10/81-MANUAL%20T%C3%89CNICO%20DE%20CULTIVO%20ECOL%C3%93GICO%20DE%20OR%C3%89GANO.pdf>
- Klika, V., & Votinská, B. (2023). Towards systematic approach to boundary conditions in mixture and multiphasic incompressible models: Maximum Entropy principle estimate. *International Journal of Engineering Science*, 191, 103902. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2023.103902>
- Krasulya, O., Dunchenko, N., Yankovskaya, V., Voloshina, E., & Mettu, S. (2022). The effects of ultrasonic treated whey on the structure formation in food systems based on whey in combination with pectin and agar-agar. *Ultrasonics Sonochemistry*, 88, 106073. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106073>

- Kumar, A., Rao, K., & Han, S. (2018). Application of xanthan gum as polysaccharide in tissue engineering: A review. *Carbohydrate Polymers*, *180*, 128-144. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.009>
- Kumar, A., Saini, C., & Lee, J. (2021). Edible composite bi-layer coating based on whey protein isolate, xanthan gum and clove oil for prolonging shelf life of tomatoes. *Measurement: Food*, *2*, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2021.100005>
- Kurt, A., Toker, O., & Tornuk, F. (2017). Effect of xanthan and locust bean gum synergistic interaction on characteristics of biodegradable edible film. *International Journal of Biological Macromolecules*, *102*, 1035-1044. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.081>
- Lachos, D., Baseggio, A., Torres, P., Avila, P., Tompsett, G., Marostica, M., & Forster, T. (2020). Sequential subcritical water process applied to orange peel for the recovery flavanones and sugars. *The Journal of Supercritical Fluids*, *160*, 104789. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104789>
- Lavelli, V. (2021). Circular food supply chains: Impact on value addition and safety. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.008>
- León, D., González, M., Guzmán, M., Núñez, G., & Moreno, S. (2020). The oregano of the genus *Lippia* (Verbenaceae) and *Poliomintha* (Lamiaceae) in the State of Nuevo León, Mexico. *Polibotánica*, *50*, 1-18. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.1>
- Li, Y., Huo, R., & Cui, Z. (2023). Preparation of an indicator film based on pectin, sodium alginate, and xanthan gum containing blueberry anthocyanin extract and its application in blueberry freshness monitoring. *Heliyon*, *9*(3), e14421. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14421>
- Lisitsyn, A., Semenova, A., Nasonova, V., Polishchuk, E., Revutskaya, N., Kozyrev, I., & Kotenkova, E. (2021). Approaches in Animal Proteins and Natural Polysaccharides Application for Food Packaging: Edible Film Production and Quality Estimation. *Polymers*, *13*(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/polym13101592>
- Liu, R., Chen, Z., Li, Y., Zhang, L., Wang, S., & Huang, C. (2024). Recycling of *Pouteria campechiana* pericarp waste for production of edible fresh-keeping film and its preservation effect on tilapia meat. *Journal of Cleaner Production*, *452*, 142146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142146>
- Lopes, A., Melo, A., Caleja, C., Pereira, E., Finimundy, T., Afonso, T., Silva, S., Ivanov, M., Soković, M., Tavora, F., Barros, L., & Pintado, M. (2023). Evaluation of

- Antimicrobial and Antioxidant Activities of Alginate Edible Coatings Incorporated with Plant Extracts. *Coatings*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/coatings13091487>
- López, F., & Jiménez, C. (2015). Películas Biopoliméricas: Aplicaciones para envases y otros productos. *Tendencias de innovación en la ingeniería de alimentos*, 9-36.
- Loyaga, B., Mendoza, G., Ybañez, R., & Asunción, D. (2020). La suplementación de aceite esencial de orégano en la dieta reduce el estrés oxidativo en la yema de huevo y mejora los parámetros productivos de la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.16637>
- Lu, X., Zhao, C., Shi, H., Liao, Y., Xu, F., Du, H., Xiao, H., & Zheng, J. (2023). Nutrients and bioactives in citrus fruits: Different citrus varieties, fruit parts, and growth stages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(14), 2018-2041. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1969891>
- Lukas, B., & Novak, J. (2020). *Origanum vulgare* L. and *Origanum onites* L. (Oregano). En W.-D. Blüthner (Ed.), *Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants* (Vol. 12, pp. 419-433). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1_12)
- Luo, Q., Hossen, M., Zeng, Y., Dai, J., Li, S., Qin, W., & Liu, Y. (2022). Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review. *Journal of Food Engineering*, 313, 110762. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110762>
- Machado, C., Oliveira, F., de Andrade, M., Hodel, K., Lepikson, H., & Machado, B. (2022). Steam Distillation for Essential Oil Extraction: An Evaluation of Technological Advances Based on an Analysis of Patent Documents. *Sustainability*, 14(12), 7119. <https://doi.org/10.3390/su14127119>
- Mamman, R., & Ramalan, A. (2020). Mechanical and Physical Properties of Polyester Reinforced Glass Fibre/Orange Peel Particulate Hybrid Composite. *Advanced Journal of Graduate Research*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.21467/ajgr.7.1.18-26>
- Mao, S., Wei, C., Chen, S., Ye, X., & Jinhu, T. (2023). Development of novel EGCG/Fe loaded sodium alginate-based packaging films with antibacterial and slow-release properties. *Food Hydrocolloids*, 145, 109032. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109032>

- Maran, P., Mekala, V., & Manikandan, S. (2013). Modelado y optimización de la extracción asistida por ultrasonido de polisacáridos de Cucurbita moschata. *Carbohydrate polymer*, 92(2), 2018-2026. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.086>
- Matheus, J., Nogueira, T., Pereira, A., Correia, T., de Sousa, A., Pastore, G., Pelissari, F., Miyahira, R., & Fai, A. (2021). Antibacterial films made with persimmon (*Diospyros kaki* L.), pectin, and glycerol: An experimental design approach. *Journal of Food Science*, 86(10), 4539-4553. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15886>
- Mederos, Y., Bernabé, P., Ramírez, M., Mederos, Y., Bernabé, P., & Ramírez, M. (2020). Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. *Cultivos Tropicales*, 41(3).
- Mehnath, S., Das, A., Verma, S., & Jeyaraj, M. (2021). Biosynthesized/green-synthesized nanomaterials as potential vehicles for delivery of antibiotics/drugs. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 94, 363-432. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2020.12.011>
- Meléndez, A., Mandić, A., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, P., Graça, D., Elgersma, A., Fikselová, M., García, J., Giuffrida, D., Gonçalves, V. S. S., Hornero, D., Kljak, K., Lavelli, V., Manganaris, G. A., Mapelli, P., ... O'Brien, N. (2022). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 1999-2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
- Mendoza, A. (2019). *Caracterización físico-química del flavedo deshidratado de naranja (Citrus x sinensis) y su uso como insumo en la elaboración de cupcakes* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Quevedo]. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3797>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2019). *Extraen más de 10 toneladas de residuos sólidos en tres ríos de Tarma*. Autoridad Nacional del Agua (ANA). <http://www.ana.gob.pe/noticia/extraen-mas-de-10-toneladas-de-residuos-solidos-en-tres-rios-de-tarma>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2020). *Indicadores de Residuos sólido (RSS) 2020*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZmU4ZmYyZjEtZmEzZi00YzJjLTJhNz>

- ktMWExMmJIMDFjMzdhiwidCI6IjBIMmFiZjRILWExZjUtNDFiZi1iOWE0LWM5YWE2ZGQ1NTE4MCJ9&pageName=ReportSection
- Ministerio del Medio Ambiente [MINAM]. (2020). *Cifras del mundo y el Perú. Menos Plástico Más Vida*. <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Ministerio del Ambiente, (MINAM). (2023). *Indicadores de residuos sólidos del año 2022 [Estudios de caracterización]*. [https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu\\_publico/migl/pi/Indicador\\_3\\_2.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publico/migl/pi/Indicador_3_2.pdf)
- Miranda, K. (2023). *Estabilidad térmica, fenólica y antioxidante de la encapsulación por liofilización de los aceites esenciales de la cáscara de naranja; variedad valencia (Citrus sinensis)* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2613>
- Moawad, S., El-Kalyoubi, M., Khallaf, M., Mohammed, D., Mahmoud, K., & Farouk, A. (2022). Effect of Spray- Drying on the Physical, Sensory, and In-vivo Parameters of orange peel oil and Limonene. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(132), 353-368. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.127785.5669>
- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M., & Emam, Z. (2020). Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. *Food Hydrocolloids*, 104, 105735. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105735>
- Mohajeri, N., Shotorbani, P. M., Basti, A. A., Khoshkhoo, Z., & Khanjari, A. (2021). An assessment of Cuminum cyminum (Boiss) essential oil, NaCl, bile salts and their combinations in probiotic yogurt. *Italian Journal of Food Science*, 33(SP1), 24-33. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33iSP1.1990>
- Mohamed, S. A. A., El-Sakhawy, M., & El-Sakhawy, M. A.-M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>
- Moncada, A., Aranibar, N., Estrada, S., Polo, M., & Santivañez, R. (2022). Desarrollo de biopelículas a partir de mezclas de almidón de maíz-papa, sorbitol y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(3), 251-264. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.401>
- Morell, P. (2022). *Elasticidad. Teoría y ejercicios prácticos resueltos*. Marcombo.

- Moreno, J., Bohórquez, Y., Ayala, L., & Valenzuela, C. (2020). Efecto del pH sobre propiedades mecánicas, fisicoquímicas y morfológicas en películas comestibles multicomponentes. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1457>
- Mostafavi, F., & Zaeim, D. (2020). Agar-based edible films for food packaging applications—A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 1165-1176. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.123>
- Mukherjee, K., Dutta, P., Badwaik, H., Saha, A., Das, A., & Giri, T. (2023). Food industry applications of Tara gum and its modified forms. *Food Hydrocolloids for Health*, 3, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100107>
- Mukurumbira, A., Shellie, R., Keast, R., Palombo, E., & Jadhav, S. (2022). Encapsulation of essential oils and their application in antimicrobial active packaging. *Food Control*, 136, 108883. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108883>
- Muñoz, P., Almeida, D., Fonseca, J., & Alvarez, J. (2021). Estudio de pre-factibilidad técnica y económica de la implementación de una biorrefinería para la conversión de residuos de cáscara de naranja. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 1. <https://doi.org/10.18272/aci.v13i2.2289>
- Napoli, E., Giovino, A., Carrubba, A., How, V., Rinoldo, C., Nina, O., & Ruberto, G. (2020). Variations of Essential Oil Constituents in Oregano (*Origanum vulgare* subsp. *Viridulum* (= *O. heracleoticum*) over Cultivation Cycles. *Plants*, 9(9), 1174. <https://doi.org/10.3390/plants9091174>
- Narethong, H. (2020). Environmental Governance: Urban Waste Management Model. *Journal La Lifesci*, 1(2), 32-36. <https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v1i2.102>
- Nazir, S., & Wani, I. (2022). Development and characterization of an antimicrobial edible film from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) mucilage and sodium alginate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *Yildirim*, 102450. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102450>
- Nezamdoost, N., Khaledabad, M., Amiri, S., & Khaneghah, A. (2023). Alginate and derivatives hydrogels in encapsulation of probiotic bacteria: An updated review. *Food Bioscience*, 52, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102433>
- Nkede, F., Wardak, M., Wardana, A., Fance, M., Yan, X., Jothi, J., Hang, N., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2024). Preparation and characterization of edible coating and film composed of sodium alginate/ylang-ylang oil/cellulose nanocrystals Pickering emulsion and its application to post-harvest control of mandarin (*Citrus reticulata*).

- Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 691, 133859. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.133859>
- Norma Técnica Peruana, N. (2007). *Guía Técnica para el Análisis microbiológico de superficies en contacto con Alimentos y bebidas para consumo humano*. [https://www.sanipes.gob.pe/documentos/7\\_NTP700.0012007DirectricesGenerales sobreMuestreo.pdf](https://www.sanipes.gob.pe/documentos/7_NTP700.0012007DirectricesGenerales sobreMuestreo.pdf)
- NTS, 591-2008. (2017). R.M. N°591-2008-MINSA «Norma Sanitaria que establece los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano». Criterio XIV.3 Frutas y Hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/detalle.aspx?id=23792&idtv=5561>
- Nutrizio, M., Maltar, N., Chemat, F., Duić, B., & Jambrak, A. (2021). High-Voltage Electrical Discharges in Green Extractions of Bioactives from Oregano Leaves (*Origanum vulgare* L.) Using Water and Ethanol as Green Solvents Assessed by Theoretical and Experimental Procedures. *Food Engineering Reviews*, 13(1), 161-174. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09231-2>
- Oboh, G., & Ademosun, A. (2012). Characterization of the antioxidant properties of phenolic extracts from some citrus peels. *Journal of Food Science and Technology*, 49(6), 729-736. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0222-y>
- Oliveira, J., Scheibe, A., Augusto, B., Carciofi, M., & Laurindo, J. (2015). Conductive drying of starch-fiber films prepared by tape casting: Drying rates and film properties. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 356-366. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.038>
- Ollitrault, P., Curk, F., & Krueger, R. (2020). Chapter 4—Citrus taxonomy. En M. Talon, M. Caruso, & F. Gmitter (Eds.), *The Genus Citrus* (pp. 57-81). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00004-8>
- ONU, U. N. (2024). *Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024 | UNEP - UN Environment Programme*. <https://www.unep.org/es/resources/perspectiva-mundial-de-la-gestion-de-residuos-2024>
- Ore, Y., Pichilingue, R., & Valderrama, A. (2020). Extracción y caracterización del alginato de sodio de la macroalga *Macrocystis pyrifera*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), 276-287. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.300>
- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental [OEFA]. (2023). *Reporte 2024. Riesgos y oportunidades globales y nacionales para el Perú 2024—2034*. OEFA.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5590727/4964922-documento-de-trabajo-reporte-2024-riesgos-y-oportunidades-globales-y-nacionales-para-el-peru-2024-2034.pdf>

- Orlando, I., Ruiz, U., Loeza, J., & Hernández, Z. (2023). Procedimiento para obtener modelos lineales de cinética de color en frutas. *Computación y Sistemas*, 27(1), 99-106. <https://doi.org/10.13053/cys-27-1-4242>
- Ortiz, M., Omarini, A., Gonzáles, J., Baglioni, M., Zygadlo, J., Breccia, J., D'Souza, R., Lemesoff, L., Bodeaín, M., Cardona, C., Ilinka, P., & Fernández, M. (2023). Valorization routes of citrus waste in the orange value chain through the biorefinery concept: The Argentina case study. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 189, 109407. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109407>
- Ortiz, M., Solarte, J., Orrego, C., Acosta, C., & Cardona, C. (2021). Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: An experimental, technical, energy, and economic assessment | Biomass Conversion and Biorefinery. *Biomass conversion and Biorefinery*, 11, 645-659. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00627-y>
- Otálora, C., Flores, S., Basanta, M., & Gerschenson, L. (2020). Effect of beetroot (*Beta vulgaris* L. var *conditiva*) fiber filler and corona treatment on cassava starch films properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100605. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100605>
- Oun, A., Roy, S., Hong, S., Shin, G., Yoo, S., & Kim, J. (2024). Development of smart colorimetric indicators for tracking kimchi freshness by loading aronia extract in agar,  $\kappa$ -carrageenan, and cellulose nanofiber films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 270, 132343. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132343>
- Páez, D., & Hamón, J. (2018). Estudio de la resistencia a tracción en anclajes estructurales posinstalados con adhesivo epóxico. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17(33), 57-70. <https://doi.org/10.22395/rium.v17n33a3>
- Pagano, C., Puglia, D., Luzi, F., Michele, A., Scuota, S., Primavilla, S., Ceccarini, M., Beccari, T., Iborra, C., Ramella, D., Ricci, M., & Perioli, L. (2021). Development and Characterization of Xanthan Gum and Alginate Based Bioadhesive Film for Pycnogenol Topical Use in Wound Treatment. *Pharmaceutics*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13030324>

- Pak, E., Ghaghelestani, S., & Najafi, M. (2020). Preparation and characterization of a new edible film based on Persian gum with glycerol plasticizer. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3284-3294. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04361-1>
- Pan, T., Wang, X., Zhu, J., & Wang, H. (2024). Preparation of bright yellow color sodium alginate solution. *Carbohydrate Polymers*, 337, 122169. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122169>
- Pasarin, D., Ghizdareanu, A., Teodorescu, F., Rovinaru, C., & Banu, A. (2023). Characterization of Pectin Oligosaccharides Obtained from Citrus Peel Pectin. *Fermentation*, 9(3), 312. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030312>
- Peña, J., Alvarado, Y., Orozco, R., Pichardo, T., & Abreu, A. (2022). Conteo de bacterias y levaduras en imágenes digitales. *MediSur*, 20(2), 243-256. <http://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/5376>
- Perera, K., Jaiswal, A., & Jaiswal, S. (2023). Biopolymer-Based Sustainable Food Packaging Materials: Challenges, Solutions, and Applications. *Foods*, 12(12), 2422. <https://doi.org/10.3390/foods12122422>
- Pérez, A., Salvatierra, M., & Delgado, D. (2020). Efecto antimicrobiano del aceite esencial de orégano frente a *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus*. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(1), 25-33. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.530>
- Petrucci, R., Herring, G., Madura, J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications*. Pearson Education.
- Pirozzi, A., Del Grosso, V., Ferrari, G., & Donsì, F. (2020). Edible Coatings Containing Oregano Essential Oil Nanoemulsion for Improving Postharvest Quality and Shelf Life of Tomatoes—PMC. *Foods*, 9(11), 1605. <https://doi.org/10.3390/foods9111605>
- Planet One. (2022). *Economía Circular de los residuos orgánicos para la ciudad y el campo*. One Planet Network. <https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/economia-circular-de-los-residuos-organicos-para-la-ciudad-y-el-campo>
- Portada, S. (2022). *Optimización del porcentaje de lactosuero, zumo de naranja (citrus sinensis) y zanahoria (daucus carota) para la elaboración de una bebida nutritiva edulcorada con stevia (stevia rebaudiana b.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/217>

- Posligua, P. (2021). *Estudio bibliográfico de la composición química del orégano (Origanum vulgare) y capacidad antimicrobiana de los aceites esenciales frente al Staphylococcus aureus* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54243>
- Qin, J., Xiao, M., Wang, S., Peng, C., Wu, X., & Jian, F. (2023). Effect of drying temperature on microstructural, mechanical, and water barrier properties of konjac glucomannan/agar film produced at industrial scale. *LWT*, *173*, 114275. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114275>
- Radaic, A., Barbosa, L., Jaime, C., Kapila, Y., Pessine, F., & De Jesus, M. (2016). Chapter One—How Lipid Cores Affect Lipid Nanoparticles as Drug and Gene Delivery Systems. En *Advances in Biomembranes and Lipid Self-Assembly* (Vol. 24, pp. 1-42). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.abl.2016.04.001>
- Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S., Bashir, N., Nazir, F., & Gulzar, A. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *17*(4), 351-358. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>
- Rai, S., Chaturvedi, K., & Yadav, S. (2019). Evaluation of structural integrity and functionality of commercial pectin based edible films incorporated with corn flour, beetroot, orange peel, muesli and rice flour. *Food Hydrocolloids*, *91*, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.022>
- Rakshit, P., Kumar, T., & Mukherjee, K. (2024). Research progresses on carboxymethyl xanthan gum: Review of synthesis, physicochemical properties, rheological characterization and applications in drug delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, *266*, 131122. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131122>
- Ramos, M., Cadenas, M., Bolio, G., Avelino, G., Maciel, A., Castañeda, C., & Ramos, J. (2020). Biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*): Caracterización física, química y estructural. *Agroindustrial Science*, *10*(3), 273-278. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.08>
- Ramos, N. (2022). *Efecto del recubrimiento de alginato de sodio activado con aceite esencial de tomillo (Thymus vulgaris) sobre la vida útil del filete de caballa (Scomber japonicus peruanus)* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/9353>
- Rehman, K., Hollah, C., Wiesotzki, K., Rehman, R., Rehman, A., Zhang, J., Zheng, L., Nienaber, T., Heinz, V., & Aganovic, K. (2023). Black soldier fly, *Hermetia*

- illucens as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. *Waste Management & Research*, 41(1), 81-97. <https://doi.org/10.1177/0734242X221105441>
- Ren, J., Hou, Y., Fan, G., Zhang, L., Yin, K., & Pan, S. (2019). Extraction of orange pectin based on the interaction between sodium caseinate and pectin. *Food Chemistry*, 283, 265-274. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.046>
- Rios, A. (2007). Gases ideales: Procesos psicrometricos. *Scientia et Technica*, 1(37). <https://moodle2.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4169>
- Rivera, C., Zulueta, B., & Huamuro, E. (2020). Síntesis y caracterización de empaque biodegradable a partir de xantana y almidón de Colocasia esculenta (Vituca). *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(2), 14-20. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i2.511>
- Rodrigues, C., Souza, V., Coelho, I., & Fernando, A. (2021). Bio-Based Sensors for Smart Food Packaging—Current Applications and Future Trends. *Sensors*, 21(6), 2148. <https://doi.org/10.3390/s21062148>
- Rodrigues, F., Dos Santos, S., Lopes, M., Guimarães, D., Oliveira, E., De Souza, M., Mattos, A., Da Silva, L., De Azeredo, H., & Ricardo, N. (2021). Antioxidant films and coatings based on starch and phenolics from *Spondias purpurea* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 354-365. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.012>
- Rodríguez, D., & González, A. (2018). Factores que influncian las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(23), 93-102. <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3708>
- Roshandel, N., Mokaber, M., Taleghani, A., & Akbari, R. (2022). Investigation of physicochemical properties, antimicrobial and antioxidant activity of edible films based on chitosan/casein containing *Origanum vulgare* L. essential oil and its effect on quality maintenance of cherry tomato. *Food Chemistry*, 396, 133650. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133650>
- Roy, S., Chawla, R., Santhosh, R., Thakur, R., Sarkar, P., & Zhang, W. (2023). Agar-based edible films and food packaging application: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 141, 104198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104198>
- Saccol, C., Cervi, V., Blume, J., & Menezes, Á. (2024). Xanthan-carrageenan film containing sesame seed oil: A nanocomposite pharmaceutical platform for

- trichomoniasis treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257, 128701. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128701>
- Saeed, M., Kamboh, A., & Huayou, C. (2024). Promising future of citrus waste into fermented high-quality bio-feed in the poultry nutrition and safe environment. *Poultry Science*, 103(4), 103549. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103549>
- Salazar, A. (2021). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de films basados en almidón de camote (Ipomoea batatas) y aceite esencial de orégano (Origanum vulgare) y tomillo (Thymus vulgaris)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/17147>
- Sambudi, N., Lin, W., Harun, N., & Mutiari, D. (2022). Modification of Poly(lactic acid) with Orange Peel Powder as Biodegradable Composite. *Polymers*, 14(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/polym14194126>
- Sánchez, A. (2020). *Recubrimiento comestible enriquecido con aceites esenciales de Orégano (Origanum vulgare), Clavo (Syzygium aromaticum) y Tomillo (Thymus vulgaris) para prolongar la vida de anaquel de la fresa* [Tesis de pregrado, Instituto Técnico Superior de la Región Sierra]. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/3056>
- Sani, A., Adzaham, N., & Ismail, M. (2022). Valorization of malaysian tropical fruit seeds: A review of their nutrition, bioactivity, processing and food application. *Food Bioscience*, 50, 102156. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102156>
- Satari, B., & Karimi, K. (2018). Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.032>
- Senturk, T., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Foods (Basel, Switzerland)*, 7(10), 170. <https://doi.org/10.3390/foods7100170>
- Shi, M., Cheng, L., Hong, Y., Li, Z., Li, C., Ban, X., & Gu, Z. (2024). Effect of Xanthan gum on the structural and functional properties of starch films produced by hot compression molding. *Industrial Crops and Products*, 220, 119235. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119235>
- Shi, S., Xu, X., Ren, Y., Zhang, H., Du, X., Li, H., & Xia, X. (2023). Beeswax coating improves the hydrophobicity of sodium alginate/ anthocyanin/ cellulose nanocrystal indicator film. *Food Hydrocolloids*, 144, 108930. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108930>

- Shivangi, S., Dorairaj, D., Negi, P., & Shetty, N. (2021). Development and characterisation of a pectin-based edible film that contains mulberry leaf extract and its bio-active components. *Food Hydrocolloids*, *121*, 107046. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107046>
- Shu, B., Wu, G., Wang, Z., Huang, F., Dong, L., Zhang, R., Wang, Y., & Xiao, S. (2020). The effect of microwave vacuum drying process on citrus: Drying kinetics, physicochemical composition and antioxidant activity of dried citrus (*Citrus reticulata* Blanco) peel | Journal of Food Measurement and Characterization. *Food Measure*, *14*, 2443-2452. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00492-3>
- Sierra, K. (2021). *Elaboración y caracterización de una película biodegradable utilizando cáscara de naranja (Citrus X sinensis)* [Tesis de pregrado, Zamorano]. <http://hdl.handle.net/11036/7011>
- Sistema Integrado de Estadística Agraria, S. (2024). *Valor Bruto de la Producción Agropecuaria*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/mensual/VBP/2024/VBP\\_06\\_2024.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/VBP/2024/VBP_06_2024.pdf)
- Soares, A., Mariño, S., Cruz, S., Sendón, R., Barbosa, L., Pesna, A., & Sanches, A. (2024). Citrus by-products: A dual assessment of antioxidant properties and food contaminants towards circular economy. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *95*, 103737. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103737>.
- Sohni, S., Begum, S., Hashim, R., Khan, S., Mazhar, F., Syed, F., & Khan, S. (2024). Physicochemical characterization of microcrystalline cellulose derived from underutilized orange peel waste as a sustainable resource under biorefinery concept. *Bioresource Technology Reports*, *25*, 101731. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101731>
- Solano, L., Alamilla, L., & Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, *21*, 30-42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Solowiej, B., Nastaj, M., Szafrńska, J., Muszyński, S., Gustaw, W., Tomczyńska, M., & Mleko, S. (2020). Effect of emulsifying salts replacement with polymerised whey protein isolate on textural, rheological and melting properties of acid casein model processed cheeses. *International Dairy Journal*, *105*, 104694. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104694>

- Sood, A., & Saini, C. (2022). Red pomelo peel pectin based edible composite films: Effect of pectin incorporation on mechanical, structural, morphological and thermal properties of composite films. *Food Hydrocolloids*, *123*, 107135. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107135>
- Suresh, S., Puspharaj, C., & Subramani, R. (2022). Development of Almond gum/alginate composites to enhance the shelf-life of post-harvest Solanum Lycopersicum L. *Food Hydrocolloids for Health*, *2*, 100087. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100087>
- Tabassum, Z., Girdhar, M., Kumar, A., Malik, T., & Mohan, A. (2023). ZnO Nanoparticles-Reinforced Chitosan–Xanthan Gum Blend Novel Film with Enhanced Properties and Degradability for Application in Food Packaging. *ACS Omega*, *8*(34), 31318-31332. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03763>
- Tafa, K., Satheesh, N., & Abera, W. (2023). Mechanical properties of tef starch based edible films: Development and process optimization. *Heliyon*, *9*(2), e13160. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13160>
- Taghavi, H., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M., & Emam-Djomeh, Z. (2021). Mechanical, physical, and bio-functional properties of biopolymer films based on gelatin as affected by enriching with orange peel powder. *Polymer Bulletin*, *78*(8), 4387-4402. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03319-9>
- Tavares, L., Souza, H., Gonçalves, M., & Rocha, C. (2021). Physicochemical and microstructural properties of composite edible film obtained by complex coacervation between chitosan and whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, *113*, 106471. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106471>
- Teixeira, F., Santos, B., Nunes, G., Soares, J., Amaral, L., Oliveira, G., Vilela, J., Menegassi, B., Murino, B., Schwarz, K., Santos, E., & Novello, D. (2020). Addition of orange peel in orange jam: Evaluation of sensory, physicochemical, and nutritional characteristics. *Molecules*, *25*(7), 1670. <https://doi.org/10.3390/molecules25071670>
- Tenorio, M. (2016). Flavonoides extraídos de la cascara de naranja tangelo (*Citrus reticulata* x *Citrus paradisi*) y su aplicación como antioxidante natural en el aceite vegetal sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria*, *7*(4), 419-431. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.04.07>
- Terzioğlu, P., Güney, F., Parın, F., Sen, I., & Tuna, S. (2021). Biowaste orange peel incorporated chitosan/polyvinyl alcohol composite films for food packaging

- applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100742>
- Tiencheu, B., Nji, D. N., Achidi, A. U., Egbe, A. C., Tenyang, N., Tiepma, E. F., Djikeng, F., & Fossi, B. (2021). Nutritional, sensory, physico-chemical, phytochemical, microbiological and shelf-life studies of natural fruit juice formulated from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*), Honey and Ginger (*Zingiber officinale*). *Heliyon*, 7(6), e07177. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07177>
- Toribio, H., & Rodríguez, E. (2024). *COVID-19: Desinfección correcta de alimentos*. Gaceta Molinera - Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://www.lamolina.edu.pe/Gaceta/edicion2020/notas/nota042.htm>
- Torrenegra, M., León, G., Herrera, A., & Torrenegra, M. (2021). Evaluación de un biorecubrimiento comestible a base de almidón modificado aplicado a aguacate (*Persea americana*) mínimamente procesado. *Revista chilena de nutrición*, 48(2), 187-194. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182021000200187>
- Tovar, A., Godínez, L., Espejel, F., Ramírez, R., & Robles, I. (2019). Optimization of the integral valorization process for orange peel waste using a design of experiments approach: Production of high-quality pectin and activated carbon. *Waste Management*, 85, 202-213. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.029>
- Tsai, S., & Marco, A. (2021). *Diseño y análisis de materiales compuestos*. Reverte.
- Tseliou, M., Pirintsos, S., Lionis, C., Castanas, E., & Sourvinos, G. (2019). Antiviral effect of an essential oil combination derived from three aromatic plants (*Coridothymus capitatus* (L.) Rchb. F., *Origanum dictamnus* L. and *Salvia fruticosa* Mill.) against viruses causing infections of the upper respiratory tract. *Journal of Herbal Medicine*, 17-18, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2019.100288>
- Uncu, S., & Mocan, M. (2022). *Tuning mechanical, thermal, morphological, barrier, and biodegradation properties of edible pectin-alginate/orange peel biocomposite films*. Research Square. <https://orcid.org/0000-0001-6192-0941>
- Ureña, M., Phùng, T., Gerometta, M., Siqueira, L., Chanut, J., Domenech, S., Dole, P., Roudaut, G., Lagorce, A., & Karbowiak, T. (2023). Potential of polysaccharides for food packaging applications. Part 1/2: An experimental review of the functional properties of polysaccharide coatings. *Food Hydrocolloids*, 144, 108955. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108955>

- Urrialde, R., Gómez, A., Pintos, B., Gómez, M., & Cifuentes, B. (2022). Compuestos bioactivos de origen vegetal: Desarrollo de nuevos alimentos. *Nutrición Hospitalaria*, 39(SPE3), 8-11. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.04302>
- Vásquez, C., Dávila, M., Telenchana, N., Mangui, J., & Navas, D. (2017). Primer reporte de *Eotetranychus lewisi* en la región andina del Ecuador en *Arracacia xanthorrhiza* (zanahoria blanca) y *Tropaeolum tuberosum* (mashua). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 992-994. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.05.001>
- Vázquez, N. (2014). *Determinación de fracciones de carbohidratos y proteínas y del valor nutricional de pasto buffel (Cenchrus ciliaris L) asociado con dos subproductos agroindustriales* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Nueva León]. <http://eprints.uanl.mx/4188/1/1080253683.pdf>
- Venkatachalam, K., Charoenphun, N., Noonim, P., Pechwang, J., & Lekjing, S. (2024). Influence of pomelo pericarp essential oil on the structural characteristics of gelatin-arrowroot tuber flour-based edible films. *RSC Advances*, 14(37), 27274-27287. <https://doi.org/10.1039/d4ra03059a>
- Venkatachalam, K., Rakkapao, N., & Lekjing, S. (2023). Physicochemical and Antimicrobial Characterization of Chitosan and Native Glutinous Rice Starch-Based Composite Edible Films: Influence of Different Essential Oils Incorporation. *Membranes*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/membranes13020161>
- Villar, K. (2021). *Formulación de biopelículas de quitosano funcionalizadas con aceite esencial de *Minthostachys mollis* "Muña" con propiedad antioxidante y antimicrobiana* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/16812>
- Viteri, J. (2020). *Utilización de cáscaras de plátano (*Musa spp*), en el desarrollo de películas biodegradables* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30845>
- Vonnie, J., Rovina, K., 'Aqilah, N., & Felicia, X. (2023). Development and Characterization of Biosorbent Film from Eggshell/Orange Waste Enriched with Banana Starch. *Polymers*, 15(11), 2414. <https://doi.org/10.3390/polym15112414>
- Wakamatsu, H., & Miyata, T. (2021). Effects of radioactive safety information on consumer fears of radioactive contamination from oyster products in Japan. *Marine Policy*, 126, 104401. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104401>
- Wang, D., Li, C., Pan, C., Wang, Y., Xiang, H., Feng, Y., Yang, X., Chen, S., Zhao, Y., Wu, Y., Li, L., Kawai, Y., Yamazaki, K., & Yamaki, S. (2022). Antimicrobial

- activity and mechanism of action of oregano essential oil against *Morganella psychrotolerans* and potential application in tuna. *LWT*, *165*, 113758. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113758>
- Wang, J., Zhang, A., Hu, Y., Yuan, X., Qiu, Y., & Dong, C. (2024). Polysaccharides from fructus corni: Extraction, purification, structural features, and biological activities. *Carbohydrate Research*, *538*, 109072. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2024.109072>
- Wang, X., Guo, C., Hao, W., Ullah, N., Chen, L., Li, Z., & Feng, X. (2018). Development and characterization of agar-based edible films reinforced with nano-bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, *118*, 722-730. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.089>
- Węglarz, Z., Kosakowska, O., Przybył, J., Pióro, E., & Bączek, K. (2020). The Quality of Greek Oregano (*O. vulgare* L. subsp. *Hirtum* (Link) Ietswaart) and Common Oregano (*O. vulgare* L. subsp. *Vulgare*) Cultivated in the Temperate Climate of Central Europe. *Foods*, *9*(11), 1671. <https://doi.org/10.3390/foods9111671>
- Wei, H., Ma, Q., Gao, R., Fan, J., Zhao, M., Li, M., & Wang, Y. (2024). Tailoring hydroxypropyl starch films with curdlan for enhanced properties for edible packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, *274*, 133260. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133260>
- Whitby, C. (2019). 3.07 - Nanoparticles at Fluid Interfaces: From Surface Properties to Biomedical Applications. *Comprehensive Nanoscience and Nanotechnology (Second Edition)*, *3*, 127-146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10459-X>
- White, F. (2004). *Mecánica de fluidos* (Quinta edición). Mc Graw Hill.
- Wong, J., Aguilar, P., Veana, F., & Muñiz, D. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, *23*(1), 1-11. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255>
- Wright, R. (2011). Chapter Eleven—Mechanical Properties of Wire and Related Testing. En *Wire Technology* (pp. 127-155). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382092-1.00011-7>
- Xin, S., Xiao, L., Dong, X., Li, X., Wang, Y., Hu, X., Sameen, D., Qin, W., & Zhu, B. (2020). Preparation of chitosan/curcumin nanoparticles based zein and potato starch composite films for *Schizothorax prenati* fillet preservation. *International*

- Journal of Biological Macromolecules*, 164, 211-221.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.082>
- Yajahuanca, E. (2021). *Efecto del empleo de conservantes químicos para cítricos en el tiempo de conservación post cosecha de la naranja Valencia (Citrus sinensis "Valencia")* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].  
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4367>
- Yan, P., Lan, W., & Xie, J. (2024). Modification on sodium alginate for food preservation: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104217.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104217>
- Yang, P., Song, Y., Qi, H., Li, L., & Xie, X. (2024). AIE-doped agar-based photodynamic sterilization film for antimicrobial food wrapping. *LWT*, 202, 116330.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116330>
- Ye, S., Zhang, Y., Chen, J., Chen, F., Weng, H., Xiao, Q., & Xiao, A. (2022). Synthesis and properties of maleic anhydride-modified agar with reversibly controlled gel strength. *International Journal of Biological Macromolecules*, 201, 364-377.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.096>
- Yildirim, M., Tornuk, F., & Toker, O. (2022). Recent advances in the improvement of carboxymethyl cellulose-based edible films. *Trends in Food Science & Technology*, 129, Carhuallanqui. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.022>
- Yu, K., Zhou, L., Huang, H., Xu, J., Li, Y., Yu, W., Peng, S., Zou, L., & Liu, W. (2024). The improvement of water barrier property in gelatin/carboxymethyl cellulose composite film by electrostatic interaction regulation and its application in strawberry preservation. *Food Chemistry*, 450.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139352>
- Yuan, Y., Wang, H., Fu, Y., Chang, C., & Wu, J. (2022). Sodium alginate/gum arabic/glycerol multicomponent edible films loaded with natamycin: Study on physicochemical, antibacterial, and sweet potatoes preservation properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 1068-1077.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.040>
- Yun, D., & Liu, J. (2022). Recent advances on the development of food packaging films based on citrus processing wastes: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100316. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100316>

- Yun, D., & Liu, J. (2024). Preparation, Characterization and Application of Active Food Packaging Films Based on Sodium Alginate and Twelve Varieties of Mandarin Peel Powder. *Foods*, *13*(8), 1174. <https://doi.org/10.3390/foods13081174>
- Yun, D., Wang, Z., Li, C., Chen, D., & Liu, J. (2023). Antioxidant and antimicrobial packaging films developed based on the peel powder of different citrus fruits: A comparative study. *Food Bioscience*, *51*, 102319. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102319>
- Zaïri, A., Nouir, S., Khalifa, M., Ouni, B., Haddad, H., Khelifa, A., & Trabelsi, M. (2020). Phytochemical Analysis and Assessment of Biological Properties of Essential Oils Obtained from Thyme and Rosmarinus Species. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, *21*(5), 414-424. <https://doi.org/10.2174/1389201020666191019124630>
- Zakaria, L., Sahli, F., Laouar, H., Olowo, A., Nkuimi, J., & Maggi, F. (2020). Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oils from the Algerian Endemic *Origanum glandulosum* Desf. Against Multidrug-Resistant Uropathogenic *E. coli* Isolates. *Antibiotics*, *9*(1), 29. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9010029>
- Zamudio, G. (2014). *Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimenticia* [Tesis de pregrado, Universidad del Valle]. <http://hdl.handle.net/10893/17676>
- Zhang, P., Pan, T., Ma, L., Liu, B., Tian, S., & Chen, X. (2024). Enhancing stability and odor control of water-based foam for pesticide site restoration using xanthan gum. *Process Safety and Environmental Protection*, *185*, 660-669. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.03.038>
- Zhang, X., Ismail, B., Cheng, H., Jin, T., Qian, M., Arabi, S., & Guo, M. (2021). Emerging chitosan-essential oil films and coatings for food preservation—A review of advances and applications. *Carbohydrate Polymers*, *273*, 118616. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118616>
- Zhang, X., Liu, J., Qian, C., Kan, J., & Jin, C. (2019). Effect of grafting method on the physical property and antioxidant potential of chitosan film functionalized with gallic acid. *Food Hydrocolloids*, *89*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.023>

- Zhao, J., Liu, T., Xia, K., Liu, X., & Zhang, X. (2022). Preparation and application of edible agar-based composite films modified by cellulose nanocrystals. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100936. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100936>
- Zhao, J., Sun, C., Li, H., Dong, X., & Zhang, X. (2020). Studies on the physicochemical properties, gelling behavior and drug release performance of agar/ $\kappa$ -carrageenan mixed hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 878-887. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.087>
- Zhao, M., Nuerjiang, M., Bai, X., Feng, J., Kong, B., Sun, F., Li, Y., & Xia, X. (2022). Monitoring dynamic changes in chicken freshness at 4 °C and 25 °C using pH-sensitive intelligent films based on sodium alginate and purple sweet potato peel extracts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 216, 361-373. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.198>
- Zhou, L., Luo, J., Xie, Q., Huang, L., Shen, D., & Li, G. (2023). Dietary Fiber from Navel Orange Peel Prepared by Enzymatic and Ultrasound-Assisted Deep Eutectic Solvents: Physicochemical and Prebiotic Properties. *Foods*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/foods12102007>
- Zielinska, M., & Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 212, 671-680. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.003>
- Zou, Z., Zhang, B., Nie, X., Cheng, Y., Hu, Z., Liao, M., & Li, S. (2020). A sodium alginate-based sustained-release IPN hydrogel and its applications. *RSC Advances*, 10(65), 39722-39730. <https://doi.org/10.1039/D0RA04316H>
- Zubair, M., Pradhan, R., Arshad, M., & Ullah, A. (2021). Recent Advances in Lipid Derived Bio-Based Materials for Food Packaging Applications. *Macromolecular Materials and Engineering*, 306(7). <https://doi.org/10.1002/mame.202000799>

# ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de consistencia.

Aplicación de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) con diferentes matrices poliméricas en biopelículas comestibles

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	METODOLOGÍA
			INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE		
<p><b>General</b></p> <p>• ¿Cómo influye la aplicación de cáscara de naranja (<i>Citrus x sinensis</i>) y aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i>) utilizando diferentes matrices poliméricas en la producción de biopelículas comestibles?</p>	<p><b>General</b></p> <p>Evaluar la eficiencia de la cáscara de naranja (<i>Citrus x sinensis</i>) y aceite esencial de orégano (<i>Origanum Vulgare</i>) con diferentes matrices poliméricas en la producción de biopelículas comestibles.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p><b>H:</b> La cáscara de naranja y aceite esencial de orégano acopladas con diferentes matrices poliméricas brindan una buena consistencia eficiente para el desarrollo productivo de biopelículas comestibles.</p>	<p>➤ Cáscara de naranja (<i>Citrus x sinensis</i>).</p> <p>➤ Aceite esencial de Orégano (<i>Origanum vulgare</i>).</p> <p>➤ Matrices Poliméricas: goma xanthan, agar</p>	<p>➤ Recuento microbiológico</p> <p>➤ Propiedades fisicoquímicas</p> <p>➤ Propiedades mecánicas</p>	<p>Kilogramos (1.9 Kg)</p> <p>% (0,78., 1,17 y 1,6)</p> <p>Kg (17)</p> <p>Miligramos (10 mL)</p> <p>% (0,63., 0,78 y 0,93)</p> <p>- Tiempo</p> <p>- Potencia (%)</p> <p>- % (2,48., 2,46 y 2,44)</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Experimental</p> <p><b>Método de investigación:</b> Inductivo - Deductivo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Experimental, porque las variables independientes poseen diferentes concentraciones para la producción de biopelículas comestible.</p> <p><b>Población, muestra y muestreo:</b></p> <p>➤ <b>Población:</b> Cáscara de naranja y orégano.</p> <p>➤ <b>Muestra:</b> 1,9 kg de harina de cáscara de naranja y 10</p>

			agar y alginato de sodio.	- Aerobios mesófilos (UFC/ml) - Coliformes (UFC/ml) - Tiempo - Humedad (%) - Acidez - Potencial de hidrógeno (pH) - Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) - Sólidos solubles (°Brix) - Color - % pérdida de peso - Índice de solubilidad (g/L). - Espesor (mm) - Módulo de elasticidad (N/m <sup>2</sup> ) - Porcentaje de elongación (%)	ml de aceite esencial de orégano. ➤ <b>Muestreo:</b> El tipo de muestreo es no probabilístico, por tipo intencional sin dependencia a la probabilidad, estadística y procedimientos mecánicos.
<b>Específicos</b> ● ¿Cuáles son las mejores concentraciones de micropartículas de cáscara de naranja ( <i>Citrus x sinensis</i> ), aceite esencial de orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ) y las tres matrices poliméricas para la producción de biopelículas comestibles? ● ¿Cuáles son las propiedades	<b>Específicos</b> ● Determinar las concentraciones eficientes de micropartículas de cáscara de naranja ( <i>Citrus x sinensis</i> ) y aceite esencial de orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ) con tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar, alginato de sodio) para la producción de biopelículas comestibles.	<b>Hipótesis específicas</b> ● <b>H<sub>1</sub>:</b> Las mejores concentraciones conformadas por micropartículas de cáscara de naranja, aceite esencial de orégano y tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar y alginato de sodio) favorecen la producción de biopelículas comestibles. ● <b>H<sub>2</sub>:</b> Las biopelículas			<b>Diseño de investigación:</b> <i>Enfoque cuantitativo</i> El diseño de investigación es experimental debido a que se determinó las concentraciones eficientes de micropartículas de cáscara de naranja y aceite esencial de orégano con tres matrices poliméricas (goma xanthan, agar agar y alginato de sodio), para el desarrollo idóneo del proceso de producción de las biopelículas comestibles, asimismo se evaluó las características fisicoquímicas, propiedades mecánicas y análisis microbiológico. La metodología del presente trabajo de investigación es de

<p>fisicoquímicas y mecánicas de las biopelículas comestibles utilizando cáscara de naranja, aceite esencial de orégano y tres matrices poliméricas?</p> <p>• ¿Qué grado de recuento microbiológico presentan las biopelículas comestibles con cáscara de naranja, aceite esencial de orégano y tres matrices poliméricas?</p>	<p>• Analizar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las biopelículas comestibles empleando cáscara de naranja (<i>Citrus x sinensis</i>) y aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i>) con tres matrices poliméricas (goma xantana, agar-agar y alginato de sodio).</p> <p>• Evaluar el recuento microbiológico en las biopelículas</p>	<p>comestibles a base de cáscara de naranja y aceite esencial de orégano con tres matrices poliméricas (goma xanthan, agar agar y alginato de sodio) influyen en sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas.</p> <p>• <b>H<sub>3</sub>:</b> La utilización de cáscara de naranja y aceite esencial incorporados en biopelículas comestibles con tres matrices poliméricas (alginato de sodio, goma xantana y agar-agar) en las biopelículas comestibles presenta un efecto significativo en la reducción del recuento</p>	<p>- Esfuerzo de Tracción en la Fluencia (MPa)</p>	<p>forma aplicada de diseño experimental con mediciones controlables según las condiciones de causa-efecto. Las formulaciones ostentan 3 tratamientos con 3 repeticiones y una muestra control para aplicar el diseño completamente aleatorio (DCA) en las variables independientes.</p> <p><b>Tratamiento estadístico de datos o proceso de argumentación científica:</b></p> <p>Para el presente trabajo de investigación se aplicó los siguientes tratamientos estadísticos:</p> <p>En la determinación de las características fisicoquímicas y mecánicas en las biopelículas comestibles, se utilizó el diseño completamente aleatorio (DCA), en función a las variables independientes y dependientes, donde los tratamientos están asignados de forma aleatoria a cada unidad experimental basado en un diseño variado y homogéneo</p>
--	--	---	--	--

---

comestibles a microbiológico en  
base de cáscara de comparación con  
naranja (*Citrus x* las películas  
*sinensis*) y aceite convencionales.  
esencial de  
orégano  
(*Origanum*  
*vulgare*) con tres  
matrices  
poliméricas  
(goma xantana,  
agar-agar y  
alginato de  
sodio).

sin ningún bloqueo,  
evidenciando su eficiente  
categoría simplificada optada  
para su aplicación.

Hipótesis a probar son:

**Ho:** Todos los tratamientos  
tienen buenas concentraciones  
de micropartículas de cáscara  
de naranja y aceite de orégano  
con tres matrices poliméricas  
(goma xanthan, agar gar y  
alginato de sodio) para producir  
biopelículas comestibles.

**Ha:** Al menos uno de los  
tratamientos es diferente de los  
otros.

**Nivel de significación:**

$\alpha = 0,05$

Para determinar las posibles  
diferencias entre los  
tratamientos, se realizará a  
través del análisis de varianza  
(ANOVA) con 95% de  
significancia y Tukey para  
diferenciar los tratamientos con  
el programa estadístico Minitab  
20 y Excel.

---

## Anexo 2. Obtención de aceite esencial de *Origanum vulgare* por el método arrastre de vapor

**Figura 46**

*Recolección de la planta orégano.*



**Figura 47**

*Pesado de orégano.*



**Figura 48**

*Deshojado de orégano.*



**Figura 49**

*Pesado de hojas y tallo del orégano.*



**Figura 50**

*Secado de hojas de orégano.*



**Figura 51**

*Pesado de hojas secadas.*



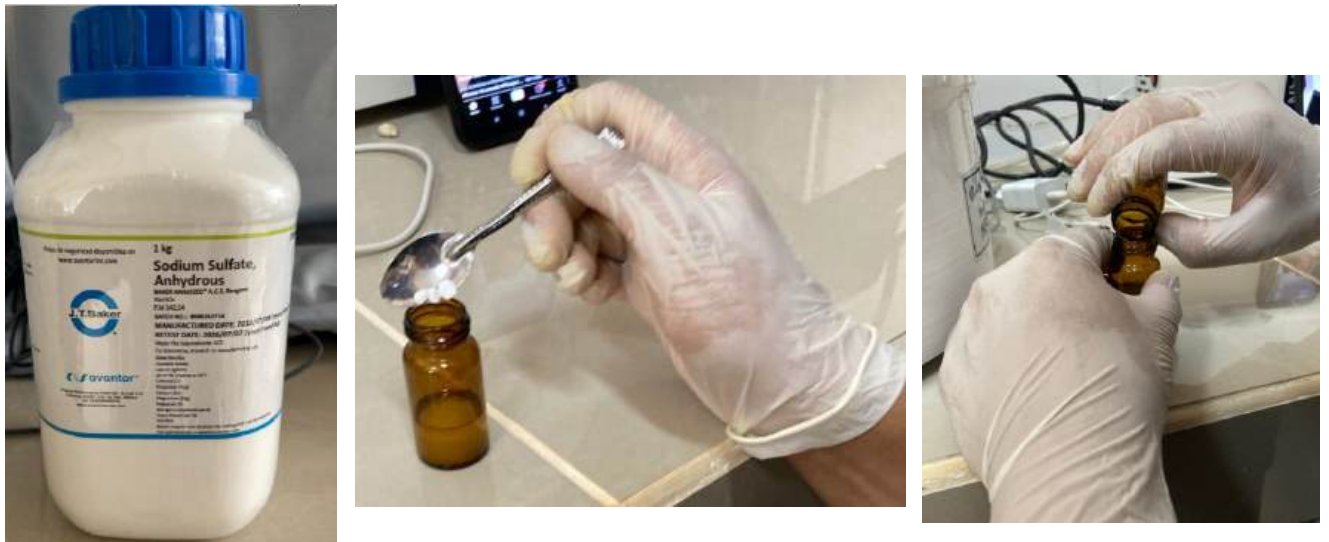
**Figura 52**

*Proceso de extracción de aceite esencial de orégano.*



**Figura 53**

*Proceso de purificación.*



**Figura 54**

Pesado y almacenado del aceite esencial de orégano.



**Anexo 3. Fotografía respecto a procesos experimental para obtención de harina de cáscara de naranja.**

**Figura 56**

*Pesado de cáscara de naranja.*



**Figura 55**

*Lavado y desinfectado de cáscara de naranja.*



**Figura 57**

*Secado por convección de cáscaras de naranja.*



**Figura 58**

*Pesado de cáscara de naranja.*



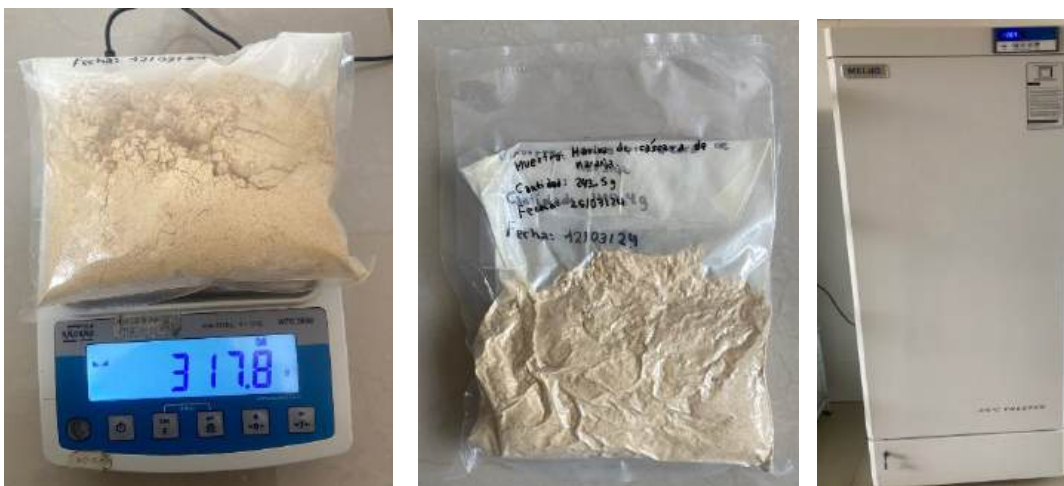
**Figura 59**

*Molienda de residuo cítrico (piel de naranja).*



**Figura 60**

*Pesado, envasado y almacenado de harina de cáscara de naranja.*



#### Anexo 4. Fotografía respecto al tamizado de micropartículas de cáscara de naranja.

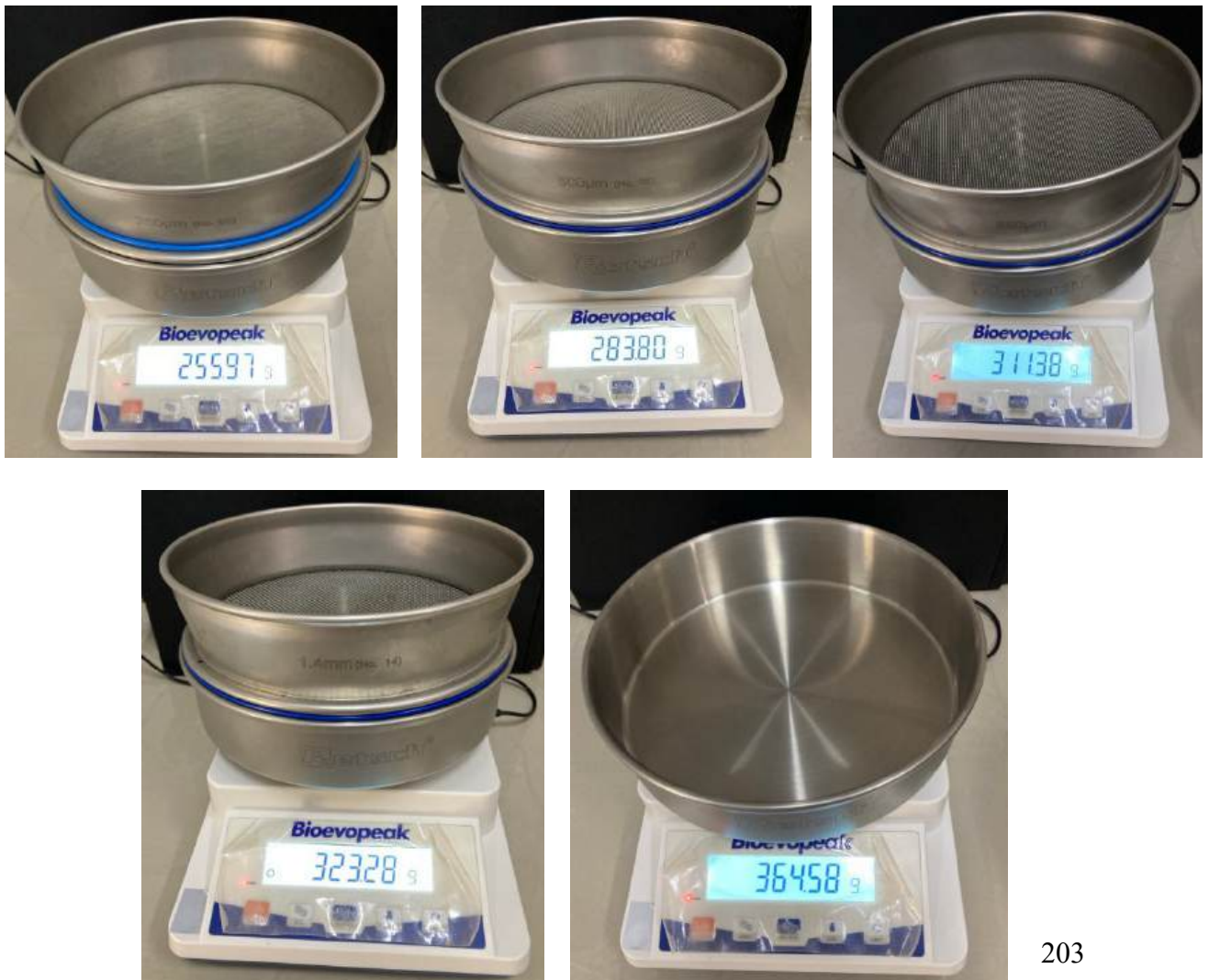
**Figura 61**

*Pesado de harina de cáscara de naranja.*



**Figura 62**

*Pesado de tamices.*



**Figura 64**

*Tamices con muestra de subproducto.*



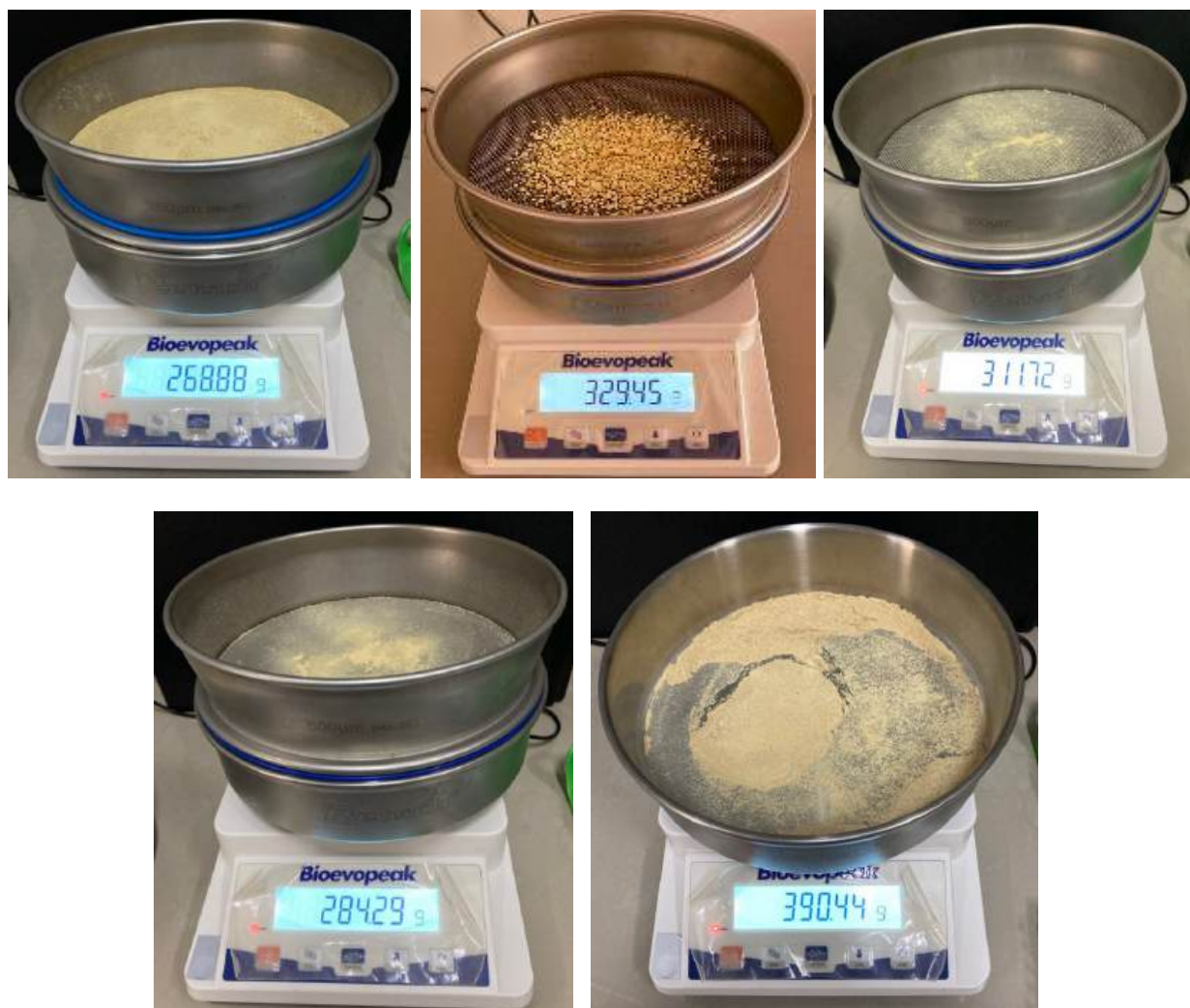
**Figura 63**

*Tamizado de partículas del subproducto de naranja.*



**Figura 65**

*Pesado de tamiz con muestra retenida.*



## Anexo 5. Tablas de granulometría de partículas de cáscara de naranja.

**Tabla 25**

*Cálculos del primer tamizado de partículas (39,45 g).*

Denominación N°	Abertura (mm)	Masa de Tamiz (g)	Masa retenida + MP (g)	Masa retenida (g)	% Masa retenido	Acumulación de tamiz (%)
						100
14	1,4	323,3	323,33	0,03	0,077180	99,9228
20	0,85	311,3	311,51	0,21	0,540262	99,4597
35	0,5	283,84	285,64	1,8	4,630821	95,3692
60	0,25	255,99	270,84	14,85	38,204271	61,7957
Base		364,66	386,64	21,98	56,547466	43,4525

**Tabla 26**

*Cálculos de la segunda repetición del tamizado de partículas (39,45 g).*

Denominación N°	Abertura (mm)	Masa de Tamiz (g)	Masa retenida + MP (g)	Masa retenida (g)	% Masa retenido	Acumulación de tamiz (%)
						100
14	1,4	323,37	329,2	5,95	15,386605	84,6134
20	0,85	311,47	316,34	4,87	12,593742	72,0197
35	0,5	283,85	290,95	7,1	18,360486	53,6592
60	0,25	256,07	271,3	15,23	39,384536	14,2746
Base		364,68	370,2	5,52	14,274631	0,0000

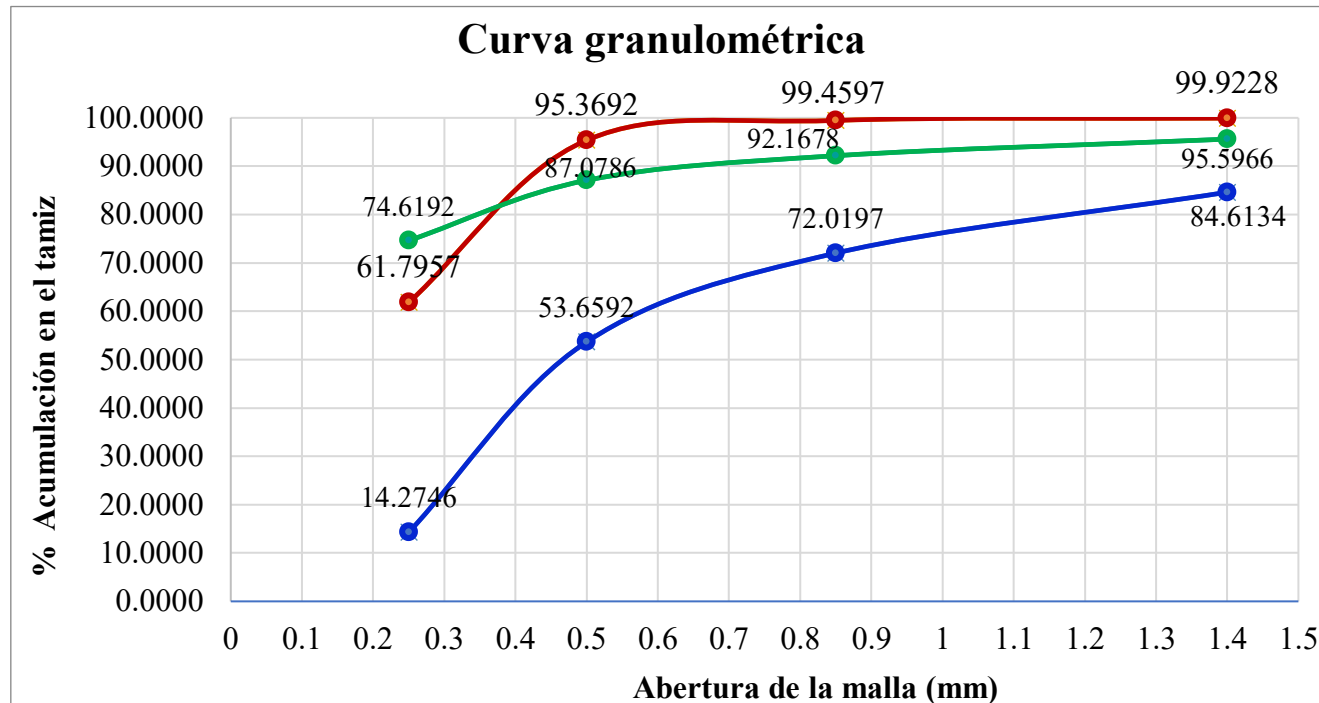
**Tabla 27**

*Cálculos de la segunda repetición del tamizado de partículas (39,45 g).*

<b>Denominación N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Masa de Tamiz (g)</b>	<b>Masa retenida + MP (g)</b>	<b>Masa retenida (g)</b>	<b>% Masa retenido</b>	<b>Acumulación de tamiz (%)</b>
						100
14	1,4	323,35	329,45	6,1	4,403378	95,5966
20	0,85	311,48	316,23	4,75	3,428860	92,1678
35	0,5	283,87	290,92	7,05	5,089150	87,0786
60	0,25	256,08	273,34	17,26	12,459395	74,6192
Base		264,7	368,07	103,37	74,619216	0,0000

**Figura 66**

Análisis granulométrico de micropartículas de cáscara de naranja.



**Interpretación:**

Según la organización internacional de normas ASTM E-11, las partículas finas están clasificadas desde 1 hasta 1000  $\mu\text{m}$  denominados micropartículas, siendo un factor para la calidad de utilizar de la materia prima en la mezcla de la biopelícula comestible. En efecto al análisis de la curva granulométrica obtenida del tamizado de partículas, se concluye que en las tres repeticiones generan mayores porcentajes de masa compuesta por menores tamaños de micropartículas retenidos en cada abertura de la malla del tamiz, y se obtienen una cantidad mayor de muestra en la base en la tercera repetición ejecutada (74,6192 %) comparado con las dos duplicaciones de tamizado.

## Anexo 6. Proceso para producir biopelículas comestibles a partir de cáscara de naranja y matrices poliméricas.

**Figura 67**

*Pesado de goma Xanthan, alginato de sodio, agar agar y microparticulas de cáscara según las formulaciones, para elaboración de biopelículas comestibles.*



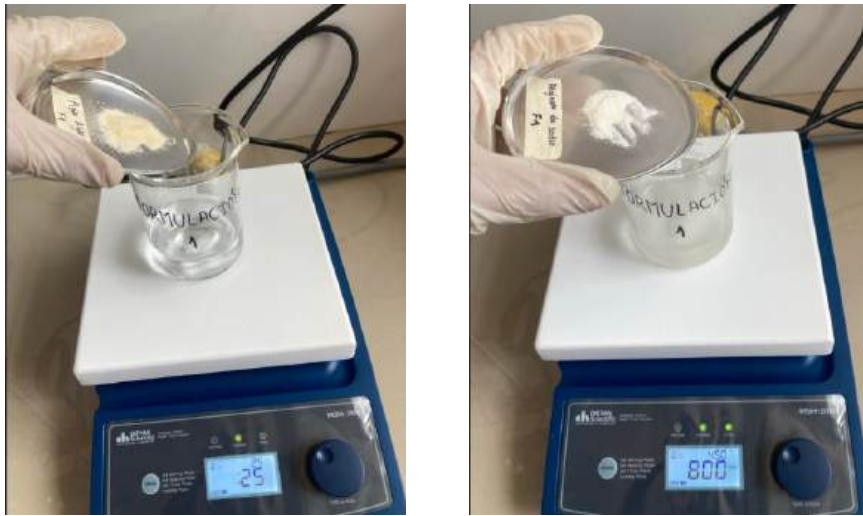
**Figura 68**

*Pesado de glicerol, tween 80 y agua destilada.*



**Figura 69**

*Proceso de agitación del agua destilada con agar-agar y alginato de sodio en el equipo agitador magnético a temperatura de 45 °C durante 25 minutos a 800 RPM.*



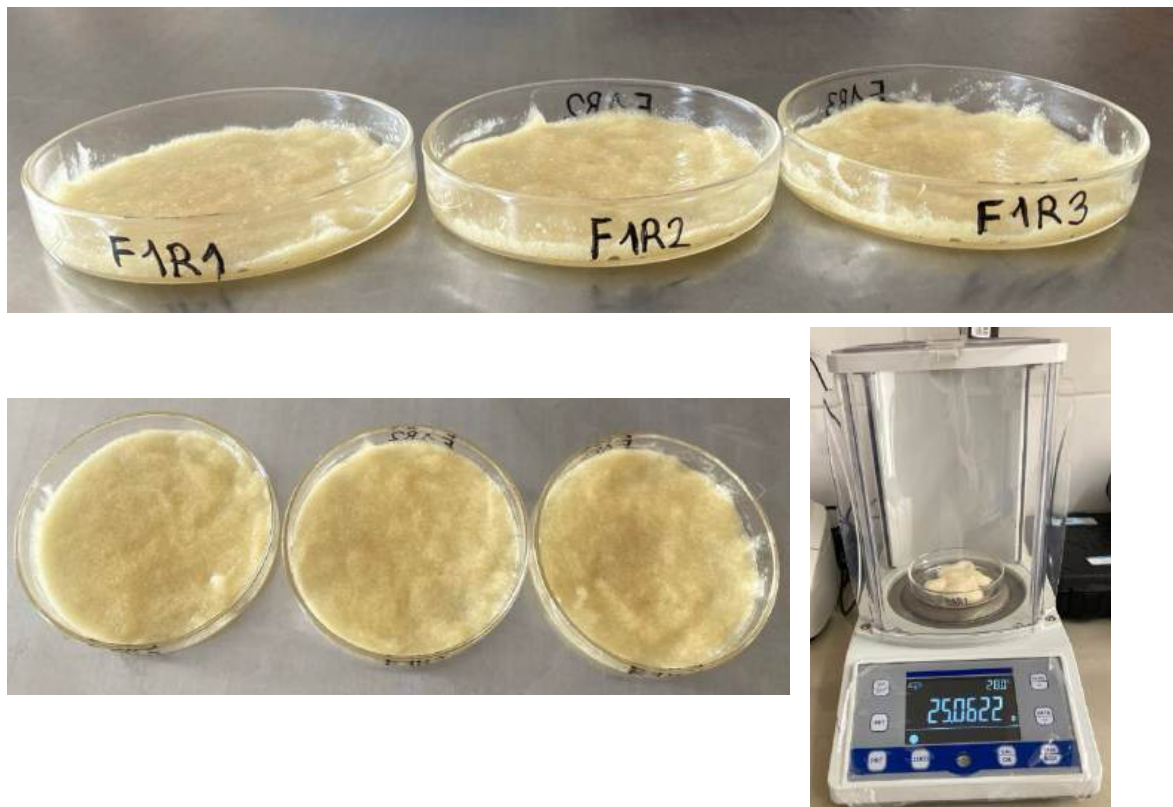
**Figura 70**

*Homogeneizado de micropartículas de cáscara de naranja, goma xantana, glicerol y tween 80.*



**Figura 71**

*Vertido de solución homogénea en placas Petri y pesado.*



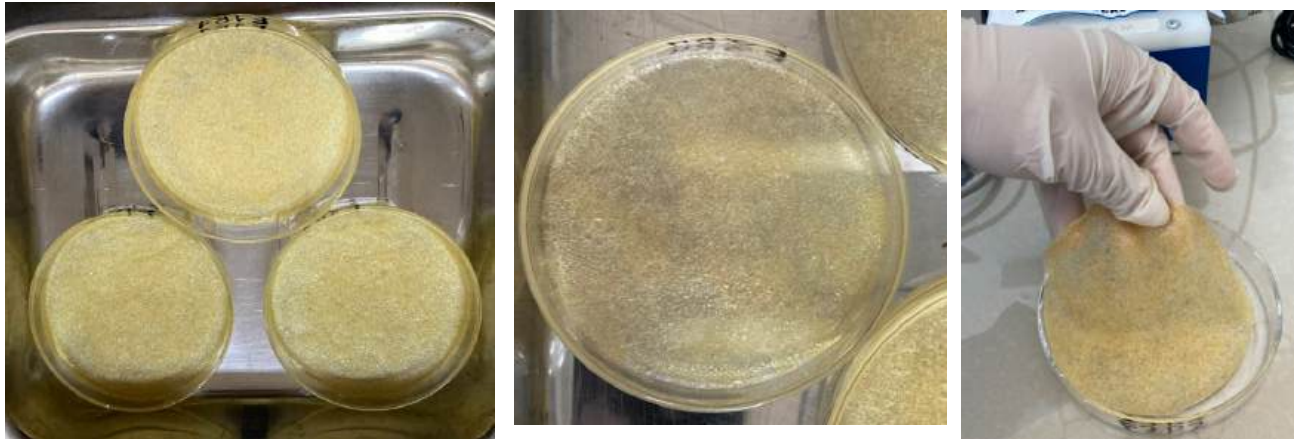
**Figura 72**

*Proceso de secado en estufa a 40 °C durante 2 horas y 30 minutos.*



**Figura 73**

*Desmoldado de biopelículas comestibles.*



**Figura 74**

*Pesado de aceite esencial de orégano de acuerdo a la formulación.*



**Figura 75**

*Aplicación de aceite esencial de orégano por método spray.*



## Anexo 7. Caracterización fisicoquímica de mezcla filmógena y matrices poliméricas.

**Figura 76**

*Determinación de humedad en polímeros.*



**Figura 77**

*Determinación de colorimetría en polímeros.*



**Figura 78**

*Medición de matrices poliméricas con refractómetro.*



**Figura 79**

*Análisis de pH y acidez titulable.*



**Figura 80**

*Colorimetría y refractométrica de mezcla utilizado en biopelículas.*



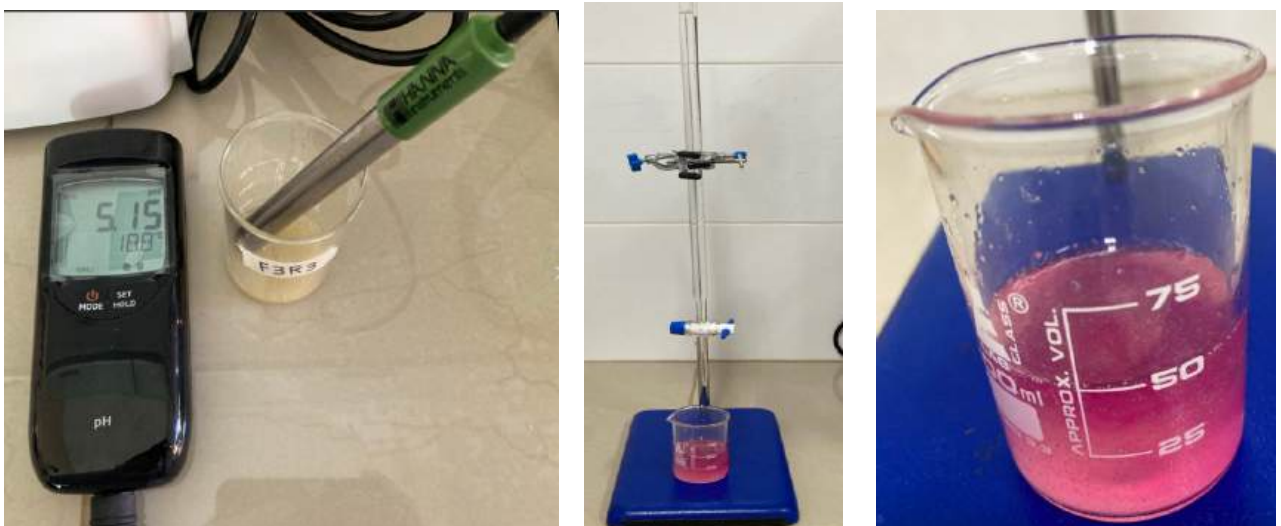
**Figura 81**

*Determinación de densidad en mezclas filmógenas.*



**Figura 82**

*Medición de pH y acidez titulable de mezcla.*



**Tabla 28***Análisis colorimétrico de polímeros.*

Modelo cromático	Matrices poliméricas			Residuo Agroindustrial
	Goma xanthan	Agar Agar	Alginato de sodio	Micropartículas de cáscara de naranja
L*	91,0	84,1	94,8	77,9
a*	1,2	2,8	0,8	5,2
b*	14,3	23,5	10,4	25,4

**Tabla 29***Análisis de refracción de matrices poliméricas.*

Muestras		Análisis con Refractómetro digital Abbemat 3000 - Muestra de mezcla					Índice de refracción (nD)
		Sólidos solubles (°Brix - g/100)	Sacarosa (g/100)	Glucosa (g/100)	Fructosa (g/100)	Azúcar invertido (g/100)	
Materia prima	Micropartículas de cáscara de naranja	6,54	6,79	7,10	7,21	7,15	1,3428
	Goma Xanthan	10,2	10,22	10,31	10,46	10,37	1,3480
Matrices poliméricas	Agar Agar	7,11	7,15	19,41	19,53	19,47	1,3623
	Alginato de sodio	7,3	7,3	7,33	7,39	7,36	1,3436

**Tabla 30***Determinación de potencial de hidrógeno en matrices poliméricas.*

	Materia prima	Pesos (g)		pH
	Matrices poliméricas	Micropartículas de cáscara de naranja	Muestra	
Agua destilada			45,0443	
Goma Xanthan		Muestra	5,0471	5,33
		Agua destilada	45,0841	
Agar Agar		Muestra	5,0604	5,93
		Agua destilada	50,0758	
Alginato de sodio		Muestra	5,0812	6,57
		Agua destilada	4,0920	

**Tabla 31***Análisis de acidez titulable en las matrices poliméricas.*

	ácido cítrico	ácido pirúvico	ácido pirúvico	ácido algínico
	<b>Materia prima</b>		<b>Matrices poliméricas</b>	
<b>Pesos (g)</b>	Micropartículas de cáscara de naranja	Goma Xanthan	Agar Agar	Alginato de sodio
Muestra	5,019	5,0471	5,0604	5,0812
Agua destilada	45,0443	45,0841	50,0758	45,0920
Volumen total	50,0633	50,1312	55,1362	50,1732
Gasto total NaOH (ml)	0,7	0,6	0,6	0,8
%Acidez titulable	0,0089	5,2698	4,7914	63,1413

**Tabla 32***Caracterización de humedad inicial en matrices poliméricas utilizadas en biopelículas.*

<b>Caracterización (cuantificación)</b>	<b>Residuo agroindustrial</b>	<b>MATRICES POLIMÉRICAS</b>		
	Micropartículas de cáscara de naranja	Goma xantana	Agar agar	Alginato de sodio
Peso muestra húmeda (g)	5,0259	5,0339	5,0459	5,0170
Tiempo determinación	01:44:29	14:57	15:00	21:32:00
Temperatura °C	120	120	120	120
Muestra seca (g)	3,9891	4,2513	4,3711	4,1967
<b>%M</b>	20,6355	15,5013	13,3526	16,0475
%R	26,0009	18,3450	15,4103	19,115
%D	79,3645	84,4987	86,6474	83,9525

**Tabla 33***Análisis colorimétrico de mezclas para biopelículas comestibles.*

<b>Colorimetría</b>			
<b>Formulaciones</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
Formulación 1	41,1	-0,6	14,5
Formulación 2	46,1	-0,5	15,5
Formulación 3	51	-1,0	18,1
Formulación 4 - Muestra Control	71,9	-1,8	-0,7

**Tabla 34***Caracterización refractométrica de mezclas filmógenas.*

<b>FORMULACIONES</b>	<b>Sólidos solubles (°Brix g/100)</b>	<b>Sacarosa (g/100)</b>	<b>Glucosa (g/100)</b>	<b>Fructosa (g/100)</b>	<b>Azúcar invertido (g/100)</b>	<b>índice de refracción (nD)</b>
<b>F1</b>	17,29	17,28	17,4	17,45	17,42	1,3599
<b>F2</b>	16,76	16,75	16,86	16,92	16,89	1,3590
<b>F3</b>	17,78	17,77	17,9	17,97	17,93	1,3606
<b>F4 - MC</b>	16,55	16,53	16,65	16,73	16,68	1,3585

**Tabla 35***Determinación de densidad aparente de formulaciones filmógenas.*

<b>Formulaciones</b>	<b>Peso picnómetro vacío (g)</b>	<b>Masa picnómetro + líquido referencial</b>	<b>Masa líquida (g)</b>	<b>Masa picnómetro + mezcla</b>	<b>Masa de mezcla Biopelícula</b>	<b>Densidad Aparente g/m<sup>3</sup></b>
Formulación 1	12,3830	23,3616	10,9786	23,1972	10,8142	983,3410
Formulación 2	12,4487	23,3737	10,9250	22,8435	10,3948	949,8421
Formulación 3	12,3881	23,2878	10,8997	22,7697	10,3816	950,8379
Formulación 4 - MC	12,3768	23,3432	10,9664	22,9751	10,5983	964,7812

**Tabla 36***Determinación de pH en formulaciones.*

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4 - MC</b>
Muestra b.h.	5,0805	5,0583	3,0341	5,0126
Agua destilada	45,0137	45,0286	45,022	45,0482
<b>pH</b>	5,11	5,04	4,50	5,13

**Tabla 37***Análisis de acidez titulable en formulaciones filmógenas.*

		<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4 - MC</b>
	<b>Muestra b.h.</b>	5,0805	5,0583	5,0341	5,0126
<b>Pesos (g)</b>	Agua destilada	45,0137	45,0286	45,022	45,0482
	Peso muestra (volumen)	50,0942	50,0869	50,0561	50,0608
<b>Gasto de</b>	Inicio (I)	0	0,4	0,9	1,5
<b>solución NaOH</b>	Fin (F)	0,4	0,9	1,5	1,8
<b>0.1N (mL)</b>					
	<b>Gasto total NaOH 0.1N (mL)</b>	0,4	0,5	0,6	0,3
	<b>% Acidez titulable</b>	<b>0,005110</b>	<b>0,006389</b>	<b>0,007671</b>	<b>0,003835</b>

## Anexo 8. Análisis de muestra de harina de cáscara de naranja.

Figura 83

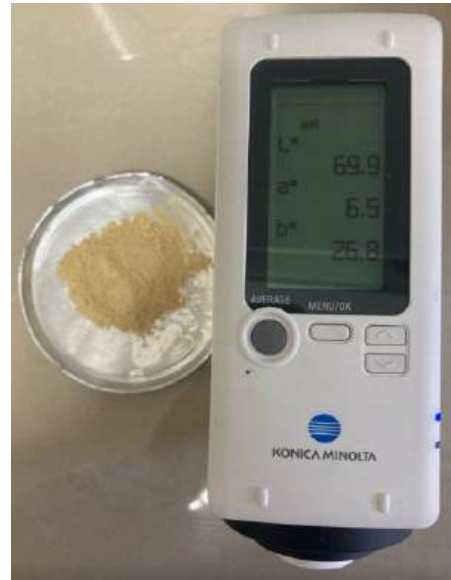
*Determinación de pH, acidez titulable, colorimetría, brix y humedad.*



*pH*



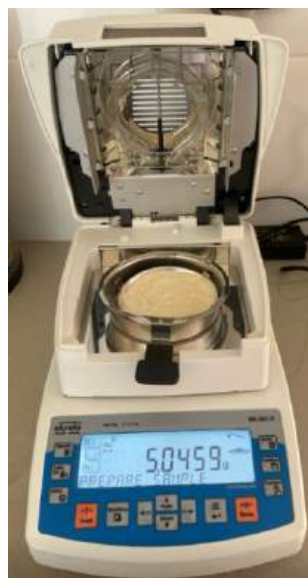
*Acidez Titulable*



*Colorimetría*



*Sólidos solubles*



*Humedad*



## Anexo 9. Análisis fisicoquímicos de biopelículas comestibles.

Figura 84

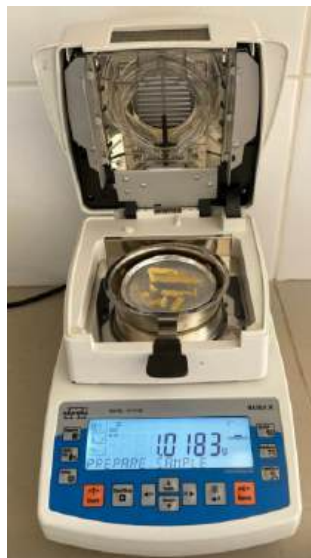
Caracterización de colorimetría, sólidos solubles, humedad, pH y acidez titulable.



Color



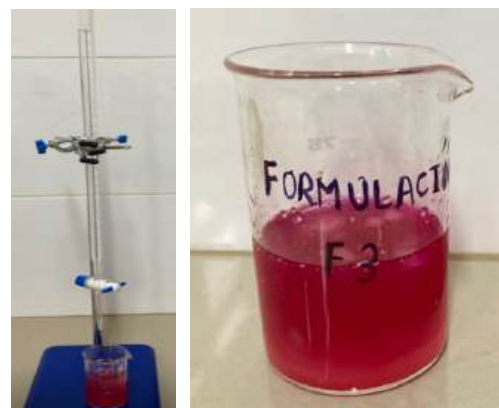
°Brix



Humedad



Potencial de hidrógeno



Acidez titulable

**Figura 85**

*Determinación de pérdida de peso.*



*Peso de placa Petri.*



*Peso inicial*



*Peso final*

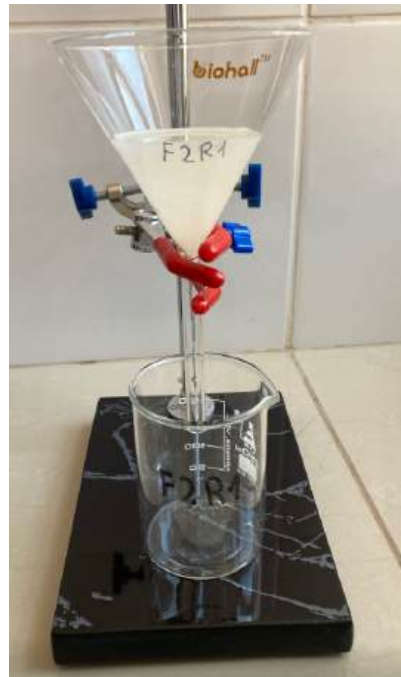
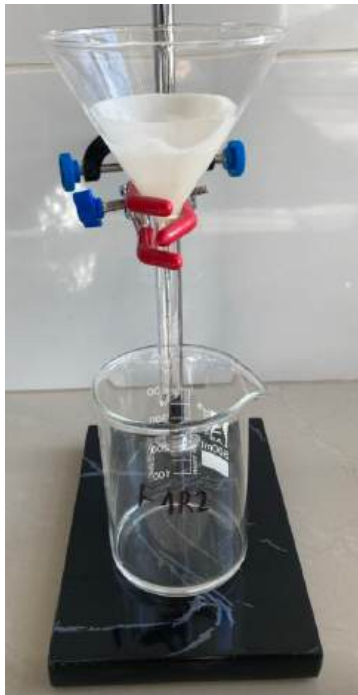
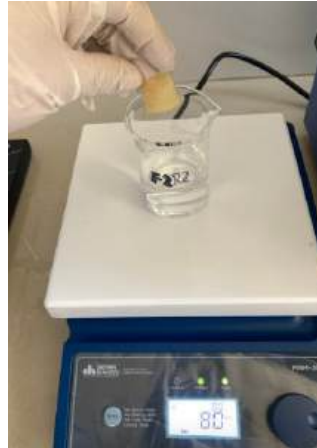
**Figura 86**

*Evaluación sobre densidad y espesor.*



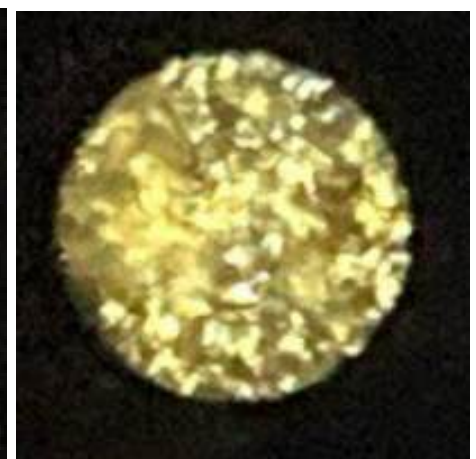
**Figura 87**

*Determinación de índice de solubilidad de las biopelículas.*





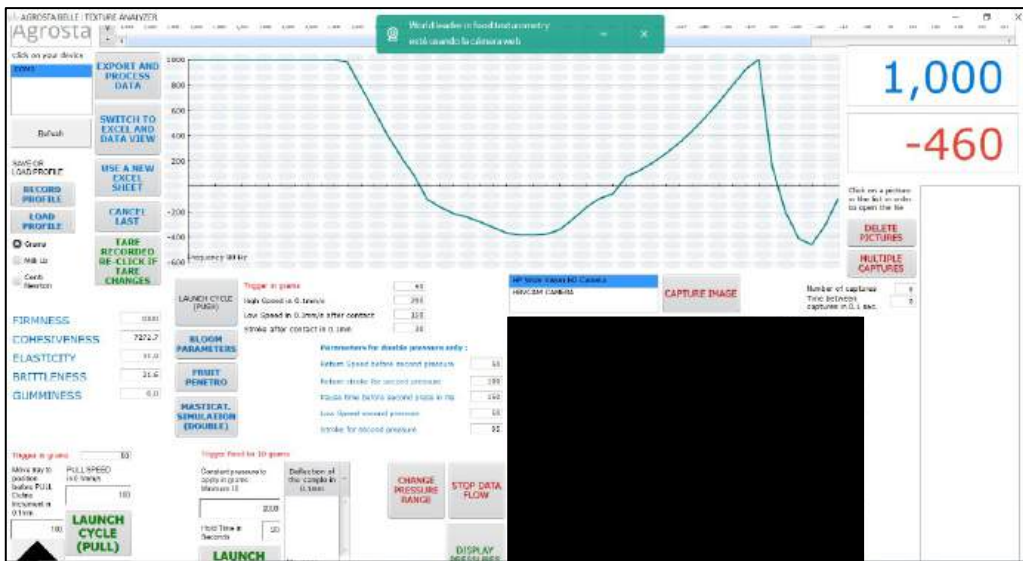
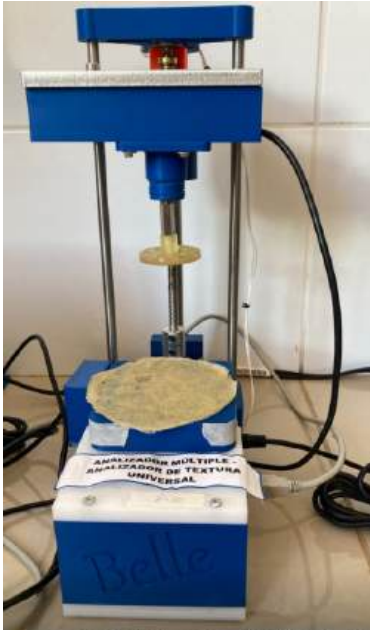
**Anexo 10. Vista microscopio óptico de las biopelículas comestibles.**



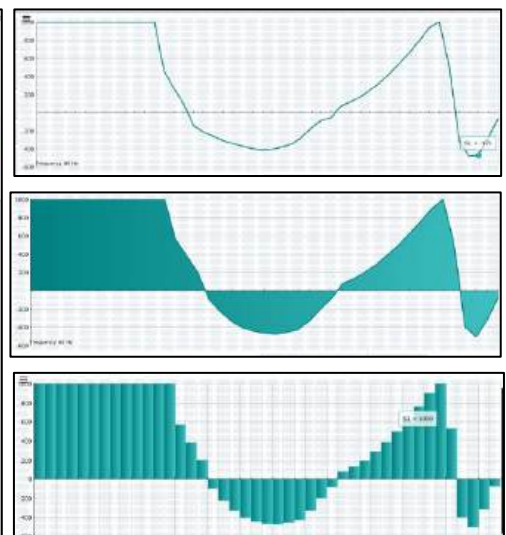
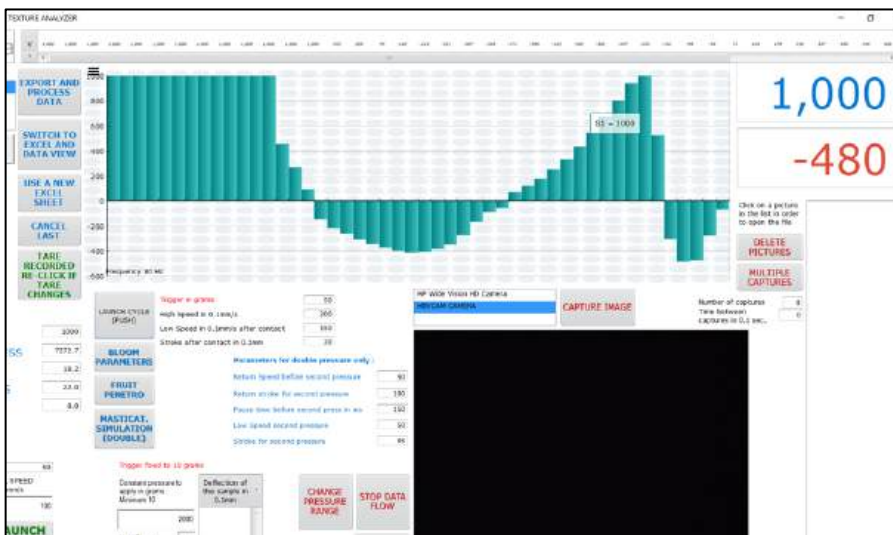
**Tabla 38***Características fisicoquímicas evaluadas en biopelículas comestibles.*

Formulaciones	Repeticiones	Colorimetría			Análisis con Refractómetro digital Abbemat 3000 - Muestra de mezcla					
		L*	a*	b*	Sólidos solubles (°Brix - g/100)	Sacarosa (g/100)	Glucosa (g/100)	Fructosa (g/100)	Azúcar invertido (g/100)	Índice de refracción (nD)
F1	F1R1	65,5	2	23,5	17,29	17,28	17,4	17,45	17,42	1,3599
	F1R2	65,3	2,6	25,5						
	F1R3	67,2	1,3	17,6						
F2	F2R1	61,6	4,6	29,2	16,76	16,75	16,86	16,92	16,89	1,359
	F2R2	61,5	3,6	27,3						
	F2R3	62,1	4,1	28,7						
F3	F3R1	65,7	4,6	28,7	17,78	17,77	17,9	17,97	17,93	1,3606
	F3R2	64,4	4,4	27,1						
	F3R3	63,9	5,4	28,4						
Muestra Control (MC) - F4	MC-F4R1	73,4	-0,4	2,8	16,55	16,53	16,65	16,73	16,68	1,3585
	MC-F4R2	70,8	-0,6	3,6						
	MC-F4R3	69,3	-0,4	2,2						

## Anexo 11. Análisis mecánicos en biopelículas comestibles.



A		B	
61	1000	Nb Values	
62	50		
63			
64	1000	Peak N°1	
65	1000	Peak N°2	
66	1000	Peak N°2	
67	1000	Peak N°2	
68	1000	Test time sec	
69	0.625		
70	0.6375		
71		Total area g.s	
72		Total area g.s	192.1
73	205.4	1st area g.s	
74	152.5	1st area g.s	
75	155.6	2nd area g.s	
76	29.6	2nd area g.s	
77	49.7		
78		Slope of	
79		Rising g/s	
80		Rising g/s	7272.7
81	7272.7	Firmness g	
82	1000	Firmness g	
83	1000	COHESIVENESS g/s	
84	7272.7	ELASTICITY %	
85	18.2	ELASTICITY %	
86	31.9	BRITTLINESS %	
87	22.2	BRITTLINESS %	
88	21.6	BRITTLINESS %	



**Formulación 1**



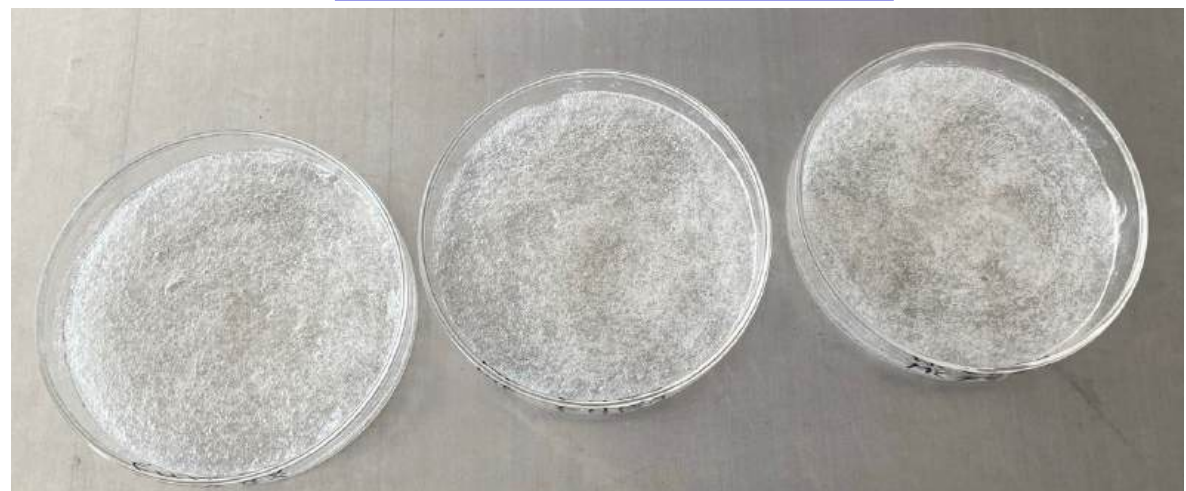
**Formulación 2**



**Formulación 3**



**Muestra Control – F4**



## Anexo 12. Análisis microbiológico de biomateriales comestibles.



CERTIFICACIONES NACIONALES DE ALIMENTOS SAC

### INFORME DE ENSAYO Nº 0544-2024

**SOLICITANTE** : ADAMA ASTETE JHULIANA MILAGROS  
**TESIS** : "APLICACION DE CASCARA DE NARANJA (*Citrus x sinensis*) Y ACEITE ESENCIAL DE OREGANO (*Origanum vulgare*) CON DIFERENTES MATRICES POLIMERICAS EN BIOPELICULAS COMESTIBLES"

#### CERTIFICACIONES NACIONALES DE ALIMENTOS S.A.C. –CENA S.A.C.-INFORMA:

HABER ANALIZADO LA SIGUIENTE MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE.

**PRODUCTO DECLARADO** : BIOPELICULAS COMESTIBLES FORMULACION 1  
**NUMERO DE SOLICITUD** : 0293-2024  
**CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA** : 30 g.  
**CONDICIONES DE RECEPCION** : ENVASADO, EN APARENTE BUEN ESTADO  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : MICROBIOLOGICO  
**FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE TERMINO DE ENSAYOS** : 29 DE JULIO DE 2024

CON LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

#### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO
Recuento de Aerobios Mesófilos	UFC/ g	$7.3 \times 10^2$
Enumeración de Escherichia Coli	NMP/g	< 10

(\*) Recuento estimado en placa

#### MÉTODOS DE ENSAYO:

1. RECUESTO DE AEROBIOS MESÓFILOS: ICMSF. 2DA ED. VOL. 1, MÉTODO 1, PÁG. 120-124. REIMPRESA EN EL 2000, EDITORIAL ACRIBIA.
2. ENUMERACIÓN DE ESCHERICHIA COLI. ICMSF. 2DA ED. VOL. 1, PÁG. 132-134, 138 (M1)-142. REIMPRESIÓN 2000, EDITORIAL ACRIBIA.

#### CONDICIONES

- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CENA S.A.C.
- Este informe es válido exclusivamente para los requisitos indicados, no pudiendo señalarse implícita o explícitamente a otras características que no se indican de la muestra, no pudiendo extenderse sus conclusiones a ninguna otra muestra que no haya intervenido en la recepción, ensayos y cantidad recibida.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad, con normas de producto como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a CENA S.A.C. son de responsabilidad del Solicitante.

HUANCAYO, 29 DE JULIO DE 2024.

CENA S.A.C.

  
Ing. Blanca Roque Lima  
CIP. 167375

## INFORME DE ENSAYO N° 0545-2024

**SOLICITANTE** : ADAMA ASTETE JHULIANA MILAGROS  
**TESIS** : "APLICACION DE CASCARA DE NARANJA (*Citrus x sinensis*) Y ACEITE ESENCIAL DE OREGANO (*Origanum vulgare*) CON DIFERENTES MATRICES POLIMERICAS EN BIOPELICULAS COMESTIBLES"

### CERTIFICACIONES NACIONALES DE ALIMENTOS S.A.C. –CENA S.A.C.-INFORMA:

HABER ANALIZADO LA SIGUIENTE MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE.

**PRODUCTO DECLARADO** : BIOPELICULAS COMESTIBLES FORMULACION 2  
**NUMERO DE SOLICITUD** : 0294-2024  
**CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA** : 30 g.  
**CONDICIONES DE RECEPCION** : ENVASADO, EN APARENTE BUEN ESTADO  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : MICROBIOLOGICO  
**FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE TERMINO DE ENSAYOS** : 29 DE JULIO DE 2024

CON LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

#### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO
Recuento de Aerobios Mesófilos	UFC/ g	$8.1 \times 10^2$
Enumeración de Escherichia Coli	NMP/g	< 10

(\*) Recuento estimado en placa

#### METODOS DE ENSAYO:

1. RECUESTO DE AEROBIOS MESÓFILOS: ICMSF, 2DA ED. VOL. 1, MÉTODO 1, PAG. 120-124. REIMPRESA EN EL 2000. EDITORIAL ACRIBIA.
2. ENUMERACIÓN DE ESCHERICHIA COLI: ICMSF, 2DA ED. VOL. 1, PAG. 132-134, 138 (M1)-142. REIMPRESIÓN 2000. EDITORIAL ACRIBIA.

#### CONDICIONES

- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CENA S.A.C.
- Este informe es válido exclusivamente para los requisitos indicados, no pudiendo señalarse implícita o explícitamente a otras características que no se indican de la muestra, no pudiendo extenderse sus conclusiones a ninguna otra muestra que no haya intervenido en la recepción, ensayos y cantidad recibida.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad, con normas de producto como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a CENA S.A.C. son de responsabilidad del Solicitante.

HUANCAYO, 29 DE JULIO DE 2024.

CENA S.A.C.

Ing. Blanca Roque Lima  
CIP. 167375

## INFORME DE ENSAYO N° 0546-2024

**SOLICITANTE** : ADAMA ASTETE JHULIANA MILAGROS  
**TESIS** : "APLICACION DE CASCARA DE NARANJA (*Citrus x sinensis*) Y ACEITE ESENCIAL DE OREGANO (*Origanum vulgare*) CON DIFERENTES MATRICES POLIMERICAS EN BIOPELICULAS COMESTIBLES"

### CERTIFICACIONES NACIONALES DE ALIMENTOS S.A.C. -CENA S.A.C.-INFORMA: HABER ANALIZADO LA SIGUIENTE MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE.

**PRODUCTO DECLARADO** : BIOPELICULAS COMESTIBLES FORMULACION 3  
**NUMERO DE SOLICITUD** : 0295-2024  
**CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA** : 30 g.  
**CONDICIONES DE RECEPCION** : ENVASADO, EN APARENTE BUEN ESTADO  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : MICROBIOLOGICO  
**FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE TERMINO DE ENSAYOS** : 29 DE JULIO DE 2024

#### CON LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

#### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO
Recuento de Aerobios Mesófilos	UFC/g	$5.9 \times 10^2$
Enumeración de Escherichia Coli	NMP/g	< 10

(\*) Recuento estimado en placa

#### MÉTODOS DE ENSAYO:

1. RECUESTO DE AEROBIOS MESÓFILOS: ICMSF, 2DA ED. VOL. 1, MÉTODO 1, PAG. 120-124. REIMPRESA EN EL 2000. EDITORIAL ACRIBIA.
2. ENUMERACIÓN DE ESCHERICHIA COLI: ICMSF, 2DA ED. VOL. 1, PAG. 132-134, 136 (M1)-142. REIMPRESIÓN 2000. EDITORIAL ACRIBIA.

#### CONDICIONES

- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CENA S.A.C.
- Este informe es válido exclusivamente para los requisitos indicados, no pudiendo señalarse implícita o explícitamente a otras características que no se indican de la muestra, no pudiendo extenderse sus conclusiones a ninguna otra muestra que no haya intervenido en la recepción, ensayos y cantidad recibida.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad, con normas de producto como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a CENA S.A.C. son de responsabilidad del Solicitante.

HUANCAYO, 29 DE JULIO DE 2024.

CENA S.A.C.

  
Ing. Blanca Roque Lima  
CIP. 167375

## INFORME DE ENSAYO N° 0543-2024

**SOLICITANTE** : ADAMA ASTETE JHULIANA MILAGROS  
**TESIS** : "APLICACION DE CASCARA DE NARANJA (*Citrus x sinensis*) Y ACEITE ESENCIAL DE OREGANO (*Origanum vulgare*) CON DIFERENTES MATRICES POLIMERICAS EN BIOPELICULAS COMESTIBLES"

**CERTIFICACIONES NACIONALES DE ALIMENTOS S.A.C. –CENA S.A.C.-INFORMA:**  
HABER ANALIZADO LA SIGUIENTE MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE.

**PRODUCTO DECLARADO** : BIOPELICULAS COMESTIBLES MUESTRA CONTROL F4  
**NUMERO DE SOLICITUD** : 0292-2024  
**CANTIDAD DE MUESTRA RECIBIDA** : 30 g  
**CONDICIONES DE RECEPCION** : ENVASADO, EN APARENTE BUEN ESTADO  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : MICROBIOLOGICO  
**FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS** : 22 DE JULIO DE 2024  
**FECHA DE TERMINO DE ENSAYOS** : 29 DE JULIO DE 2024

CON LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO
Recuento de Aerobios Mesófilos	UFC/ g	$9.9 \times 10^2$
Enumeración de Escherichia Coli	NMP/g	< 10

(\*) Recuento estimado en placa

#### METODOS DE ENSAYO:

1. RECUESTO DE AEROBIOS MESÓFILOS. ICMSF 2DA ED. VOL. 1, MÉTODO 1, PÁG. 120-124. REIMPRESA EN EL 2000, EDITORIAL ACRIBIA.
2. ENUMERACIÓN DE ESCHERICHIA COLI. ICMSF 2DA ED. VOL. 1, PÁG. 132-134, 138 (M1)-142. REIMPRESIÓN 2000, EDITORIAL ACRIBIA.

#### CONDICIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CENA S.A.C.

Este informe es válido exclusivamente para los requisitos indicados, no pudiendo señalarse implícita o explícitamente a otras características que no se indican de la muestra, no pudiendo extenderse sus conclusiones a ninguna otra muestra que no haya intervenido en la recepción, ensayos y cantidad recibida.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad, con normas de producto como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a CENA S.A.C. son de responsabilidad del Solicitante.

HUANCAYO, 29 DE JULIO DE 2024.

CENA S.A.C.

  
Ing. Blanca Roque Lima  
CIP: 167375

**Anexo 13. Normas sanitarias según MINSA/DIGESA: Alimentos y bebidas para consumo humano.**

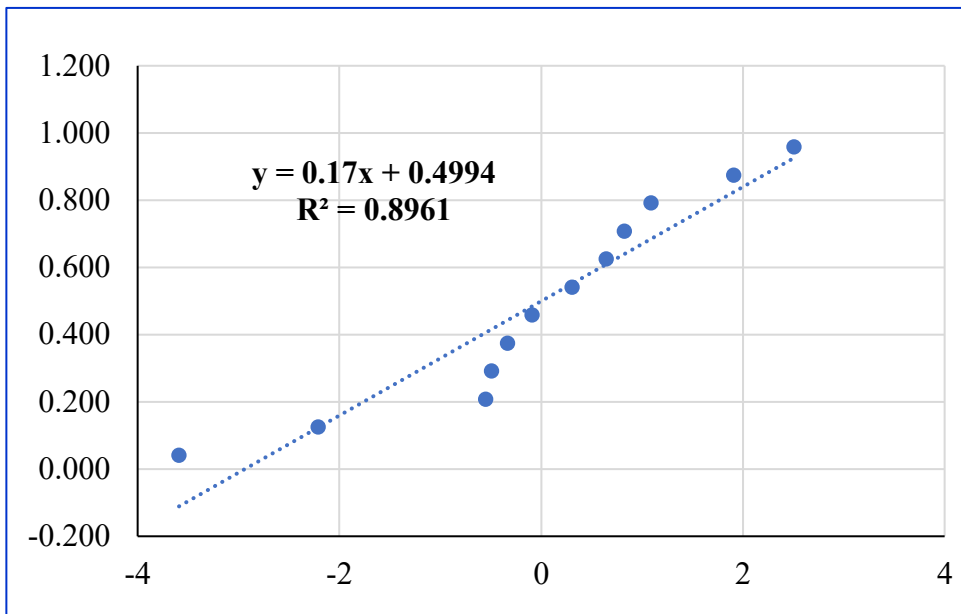
<b>IV. PRODUCTOS DESHIDRATADOS: LIOFILIZADOS O CONCENTRADOS Y MEZCLAS.</b>						
<b>IV.1 Sopas, caldos, cremas, salsas y puré de papas de uso instantáneo que no requieren cocción.</b>						
Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Limite por g	
					m	M
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	10 <sup>2</sup>
<i>Staphylococcus aureus</i>	8	3	5	1	10	10 <sup>2</sup>
<i>Bacillus cereus</i>	7	3	5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
<i>Clostridium perfringens</i> (*)	8	3	5	1	10	10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia /25 g	---
Mohos	3	3	5	1	10	10 <sup>2</sup>
(*) Sólo para productos que contengan carnes.						
<b>IV.2 Sopas, cremas, salsas y purés de legumbres u otros deshidratados que requieren cocción.</b>						
Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Limite por g	
					m	M
Aerobios mesófilos	3	3	5	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>
Coliformes	4	3	5	3	10	10 <sup>2</sup>
<i>Bacillus cereus</i>	7	3	5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
<i>Clostridium perfringens</i> (*)	8	3	5	1	10	10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia /25 g	---
(*) Solo para productos que contengan carnes.						

<b>XIV. FRUTAS, HORTALIZAS, FRUTOS SECOS Y OTROS VEGETALES.</b>						
<b>XIV.3 Frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas.</b>						
Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Limite por g	
					m	M
Mohos	2	3	5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
Levaduras	2	3	5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	5 x 10 <sup>2</sup>
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia /25 g	---

## Anexo 14. Modelos de regresión lineal de los datos.

**Figura 88**

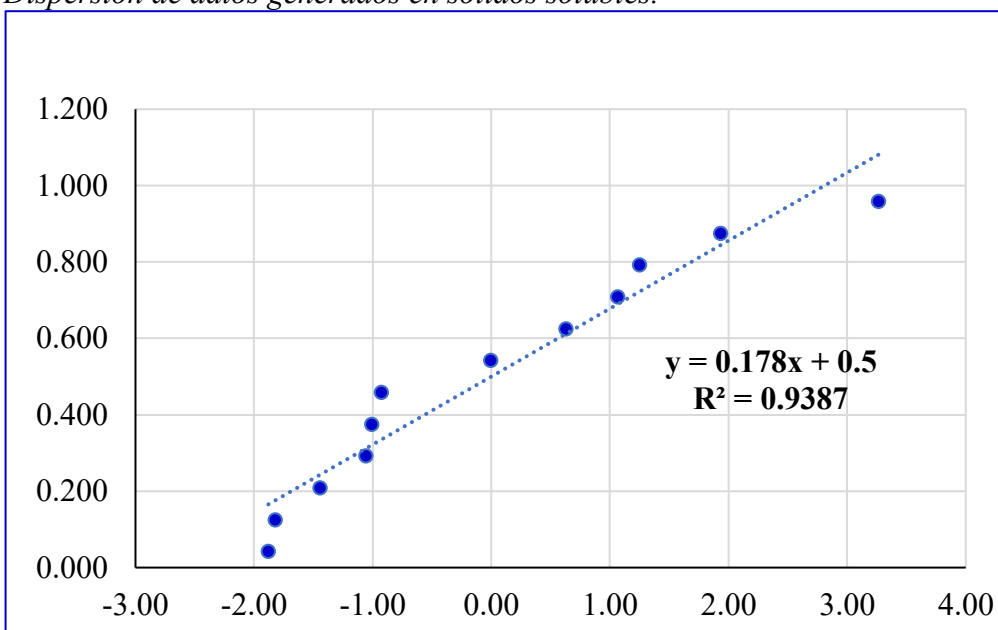
*Comportamiento de datos obtenidos en color diferencial.*



**Interpretación:** La figura detalla una distribución de datos sobre la característica óptica de color diferencial que exterioriza una tendencia con ajuste lineal.

**Figura 89**

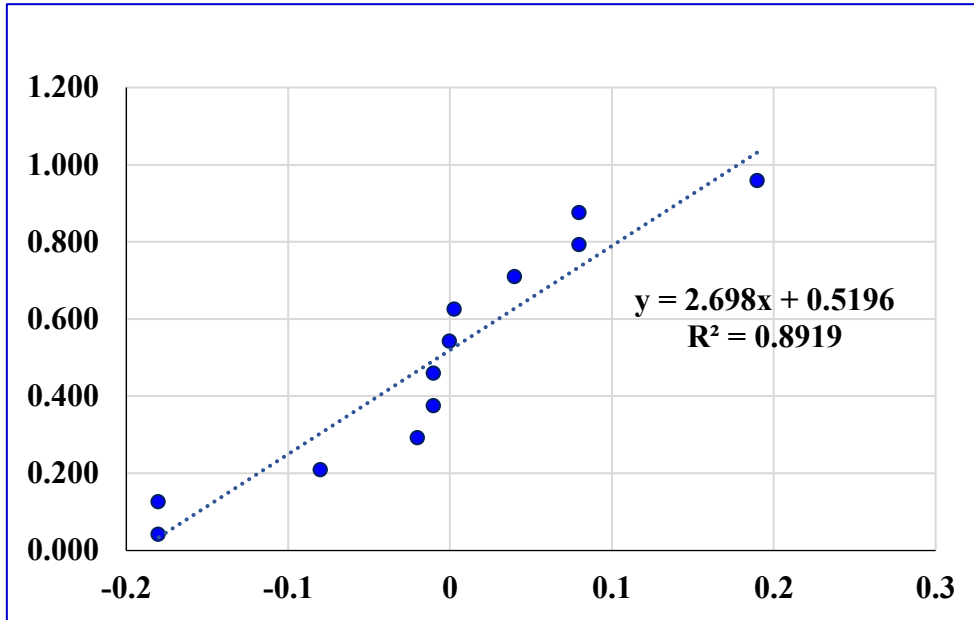
*Dispersión de datos generados en sólidos solubles.*



**Interpretación:** En el esquema detalla la disgregación de valores que siguen un modelo de regresión lineal enfocado por la variable dependiente para el desarrollo de obtención de datos relacionados con ambos factores (V.X y V.Y).

**Figura 90**

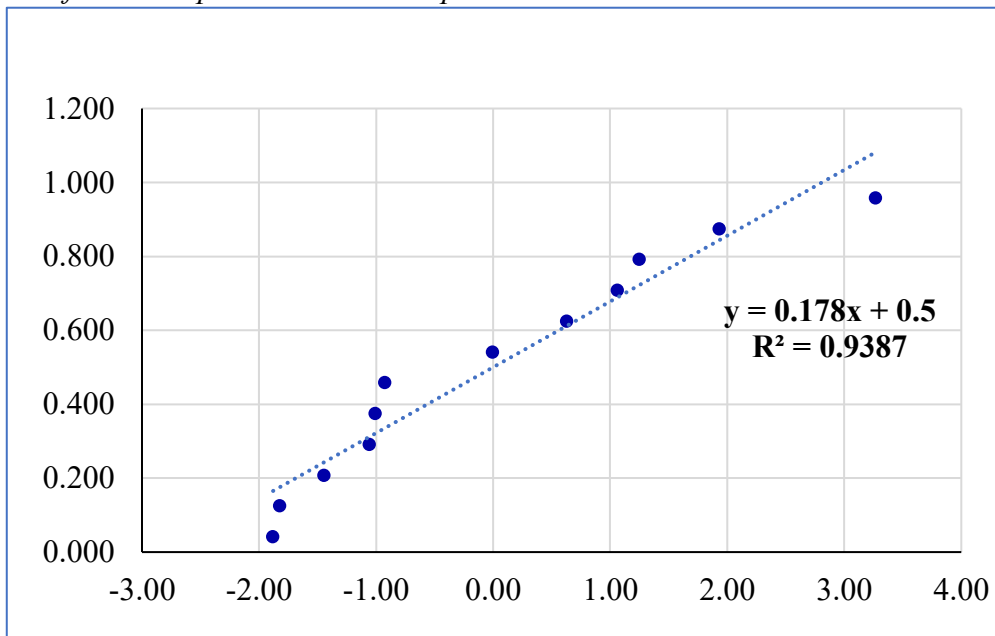
*Comportamientos de los valores para potencial de hidrógeno.*



**Interpretación:** En la figura presenta el modelo con ajuste lineal de valores generados a partir de pH en las biopelículas.

**Figura 91**

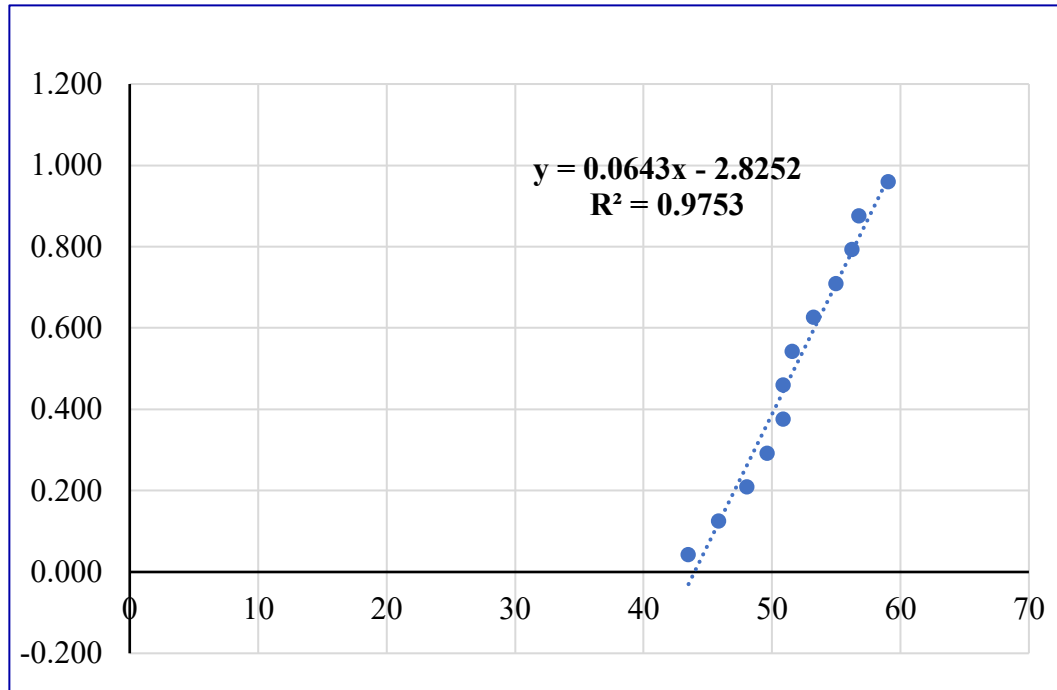
*Gráfica de dispersión de valores para acidez titulable.*



**Interpretación:** En la imagen muestra los puntos de datos distribuidos alrededor de la línea recta con dispersión baja relacionada con la pendiente positiva del ajuste lineal.

**Figura 92**

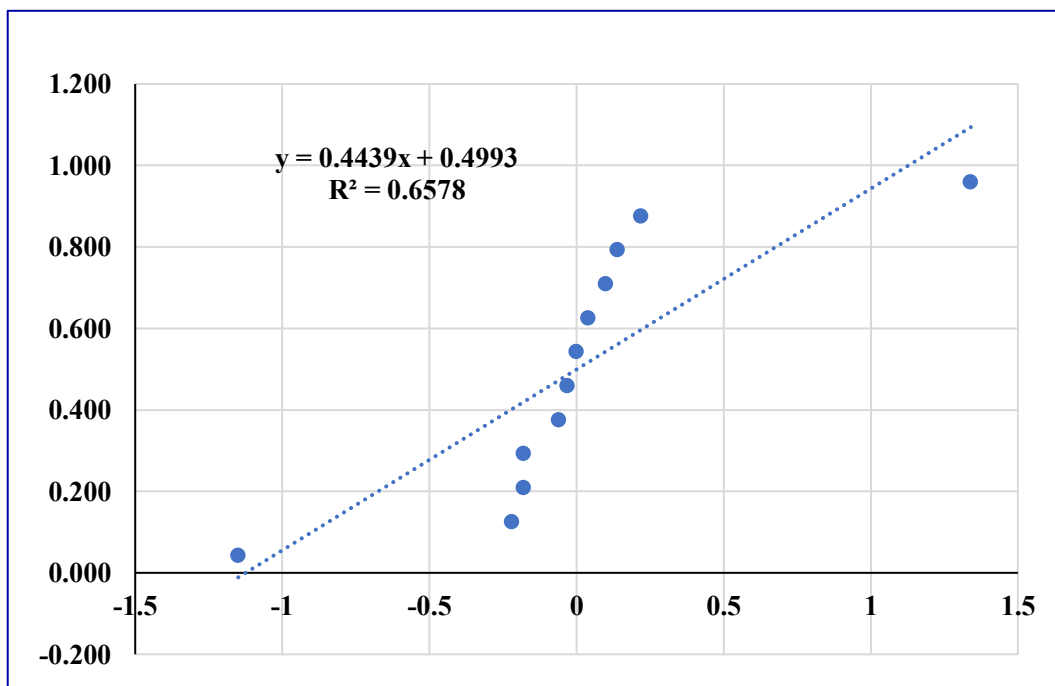
*Distribución de valores para humedad del biomaterial.*



**Interpretación:** En la figura evidencia una distribución de datos para la característica humedad con tendencia de ajuste lineal en las muestras de biopelículas comestibles.

**Figura 93**

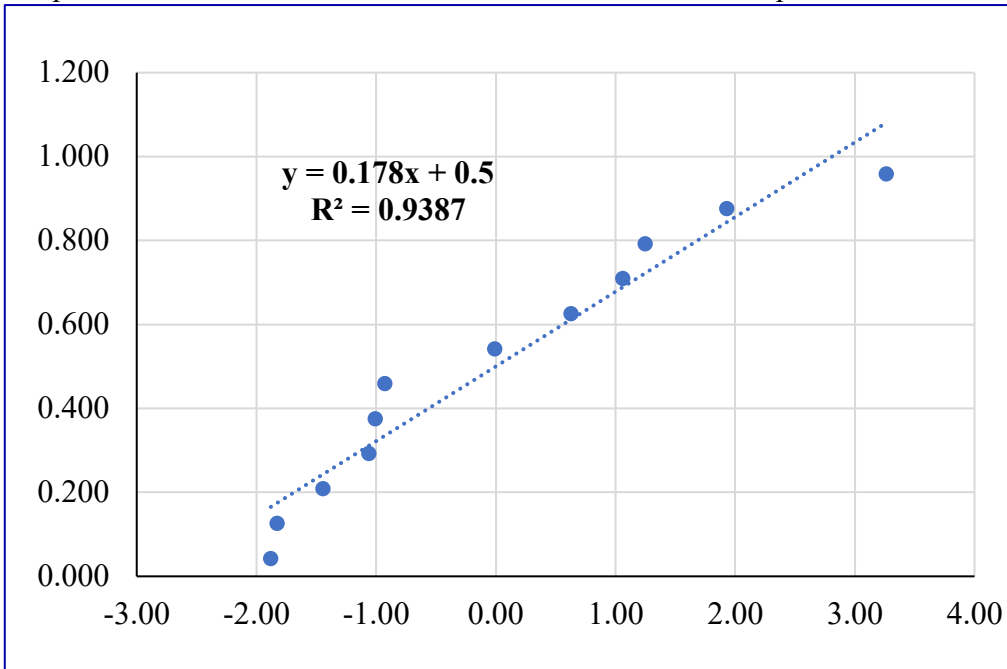
*Distribución de los datos del indicador pérdida de peso.*



**Interpretación:** De acuerdo a la figura presentada del modelo de regresión a partir de datos mantiene un comportamiento de ajuste normal de acuerdo a la figura observada, donde los puntos se encuentran cercano a la línea central, influenciado por la variable independiente (componentes: cáscara de naranja y matrices poliméricas) empleados en las biopelículas.

**Figura 94**

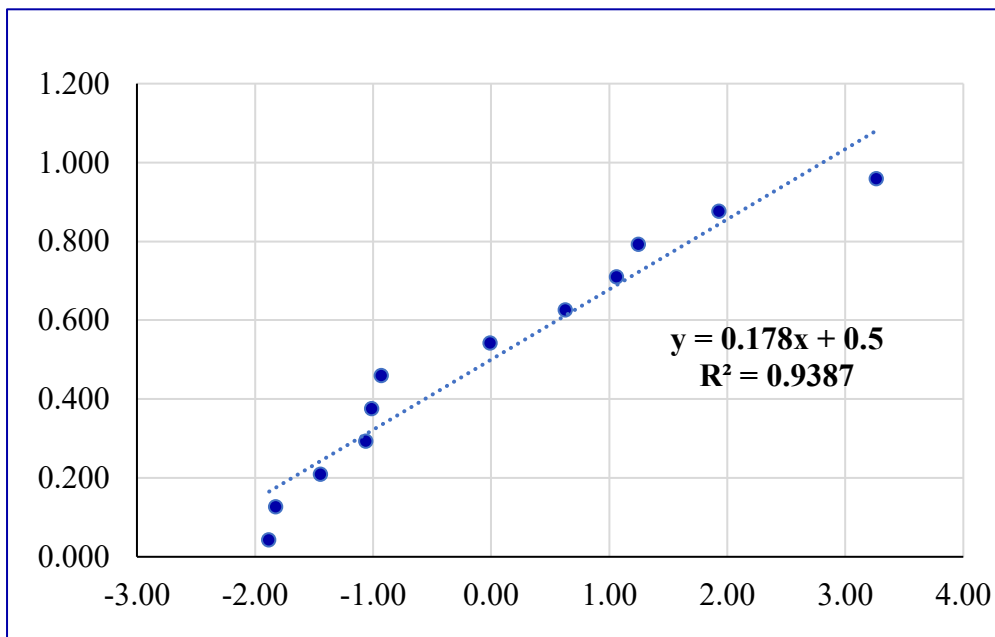
*Dispersión de los valores obtenido en las densidades de biopelículas comestibles.*



**Interpretación:** En la figura exhibe el modelamiento influenciado por ambas variables (independiente y dependiente) para generar los valores distribuidos con ajuste lineal positivo.

**Figura 95**

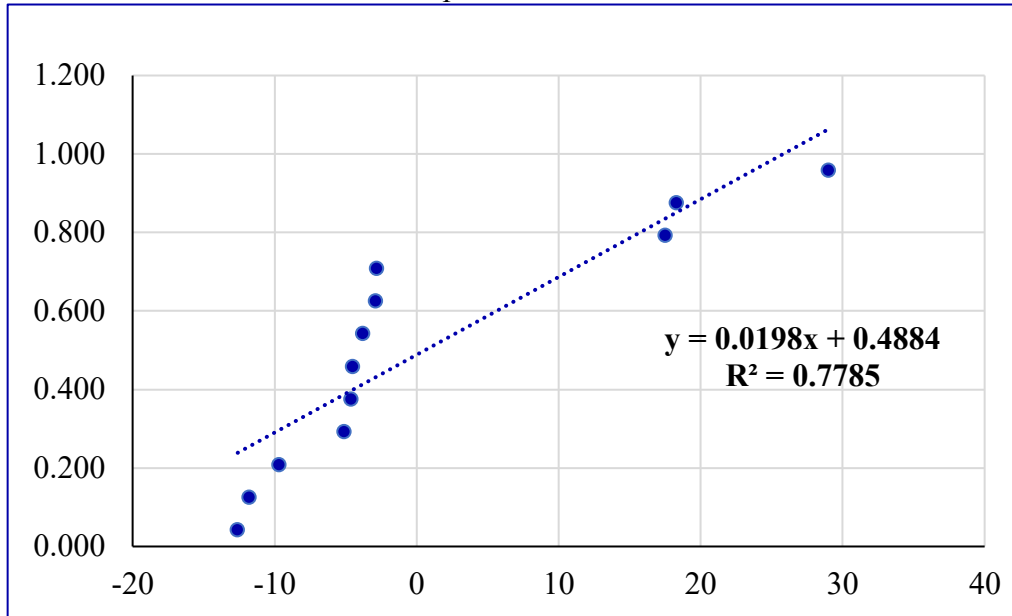
*Variación del espesor en biopelículas comestibles.*



**Interpretación:** La gráfica de modelamiento estadístico muestra valores disgregadas alrededor de la línea central que permite calificar un ajuste lineal con predicción del comportamiento del espesor medido en el biometrial.

**Figura 96**

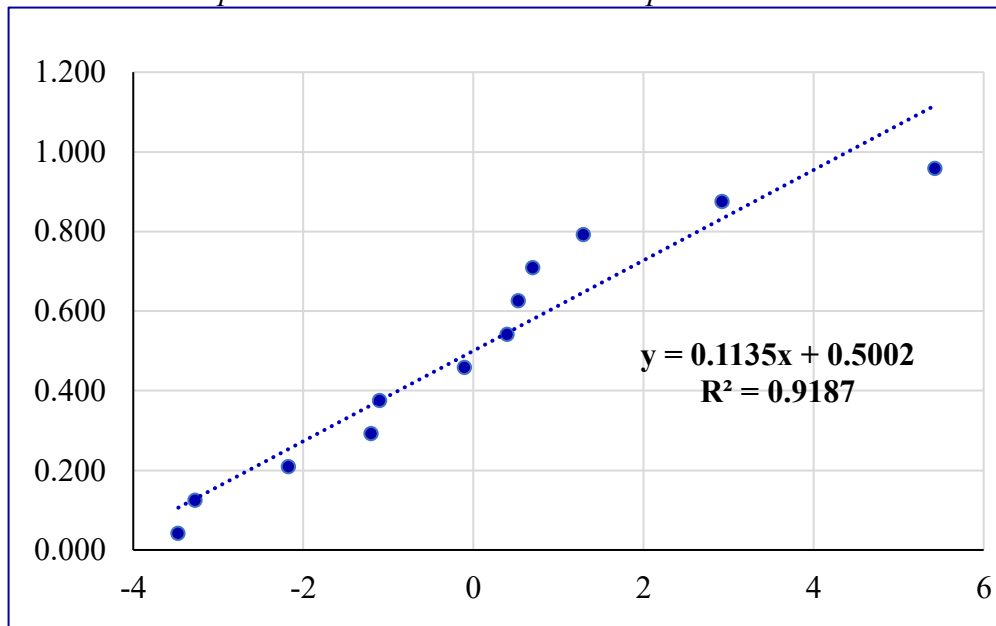
*Variabilidad de elasticidad en biopelículas comestibles.*



**Interpretación:** La gráfica exhibe una distribución de los datos pertenecientes a la propiedad elasticidad en las biopelículas proporcionando un comportamiento de ajuste lineal.

**Figura 97**

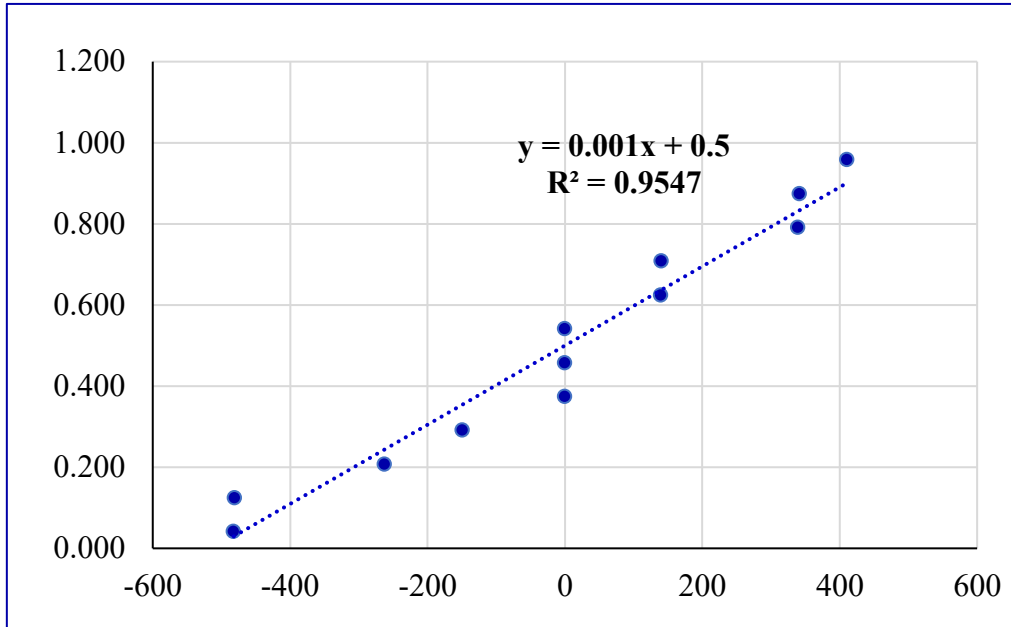
*Análisis del comportamiento de resistencia en biopelículas.*



**Interpretación:** El modelo indica un ajuste lineal utilizando los datos de medición métrica para resistencia analizada en las biopelículas.

**Figura 98**

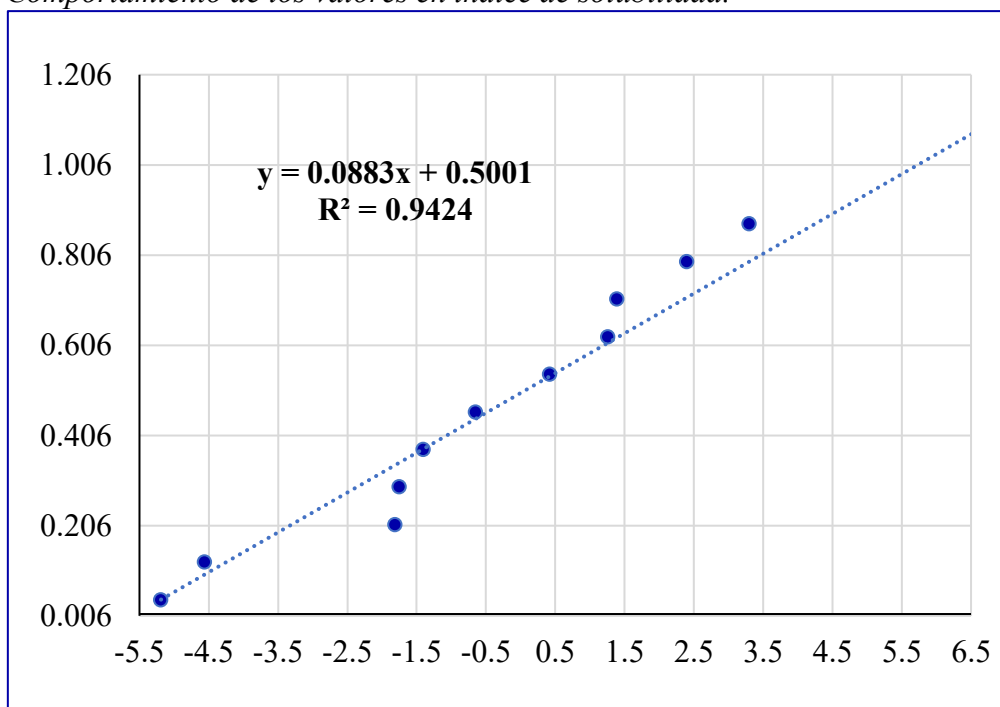
*Variación de datos reportados para cohesión.*



**Interpretación:** El modelo de regresión facilita la comprensión de la estimación más confiable que indica la relación de la propiedad mecánica estudiada de cohesión y los datos obtenidos para comprobar el tipo de ajuste lineal simple.

**Figura 99**

*Comportamiento de los valores en índice de solubilidad.*



**Interpretación:** La figura expone la dirección positiva acorde a los datos obtenidos para el análisis de ajuste lineal en la característica de solubilidad en biopelículas.

**Anexo 15. Resultados estadísticos para obtener el mejor tratamiento respecto a características fisicoquímicas y mecánicas.**

**Tabla 39**

*Análisis de varianza para diferencia de color total en biopelículas comestibles.*

Fuente de variación (FV)	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F calculada (Fc)	F tablas (Ft)	p-valor
Biopelículas comestibles	3,00	561,2588	187,0863	48,6326	4,07	<b>0,000017592</b>
Error	8,00	30,7755	3,8469			
Total	11,00	592,0343				

**Tabla 40**

*Comparación de Tukey para color total.*

Biopelículas	Promedio	N	Agrupación
F2-BC	36,603	3	A
F3-BC	34,243	3	A B
F1-BC	29,433	3	B
MC F4-BC	18,803	3	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Tabla 41**

*Análisis de varianza para °brix en biopelículas comestibles.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	p-valor
Biopelículas comestibles	3,00	4672,0070	1557,3357	76,6910	4,07	<b>0,000003095</b>
Error	8,00	162,4530	20,3066			
Total	11,00	4834,4600				

**Tabla 42***Comparación de Tukey para sólidos solubles.*

Biopelículas	Promedio	N	Agrupación
MC F4-BC	61,81	3	A
F2-BC	18,31	3	B
F1-BC	17,51	3	B
F3-BC	13,49	3	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.**Tabla 43***Análisis de varianza (ANOVA) para potencial de hidrógeno en biopelículas comestibles.*

FV	GL	SC	CM	(Fc)	(Ft)	p-valor
Biopelículas comestibles	3,00	7,9115	2,6372	160,395	4,07	<b>0,000000175</b>
Error	8,00	0,1315	0,0164			
Total	11,00	8,0430				

**Tabla 44***Comparación de Tukey para pH.*

Biopelículas	Promedio	N	Agrupación
MC F4-BC	7,003333333	3	A
F2-BC	5,16	3	B
F1-BC	5,13	3	B
F3-BC	5,096666667	3	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.**Tabla 45***Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre el efecto de acidez titulable.*

	Formulaciones			
	F1-BC	F2-BC	F3-BC	MC F4-BC
	0,038	0,032	0,032	0,044
	0,025	0,044	0,044	0,038
	0,038	0,025	0,044	0,045
<b>Suma (<math>\Sigma X_i</math>):</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>

**Tabla 46***Análisis de varianza para acidez titulable en biopelículas comestibles.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	p-valor
Biopelículas comestibles	3,00	0,0002	0,0001	1,1180	4,07	<b>0,397464069</b>
Error	8,00	0,0004	0,0001			
Total	11,00	0,0006				

**Tabla 47***Comparación de Tukey para acidez titulable.*

Biopelículas	Promedio	N	Agrupación
MC F4-BC	0,042	4	A
F3-BC	0,040	4	A
F2-BC	0,033	4	A
F1-BC	0,033	4	A

*Nota.* Las medias que no compartan una letra son significativamente diferentes.**Tabla 48***Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre el efecto de humedad.*

	Muestras			
	F1-BC	F2-BC	F3-BC	MC F4-BC
	43,4959	56,8234	48,1	51,6332
	50,8975	53,2776	59,1	56,2726
	49,6388	45,8749	50,9	54,9962
<b>Suma (<math>\Sigma X_i</math>):</b>	144,03	155,98	155,06	162,90

**Tabla 49***Análisis de varianza para humedad en biopelículas comestibles.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	p-valor
Biopelículas comestibles	3,00	64,2660	21,4220	1,0063	4,07	<b>0,438641846</b>
Error	8,00	170,3058	21,2882			
Total	11,00	234,5718				

**Tabla 50***Comparación de Tukey para humedad en biopelículas.*

<b>Biopelículas</b>	<b>Promedio</b>	<b>N</b>	<b>Agrupación</b>
MC F4-BC	54,3006667	4	A
F3-BC	52,6856667	4	A
F2-BC	51,9919667	4	A
F1-BC	48,0107333	4	A

*Nota.* Las medias que no etiquetadas con letra "A" son significativamente diferentes.

**Tabla 51***Análisis de varianza pérdida de peso en biopelículas comestibles.*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>	<b>p-valor</b>
Biopelículas comestibles	3,00	22,2577	7,4192	17,9174	4,07	<b>0,000656244</b>
Error	8,00	3,3127	0,4141			
Total	11,00	25,5704				

**Tabla 52***Comparación de Tukey para pérdida de peso en biopelículas.*

<b>Biopelículas</b>	<b>Promedio</b>	<b>N</b>	<b>Agrupación</b>
MC F4-BC	77,0717	4	A
F3-BC	75,1701667	4	B
F1-BC	73,9935	4	B
F2-BC	73,5520333	4	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Tabla 53***Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre la determinación densidad.*

	<b>Muestras</b>			
	<b>F1-BC</b>	<b>F2-BC</b>	<b>F3-BC</b>	<b>MC F4-BC</b>
	0,0009	0,0010	0,0009	0,0009
	0,0008	0,0009	0,0009	0,0011
	0,0008	0,0009	0,0007	0,0008
<b>Suma (<math>\Sigma X</math>):</b>	0,003	0,003	0,003	0,003

**Tabla 54***Análisis de varianza para densidad en biopelículas comestibles.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	p-valor
Biopelículas comestibles	3,00	0,000000030	0,000000010	0,9231	4,07	<b>0,472458164</b>
Error	8,00	0,000000087	0,000000011			
Total	11,00	0,000000117				

**Tabla 55***Comparación de Tukey para densidad en biopelículas.*

Biopelículas	Promedio	N	Agrupación
MC F4-BC	0,00093333	4	A
F2-BC	0,00093333	4	A
F1-BC	0,00083333	4	A
F3-BC	0,00083333	4	A

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.**Tabla 56***Resultados de los tratamientos de biopelículas sobre la determinación espesor.*

	F1-BC	F2-BC	F3-BC	MC F4-BC
	0,75	0,70	0,76	0,75
	0,88	0,80	0,75	0,60
	0,93	0,84	0,98	0,86
<b>Suma (<math>\Sigma X_i</math>):</b>	2,56	2,34	2,49	2,21

**Tabla 57***Análisis de varianza para espesor en biopelículas comestibles.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	p-valor
Biopelículas comestibles	3,00	0,0245	0,0082	0,6829	4,07	<b>0,586975</b>
Error	8,00	0,0955	0,0119			
Total	11,00	0,1200				

**Tabla 58***Comparación de Tukey para espesor de biopelículas.*

<b>Biopelículas</b>	<b>Promedio</b>	<b>N</b>	<b>Agrupación</b>
F1-BC	0,85333333	4	A
F3-BC	0,83	4	A
F2-BC	0,78	4	A
MC F4-BC	0,73666667	4	A

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.**Tabla 59***Análisis de varianza para elasticidad en biopelículas comestibles.*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>	<b>p-valor</b>
Biopelículas comestibles	3,00	1878,4167	626,1389	55,7559	4,07	<b>0,000010485</b>
Error	8,00	89,8400	11,2300			
Total	11,00	1968,2567				

**Tabla 60***Comparación de Tukey para elasticidad en biopelículas.*

<b>Biopelículas</b>	<b>Promedio</b>	<b>N</b>	<b>Agrupación</b>
F1-BC	21,6	4	A
F3-BC	-3,4333	4	B
F2-BC	-4,4667	4	B
MC F4-BC	-1,3667	4	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.**Tabla 61***Análisis de varianza para resistencia en biopelículas comestibles.*

<b>Fuente de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (gl)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>F calculada (Fc)</b>	<b>F tablas (Ft)</b>	<b>p-valor</b>
Biopelículas comestibles	3,00	2647,2158	882,4053	99,7162	4,07	<b>0,000001121</b>
Error	8,00	70,7933	8,8492			
Total	11,00	2718,0092				

**Tabla 62***Comparación de Tukey para resistencia en biopelículas.*

<b>Biopelículas</b>	<b>Promedio</b>	<b>N</b>	<b>Agrupación</b>
F3-BC	62,1666667	3	A
F2-BC	61,3666667	3	A
MC F4-BC	57,1	3	A
F1-BC	26,2	3	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.**Tabla 63***Análisis de varianza para cohesión en biopelículas comestibles.*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>	<b>p-valor</b>
Biopelículas comestibles	3,00	35130030,983	11710010,328	94,178	4,07	<b>0,000001399</b>
Error	8,00	994708,98	124338,623			
Total	11,00	36124739,963				

**Tabla 64***Comparación de Tukey para cohesión en biopelículas.*

<b>Biopelículas</b>	<b>Promedio</b>	<b>N</b>	<b>Agrupación</b>
F1-BC	6666,7	3	A
MC F4-BC	3337,43333	3	B
F2-BC	3225,43333	3	B
F3-BC	2082,13333	3	C

**Tabla 65***Análisis de varianza para índice de solubilidad en biopelículas.*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>	<b>p-valor</b>
Biopelículas comestibles	3,00	104,7726	34,9242	1,0721	4,07	<b>0,413808128</b>
Error	8,00	260,5985	32,5748			
Total	11,00	365,3711				

**Tabla 66***Comparación de Tukey para índice de solubilidad.*

<b>Biopelículas</b>	<b>Promedio</b>	<b>N</b>	<b>Agrupación</b>
MC F4-BC	90,03	3	A
F2-BC	89,56	3	A
F1-BC	85,523	3	A
F3-BC	82,8773333	3	A

## Anexo 16. Resultados estadísticos con Minitab 20 de las características físicoquímicas y mecánicas

**Tabla 67**

Comparación mediante el método Tukey de color total.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
F2	3	36,603	A
F3	3	34,243	A B
F1	3	29,43	B
MC-F4	3	18,80	C

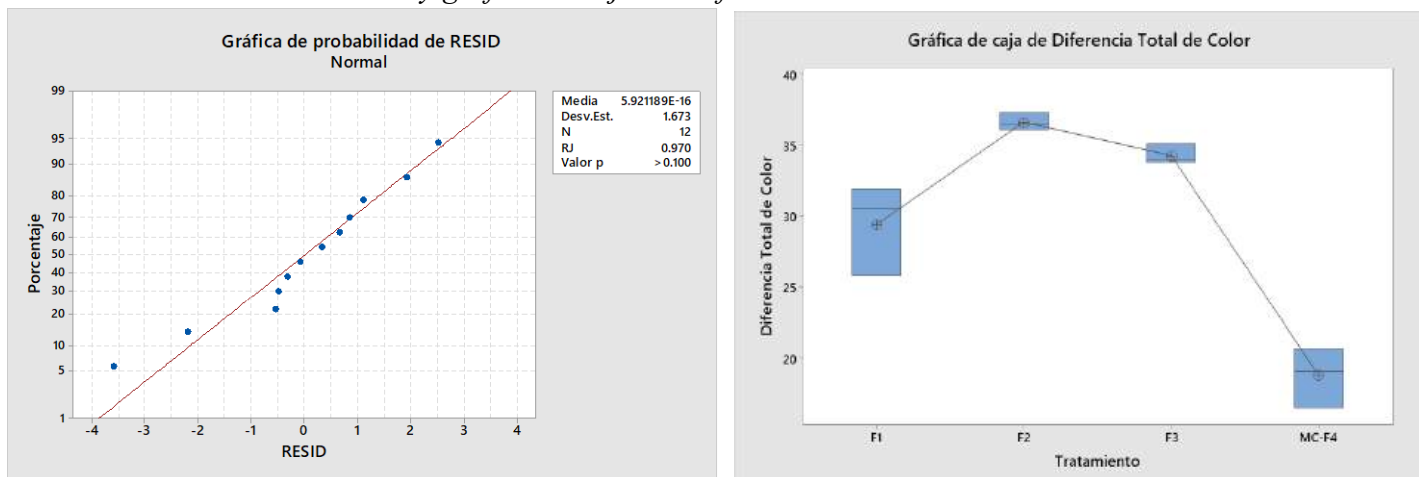
Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	7,17	1,60	(2,04; 12,30)	4,48	0,009
F3 - F1	4,81	1,60	(-0,32; 9,94)	3,00	0,066
MC-F4 - F1	-10,63	1,60	(-15,76; -5,50)	-6,64	0,001
F3 - F2	-2,36	1,60	(-7,49; 2,77)	-1,47	0,494
MC-F4 - F2	-17,80	1,60	(-22,93; -12,67)	-11,11	0,000
MC-F4 - F3	-15,44	1,60	(-20,57; -10,31)	-9,64	0,000

Nivel de confianza individual = 98,74%

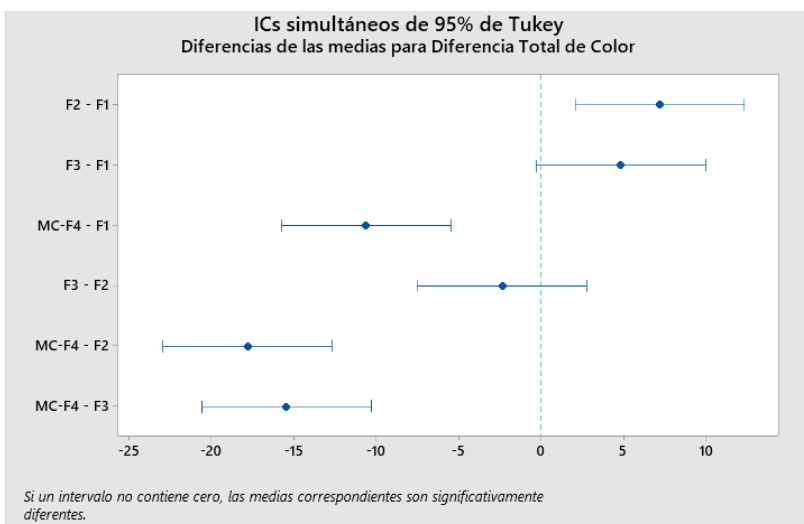
**Figura 100**

Probabilidad de residuos y gráfica de cajas de diferencial de color.



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -1,55 + 0,0520 \text{ Diferencia de color total}$$



**Método**

**Hipótesis nula**            Todas las medias son iguales  
**Hipótesis alterna**        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia     $\alpha = 0,05$

**Tabla 68**

*ANOVA para sólidos solubles.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	3	4672,0	1557,34	76,69	0,000
Error	8	162,5	20,31		
Total	11	4834,5			

**Tabla 69**

*Comparación por método Tukey de sólidos solubles.*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
MC-F4	3	61,81	A
F2	3	18,31	B
F1	3	17,51	B
F3	3	13,49	B

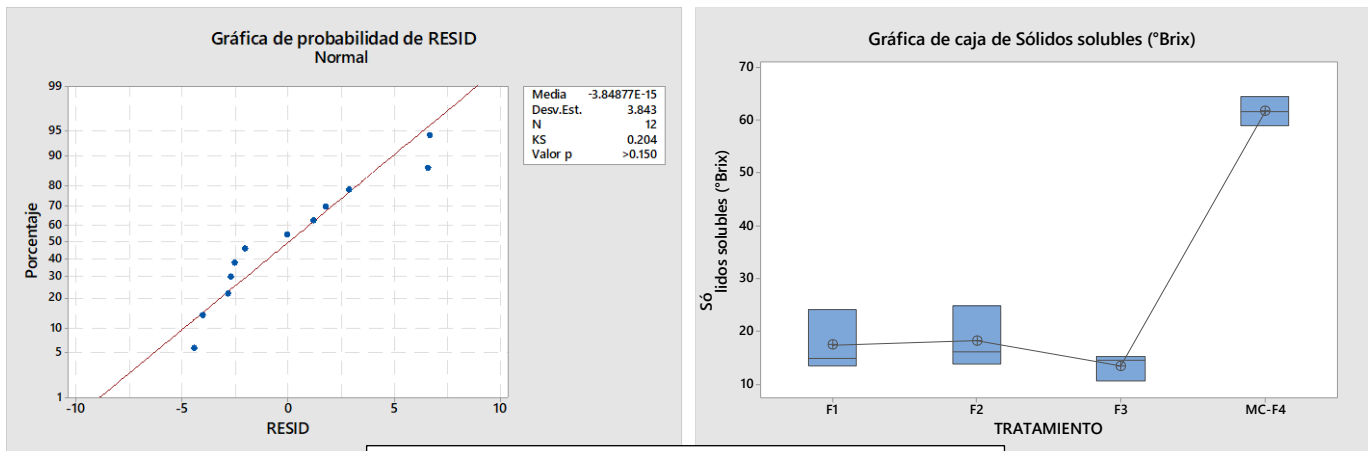
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	0,80	3,68	(-10,98; 12,59)	0,22	0,996
F3 - F1	-4,02	3,68	(-15,81; 7,77)	-1,09	0,704
MC-F4 - F1	44,30	3,68	(32,51; 56,09)	12,04	0,000
F3 - F2	-4,82	3,68	(-16,61; 6,96)	-1,31	0,582
MC-F4 - F2	43,50	3,68	(31,71; 55,28)	11,82	0,000
MC-F4 - F3	48,32	3,68	(36,53; 60,11)	13,13	0,000

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

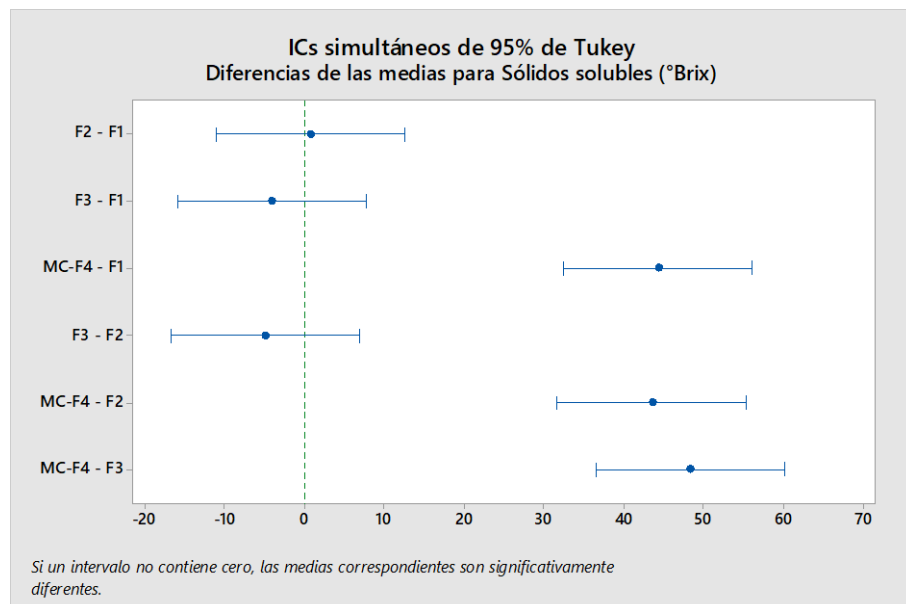
**Figura 101**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas de sólidos solubles.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -0,93 + 0,0336 \text{ Sólidos solubles (°Brix)}$$



**Tabla 70**

*ANOVA para pH.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	7,9115	2,63716	160,40	0,000
Error	8	0,1315	0,01644		
Total	11	8,0430			

**Tabla 71**

*Comparación mediante método Tukey de pH.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
MC-F4	3	7,0033	A
F2	3	5,1600	B
F1	3	5,130	B
F3	3	5,0967	B

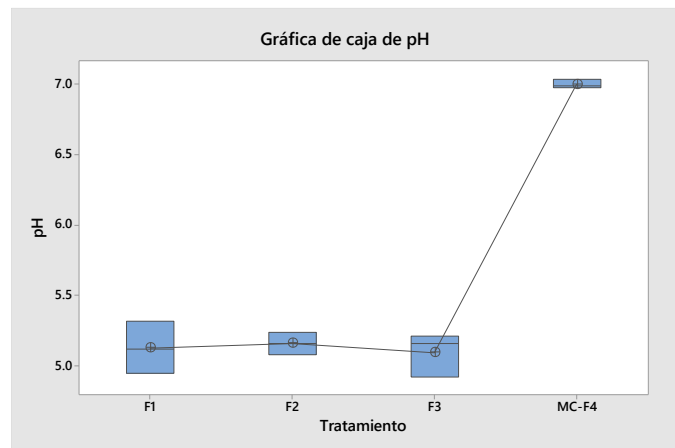
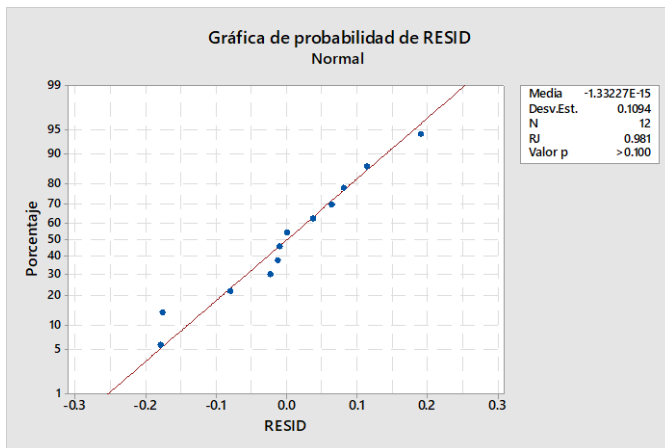
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	0,030	0,105	(-0,305; 0,365)	0,29	0,991
F3 - F1	-0,033	0,105	(-0,369; 0,302)	-0,32	0,988
MC-F4 - F1	1,873	0,105	(1,538; 2,209)	17,89	0,000
F3 - F2	-0,063	0,105	(-0,399; 0,272)	-0,60	0,928
MC-F4 - F2	1,843	0,105	(1,508; 2,179)	17,61	0,000
MC-F4 - F3	1,907	0,105	(1,571; 2,242)	18,21	0,000

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

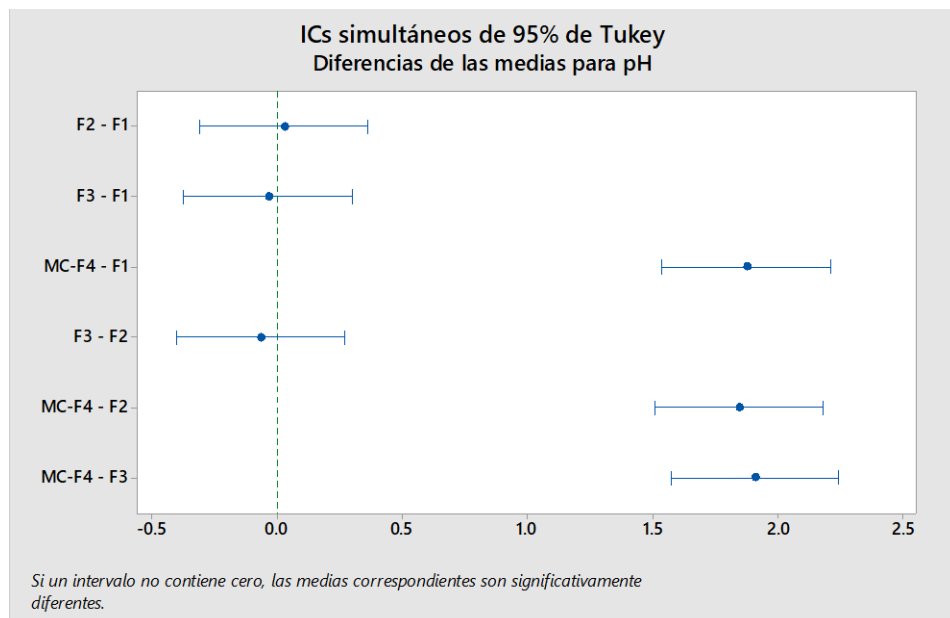
**Figura 102**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para pH.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -0,092 + 0,0164 \text{ pH}$$



*Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.*

**Tabla 72**

*ANOVA para acidez titulable.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000177	0,000059	1,12	0,397
Error	8	0,000422	0,000053		
Total	11	0,000599			

**Tabla 73**

*Comparación por método Tukey de acidez titulable.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
MC-F4	3	0,04233	A
F3	3	0,04000	A
F2	3	0,03367	A
F1	3	0,03367	A

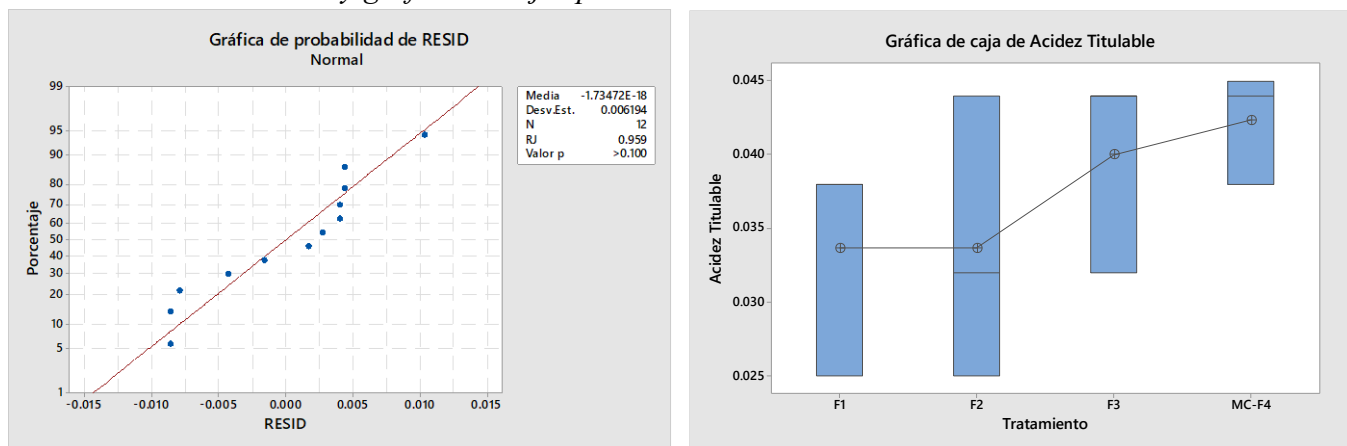
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	0,00000	0,00593	(-0,01900; 0,01900)	0,00	1,000
F3 - F1	0,00633	0,00593	(-0,01266; 0,02533)	1,07	0,717
MC-F4 - F1	0,00867	0,00593	(-0,01033; 0,02766)	1,46	0,500
F3 - F2	0,00633	0,00593	(-0,01266; 0,02533)	1,07	0,717
MC-F4 - F2	0,00867	0,00593	(-0,01033; 0,02766)	1,46	0,500
MC-F4 - F3	0,00233	0,00593	(-0,01666; 0,02133)	0,39	0,978

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

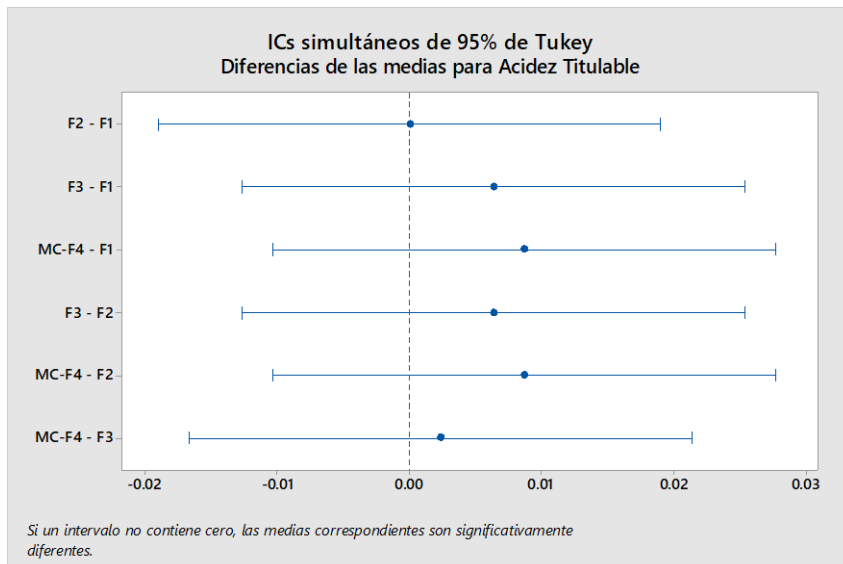
**Figura 103**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para acidez titulable.*



**Ecuación de regresión**

$$RESID = -0,02636 + 0,705 \text{ Acidez Titulable}$$



*Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.*

**Tabla 74**

*ANOVA para humedad.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	64,27	21,42	1,01	0,439
Error	8	170,31	21,29		
Total	11	234,57			

**Tabla 75**

*Comparación mediante método Tukey de humedad.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
MC-F4	3	54,30	A
F3	3	52,69	A
F2	3	51,99	A
F1	3	48,01	A

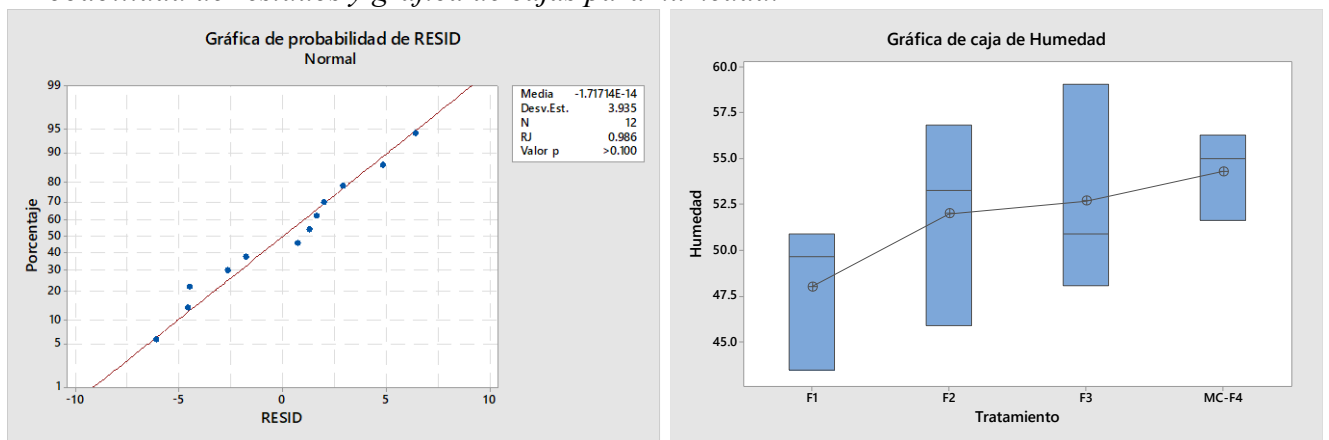
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	3,98	3,77	(-8,09; 16,05)	1,06	0,723
F3 - F1	4,67	3,77	(-7,39; 16,74)	1,24	0,621
MC-F4 - F1	6,29	3,77	(-5,78; 18,36)	1,67	0,397
F3 - F2	0,69	3,77	(-11,37; 12,76)	0,18	0,998
MC-F4 - F2	2,31	3,77	(-9,76; 14,38)	0,61	0,925
MC-F4 - F3	1,61	3,77	(-10,45; 13,68)	0,43	0,972

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

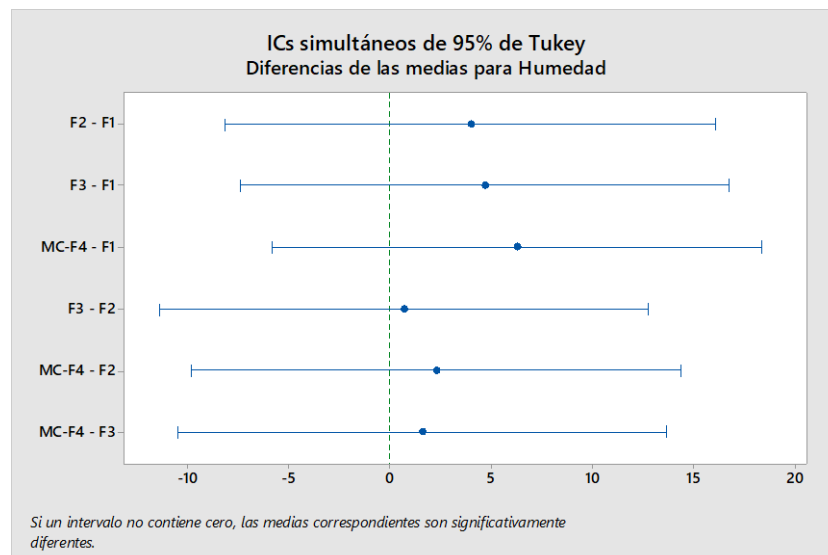
**Figura 104**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para humedad.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -37,57 + 0,726 \text{ Humedad}$$



*Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.*

**Tabla 76**

ANOVA para pérdida de peso.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
		Ajust.	Ajust.		
Tratamientos	3	22,258	7,4192	17,92	0,001
Error	8	3,313	0,4141		
Total	11	25,570			

**Tabla 77**

Comparación mediante método Tukey de pérdida de peso.

Tratamientos	N	Media	Agrupación
MC-F4	3	77,0717	A
F3	3	75,170	B
F1	3	73,9935	B
F2	3	73,552	B

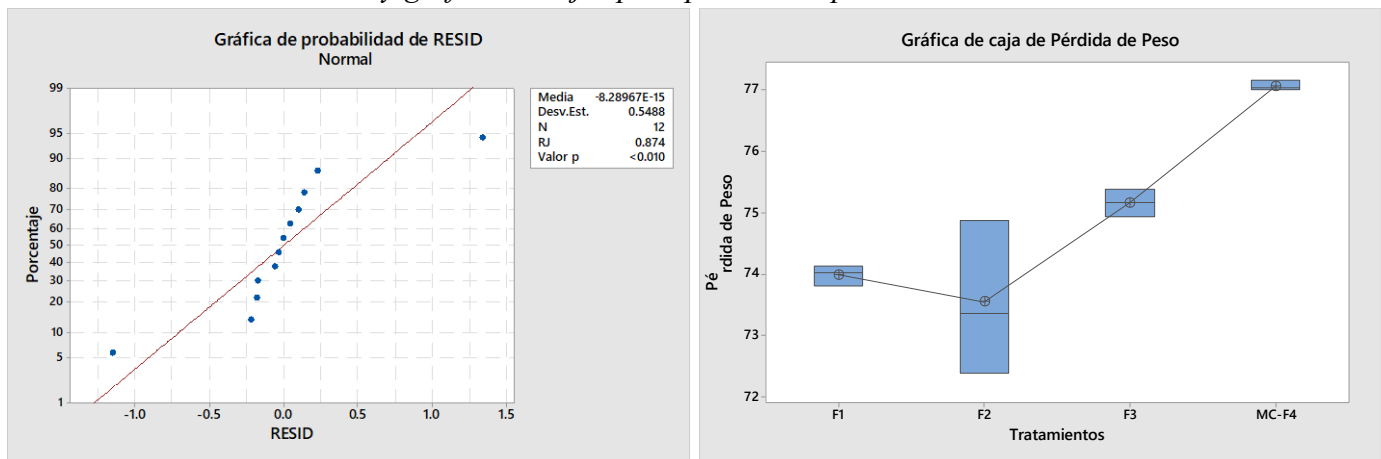
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	-0,441	0,525	(-2,124; 1,242)	-0,84	0,834
F3 - F1	1,177	0,525	(-0,506; 2,860)	2,24	0,192
MC-F4 - F1	3,078	0,525	(1,395; 4,761)	5,86	0,002
F3 - F2	1,618	0,525	(-0,065; 3,301)	3,08	0,059
MC-F4 - F2	3,520	0,525	(1,837; 5,203)	6,70	0,001
MC-F4 - F3	1,902	0,525	(0,219; 3,585)	3,62	0,028

Nivel de confianza individual = 98,74%

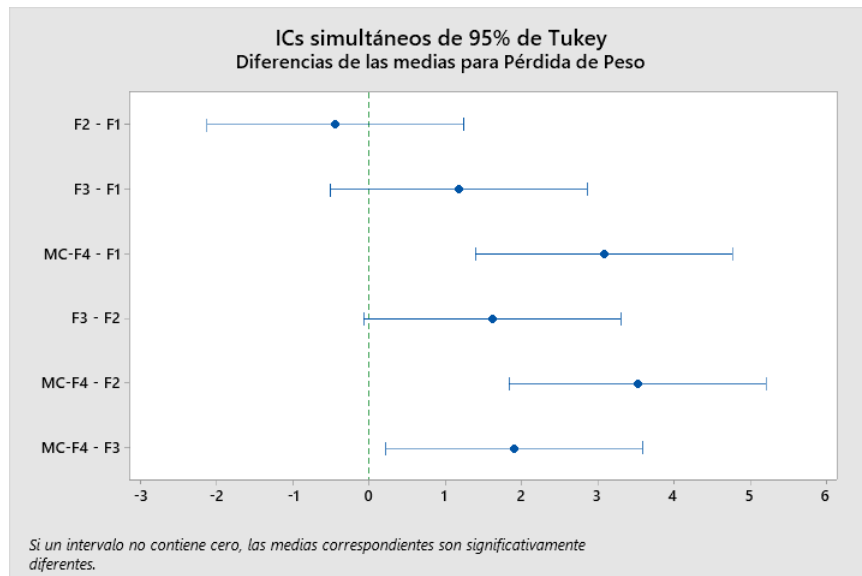
**Figura 105**

Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para pérdida de peso.



**Ecuación de regresión**

$$\text{Pérdida de Peso} = 74,947 - 0,953 \text{ Tratamientos F1} - 1,395 \text{ Tratamientos F2} + 0,223 \text{ Tratamientos F3} + 2,125 \text{ Tratamientos MC-F4}$$



Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

**Tabla 78**

*ANOVA para densidad.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	3	0,000000	0,000000	0,92	0,472
Error	8	0,000000	0,000000		
Total	11	0,000000			

**Tabla 79**

*Comparación mediante método Tukey de densidad.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
MC-F4	3	0,000933	A
F2	3	0,000933	A
F3	3	0,000833	A
F1	3	0,000833	A

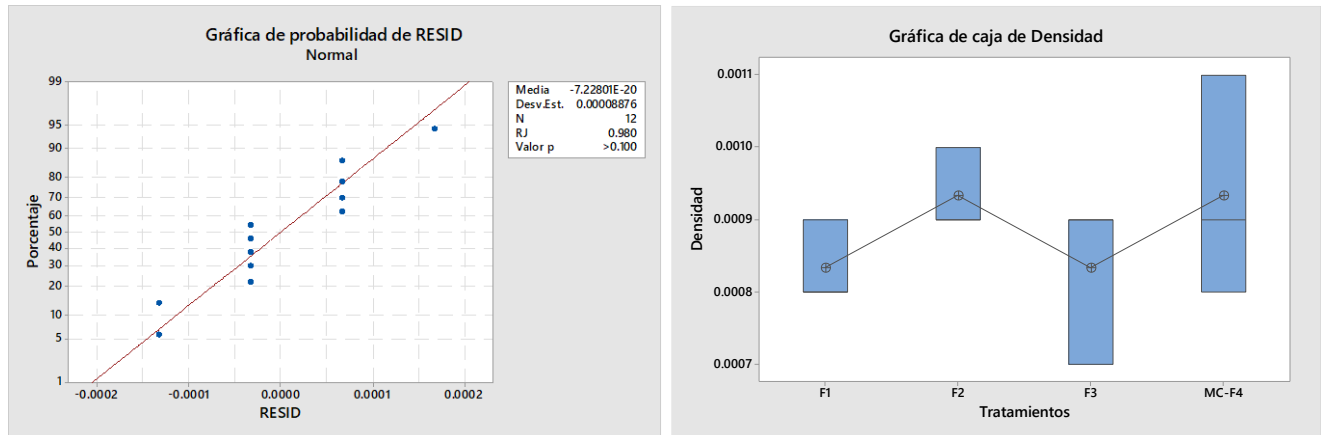
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	0,000100	0,000085	(-0,000172; 0,000372)	1,18	0,657
F3 - F1	0,000000	0,000085	(-0,000272; 0,000272)	0,00	1,000
MC-F4 - F1	0,000100	0,000085	(-0,000172; 0,000372)	1,18	0,657
F3 - F2	-0,000100	0,000085	(-0,000372; 0,000172)	-1,18	0,657
MC-F4 - F2	0,000000	0,000085	(-0,000272; 0,000272)	0,00	1,000
MC-F4 - F3	0,000100	0,000085	(-0,000172; 0,000372)	1,18	0,657

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

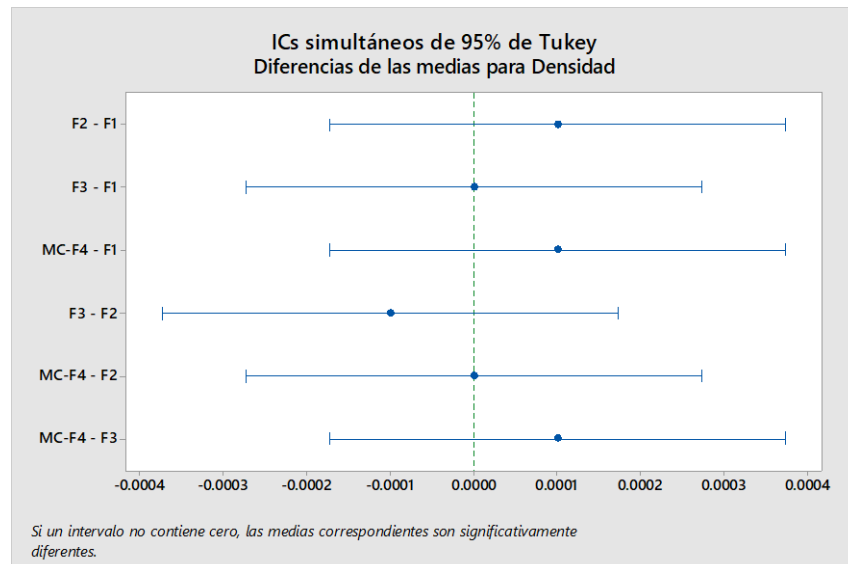
**Figura 106**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para densidad.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -0,000656 + 0,743 \text{ Densidad}$$



**Tabla 80**

*ANOVA para espesor.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,02447	0,008156	0,68	0,587
Error	8	0,09553	0,011942		
Total	11	0,12000			

**Tabla 81**

*Comparación utilizando método Tukey de espesor.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
F1	3	0,8533	A
F3	3	0,8300	A
F2	3	0,7800	A
MC-F4	3	0,7367	A

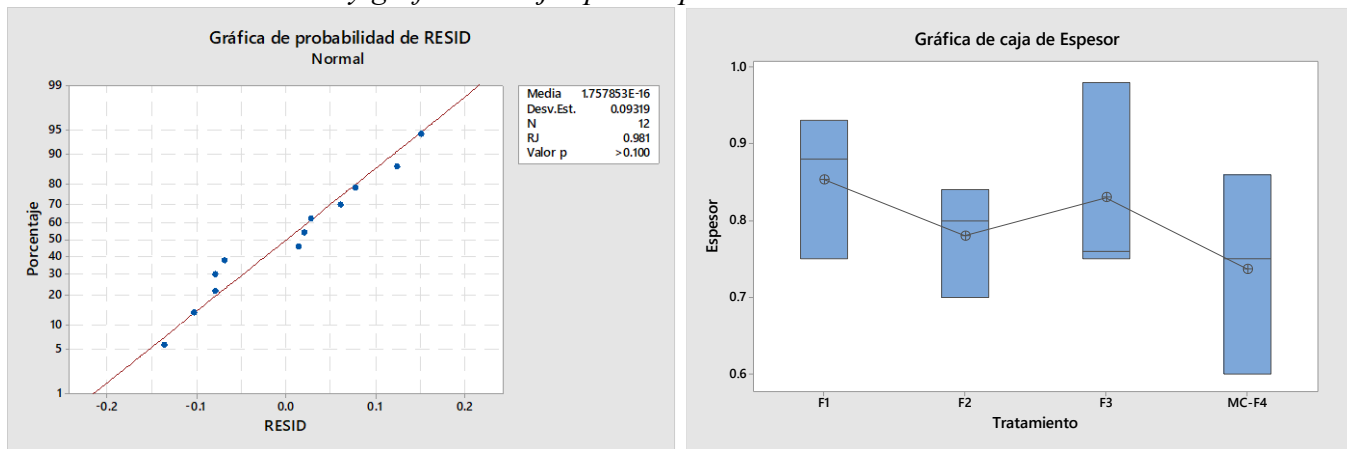
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	-0,0733	0,0892	(-0,3591; 0,2125)	-0,82	0,843
F3 - F1	-0,0233	0,0892	(-0,3091; 0,2625)	-0,26	0,993
MC-F4 - F1	-0,1167	0,0892	(-0,4025; 0,1691)	-1,31	0,584
F3 - F2	0,0500	0,0892	(-0,2358; 0,3358)	0,56	0,941
MC-F4 - F2	-0,0433	0,0892	(-0,3291; 0,2425)	-0,49	0,960
MC-F4 - F3	-0,0933	0,0892	(-0,3791; 0,1925)	-1,05	0,729

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

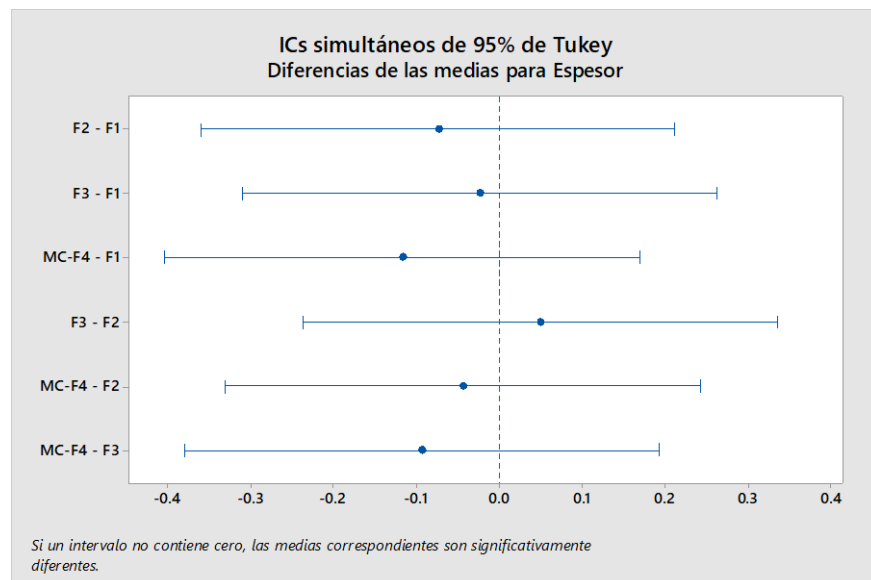
**Figura 107**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para espesor.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -0,637 + 0,796 \text{ Espesor}$$



*Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.*

## Anexo 17. Resultados estadísticos para obtener el mejor tratamiento de biopelículas comestibles respecto a propiedades mecánicas.

**Tabla 82**

*ANOVA para elasticidad.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	3	1878,42	626,14	55,76	0,000
Error	8	89,84	11,23		
Total	11	1968,26			

**Tabla 83**

*Comparación mediante método Tukey de elasticidad.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
F1	3	21,60	A
F3	3	-3,433	B
F2	3	-4,467	B
MC-F4	3	-11,367	B

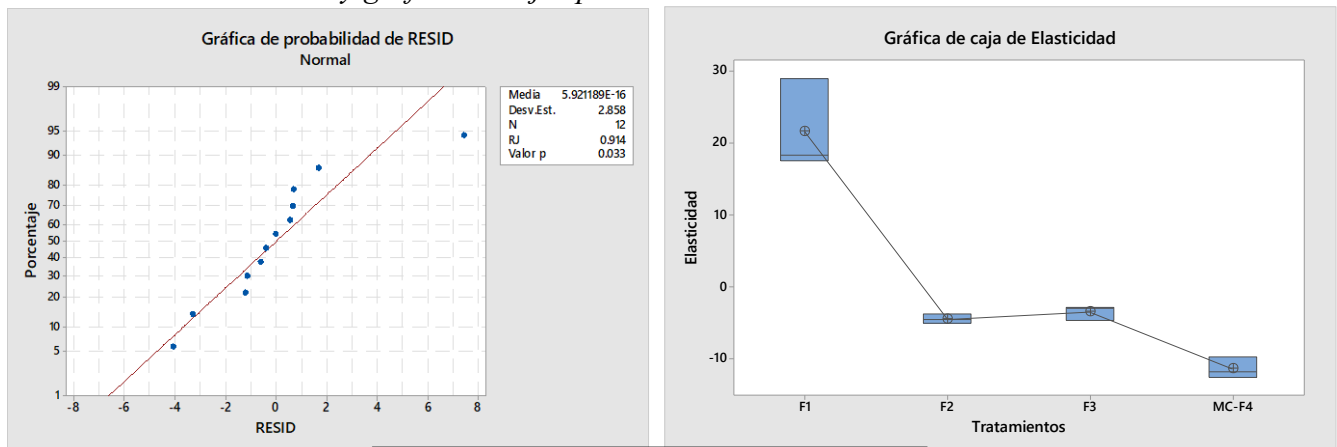
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	-26,07	2,74	(-34,83; -17,30)	-9,53	0,000
F3 - F1	-25,03	2,74	(-33,80; -16,27)	-9,15	0,000
MC-F4 - F1	-32,97	2,74	(-41,73; -24,20)	-12,05	0,000
F3 - F2	1,03	2,74	(-7,73; 9,80)	0,38	0,980
MC-F4 - F2	-6,90	2,74	(-15,66; 1,86)	-2,52	0,130
MC-F4 - F3	-7,93	2,74	(-16,70; 0,83)	-2,90	0,077

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

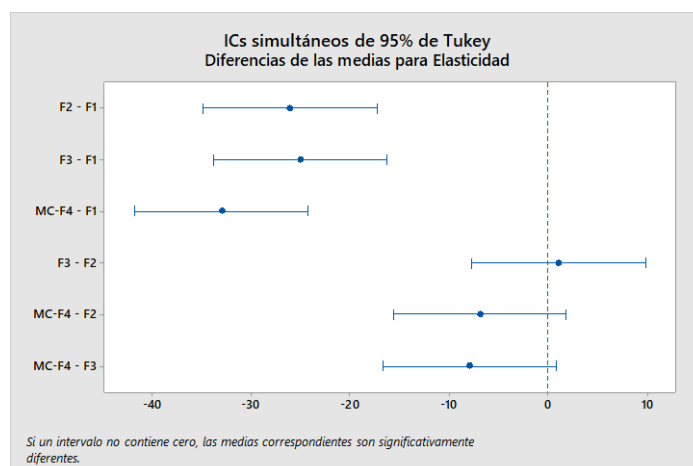
**Figura 108**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para elasticidad.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -0,027 + 0,0456 \text{ Elasticidad}$$



*Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.*

**Tabla 84**

*ANOVA para resistencia.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2647,22	882,405	99,72	0,000
Error	8	70,79	8,849		
Total	11	2718,01			

**Tabla 85**

*Comparación utilizando método Tukey de resistencia.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
F3	3	62,17	A
F2	3	61,37	A
MC-F4	3	57,100	A
F1	3	26,200	B

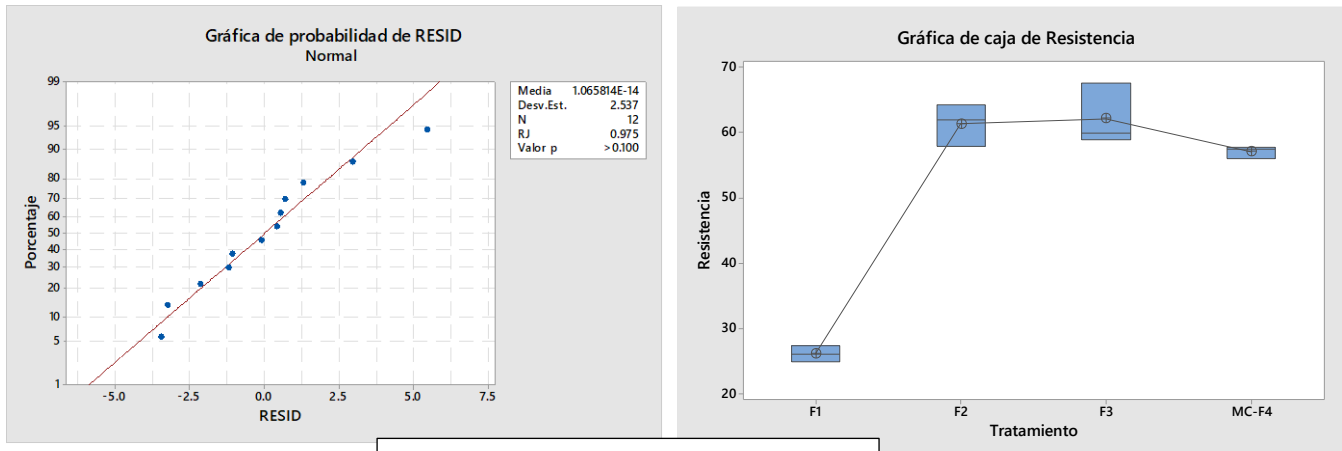
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	35,17	2,43	(27.39; 42.95)	14,48	0,000
F3 - F1	35,97	2,43	(28.19; 43.75)	14,81	0,000
MC-F4 - F1	30,90	2,43	(23.12; 38.68)	12,72	0,000
F3 - F2	0,80	2,43	(-6.98; 8.58)	0,33	0,987
MC-F4 - F2	-4,27	2,43	(-12.05; 3.51)	-1,76	0,358
MC-F4 - F3	-5,07	2,43	(-12.85; 2.71)	-2,09	0,236

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

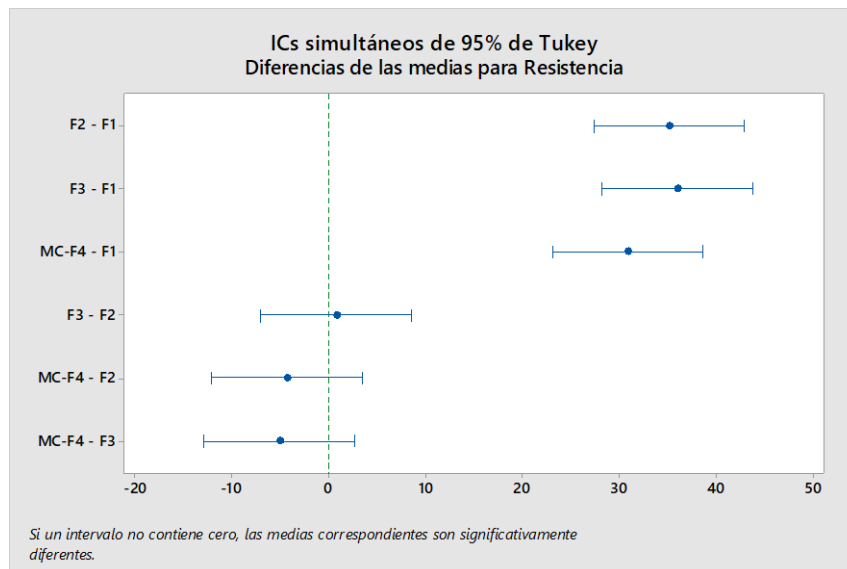
**Figura 109**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para resistencia.*



**Ecuación de regresión**

$$RESID = -1,35 + 0,0260 \text{ Resistencia}$$



*Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.*

**Tabla 86**

*ANOVA para cohesión.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	35130031	11710010	94,18	0,000
Error	8	994709	124339		
Total	11	36124740			

**Tabla 87**

*Comparación utilizando método Tukey de cohesión.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
F1	3	6667	A
MC-F4	3	3337	B
F2	3	3225	B
F3	3	2082	C

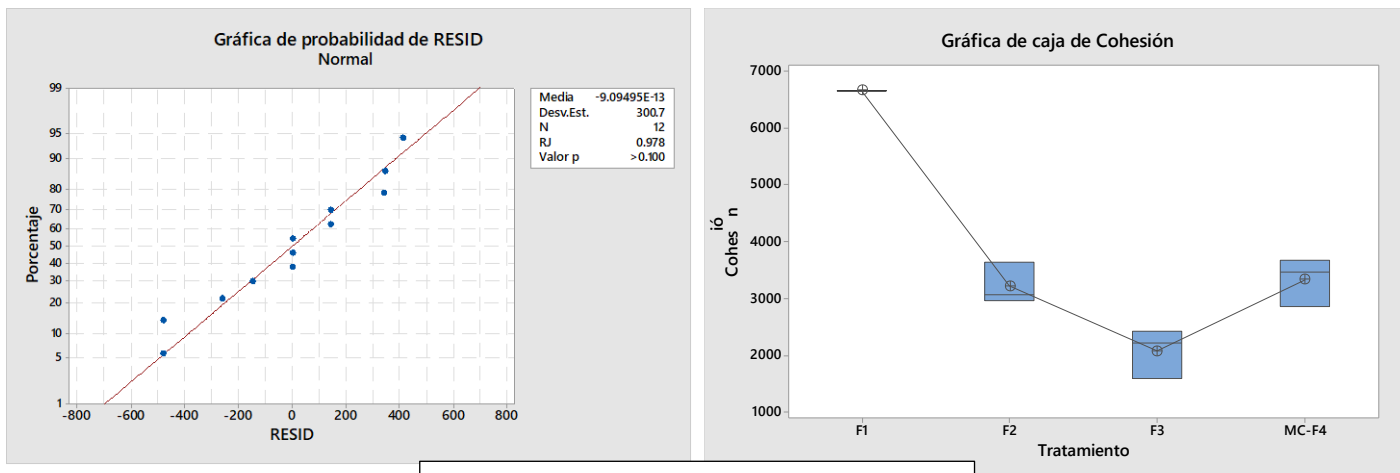
**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
F2 - F1	-3441	288	(-4363; -2519)	-11,95	0,000
F3 - F1	-4585	288	(-5507; -3662)	-15,92	0,000
MC-F4 - F1	-3329	288	(-4251; -2407)	-11,56	0,000
F3 - F2	-1143	288	(-2066; -221)	-3,97	0,017
MC-F4 - F2	112	288	(-810; 1034)	0,39	0,979
MC-F4 - F3	1255	288	(333; 2178)	4,36	0,010

*Nivel de confianza individual = 98,74%*

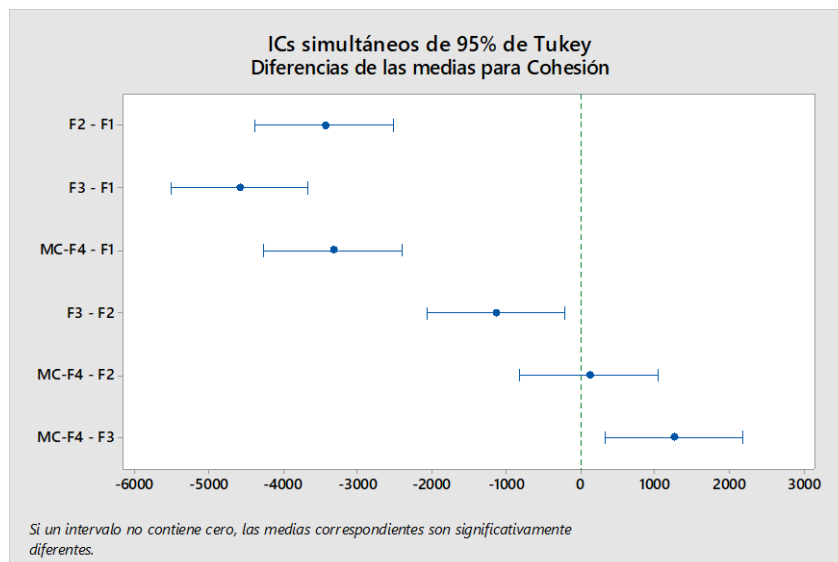
**Figura 110**

*Probabilidad de residuos y gráfica de cajas para cohesión.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{RESID} = -105 + 0,0275 \text{ Cohesión}$$



*Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.*

## Anexo 18. Fichas de recopilación de datos experimentales para la producción de biopelículas comestibles

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS				
LABORATORIO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL				
Método y técnica utilizado: Metodología ASTH				
Nombres: Jhuliana Adama Astete				
Tipo de Evaluación:	<del>Obtención de harina de cáscara de naranja</del>	Análisis Granulométrico de HCN	<del>Extracción de Aceite esencial de orégano</del>	Producción de Biopelículas comestibles
Fecha de ejecución:	07/02/24			
Inicio:	Fecha:	07/02/24	Hora:	8:54 p.m.
Salida:	Fecha:	12/02/24	Hora:	4:06 p.m.
PROCESOS DESARROLLADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPELÍCULAS COMESTIBLES				
Nº	ACTIVIDAD	INGRESO DE MUESTRA	MUESTRA DE SALIDA	MERMA
Obtención de micropartículas de cáscara de naranja				
1	Recepción de HCN	10 Kg	10 Kg	
2	Selección y clasificación	10 Kg	8,999 Kg	100 g
3	Pesado	8,999 Kg	8,999 Kg	
4	Lavado y desinfección	8,999 Kg	8,900 Kg	9,999 Kg
5	Molenda	522 g	410,4 g	112,4 g
6	Análisis granulométrico: Tamizado	410,4 g	410,4 g	
7	Empacado al vacío	410,4 g	416,2 g	

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS				
LABORATORIO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL				
Método y técnica utilizado: Análisis granulométrico				
Nombres: Jhuliana Adama Astete				
Tipo de Evaluación:	Obtención de harina de cáscara de naranja	<del>Análisis Granulométrico de HCN</del>	<del>Extracción de Aceite esencial de orégano</del>	Producción de Biopelículas Comestibles
Fecha de ejecución:	12/02/24			
Inicio:	Fecha:	12/02/24	Hora:	10:21 a.m.
Salida:	Fecha:	26/03/24	Hora:	11:18 a.m.
PROCESOS DESARROLLADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPELÍCULAS COMESTIBLES				
Nº	ACTIVIDAD	INGRESO DE MUESTRA	MUESTRA DE SALIDA	MERMA
Análisis Granulométrico de micropartículas de piel de naranja				
1	Recepción de micropartículas de subproducto de naranja y pesado	40 g		
2	Elección de Tamices	40 g		
3	Pesado de tamices	—	—	—
4	Tamizado Vertical	40 g	21,98 g	18,2 g
5	Pesado 2 de muestra retenida + tamiz	21,98 g		
6	Micropartículas de cáscara de naranja (MCN)		21,98 g	
7	Almacenado de HCN	21,8 g	27,58 g	

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS				
LABORATORIO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL				
Método y técnica utilizado: Arrastre de vapor				
Nombres: Jhuliana Adama Astete				
Tipo de Evaluación:	Obtención de harina de cáscara de naranja	Análisis granulométrico de HCN	<del>Extracción de aceite esencial de orégano</del>	<del>Producción de Biopelículas Comestibles</del>
Fecha de ejecución:	11/02/24			
Inicio:	Fecha:	11/02/24	Hora:	11:46 a.m.
Salida:	Fecha:	28/02/24	Hora:	3:45 p.m.
PROCESOS DESARROLLADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPELÍCULAS COMESTIBLES				
Nº	ACTIVIDAD	INGRESO DE MUESTRA	MUESTRA DE SALIDA	MERMA
Extracción de Aceite Esencial por arrastre de vapor				
1	Recepción de materia prima: Orégano	17,800 Kg	17,798 Kg	102 g
2	Desmejada	17 Kg	15,321 Kg	1,673 Kg
3	Secado	15,327 Kg	13,800 Kg	1,527 Kg
4	Extracción de aceite esencial	13,800 Kg	13,140 Kg	6,60 Kg
5	Decantado y Purificación	13 ml	11,2 ml	1,91 ml
6	Almacenado	11,2 ml		

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS				
LABORATORIO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL				
Método y técnica utilizado: Solución casting				
Nombres: Jhuliana Adama Astete				
Tipo de Evaluación:	Obtención de harina de cáscara de naranja	Análisis Granulométrico de HCN	Extracción de aceite esencial de orégano	<del>Producción de Biopelículas Comestibles</del>
Fecha de ejecución:	27/03/24			
Inicio:	Fecha:	27/03/24	Hora:	8:30 a.m.
Salida:	Fecha:	21/06/24	Hora:	3:20 p.m.
PROCESOS DESARROLLADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPELÍCULAS COMESTIBLES				
Nº	ACTIVIDAD	INGRESO DE MUESTRA	MUESTRA DE SALIDA	MERMA
Elaboración de Biopelículas comestibles				
1	Recepción de materia prima e insumos	HCN: 10g matrices: 3,15g		
2	Pesado	HCN: 10g matrices: 3,15g		
3	Diluido	50 ml, 1,4g, 0,25g		
4	Mezclado y homogeneizado	128 ml, 15g, 50g, 2,5g, 20g		
5	Vertido	25 g		
6	Secado	25 g	6,9998 g	
7	Desmenuado y selección	6,9998 g		
8	Biomaterial comestible	6,9998 g		
9	Almacenado	6,9998 g		