



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**MEJORA DE LA FRACCIÓN
ANTIOXIDANTE DE ACEITES DE
OLIVA POR ADICIÓN DE
EXTRACTOS NATURALES.
CARACTERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA DE LOS NUEVOS
ACEITES.**

Alumno: M^a Carmen Murillo Cruz

Tutor: Ruperto Bermejo Román

Depto.: Departamento de Química Física y Analítica

Junio, 2016

UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Linares

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Química Industrial

**MEJORA DE LA FRACCIÓN ANTIOXIDANTE DE
ACEITES DE OLIVA POR ADICIÓN DE EXTRACTOS
NATURALES. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA
DE LOS NUEVOS ACEITES.**

Alumno: M^a Carmen Murillo Cruz

Tutor: Ruperto Bermejo Román

Depto.: Departamento de Química Física y Analítica

Firma Alumno:



Firma Tutor:



Junio, 2016

1. RESUMEN.....	8
2. ANTECEDENTES	11
2.1. Estudios basados en la medida de color	11
2.1.1. Condiciones que afectan al color	12
2.1.2. Expresión numérica del color	13
2.1.3. Medida de la diferencia de color.....	14
2.2. Microalgas como fuente de productos de interés	16
2.3. Luteína y β -caroteno como agentes antioxidantes y preventivos	17
2.3.1. Degeneración macular asociada a la edad (DMAE)	17
2.3.2. Enfermedades cutáneas	19
2.3.3. Luteína y β -caroteno: su papel preventivo.....	20
2.3.4. Otras aplicaciones de la luteína y β -caroteno	23
2.3.5. Fuentes de luteína y β -caroteno. Las microalgas como alternativa	23
2.3.6. El aceite de oliva como vehículo para incorporar luteína y β -caroteno ..	25
2.4. El aceite de Oliva Virgen Extra.....	26
2.4.1. Antioxidantes presentes en el aceite de oliva virgen	27
2.4.1.1. Compuestos Fenólicos	28
2.4.1.2. Tocoferoles	29
2.4.1.3. Pigmentos	30
2.4.2. Importancia de la ingesta de antioxidantes en la dieta	32
2.4.3. El color del aceite de oliva.....	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. Materiales	35
3.1.1. Microalga <i>Scenedesmus almeriensis</i>	35
3.1.2. Aceites	36
3.2. Métodos	37
3.2.1. Obtención del extracto antioxidante	37
3.2.2. Caracterización colorimétrica de aceites y aceites con antioxidantes ...	38
3.2.3. Medidas de estabilidad de los aceites y de los aceites enriquecidos.....	39
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Obtención del extracto de antioxidantes.....	42

4.2. Obtención y caracterización de aceites enriquecidos en carotenoides.....	42
4.3. Estabilidad en función de la radicación incidente: foto-estabilidad.	46
4.4. Estabilidad en función de la temperatura: termo-estabilidad.	62
4.4.1. En función del calentamiento por microondas.	62
4.4.1.1. Termo-estabilidad, microondas: aceites de oliva de Arabia Saudita.	63
4.4.1.2. Termo-estabilidad, microondas: AOVEs en función de la variedad de la aceituna.....	73
4.4.1.3. Termo-estabilidad, microondas: AOVEs de la variedad picual en función de su procedencia.	81
4.4.2. En función del calentamiento en baño termostático.	86
4.4.2.1. Termo-estabilidad, baño termostático: aceites de oliva Arabia Saudita.....	87
4.4.2.2. Termo-estabilidad, baño termostático: AOVEs en función de la variedad de aceituna.....	102
4.4.2.3. Termo-estabilidad, baño termostático: AOVEs de la variedad picual en función de su procedencia.	111
4.5. Desviación estándar para cada muestra y experiencia.	117
5. CONCLUSIONES.....	119
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
<i>Índice de Imágenes:.....</i>	<i>4</i>
<i>Índice de Figuras:.....</i>	<i>4</i>
<i>Índice de Tablas:.....</i>	<i>6</i>

Índice de Imágenes:

Número	Nombre	Página
<u>1</u>	Espectro electromagnético	12
<u>2</u>	Espacio de color CIELAB con coordenadas a* y b*, con L* constante.	14
<u>3</u>	Espacio de color CIELAB con las coordenadas L*, a* y b*.	14
<u>4</u>	Diferencias de color en el espacio L*a*b*	15
<u>5</u>	Términos para describir diferencias de color en claridad y saturación.	15
<u>6</u>	Cambios que provoca la degeneración macular senil (DMAE) en la retina y defectos que se producen en la visión humana	17
<u>7</u>	Estructura química de la luteína.	21
<u>8</u>	Estructura del β -caroteno.	22
<u>9</u>	Flor de marigold o caléndula (<i>Tagetes erecta</i>).	23
<u>10</u>	Imágenes de <i>S. almeriensis</i> tomadas mediante microscopio óptico y electrónico	35
<u>11</u>	Imagen de la biomasa liofilizada de <i>Scenedesmus almeriensis</i> .	36
<u>12</u>	Plano Arabia Saudita. Zonas de las que proceden los aceites	36
<u>13</u>	Extracto de antioxidantes (132 mg/ml) en aceite de oliva virgen extra.	38
<u>14</u>	Muestras de aceites y aceites enriquecidos con extracto utilizadas para el estudio de foto-estabilidad.	38
<u>15</u>	Muestras de aceites en cabina de control de iluminación; detalle de la cabina de iluminación ultravioleta y detalle de las diferentes lámparas iluminantes.	39
<u>16</u>	Detalle preparación de tubos de vidrio.	41
<u>17</u>	Biomasa de <i>Scenedesmus almeriensis</i> y extracto de carotenoides resuspendido en aceite de oliva.	42
<u>18</u>	Color inicial de los 6 aceites de oliva.	62
<u>19</u>	Color final de los 6 aceites de oliva.	62
<u>20</u>	A la izquierda E y a la derecha E enriquecido. En ambos casos, la imagen de la izq. es la inicial (0 min) y la dcha. es la final (40 min)	73
<u>21</u>	Aceite variedad Arbequina, sin enriquecer, calentamiento por microondas	81
<u>22</u>	Aceite variedad Arbequina, enriquecido, calentamiento por microondas.	81
<u>23</u>	Aceite variedad Picual, sin enriquecer, calentamiento por microondas	81
<u>24</u>	Aceite variedad Picual, enriquecido, calentamiento por microondas.	81
<u>25</u>	AOVE Picual: "Olivar Segura" sin enriquecer, calentamiento por microondas.	86
<u>26</u>	AOVE Picual: "Olivar Segura" enriquecido, calentamiento por microondas.	86
<u>27</u>	Muestras de los diferentes aceites sumergidos en el baño termostático a 120°C	87
<u>28</u>	Aceites de oliva sin enriquecer, calentamiento en baño a 120°C	101
<u>29</u>	Aceites de oliva enriquecidos, calentamiento en baño a 120°C	101
<u>30</u>	AOVEs sin enriquecer, calentamiento en baño a 120°C	117
<u>31</u>	AOVEs enriquecidos, calentamiento en baño a 120°C	117

Índice de Figuras:

Número	Nombre	Página
<u>1</u>	Variación del color en la degradación de aceite A: control y aceite A: enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	48
<u>2</u>	Variación del color en la degradación de aceite B: control y aceite B: enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	51
<u>3</u>	Variación del color en la degradación de aceite C: control y aceite C: enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	53
<u>4</u>	Variación del color en la degradación de aceite D: control y aceite D: enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	56
<u>5</u>	Variación del color en la degradación de aceite E: control y aceite E: enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	58
<u>6</u>	Variación del color en la degradación de aceite F: control y aceite F: enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	60

<u>7</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante.	60
<u>8</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante; [luteína]=0.05mg/ml.	61
<u>9</u>	Variación del color en la degradación de aceite A: control y aceite A: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	64
<u>10</u>	Variación del color en la degradación de aceite B: control y aceite B: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	65
<u>11</u>	Variación del color en la degradación de aceite C: control y aceite C: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	67
<u>12</u>	Variación del color en la degradación de aceite D: control y aceite D: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	69
<u>13</u>	Variación del color en la degradación de aceite E: control y aceite E: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	70
<u>14</u>	Variación del color en la degradación de aceite F: control y aceite F: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	72
<u>15</u>	Variación del color en la degradación de aceite Frantoio: control y aceite Frantoio: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	74
<u>16</u>	Variación del color en la degradación de aceite Picual: control y aceite Picual: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	76
<u>17</u>	Variación del color en la degradación de aceite Royal: control y aceite Royal: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	77
<u>18</u>	Variación del color en la degradación de aceite Arbequina: control y aceite Arbequina: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	79
<u>19</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites “Castillo Canena” sin extracto antioxidante, 700W, 40 min.	80
<u>20</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites “Castillo Canena” con extracto antioxidante, 700W, 40 min.	80
<u>21</u>	Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual, “Baena”: control y aceite variedad Picual, “Baena”: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	83
<u>22</u>	Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual, “Olivar Segura”: control y aceite variedad Picual, “Olivar Segura”: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	84
<u>23</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites picuales sin extracto antioxidante, 700W, 40 min.	85
<u>24</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites picuales con extracto antioxidante, 700W, 40 min.	85
<u>25</u>	Variación del color en la degradación de aceite A: control y aceite A: enriquecido; 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	89
<u>26</u>	Variación del color en la degradación de aceite B: control y aceite B: enriquecido; 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	91
<u>27</u>	Variación del color en la degradación de aceite C: control y aceite C: enriquecido; 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	93
<u>28</u>	Variación del color en la degradación de aceite D: control y aceite D: enriquecido; 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	95
<u>29</u>	Variación del color en la degradación de aceite E: control y aceite E: enriquecido; 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	97
<u>30</u>	Variación del color en la degradación de aceite F: control y aceite F: enriquecido; 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	99
<u>31</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	99
<u>32</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	100
<u>33</u>	Variación del color en la degradación de aceite Frantoio: control y aceite Frantoio: enriquecido; en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	103
<u>34</u>	Variación del color en la degradación de aceite Picual: control y aceite Picual: enriquecido; en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	105
<u>35</u>	Variación del color en la degradación de aceite Royal: control y aceite Royal: enriquecido; en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	107
<u>36</u>	Variación del color en la degradación de aceite Arbequina: control y aceite Arbequina: enriquecido; en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	109
<u>37</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante, en baño a 120°C.	110
<u>38</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	110
<u>39</u>	Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual: “Baena”: control y aceite variedad Picual: “Baena”: enriquecido; en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	113
<u>40</u>	Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual: “Olivar Segura”: control y	115

	aceite variedad Picual: "Olivar Segura": enriquecido; en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	
<u>41</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante, en baño a 120°C.	115
<u>42</u>	Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	116

Índice de Tablas:

Número	Nombre	Página
<u>1</u>	Composición de la microalga <i>Scenedesmus almeriensis</i> .	25
<u>2</u>	Aceites de oliva virgen extra utilizados para los ensayos.	40
<u>3</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A.	47
<u>4</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	47
<u>5</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B.	49
<u>6</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	50
<u>7</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C.	51
<u>8</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	52
<u>9</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D.	54
<u>10</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	55
<u>11</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E.	56
<u>12</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	57
<u>13</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F.	58
<u>14</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F enriquecido, [luteína]=0.05mg/ml.	59
<u>15</u>	Aceleración de la degradación.	61
<u>16</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A; 700W durante 40 min.	63
<u>17</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	63
<u>18</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B; 700W durante 40 min.	64
<u>19</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	65
<u>20</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C; 700W durante 40 min.	66
<u>21</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	66
<u>22</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D; 700W durante 40 min.	68
<u>23</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	68
<u>24</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E; 700W durante 40 min.	69
<u>25</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	70
<u>26</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A; 700W durante 40 min.	71
<u>27</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	71
<u>28</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G; 700W durante 40 min.	73
<u>29</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	74
<u>30</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H; 700W durante 40 min.	75
<u>31</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	75
<u>32</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I; 700W	76

	durante 40 min.	
<u>33</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	77
<u>34</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J; 700W durante 40 min.	78
<u>35</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	78
<u>36</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K; 700W durante 40 min.	82
<u>37</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	82
<u>38</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L; 700W durante 40 min.	83
<u>39</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L; 700W durante 40 min; [luteína]=0.025mg/ml.	84
<u>40</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A, en baño a 120°C.	87
<u>41</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	88
<u>42</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B, en baño a 120°C.	89
<u>43</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	90
<u>44</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C, en baño a 120°C.	91
<u>45</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	92
<u>46</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D, en baño a 120°C.	93
<u>47</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	94
<u>48</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E, en baño a 120°C.	95
<u>49</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	96
<u>50</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F, en baño a 120°C.	97
<u>51</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	98
<u>52</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G, en baño a 120°C.	102
<u>53</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	102
<u>54</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H, en baño a 120°C.	104
<u>55</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	104
<u>56</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I, en baño a 120°C.	106
<u>57</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	106
<u>58</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J, en baño a 120°C.	108
<u>59</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	108
<u>60</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K, en baño a 120°C.	111
<u>61</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	112
<u>62</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L, en baño a 120°C.	113
<u>63</u>	Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L, en baño a 120°C; [luteína]=0.025mg/ml.	114
<u>64</u>	Valores de desviación estándar para aceites saudíes.	118
<u>65</u>	Valores de desviación estándar para aceites españoles.	118

1. RESUMEN

Actualmente, existen distintas enfermedades oftalmológicas y dermatológicas que se asocian a un déficit de antioxidantes en la macula del ojo y en la piel de los seres humanos. Aunque se está investigando, hoy día no existen fármacos que lleguen a corregir estas enfermedades, por lo que la única opción factible es la prevención de las mismas. Así, la ingesta de alimentos ricos en antioxidantes en nuestra dieta, sería una de las mejores alternativas para la lucha contra estas enfermedades.

En este contexto cada vez es mayor el interés en el desarrollo de alimentos funcionales que son aquellos capaces de proporcionar efectos beneficiosos para la salud, adicionalmente a su valor nutritivo o energético. En este Trabajo Fin de Grado se ha estudiado el efecto del enriquecimiento de aceites de oliva virgen extra, en antioxidantes obtenidos a partir de microalgas marinas. Así, se han utilizado aceites españoles y procedentes de Arabia Saudita para poder analizar diferencias y similitudes.

Para obtener el extracto rico en antioxidantes procedente de la microalga *Scenedesmus almeriensis*, se ha usado una metodología basada en la purificación mediante un sistema de dos fases, obteniéndose un extracto cuya composición en porcentaje en peso es: 13,3% de β -caroteno, 0,25% de luteína y 1% de otros carotenoides.

Con el extracto de antioxidantes obtenido se han enriquecido los diferentes aceites y se ha hecho un estudio físicoquímico de ellos, basado fundamentalmente en la medida del color. De esta forma se ha evaluado la influencia de la exposición de las muestras de aceite a radiación ultravioleta (foto-estabilidad) y a la temperatura (termo-estabilidad).

Se ha utilizado un extracto de antioxidantes de concentración de carotenoides igual a 132 mg/ml, del que se han añadido 305 μ l de extracto a doce muestras de aceites (Arabia Saudita) para el estudio de foto-estabilidad (cubetas con 14 ml de aceite), 185 μ l de extracto para el estudio de termo-estabilidad por microondas (aceites saudíes y españoles) (tubos con 17 ml de aceite) y 174 μ l de extracto para el estudio de termo-estabilidad en baño termostático (aceites saudíes y españoles) (tubos con 16 ml de aceite) de esta forma se ha conseguido enriquecer a una concentración, en foto-estabilidad de 2.9 mg carotenoides/ml aceite y en los dos estudios de termo-estabilidad de 1.4 mg carotenoides/ml de aceite. Si especificamos el enriquecimiento en uno de los

carotenoides como en la luteína, se han obtenido así, aceites con 0.05 mg luteína en foto-estabilidad y 0.025 mg luteína/ml aceite en termo-estabilidad.

Por otro lado, sumando el consumo anual per cápita de aceite de oliva (9,6 litros/año) junto con los de aceite de girasol (3,3 litros/año) ([olimerca](#)):

$$\left(\frac{9,6 \text{ l}}{\text{año}} + \frac{3,3 \text{ l}}{\text{año}} \right) \cdot \frac{1000 \text{ ml}}{\text{l}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cdot \frac{0,05 \text{ mg luteína}}{\text{ml aceite}} \approx 1,8 \frac{\text{mg luteína}}{\text{día}} \quad (1)$$

Esto significa que con los aceites enriquecidos en antioxidantes (ensayos de foto-estabilidad) y la ingesta diaria que se ha calculado, incorporaríamos diariamente a nuestro organismo 1,8 mg luteína, cantidad suficiente según estudios médicos, para prevenir las enfermedades asociadas al déficit de este carotenoide.

Según un estudio europeo la ingesta de luteína diaria de un grupo de 80 españoles mostró una mediana de 3,25 mg/día (rango: 1,75 mg/día –4,34 mg/día) ([O'Neill et al., 2001](#)).

Si sumamos la luteína que aportaría el aceite a la dieta con los resultados del estudio, nos daría un rango de consumo entre 3,55 mg/día y 6,14 mg/día, consumo aproximado a la ingesta diaria de luteína recomendada para la prevención de este tipo de enfermedades (6 mg/día) ([Silva, 2004](#)).

En lo que se refiere a estabilidad, como norma general los aceites enriquecidos en antioxidantes muestran mayor estabilidad que los aceites sin enriquecer, lo que muestra el efecto positivo del enriquecimiento en antioxidantes. Respecto del análisis químico y en términos generales, el enriquecimiento en antioxidantes no produce variaciones significativas frente a los aceites control, lo que es un dato muy positivo, si se tiene como perspectiva la posible aplicación industrial de este proceso de enriquecimiento ([Limón et al., 2015](#)).

Los resultados obtenidos en este TFG, muestran que enriqueciendo los aceites con concentraciones de 2,9 mg carotenoides/ml, se obtienen aceites con propiedades fisicoquímicas, colorimétricas y de estabilidad muy aceptables.

Es importante resaltar que con el enriquecimiento en antioxidantes se pretende dotar al aceite de oliva de un valor añadido superior al que ya tiene de por sí y ofrecer una alternativa diferente a las actuales, en la lucha contra determinadas enfermedades degenerativas humanas.

2. ANTECEDENTES

2.1. Estudios basados en la medida de color

El color es una percepción que se genera en el cerebro al interpretar las señales nerviosas que le envían los fotorreceptores de la retina del ojo, que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que son captadas de la parte visible del espectro electromagnético. Se puede decir que el color no existe por sí mismo, es una percepción relativa.

El fenómeno del color puede ser dividido en dos partes, la primera consiste en el fenómeno puramente físico y requiere tres elementos: una fuente de luz, un objeto y un detector. La interacción de la luz con el objeto puede dar lugar a fenómenos físicos como la refracción, la transmisión, la dispersión, etc. En la segunda ocurren una serie de procesos complicados y no del todo conocidos donde el receptor (el ojo) transmite información al cerebro que lo interpretará como color ([Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003](#)).

El color depende de la luz y consecuentemente de la fuente de ésta. La luz está compuesta de diferentes longitudes de onda de radiación y la luz visible es el componente más importante en relación a la apreciación del color. La luz visible comprende una parte muy pequeña del espectro electromagnético, con radiaciones de longitudes de onda entre 380 y 750 nm. ([Imagen 1](#)). Los colores percibidos por el ojo humano están asociados con la radiación de luz en el siguiente rango de valores: azul-violeta ($380 < \lambda < 480\text{nm}$), verde ($480 < \lambda < 560\text{nm}$), amarillo ($560 < \lambda < 590\text{nm}$), naranja ($590 < \lambda < 630\text{nm}$) y rojo ($630 < \lambda < 750\text{nm}$).

En nuestra vida diaria, estamos rodeados por un número infinito de colores. No damos importancia al color pero éste tiene una gran presencia en nuestras vidas: influye en nuestros gustos respecto a los alimentos y en otros tipos de compras. Aunque los colores nos afectan mucho y su importancia es creciente, nuestro conocimiento del color y de su control es a menudo escaso, lo que conduce a una gran cantidad de problemas a la hora de decidir el color de un producto. Como el juicio se hace frecuentemente de acuerdo con la impresión o la experiencia personal, es imposible controlar el color de forma precisa utilizando estándares comunes y uniformes.

Incluso cuando tan sólo miramos a nuestro alrededor, una gran variedad de colores entra en nuestros ojos. Sin embargo, al contrario de lo que ocurre con la longitud o el peso, no existe una escala física para medir el color, lo que hace improbable que todo el mundo conteste del mismo modo cuando se le pregunta qué es un color determinado.

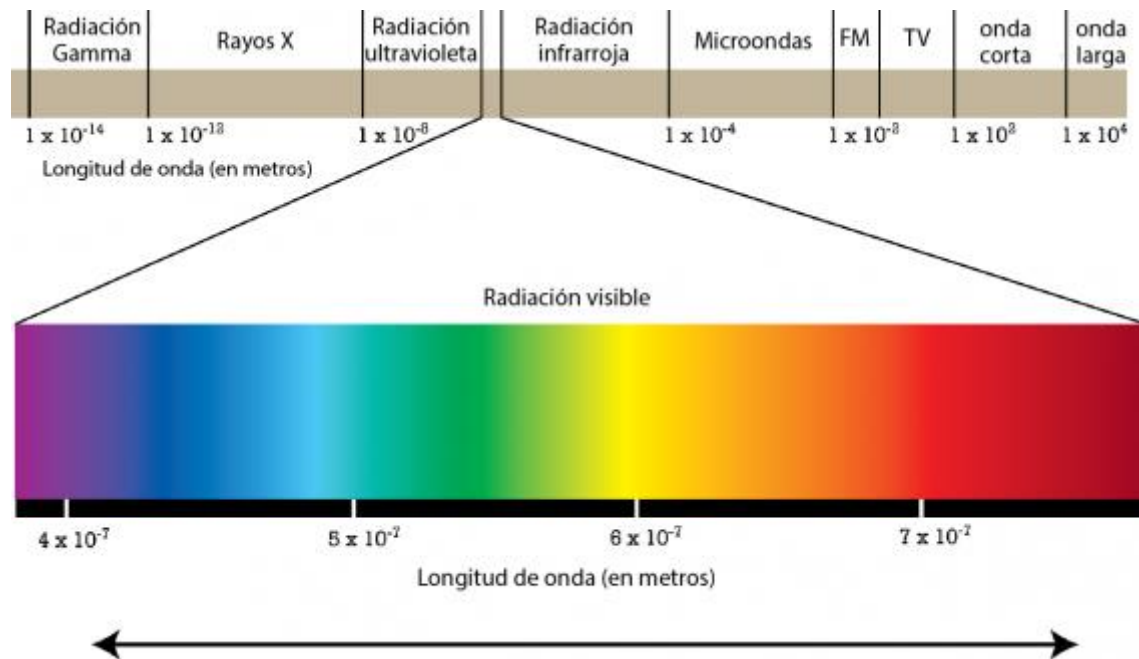


Imagen 1: Espectro electromagnético.

2.1.1. Condiciones que afectan al color

Diferencias de fuente de luz

Cada tipo de iluminación hace que el mismo producto parezca diferente: la luz solar, la luz de un fluorescente, la luz de tungsteno, etc.

Diferencias de fondo

Si se coloca un producto delante de un fondo claro parecerá más apagado que cuando se sitúa delante de un fondo oscuro. A esto se le llama efecto de contraste y no es deseable para un juicio preciso del color.

Diferencias direccionales

Cuando se observa un objeto, la visión de éste desde un ángulo ligeramente diferente puede hacer que parezca más claro o más oscuro. Esto se debe a las características direccionales de la pintura del mismo. Algunos materiales de coloración, especialmente las pinturas metalizadas, tienen características altamente direccionales. El ángulo de visualización del objeto (y también el ángulo de iluminación) deberán ser constantes para una comunicación precisa del color.

Diferencias de observador

La sensibilidad de los ojos de cada persona es ligeramente distinta. Incluso en personas consideradas como con una visión "normal" de los colores, puede existir cierta polarización hacia el rojo o el azul. Asimismo, la vista de una persona cambia generalmente con la edad. Debido a estos factores, los colores pueden parecer distintos a los diferentes observadores.

Diferencias de tamaño

Los colores que cubren una zona grande tienden a parecer más claros y vivos que los colores que cubren una zona pequeña. A esto se le conoce como efecto de área. La selección de objetos para zonas grandes basándose en muestras de color pequeñas puede resultar en errores.

2.1.2. Expresión numérica del color

La organización internacional de la luz y el color, la Commission Internationale de l'Eclairage (Comisión Internacional de la Iluminación - CIE) desarrolló sistemas para expresar el color numéricamente. El sistema $L^*a^*b^*$, creado en 1976, proporciona diferencias de color más uniformes en relación con las diferencias visuales y es el utilizado en este trabajo para definir los colores de los aceites y sus diferencias.

Espacio de color L^*a^*b

El espacio de color $L^*a^*b^*$ (también llamado CIELAB) es actualmente uno de los espacios más populares para medir el color de los objetos y se utiliza ampliamente en casi todos los campos. Es uno de los espacios de color uniformes definidos por la CIE en 1976. En este espacio, L^* indica luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad. En la parte izquierda [\(Imagen 2\)](#) se muestra el diagrama de cromaticidad de a^* , b^* . En este diagrama, a^* y b^* indican direcciones de colores: $+a^*$ es la dirección del

rojo, $-a^*$ es la dirección del verde, $+b^*$ es la dirección del amarillo y $-b^*$ es la dirección del azul.

El centro es acromático; a medida que los valores de a^* y b^* aumentan y el punto se separa del centro, la saturación del color se incrementa. La esfera derecha ([Imagen 3](#)) es una representación del sólido de colores para el espacio $L^*a^*b^*$; mientras que en la parte izquierda ([Imagen 2](#)), es una vista de este sólido de colores en sección horizontal en un valor constante de L^* . ([Konica Minolta, 2007](#)).

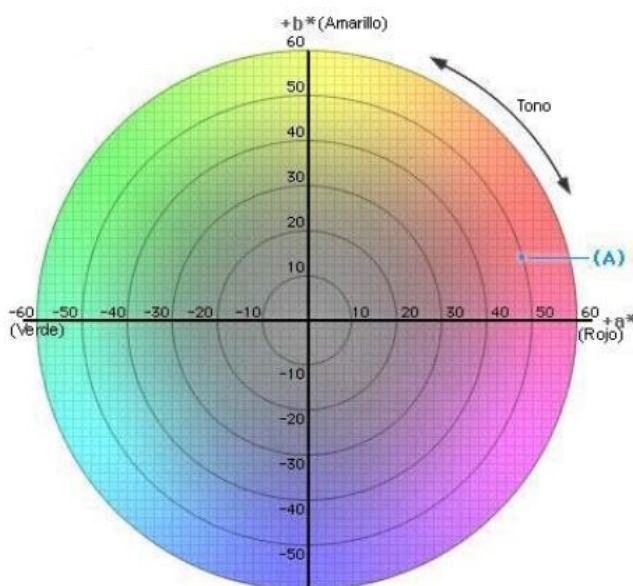


Imagen 2: Espacio de color CIELAB con coordenadas a^* y b^* , con L^* constante.

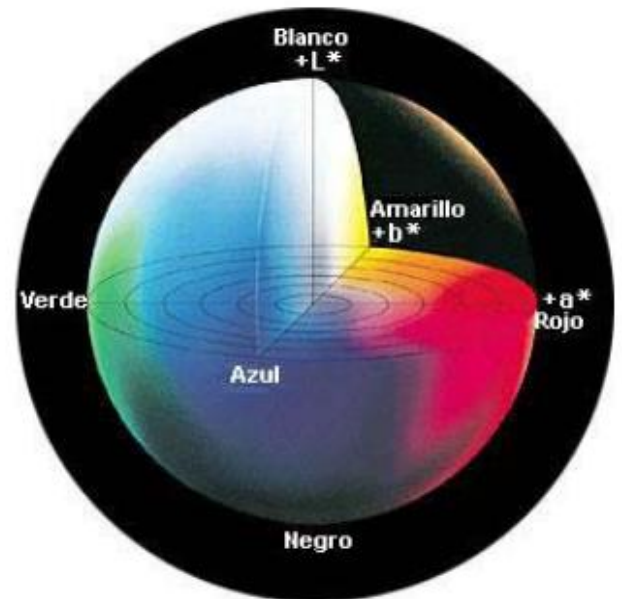


Imagen 3: Espacio de color CIELAB con las coordenadas L^* , a^* y b^* .

2.1.3. Medida de la diferencia de color

Los matices diminutos de color constituyen el mayor problema en cualquier lugar donde se utilice el color. Sin embargo, con un colorímetro, incluso esas diminutas diferencias de color pueden expresarse numéricamente y comprenderse fácilmente ([Imagen 4](#)).



Imagen 4: Diferencias de color en el espacio $L^*a^*b^*$

En el espacio de color $L^*a^*b^*$, las diferencias de color pueden ser expresadas con un único valor ΔE^*_{ab} , que indica el valor de la diferencia, pero no el camino en que se produce. ΔE^*_{ab} se define con la siguiente ecuación: (Konica Minolta, 2007)

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

A pesar de no ser tan exactas como los números, se pueden utilizar palabras para expresar diferencias de color como muestra la Imagen 5. (Konica Minolta, 2007).

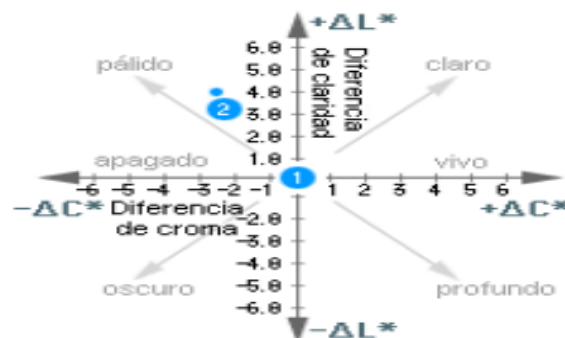


Imagen 5: Términos para describir diferencias de color en claridad y saturación.

2.2. Microalgas como fuente de productos de interés

Las microalgas y las cianobacterias son microorganismos unicelulares fotoautótrofos, capaces de obtener energía de la radiación luminosa y de sintetizar sus biomoléculas a partir de dióxido de carbono y agua. Estos organismos han colonizado casi todos los hábitats conocidos, aunque la mayor parte se han adaptado mejor al ambiente acuático, tanto marino como dulceacuícola. Así, los mares y los océanos contienen grandes cantidades de microalgas, estimándose que el 90 % de la fotosíntesis total del planeta es realizada por estos microorganismos acuáticos, siendo claves en la dinámica del dióxido de carbono en la Tierra y constituyendo la base de las cadenas tróficas ([Muller y Tobin, 1986](#)). En la actualidad representan un recurso poco explorado, ya que de las más de 30.000 especies descritas solo unas 50 especies han sido estudiadas con detalle desde el punto de vista fisiológico y bioquímico.

Las microalgas pueden cultivarse en reactores a gran escala bajo condiciones controladas, y su elevada velocidad de crecimiento permite obtener grandes productividades ([Pulz y Scheibenbogen, 1998](#)). El carbono fijado por las microalgas es incorporado a proteínas, carbohidratos y lípidos, de forma que a partir de la biomasa microalgal se pueden obtener una gran diversidad de productos químicos ([Yanagi et al., 1995](#)). Debido a estas razones, los procesos basados en el uso de microalgas están recibiendo un interés creciente y hoy en día se siguen investigando. Uno de los aspectos más interesantes en el campo de la biotecnología de microalgas es la explotación de la capacidad de las microalgas para generar biomasa constituida por biomoléculas complejas como vitaminas, enzimas y sustancias bioactivas de elevado valor comercial ([Shi et al., 2002](#)). Además, muchas de las moléculas que generan son específicas y no pueden ser sintetizadas por otros organismos o plantas superiores.

Derivado de esta composición tan rica de las microalgas, sus principales aplicaciones se centran en la alimentación humana, nutrición animal, y la obtención de compuestos de interés como carotenoides, ácidos grasos, etc.

Respecto a la producción de compuestos de alto valor, las microalgas se caracterizan por una composición bioquímica compleja, rica en sustancias de protección frente a factores ambientales adversos, lo que las hace especialmente interesantes para la producción de este tipo de compuestos.

Hoy en día, existe un amplio abanico de productos de interés que se obtienen comercialmente de microalgas como: ficobiliproteínas, carotenoides, ácidos grasos poliinsaturados y polisacáridos; empleando para ello especies como *Spirulina*, *Dunaliella*, *Porphyridium*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Muriellopsis* o *Haematococcus* ([De la Noue y De Pauw, 1998](#)).

Para este trabajo y con el objetivo de obtener un extrcto rico en carotenoides, con el que enriquecer los aceite ensayados, se ha utilizado biomas de la microalga *Scenedesmus almeriensis*.

2.3. Luteína y β -caroteno como agentes antioxidantes y preventivos

2.3.1. Degeneración macular asociada a la edad (DMAE)

Es muy importante mantener la integridad del área macular retiniana. La concentración de fotorreceptores en esta área requiere un aporte vascular exquisito para mantener una función correcta. Ésta circunstancia la hace más susceptible a alteraciones patológicas. A veces éstas pueden predecirse y así evitar pérdidas mayores de visión central.

La DMAE es la primera causa de pérdida de visión, que puede culminar en ceguera en personas de edad superior a 50 años en occidente, siendo una enfermedad degenerativa que afecta a la mácula lútea responsable de la visión central directa. La [Imagen 6](#) muestra el deterioro progresivo de la mácula lútea en personas afectadas por esta enfermedad y los efectos sobre la visión que éste produce.



Imagen 6: Cambios que provoca la degeneración macular senil (DMAE) en la retina (parte superior de la imagen) y defectos que se producen en la visión humana (parte inferior de la imagen).

Existen dos formas diferenciadas de DMAE:

La forma seca o atrófica: es la más común

Consiste en una desorganización granular del epitelio pigmentario con hiperplasia de éste en el área macular y formación de drusas. Se degeneran las capas más externas de la retina. La pérdida de visión es variable según el grado. La visión de colores se ve afectada, así como la adaptación a la luz. Es bilateral aunque no simétrica. Rara vez, sin embargo la pérdida es realmente severa.

En la DMAE tipo seca, el paciente suele referir pérdida de agudeza visual y metamorfopsia (desdibujamiento de las líneas rectas). Se pueden observar alteraciones del epitelio pigmentario de la retina en el área macular con zonas de hipo e hiperpigmentación, siendo los patrones de presentación impredecibles.

La forma húmeda

Consiste en una degeneración exudativa que suele venir precedida Existen dos formas diferenciadas de DMAE: de drusas o infiltrados corioideos. Puede presentarse como: neovascularización corioidea (red verdosa-grisácea), exudados duros, degeneración hemorrágica y degeneración disciforme. La neovascularización corioidea ocurre como resultado de la ruptura de la barrera epitelio pigmentario/membrana de Bruch, que conduce a la formación de neovasos procedentes de la coriocapilaris, que crecen como respuesta a un estado hipóxico. Al romperse estos vasos liberan líquido y crean un desprendimiento del epitelio pigmentario o la retina sensorial. También se produce una hemorragia que una vez terminado el proceso de cicatrización conduce a la lesión disciforme retiniana.

En la DMAE tipo húmeda el paciente manifiesta disminución de la visión central con su escotoma correspondiente y metamorfopsia. No tiene un patrón típico de aparición pero se puede percibir desde edema macular hasta una hemorragia en dicha zona. El manejo clínico consiste en evitar la exudación si se puede aplicando láser sobre la membrana neovascular antes de que ésta se rompa.

Pacientes en los que se observan drusas en la mácula son más propensos a la degeneración macular relacionada con la edad, independientemente de que sea tipo seca o húmeda. ([csic](#)).

2.3.2. Enfermedades cutáneas

La exposición excesiva al sol puede dañar considerablemente la piel humana. El calor del sol seca las áreas externas de piel desprotegidas y reduce el suministro de aceites lubricantes naturales de la misma. Además, la radiación ultravioleta (UV) del sol puede producir quemaduras y cambios a largo plazo en la estructura de la piel.

Los tipos más comunes de daño solar a la piel son:

- Piel seca: la piel expuesta al sol puede perder gradualmente la humedad y los aceites esenciales, y adquirir una apariencia seca, escamosa y con arrugas prematuras, incluso en personas jóvenes.
- Quemadura de sol: la quemadura de sol es el nombre común que se le da a las lesiones en la piel que aparecen inmediatamente después de la exposición de la piel a la radiación UV. Las quemaduras de sol leves solo causan enrojecimiento de la piel, que puede ser dolorosa, pero los casos más severos pueden producir pequeños bultos llenos de líquido (vesículas) o ampollas más grandes.
- Queratosis actínica: es un pequeño bulto parecido al papel de lija o un parche escamoso de piel dañada por el sol con tono rosado, rojo, amarillo o parduzco. A diferencia de las marcas del bronceado o quemaduras, por lo general, una queratosis actínica no desaparece a menos que se la congele, se la trate químicamente o la extraiga un médico. Una queratosis actínica se desarrolla en áreas de la piel que han estado expuestas a radiación ultravioleta en repetidas ocasiones o por períodos prolongados, y es una señal de advertencia de un alto riesgo de desarrollar cáncer de piel. Aproximadamente entre el 10 y el 15 % de las queratosis actínicas finalmente se convierten en cánceres de células escamosas de la piel.
- Cambios a largo plazo en el colágeno de la piel (proteína estructural): estos cambios incluyen fotoenvejecimiento (envejecimiento prematuro de la piel causado por la exposición al sol) y púrpura actínica (sangrado de los vasos sanguíneos frágiles debajo de la superficie de la piel). En el caso del fotoenvejecimiento la piel desarrolla arrugas y líneas finas debido a los cambios en el colágeno de la capa profunda de la piel (dermis). En el caso de la púrpura actínica, la radiación ultravioleta daña el

colágeno estructural que soporta las paredes de los diminutos vasos sanguíneos de la piel.

Los episodios repetidos de quemaduras de sol y exposición al sol sin protección durante toda una vida, pueden aumentar el riesgo de una persona de desarrollar un melanoma maligno u otras formas de cáncer de piel.

Las personas que tienen piel y ojos claros tienen un mayor riesgo de desarrollar daños relacionados con el sol o cánceres de la piel. Esto se debe a que su piel contiene menos cantidad de un pigmento oscuro llamado melanina, que ayuda a proteger la piel de los efectos de la radiación UV. ([vidaysalud](#))

El cáncer de piel es el tipo más común de cáncer ([cáncer](#)). Por lo general, se forma en la piel que se expuso a la luz solar, pero se puede presentar en cualquier parte del cuerpo.

Hay varios tipos diferentes de cáncer de piel. Los cánceres de células escamosas y de células basales de la piel a veces se llaman cánceres de piel no melanomatosos. El cáncer de piel no melanomatoso suele responder al tratamiento y se extiende a otras partes del cuerpo con poca frecuencia.

El melanoma es más agresivo que la mayoría de los otros tipos de cáncer de piel. Si no se diagnostica a tiempo, es probable que invada los tejidos cercanos y se disemine a otras partes del cuerpo. El número de casos de melanoma está aumentando cada año. Solo 2% de todos los cánceres de piel son melanomas, pero causa la mayoría de las muertes por cáncer de piel.

Los tipos menos frecuentes de cáncer de piel son el carcinoma de células de Merkel, el linfoma cutáneo y el sarcoma de Kaposi.

2.3.3. Luteína y β -caroteno: su papel preventivo

La luteína es un pigmento carotenoideo liposoluble del grupo de las xantofilas que presenta la fórmula $C_{40}H_{56}O_2$ ([Imagen 7](#)). La luteína presenta dos grupos hidroxilo, aunque en las plantas superiores se encuentra generalmente en forma esterificada formando mono o diésteres. El sistema de dobles enlaces conjugados que contiene esta molécula le confiere su color y el carácter antioxidante. La luteína es un potente

antioxidante que se encuentra presente en el cuerpo humano ([Palozza y Krinsky, 1992](#)). La luteína está muy relacionada con otros carotenoides como el β -caroteno, zeaxantina o astaxantina, por lo que comparten numerosas propiedades químicas, entre ellas la capacidad antioxidante. Las diferencias estructurales de los distintos carotenoides les otorgan un diferente potencial antioxidante en humanos ([Simic, 1992](#)).

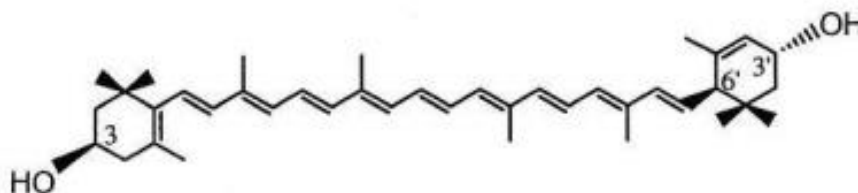


Imagen 7: Estructura química de la luteína.

Según numerosos estudios epidemiológicos, un consumo apropiado de luteína en la dieta disminuye el riesgo de contraer enfermedades asociadas con la formación de radicales libres. Así, la luteína es capaz de proteger a las células, así como prevenir y finalizar las reacciones en cadena originadas por los radicales libres. La luteína es acumulada principalmente junto con la zeaxantina en una zona de la retina humana denominada mácula lútea. Esta zona es rica en ácidos grasos poliinsaturados que son atacados por los radicales libres y sufren un proceso de oxidación que se ve atenuado por la presencia de luteína. De este modo, la luteína funciona como un filtro de los rayos ultravioleta del sol y como antioxidante que atrapa radicales libres y especies de oxígeno reactivo ([Silva, 2004](#)).

La luteína es el único carotenoide detectado en mácula, en la retina y en el cristalino, y que a su vez constituye el pigmento macular. Tiene un papel protector de los fotorreceptores frente a la agresión oxidativa producida por la exposición a la luz azul y el intenso metabolismo celular. Todos los estudios hasta la fecha coinciden en que la luteína reduce el riesgo de padecer DMAE, y que puede mejorar el funcionalismo visual en estos pacientes.

La luteína es, junto con la zeaxantina, uno de los carotenoides más importantes para los humanos, y ha sido detectada en el plasma humano y en la leche materna y más significativamente en la mácula de la retina humana donde juegan un importante papel en la protección de la misma. Estudios clínicos han revelado los beneficios que supone la ingesta adecuada de luteína en la protección contra la aparición y/o progresión de enfermedades de elevada incidencia en países desarrollados, como son cáncer, enfermedad cardiovascular, cataratas y degeneración macular senil ([Shi et al., 2002](#)).

Este tipo de enfermedades tienen que ver con el déficit de luteína en el organismo y la correspondiente pérdida de protección antioxidante.

Los beneficios de la utilización de luteína se han constatado especialmente en el caso de la degeneración macular senil. Se ha demostrado que el consumo de una dieta rica en luteína reduce el riesgo de sufrir degeneración macular senil y otras dolencias asociadas a la edad ([Schünemann et al., 2002](#)). Aunque el mecanismo de la acción protectora que puede desempeñar de este pigmento se desconoce, se le atribuye la capacidad de filtrar la luz azul o de neutralizar los radicales libres que esta radiación u otros factores puedan llegar a originar.

Para la prevención de las enfermedades degenerativas mencionadas, la ingesta recomendada es de 6 mg por día, lo cual es difícil de alcanzar por modificaciones en la dieta ([Silva, 2004](#)). Por tanto, en grupos de riesgo además de una dieta rica en luteína, se deberían de administrar suplementos de luteína.

El β -caroteno es un pigmento carotenoido liposoluble del grupo de los carotenos que presenta la fórmula $C_{40}H_{56}$ ([Imagen 8](#)):

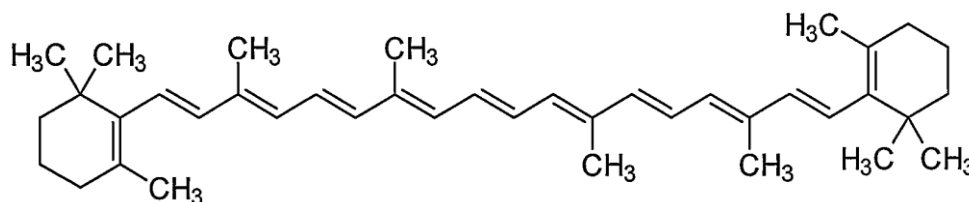


Imagen 8: Estructura del β -caroteno.

De los carotenoides que pueden ser convertidos en vitamina A por el organismo (llamados carotenoides provitamina A), el β -caroteno es el más abundante y el más eficiente que se halla en los alimentos.

La ingesta suficiente de β -caroteno es importante, ya que actúa como una fuente segura de vitamina A que ayuda al cuerpo a alcanzar los niveles necesarios para un crecimiento y desarrollo normales, una buena visión y salud ocular, un fuerte sistema inmunitario y una piel sana. Además, es un antioxidante que contribuye a proteger el cuerpo contra los efectos nocivos de los radicales libres, los cuales pueden aumentar el riesgo de desarrollar ciertas enfermedades, inclusive enfermedades cardiovasculares o cáncer. ([nutrifacts](#)).

2.3.4. Otras aplicaciones de la luteína y β -caroteno

El hecho de que los ésteres de luteína sean más solubles en aceites vegetales que los carotenoides sintéticos es un factor favorable para el uso de este compuesto como colorante alimenticio ([Philip y Berry, 1975](#)) por lo que uno de los usos actuales más extendidos de la luteína es su utilización como colorante natural en alimentación humana, en productos como mantequilla, margarina, quesos, bebidas refrescantes y pasta.

Tanto la luteína como el β -caroteno se añaden a piensos de acuicultura para incrementar la coloración de los salmónidos, otros peces y mariscos. También se usan ampliamente en la alimentación avícola, empleándose para mejorar la pigmentación tanto de la piel, como de carne y yemas de huevos ([Livingston, 1986](#)) y en la industria cosmética y como complemento para enriquecer algunos alimentos, aumentando de este modo su valor comercial.

2.3.5. Fuentes de luteína y β -caroteno. Las microalgas como alternativa

Dado su papel esencial en el metabolismo vegetal y concretamente en la estructura y función del aparato fotosintético, los carotenoides se encuentran ampliamente distribuidos en plantas superiores, contándose frutas y verduras entre sus fuentes para consumo humano, y siendo especialmente ricas las de hoja verde.

En el caso de la luteína, ninguna de estas fuentes es directamente aplicable para complementar la ingesta habitual de la población, hasta las dosis recomendadas para la prevención de enfermedades degenerativas (6,0 mg/día). Para esto, habitualmente se recurre al uso de extractos enriquecidos en luteína que, en su mayoría, proceden de flores de caléndula y sirven para suplementar dietas de los grupos de riesgo ([Imagen 9](#)).



Imagen 9: Flor de marigold o caléndula (*Tagetes erecta*).

En el caso del β -caroteno, la proporción que puede ser absorbido, transportado y aprovechado por el cuerpo una vez ha sido consumido (biodisponibilidad) depende de una serie de factores: el β -caroteno de los suplementos dietéticos se absorbe mejor que el de los alimentos; picar, homogeneizar mecánicamente y cocinar los alimentos aumenta la biodisponibilidad del β -caroteno, y la presencia de grasa en el tracto digestivo es necesaria para la absorción del β -caroteno. ([nutrifacts](#))

A pesar de la amplia distribución de la luteína y β -caroteno en plantas superiores y algunos productos que se usan para la alimentación animal (harina de alfalfa, gluten de maíz y flores de caléndula), la reducida concentración de éstos en estas materias primas hace que se estén buscando otras fuentes en las que se encuentren en mayores concentraciones. Así, se están realizando esfuerzos considerables para hacer posible la producción comercial de estos carotenoides a partir de microalgas ([García González et al., 2005](#)). La biomasa de microalgas es una fuente ventajosa de carotenoides debido a su elevado contenido en estos pigmentos, con respecto a las fuentes tradicionales anteriormente mencionadas ya que, aparecen como moléculas libres en lugar de la mezcla de ésteres, que habitualmente se encuentra en los extractos comerciales procedentes de fuentes tradicionales.

Así, se están realizando esfuerzos considerables para hacer posible la producción comercial de este carotenoide a partir de microalgas ([García González et al., 2005](#)). La biomasa de microalgas es una fuente ventajosa de luteína debido a su elevado contenido en este pigmento, con respecto a las fuentes tradicionales anteriormente mencionadas y a que, aparece como molécula libre en lugar de la mezcla de ésteres, que habitualmente se encuentra en los extractos comerciales procedentes de fuentes tradicionales.

Es importante resaltar en este punto, la existencia de la microalga *Scenedesmus almeriensis*, una nueva especie descubierta y patentada por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería, que contiene, para un cultivo realizado en 2010, una elevada cantidad de luteína (hasta 7000 ppm), constituyendo ésta el carotenoide mayoritario ([Tabla 1](#)) ([Fernández et al., 2010](#)). Este elevado contenido en luteína, hace de esta fuente una alternativa a la utilización de luteína procedente de la flor de caléndula.

Tabla 1: Composición de la microalga *Scenedesmus almeriensis*.

Pigmento	Contenido (mg·g ⁻¹)
Violaxantina	0.234
Astaxantina	0.210
Luteína	7.010
Cantaxantina	0.125
Esteres de astaxantina	0.204
β-caroteno	0.756

2.3.6. El aceite de oliva como vehículo para incorporar luteína y β-caroteno

Es bien conocido que el aceite de oliva posee, debido a su composición química, importantes propiedades que lo hacen un alimento muy saludable y recomendado, presentando además un alto factor de digestibilidad, parámetro muy importante en alimentación. Son muchos los trabajos científicos que avalan la importancia de su incorporación en una dieta equilibrada, mostrando efectos muy beneficiosos para la salud, entre los que se pueden citar: reduce el nivel del colesterol; disminuye el riesgo de infarto y de trombosis arterial; es eficaz en la lucha contra úlceras, gastritis y acidez en general; regula el tránsito intestinal y beneficia el crecimiento óseo y previene muchas enfermedades degenerativas humanas.

Dentro de la gran variedad de compuestos existentes en el aceite de oliva, se pueden encontrar, entre otros: compuestos hidrocarbonados, esteroides, compuestos diterpénicos y triterpénicos, alcoholes alifáticos, tocoferoles, pigmentos, etc. Las clorofilas y los carotenoides son los pigmentos más abundantes en aceites de oliva virgen. Los carotenoides se encuentran presentes en un intervalo comprendido entre los 5-100 mg/kg, y dependiendo de la naturaleza del aceite se ha encontrado luteína en concentraciones que varían en el intervalo 2-8 mg/kg ([Cichelli y Pertesan, 2004](#)).

Los anteriores valores, indican que la luteína se encuentra en cantidades muy pequeñas y por tanto el aceite de oliva, en su composición original, no puede aportar las cantidades recomendadas para la prevención de enfermedades degenerativas. Sin embargo, es importante resaltar que por sus características y por contener pequeñas cantidades de luteína, puede ser un adecuado medio de vehiculización de este pigmento, pues aumentar la concentración de este componente previamente existente, no debe generar problemas de estabilidad severos, hecho que si podría ocurrir al tratar de añadir un compuesto químico totalmente ajeno al medio receptor.

En el estado actual de las investigaciones sobre el papel de la luteína en la prevención de la DMAE, una de las principales preocupaciones es determinar en qué medida es digerida y absorbida la luteína suministrada en las diferentes fuentes dietarias (estudios de digestibilidad-bioaccesibilidad). Esta preocupación se extiende a los extractos comerciales que actualmente se usan en los complementos nutricionales que contienen luteína. Sólo productos de digestibilidad conocida y adecuada son útiles como aporte de luteína en la dieta humana. Más aún, sólo productos de digestibilidad conocida serán útiles en futuros estudios del papel de la luteína en la prevención de enfermedades oculares.

En este sentido, existen trabajos que describen estudios realizados *in vitro*, en los que se pone de manifiesto que las matrices alimenticias ricas en grasas, como son el aceite de oliva y otras similares, pueden facilitar y/o beneficiar el proceso de bioasimilación de este tipo de carotenoides ([Granado et al., 2010](#); [Nidhi y Baskaran, 2011](#)). También se pueden encontrar estudios de degradación térmica de carotenoides en aceites de oliva y similares que pueden afectar a las propiedades fisicoquímicas y de coloración y por tanto a su apariencia y aceptabilidad ([Aparicio et al., 2011](#)). Del mismo modo, algunas patentes describen la incorporación al aceite de oliva de diferentes carotenoides ([European Patent, 2006](#)).

Por todo lo anteriormente comentado, en este trabajo se pretende utilizar el aceite como medio en el que solubilizar los carotenoides procedentes de la microalga *Scenedesmus almeriensis*, con el objetivo de poder incorporar a través de la “Dieta Mediterránea”, las cantidades necesarias de antioxidantes que ayuden en la prevención de la aparición de enfermedades degenerativas en el ser humano.

2.4. El aceite de Oliva Virgen Extra

El aceite de oliva virgen es el mosto oleoso procedente únicamente del fruto del olivo (*Olea Europea Sática*), la aceituna, totalmente natural, que cuando es obtenido por sistemas mecánicos correctos y procede de frutos de buena calidad, posee excepcionales características organolépticas (olor, color y sabor) siendo el único entre los aceites vegetales que puede consumirse crudo, conservando íntegro su contenido en vitaminas, ácidos grasos esenciales y otros productos naturales de importancia dietética. El aceite de oliva virgen es obtenido únicamente por procedimientos mecánicos o por medios físicos, como son el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado.

Los aceites de oliva vírgenes aptos para el consumo se clasifican en:

- Aceite de oliva virgen extra: aceite de oliva virgen cuya acidez libre expresada en ácido oleico es como máximo 0,8 gramos por 100 gramos y en cuanto a las características organolépticas la mediana de los defectos es igual a 0 y la del atributo "frutado" superior a 0.
- Aceite de oliva virgen: aceite de oliva virgen cuya acidez libre expresada en ácido oleico es como máximo de 2 gramos por 100 gramos y en relación a las características organolépticas la mediana de los defectos es superior a 0 e inferior o igual 2,5 y la del atributo "frutado" superior a 0.
- Aceite de oliva virgen lampante: aceite de oliva virgen cuya acidez libre expresada en ácido oleico es como máximo de 2 gramos por 100 gramos y en cuanto a sus características organolépticas la mediana de los defectos es superior a 2,5. ([Reglamento CE 61/2011](#)).

El consumo de aceite de oliva virgen se ha relacionado con un perfil lipídico de menor riesgo de padecer enfermedades coronarias y con un menor riesgo de desarrollar algunas neoplasias malignas. Un número creciente de estudios apuntan al papel crucial que desempeña el aceite de oliva como integrante básico de la dieta Mediterránea, en sus efectos beneficiosos sobre la salud. Por ejemplo, se ha demostrado que el aceite de oliva reduce el colesterol total en plasma, gracias a su composición de ácidos grasos. También disminuye la fracción de colesterol transportada por las lipoproteínas de baja densidad (LDL) mientras que incrementa la fracción transportada por las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Por otra parte, la incidencia de enfermedades cardiovasculares y muertes por enfermedades coronarias es menor entre los habitantes de regiones donde existe hábito de consumo de aceite de oliva ([Aparicio et al., 2003](#)).

2.4.1. Antioxidantes presentes en el aceite de oliva virgen

Los principales antioxidantes del aceite de oliva virgen son los compuestos fenólicos, incluyendo los fenoles lipofílicos e hidrofílicos ([Boskou, 1996](#)). Mientras que los fenoles lipofílicos, entre los que se encuentran los tocoferoles y tocotrienoles pueden encontrarse en otros aceites vegetales, algunos fenoles hidrofílicos del aceite de oliva virgen, no están generalmente presentes en otros aceites y grasas ([Boskou, 1996](#)).

Se puede afirmar que el aceite de oliva virgen puede ser diferenciado de otros aceites vegetales por su particular composición en compuestos fenólicos ([Boskou, 1996](#)).

Los pigmentos, presentes en el aceite de oliva virgen, también tienen propiedades antioxidantes. Se ha descrito la doble capacidad, antioxidante en la oscuridad y pro-oxidante en presencia de luz, de las clorofilas. Los carotenoides también presentan un importante papel como antioxidantes en el aceite de oliva virgen.

2.4.1.1. Compuestos Fenólicos

Los fenoles hidrofílicos del aceite de oliva virgen constituyen un grupo de compuestos, metabolitos secundarios de las plantas, que presentan importantes propiedades organolépticas y para la salud. La concentración de estos compuestos en el mesocarpio de las aceitunas puede suponer el 1-3 % del peso de la pulpa fresca. Se trata de compuestos de carácter polar que pasan al aceite en pequeñas cantidades en el proceso de extracción como consecuencia del equilibrio físico-químico entre dos fases inmiscibles: agua y aceite. Estos compuestos reciben el nombre de polifenoles, tratándose de un término convencional ya que todos no son polihidroxiderivados.

El contenido total normal en polifenoles en el aceite de oliva virgen oscila entre 50 y 500 mg/kg de ácido cafeico, aunque se han descrito aceites con un contenido superior a los 1000 mg/kg ([Uceda et al., 2004](#)).

Los compuestos fenólicos le confieren al aceite de oliva virgen determinadas propiedades a nivel químico, organoléptico y de la salud.

A nivel químico, el efecto antioxidante de estos compuestos ha quedado demostrado en muchos trabajos. La actividad antioxidante del hidroxitirosol, un efecto quelante de iones de metales junto a un efecto secuestrador de radicales libres, ha demostrado tener una capacidad antioxidante igual o superior que otros antioxidantes como la vitamina E y la vitamina C ([Visioli y Galli, 1998](#)).

En cuanto a la implicación de los compuestos fenólicos en las propiedades sensoriales del aceite de oliva virgen, estos compuestos son responsables de atributos positivos como el amargo, picante y astringente ([Andrewes et al., 2003](#)).

El amargor de los aceites puede ser cuantificado químicamente mediante la medida del K225 ([Gutiérrez et al., 1992](#)), parámetro relacionado con la evaluación sensorial del amargo ([COI, 1987](#)).

2.4.1.2. Tocoferoles

Los tocoferoles son los compuestos responsables de la actividad de la vitamina E. El término general vitamina E se utiliza para designar a un grupo de especies naturales de tocoferoles (α , β , γ , y δ) y tocotrienoles. Junto con las vitaminas A, D y K constituyen el grupo de las vitaminas liposolubles, solubles en lípidos y en disolventes orgánicos. Son compuestos que el organismo no puede sintetizar, por lo que su aporte se realiza a través de la dieta, siendo los aceites vegetales una de las principales fuentes de aporte ([Savago et al., 2007](#)).

La vitamina E se encuentra principalmente en los aceites vegetales (soja, maíz, algodón y girasol), granos, plantas y en el tejido adiposo de los animales. Se localiza principalmente en las hojas y partes verdes de las plantas, que contienen más α -tocoferol que las partes amarillas, mientras que el γ -tocoferol se encuentra en bajas concentraciones ([Gerald y Combs, 1992](#)). También se encuentran en algunas algas marrones, verdes y rojas, en algunas levaduras y hongos, pero no en las bacterias ([Codoceo y Muñoz, 1999](#)).

En el aceite de oliva virgen se ha descrito la presencia de α , β , y γ -tocoferol. El α -tocoferol es mayoritario, alcanzando valores superiores al 95 % del total. El contenido medio en tocoferoles en el aceite de oliva virgen oscila entre los 50 y 300 mg/kg ([Boskou, 1996](#)).

En cuanto a su función, la vitamina E actúa coordinada con otras moléculas y enzimas para la defensa de las células (especialmente glóbulos rojos, células musculares y células nerviosas) frente a los efectos nocivos producidos por los radicales libres, considerándose actualmente como un importante antioxidante que aporta sustancias beneficiosas al organismo ([Gerald y Combs, 1992](#)).

La actividad antioxidante radica en su capacidad de protección de las membranas celulares, acción que realiza impidiendo la oxidación de las mismas por los radicales libres. Dicha oxidación llevaría a una degradación del organismo, especialmente a la aparición de enfermedades cardíacas o posibles cánceres. Esta vitamina, junto con las

vitaminas A y C, conforma el grupo de las vitaminas antioxidantes ([Gerald y Combs, 1992](#)).

La vitamina E, como antioxidante, defiende las células reduciendo el estrés oxidativo, estimula el sistema inmunológico y frena el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer. Asimismo, ayuda a reducir los niveles de colesterol ([Packer y Obermüller-Jevic, 2002](#)).

2.4.1.3. Pigmentos

El aceite de oliva virgen tiene un color que va desde el verde-amarillo hasta el dorado, dependiendo de la variedad y del estado de madurez del fruto. La composición y el contenido total de pigmentos, presentes de forma natural en el aceite de oliva virgen, son importantes parámetros para la determinación de su calidad. Los pigmentos también están involucrados en mecanismos de autooxidación y fotooxidación. Los pigmentos presentes en el aceite de oliva se agrupan en dos clases: clorofilas y feofitinas; y carotenoides.

Clorofilas y feofitinas

Las clorofilas son los pigmentos responsables del color verde de los aceites de oliva vírgenes. Su estructura consiste básicamente en cuatro anillos pirrólicos sustituidos, uno de los cuales está reducido, que están coordinados con un ión Mg^{2+} para formar un complejo planar muy estable. En medio ácido se produce la sustitución del magnesio por hidrógeno dando lugar a las feofitinas. Este proceso se produce siempre que se rompe la integridad celular, lo que ocurre cuando los productos vegetales son sometidos a golpes, rotura, trituración y calentamiento. En el aceite de oliva, como consecuencia del proceso de elaboración, se puede encontrar feofitina "a" y "b", siendo la primera el pigmento más abundante en los aceites de oliva con un 70-80 % del total ([Ranalli, 1992](#)).

Así mismo en el aceite de oliva coexisten dos tipos de clorofilas: "a" y "b" cuya diferencia fundamental es que "a" tiene un grupo metilo en el C3 y "b" tiene un carbonilo.

El contenido en clorofilas en los aceites de oliva vírgenes varía entre 1 a 20 mg/kg.

[Vázquez en 1980](#) observó que el aceite de oliva virgen es muy sensible a una radiación de 320-700nm. Esta sensibilidad es debida a la presencia de clorofilas que absorben la luz en ese espectro. Las clorofilas y feofitinas tienen un efecto pro-oxidante sobre los lípidos en presencia de la luz, mientras que en la oscuridad actúan como antioxidantes. Por ello, el aceite de oliva virgen, que contiene pigmentos verdes, debe ser protegido de la luz durante su almacenamiento, para minimizar los efectos de la oxidación ([Kiritsakis, 1980](#)). Estos pigmentos facilitan la formación de oxígeno singlete, lo que provoca la oxidación del aceite en presencia de la luz ([Lee et al., 1988](#)). Este oxígeno singlete reacciona rápidamente con las insaturaciones de los ácidos grasos para dar hidroperóxidos. Estos son inestables y se descomponen en radicales libres, que inician la reacción de autooxidación en cadena ([Carlsson et al., 1976](#)).

Carotenoides

Los carotenoides son moléculas liposolubles presentes en todos los organismos fotosintéticos, cuyo color va del amarillo al rojo. La estructura básica de los carotenoides es un tetraterpeno de 40 carbonos, simétrico y lineal. Este esqueleto básico puede modificarse de varias formas, como por ejemplo, por hidrogenación, deshidrogenación, ciclación, migración del doble enlace, etc., dando como resultado una gran diversidad de estructuras. Los carotenoides se dividen según su naturaleza química en dos grupos, carotenos y xantofilas. Los carotenos no presentan sustituciones en la cadena hidrocarbonada mientras que las xantofilas son derivados oxigenados, que contienen uno o más grupos funcionales (hidroxilo, carbonilo, carboxilo, etc.).

Los carotenoides presentan importantes propiedades como colorantes, antioxidantes, como favorecedores del bronceado, en el tratamiento de enfermedades de la piel, e incluso como agentes de prevención de ciertos tipos de cáncer ([Shi et al., 2002; nutrifacts](#)). Sólo las plantas, las algas, y algunos hongos y bacterias sintetizan de forma natural los carotenoides, y por tanto los mamíferos necesitan ingerirlos a través de la dieta. Los carotenoides son de los pigmentos más ampliamente reconocidos debido a sus relevantes aplicaciones, de forma que un elevado número de ellos han encontrado aplicación comercial.

2.4.2. Importancia de la ingesta de antioxidantes en la dieta

Desde el punto de vista biológico, un antioxidante se define como una sustancia que, en concentraciones bajas en relación con el sustrato oxidable, puede retrasar ó evitar la oxidación del sustrato ([Gutteridge, 1995](#)).

Los efectos dañinos de los radicales libres están controlados en el organismo mediante un amplio espectro de antioxidantes de origen endógeno (enzimas, glutatión, albúmina, transferrina, ceruloplasmina, ácido úrico, bilirrubina....) y exógeno (vitamina E y C, carotenoides, escualeno, selenio, compuestos fenólicos, etc.), a través de la dieta.

Según su mecanismo de acción, los antioxidantes se clasifican en primarios, secundarios ó terciarios ([Oliveras, 2005](#)):

Primarios: Impiden la formación de radicales libres, frenan la reacción en cadena de los radicales libres ó son quelantes de metales de transición. Es el caso de las vitaminas E y C y de polifenoles como el resveratrol.

Secundarios: Interrumpen la reacción de propagación de los radicales libres (α -tocoferol, ácido ascórbico) ó desplazan las especies reactivas del oxígeno (ácido ascórbico, carotenoides, y la mayoría de las enzimas antioxidantes), de modo que inhiben la generación de ROS (reactive oxygen species) e impiden la actividad metabólica de carcinógenos ([Visioli et al., 1999](#)).

Terciarios: Reparán el daño causado a las moléculas por los radicales libres ó eliminan aquellas que se han estropeado. Entre ellos citar los antioxidantes hidrosolubles, como la vitamina C, polifenoles, selenio ó N-acetilcisteína.

Muchos compuestos antioxidantes actúan por un único mecanismo mientras otros, como los polifenoles, pueden tener acciones combinadas ([Bravo, 1998](#)).

Existen evidencias científicas de que la dieta Mediterránea clásica tiene un efecto protector sobre procesos asociados con la lesión oxidativa, lo que se atribuye a su alto contenido en compuestos con propiedades biológicas antioxidantes y al elevado contenido en ácidos monoinsaturados ([Fitó, 2003](#)).

Además, varios estudios indican que una dieta rica en grasas monoinsaturadas, como la dieta mediterránea, puede mejorar el perfil lipídico ([Mensink et al., 1992](#)), fenómeno involucrado en la menor incidencia de padecer enfermedad cardiovascular, siendo esto debido, entre otros, a una dieta basada fundamentalmente en el aceite de oliva.

2.4.3. El color del aceite de oliva

El color del aceite de oliva es un criterio básico de su calidad y, aunque su medida no es requerida por la regulación de la CEE ([CEE 2568/91](#)) en la determinación de las características del aceite de oliva, es importante, entre otras razones porque es un parámetro independiente de los mencionados por el COI, 1987. Más aún, desde el punto de vista del consumidor, la especificación correcta y precisa del color de los aceites de oliva se hace necesaria para una completa valoración y especificación del mismo. ([CEE, 1991](#)).

El color es un atributo fundamental en la valoración y un primer criterio de juicio sobre la calidad del mismo y sobre las preferencias del consumidor ([Calvo C. et al, 2001](#)).

Esta influencia sobre la aceptabilidad del alimento por parte del consumidor ha despertado un gran interés entre productores y elaboradores, y ha impulsado en los últimos años el desarrollo de técnicas y aparatos de fácil manejo en la industria e incluso en el campo ([Calvo C. et al, 2001](#)), y el trabajo en nuevas líneas de investigación que tienen entre otros objetivos el estudio de la relación existente entre las coordenadas colorimétricas y contenido en pigmentos ([Ruíz R. et al, 2005](#)).

Para la caracterización de los aceites de oliva, son numerosos los estudios realizados que utilizan a componentes químicos mayoritarios, como son los ácidos grasos ([Alonso V. y Aparicio R., 1993](#)), y muy pocos los que utilizan componentes minoritarios (polifenoles, esteroides, alcoholes triterpénicos y pigmentos) para dicha caracterización.

El primer estudio en el que se utiliza el contenido en pigmentos como variable para la caracterización fue el realizado por Gandul-Rojas y Mínguez-Mosquera en el año 1996. Actualmente para la caracterización, tipificación y autenticidad de aceites italianos y griegos se están utilizando relaciones como la de fracción clorofílica y carotenoide, luteína y β -carotenos entre otras ([Ranalli A. et al, 2005](#)).

Se va a obtener el perfil colorimétrico de distintos aceites de oliva, unos de Arabia Saudita y otros procedentes de Andalucía, enriquecidos con luteína basándonos en parámetros del espacio CIELAB (L^* , a^* , b^*).

Los pigmentos responsables del color del aceite de oliva forman parte de los componentes minoritarios y no tienen relación química con los ácidos grasos. Los pigmentos están involucrados en los mecanismos de auto-oxidación y foto-oxidación, y se pueden dividir en dos grupos: clorofilas y carotenoides. Las clorofilas son las responsables del color verde del aceite y los carotenoides del amarillo. Cada estado de madurez de la aceituna tiene unos límites determinados de concentración de pigmentos ([Moyano M, 2002](#)).

La concentración de clorofilas en los aceites dependerá, entre otros factores, del sistema empleado en la extracción. En centrifugación directa el contenido en clorofilas es mayor que mediante el prensado clásico. También depende de la madurez y del tipo de frutos, siendo superior el contenido en clorofilas en las primeras épocas del periodo de recogida de la aceituna ([Mínguez-Mosquera et al, 1991](#)).

El contenido de carotenoides del aceite de oliva varía de 1 a 20 mg/kg. De todos ellos, el mayoritario es la luteína y, al igual que en las clorofilas, su cantidad depende del método de extracción, entre otros parámetros.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Microalga *Scenedesmus almeriensis*

La microalga *Scenedesmus almeriensis* ([Imagen 10](#)) se ha catalogado como una nueva especie, habiendo sido caracterizada genéticamente mediante secuenciación de rDNA e ITS en la colección de cultivo de algas de la Universidad de Göttingen (Alemania). Ha sido aislada por el departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería y depositada en la Colección de Cultivos de Algas y Protozoos (CCAP) con el código CCAP 276/24. Esta especie ha sido patentada por la Universidad de Almería y la Fundación Cajamar para la producción industrial de antioxidantes y extractos ricos en luteína y β -caroteno de aplicaciones biotecnológicas ([Imagen 11](#)). Se trata de una microalga termófila que muestra una temperatura óptima de crecimiento de 35 °C, que soporta temperaturas de hasta 48 °C, lo que la hace especialmente apta para su producción en externo. Esta microalga puede llegar a acumular hasta el 1 % de su peso en luteína. Su velocidad de crecimiento es alta en comparación con otras especies de microalgas, lo que reduce el riesgo de contaminaciones en los cultivos. La productividad de biomasa llega a valores de hasta 0.95 g/L · día, siendo la productividad de luteína de hasta 5.3 mg/L · día. ([Sánchez et al., 2008](#)).

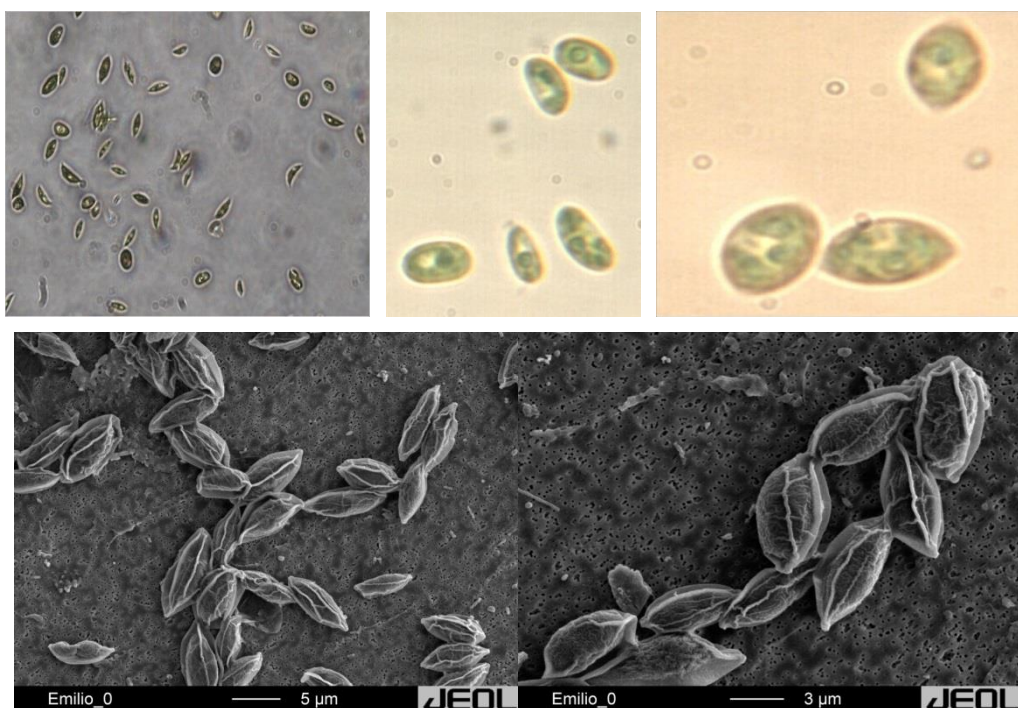


Imagen 10: Imágenes de *Scenedesmus almeriensis* tomadas mediante microscopio óptico y electrónico.



Imagen 11: Imagen de la biomasa liofilizada de *Scenedesmus almeriensis*.

3.1.2. Aceites

Se han utilizado 6 aceites de oliva virgen procedentes de la región de Al Jouf (Arabia Saudita) entre ellos se encuentran 4 de la zona de Basita y 2 de la zona de Sakakah. Zonas mostradas en la [Imagen 12](#).



Imagen 12: Plano Arabia Saudita. Zonas de las que proceden los aceites.

Además, se han utilizado otros 6 aceites de oliva virgen extra, 4 de ellos de diferentes variedades de aceituna: Arbequina, Frantoio, Picual y Royal. Todos estos aceites proceden de la empresa Castillo de Canena, que nos ha suministrado las muestras para nuestro estudio. Los dos restantes son de la variedad Picual, pero de distintas empresas, uno de ellos “Baena” (Córdoba) y el otro “Olivar Segura” (Jaén).

Se ha utilizado el mismo proceso de extracción en los aceites procedentes de Castillo de Canena y lo único que varía es la variedad de aceituna. Y en los procedentes de Arabia Saudita también se utilizó el mismo proceso aunque estos si son todos de la misma variedad de aceituna (Nabali).

3.2. Métodos

3.2.1. Obtención del extracto antioxidante

Se ha utilizado la extracción con hexano previamente desarrollada por el departamento de Química Física y Analítica ([Limón et al., 2015](#)).

El proceso de ruptura celular se ha realizado usando molino de bolas. Los mejores resultados se han obtenido usando molino de bolas con los siguientes parámetros de operación: 10 minutos de molienda, bolas de 2,8 cm de diámetro y adición de alúmina como coadyuvante.

Posteriormente se procedió al proceso de saponificación utilizando los valores óptimos encontrados: temperatura (40 °C), tiempo de procesado (5 min), concentración de KOH (40 g/L) y concentración de biomasa (100 g/L). A continuación, se realizó la extracción con hexano, cuyo número de extracciones óptimo ha sido de ocho (95 % de recuperación de luteína) y con una proporción muestra/disolvente de 1:1.

Después, se eliminó el disolvente con ayuda de un rotavapor y obteniendo nuestro concentrado en antioxidantes de intenso color rojo anaranjado. A continuación, se adicionó aceite de oliva virgen extra para arrastrar el extracto y recuperarlo, de esta manera se obtiene una disolución de antioxidantes en aceite de concentración: 132 mg de carotenoides/ml de aceite ([Imagen 13](#)).



Imagen 13: Extracto de antioxidantes (132 mg/ml) en aceite de oliva virgen extra.

3.2.2. Caracterización colorimétrica de aceites y aceites con antioxidantes

La determinación espectrofotométrica del color se ha realizado utilizando un espectrocolorímetro Konica Minolta CM-5 conectado a un ordenador dotado del software SpectraMagic NX PRO USB. El equipo proporciona medidas en el espacio de color CIELAB. Se ha utilizado iluminante D65 y observador patrón colorimétrico CIE 1931. Después de la calibración de este instrumento, se procedió a medir los distintos parámetros de color de las muestras, para ello se ha medido el valor de los parámetros colorimétricos de cada muestra generada (L^* , a^* , b^*), así como la variación del ΔE^*_{ab} por comparación con el aceite original.

Para cada tipo de aceite ensayado se han preparado dos muestras: una con aceite tal y como se obtiene en almazara y otra formada por el mismo aceite pero enriquecido en antioxidantes. Para realizar las medidas del color se utilizan cubetas transparentes de plástico con unas dimensiones de 4.2 x 3.2 x 1.0 cm. [\(Imagen 14\).](#)



Imagen 14: Muestras de aceites (A, B, C, D, E y F) y aceites enriquecidos con extracto (A', B', C', D', E' y F') utilizadas para el estudio de foto-estabilidad.

3.2.3. Medidas de estabilidad de los aceites y de los aceites enriquecidos

Las medidas de estabilidad de los aceites se han llevado a cabo comparando la variación de color del aceite inicial, sin enriquecer con antioxidantes, con este mismo tras someterlo a las distintas experiencias. De igual modo, la medida de estabilidad de los aceites enriquecidos con extracto, se ha realizado comparando el aceite patrón enriquecido, con este mismo tras las distintas fases de las experiencias a las que han sido sometidos.

Respecto a las medidas de foto-estabilidad, las muestras se han sometido a exposición continua bajo luz ultravioleta en una cabina de control de iluminación. Las muestras consisten en varias cubetas a las que se les ha incorporado 14 ml de cada aceite de Arabia Saudita.

Cada tipo de aceite está representado por dos cubetas, una de ellas solo con aceite y a la otra se le ha incorporado 305 μ l de extracto ([Imagen 15](#)). Las medidas se tomaron en intervalos temporales a lo largo de 69 días y se realizaron a temperatura ambiente (25 °C).



Imagen 15: Muestras de aceites en cabina de control de iluminación (arriba); detalle de la cabina de iluminación ultravioleta (abajo izquierda) y detalle de las diferentes lámparas iluminantes (derecha).

Los aceites ensayados en cada tipo de experiencia se muestran en la [Tabla 2](#).

Tabla 2: Aceites de oliva virgen extra utilizados para los ensayos.

Aceite de Oliva Virgen Extra	Procedencia. Denominación	Variedad aceituna	Campaña Recolección
A	Arabia Saudita (Al Jouf, Sakakah)	Nabali	2015-2016
B	Arabia Saudita (Al Jouf, Sakakah,)	Nabali	2015-2016
C	Arabia Saudita (Al Jouf, Sakakah)	Nabali	2015-2016
D	Arabia Saudita (Al Jouf Sakakah)	Nabali	2015-2016
E	Arabia Saudita (Al Jouf, Basita)	Nabali	2015-2016
F	Arabia Saudita (Al Jouf, Basita)	Nabali	2015-2016
G	España (Jaén, Castillo Canena)	Frantoio	2014-2015
H	España (Jaén, Castillo Canena)	Picual	2014-2015
I	España (Jaén, Castillo Canena)	Royal	2014-2015
J	España (Jaén, Castillo Canena)	Arbequina	2014-2015
K	España (Córdoba, Baena)	Picual	2014-2015
L	España (Jaén, Olivar Segura)	Picual	2014-2015

En el caso de las medidas de termo-estabilidad en baño termostático, las muestras han sido sumergidas en un termostato de precisión Julabo, dotado de líquido Thermal H5S para poder trabajar a 120 °C. Las medidas se tomaron durante dos semanas. En la primera, se llegó a medir los distintos valores de ΔE^*_{ab} a los seis aceites de Arabia Saudita, en fracciones de tiempo determinadas, durante 67 horas. Durante la segunda semana, se midieron valores de ΔE^*_{ab} de los seis aceites españoles; cuatro AOVEs de distinta variedad de aceituna y tres AOVEs de igual variedad pero distinta procedencia. Para esta experiencia se han utilizado muestras de 16 ml de aceites (los enriquecidos fueron adicionados con 174 μ l de extracto).

Para las medidas de termo-estabilidad por calentamiento en microondas, las muestras se han introducido en un microondas LG, a máxima potencia (700 W). Las medidas se han ido tomando en diferentes fracciones de tiempo, hasta llegar a los 40 min. Esta experiencia se ha repetido para cada uno de los aceites ensayados. Las muestras utilizadas han consistido en 17 ml de aceite, (a las enriquecidas se le adicionó 185 μ l de extracto).

En las experiencias de termo-estabilidad, tanto en baño termostático como microondas, las muestras han sido preparadas en tubos de vidrio ([Imagen 16](#)). Estos son los que se han introducido en el baño a 120 °C y en el interior del microondas. Tras el calentamiento, estos tubos se dejan enfriar y el aceite contenido se transvasa a las cubetas que utilizaremos para la medida espectrofotométrica del color.

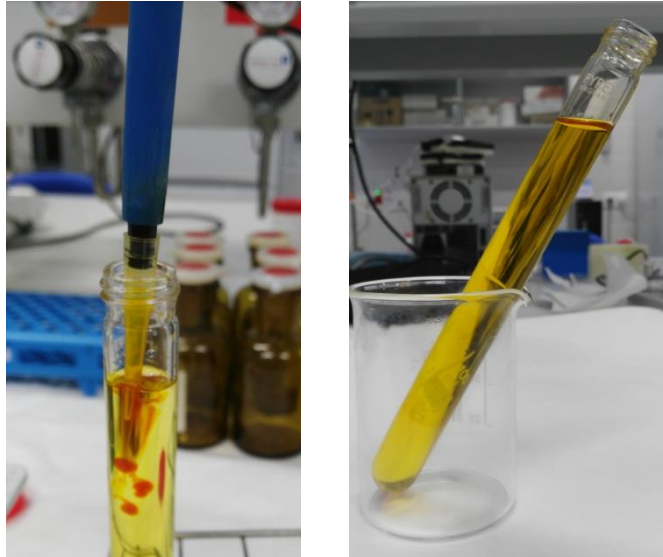


Imagen 16: Detalle preparación de tubos de vidrio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención del extracto de antioxidantes

Se ha utilizado un método que incluye tres etapas: rotura celular, saponificación y extracción con hexano ([Limón et al., 2015](#)). Para la rotura celular se usa un molino de bolas y para la etapa de saponificación, las condiciones óptimas son: la saponificación durante 5 minutos, utilizando una solución de KOH al 4% y una concentración máxima de biomasa de $100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Finalmente, se ha optimizado la extracción con hexano como disolvente biocompatible aceptado para productos de uso alimentario. Es necesario un proceso de destilación en vacío con el objetivo de eliminar el hexano. Incluso se recomienda solubilizar los carotenoides en aceite de oliva para estabilizarlos, de esta forma se obtiene un producto que puede ser usado directamente como complemento en antioxidantes o en la formulación de alimentos especiales para consumo humano o animal ([Imagen 17](#)).

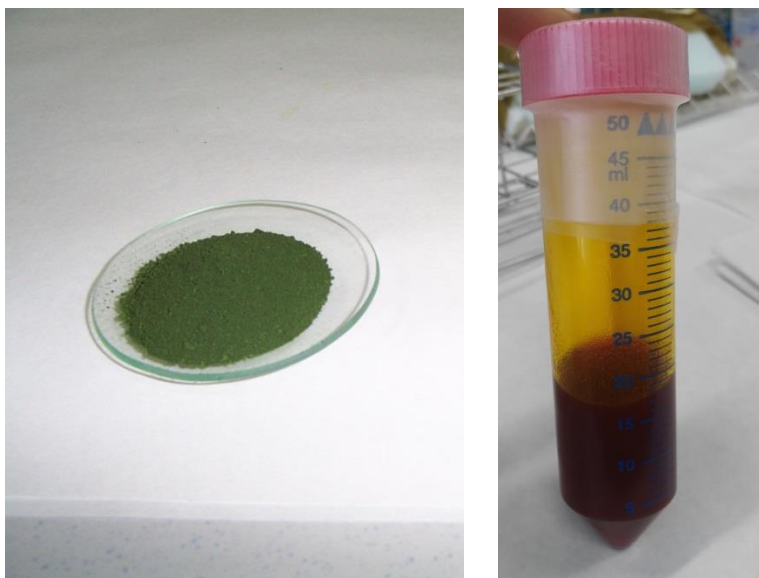


Imagen 17: Biomasa de *Scenedesmus almeriensis* (izquierda) y extracto de carotenoides resuspendido en aceite de oliva (derecha).

4.2. Obtención y caracterización de aceites enriquecidos en carotenoides

La composición del extracto utilizado ha sido de 14,55% en peso de antioxidantes que corresponde a un 13,3% de β -caroteno, 0,25% de luteína y 1% de otros carotenoides. Con ayuda de un picnómetro se ha calculado la concentración en mg/ml:

Peso del picnómetro vacío	31,569 g
Peso del picnómetro con agua	58,354 g
Densidad del agua a la temperatura del laboratorio (26 °C)	0,9968 g/cm ³
Volumen del picnómetro ^{1*}	26,871 ml
Peso del picnómetro más extracto	55,941 g
Densidad del extracto ^{2*}	0,91 g/ cm ³

$$1^* \rightarrow V_{pic.} = \frac{58,354 \text{ g} - 31,569 \text{ g}}{0,9968 \text{ g/cm}^3} = 26,871 \text{ cm}^3 = 26,871 \text{ ml} \quad (3)$$

$$2^* \rightarrow \rho_{ext.} = \frac{55,941 \text{ g} - 31,569 \text{ g}}{26,871 \text{ cm}^3} = 0,907 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \approx 0,91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (4)$$

$$\frac{14,55 \text{ g antioxidantes}}{100 \text{ g extracto}} \cdot 0,91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,132 \frac{\text{g antiox.}}{\text{ml extracto}} = 132 \frac{\text{mg antiox.}}{\text{ml extracto}} \quad (5)$$

De esta forma se ha calculado la concentración de carotenoides (antioxidantes) resultando ser de 132 mg/ml. También, se ha calculado la cantidad de extracto necesaria para alcanzar una concentración determinada, al añadir este extracto a nuestros aceites muestra. En este trabajo, en particular, se ha decidido tener una concentración de 2.9 mg de carotenoides/ml aceite, que sería cantidad suficiente para la prevención de enfermedades asociadas al déficit de antioxidantes. Estos nos aportarían a la dieta alrededor de 106.5 mg/día de antioxidantes, resultado de la suma de β -caroteno (97,37 mg/día), luteína (1,84 mg/día) y otros carotenoides (7,32 mg/día). Datos que se han obtenido según las siguientes ecuaciones:

$$\frac{13,3 \text{ mg } \beta\text{-caroteno}}{14,55 \text{ mg carotenoides}} \cdot 2,9 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}} = 2,755 \frac{\text{mg } \beta\text{-caroteno}}{\text{ml aceite}} \quad (6)$$

$$\frac{0,25 \text{ mg luteína}}{14,55 \text{ mg carotenoides}} \cdot 2,9 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}} = 0,052 \frac{\text{mg luteína}}{\text{ml aceite}} \quad (7)$$

$$\frac{1 \text{ mg otros}}{14,55 \text{ mg carotenoides}} \cdot 2,9 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}} = 0,207 \frac{\text{mg otros}}{\text{ml aceite}} \quad (8)$$

Por otro lado el consumo anual per cápita de aceite de oliva es de 9,6 litros/año que junto con los de aceite de girasol que es de 3,3 litros/año, generando un valor global de 12.9 litros/año ([olimerca](#)). Así, las siguientes ecuaciones reflejan las cantidades de cada tipo de carotenoides ingeridas con los aceites enriquecidos.

$$\frac{12,9 \text{ l}}{\text{año}} \cdot \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cdot \frac{2,755 \text{ mg } \beta\text{-caroteno}}{\text{ml aceite}} \approx 97,37 \frac{\text{mg } \beta\text{-caroteno}}{\text{día}} \quad (9)$$

$$\frac{12,9 \text{ l}}{\text{año}} \cdot \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cdot \frac{0,052 \text{ mg luteína}}{\text{ml aceite}} \approx 1,84 \frac{\text{mg luteína}}{\text{día}} \quad (10)$$

$$\frac{12,9 \text{ l}}{\text{año}} \cdot \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \cdot \frac{0,207 \text{ mg otros}}{\text{ml ceite}} \approx 7,32 \frac{\text{mg otros}}{\text{día}} \quad (11)$$

Estudio de foto-estabilidad:

En principio necesitamos añadirle antioxidantes a los 14 ml de aceite que contienen nuestras cubetas, con el objetivo de obtener una concentración de 2,9 mg carotenoides/ml aceite. En la ecuación 12 se ha calculado el volumen de extracto que habría que añadir.

$$\frac{14 \text{ ml aceite} \cdot 2,9 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}}}{132 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}}} = 0,307 \text{ ml} \rightarrow 307 \mu\text{l} \quad (12)$$

Estudio de termo-estabilidad:

En este apartado se van a incluir tanto el tratamiento en microondas como en baño termostático. A diferencia del estudio anterior de foto-estabilidad, la concentración se reduce aproximadamente a la mitad, debido a que el extracto de carotenoides es muy caro de obtener y el efecto que se persigue observar se puede estudiar utilizando menos cantidad.

Así, para obtener una concentración de 1,44 mg carotenoides/ml aceite necesitamos añadir a nuestros tubos:

- De 17 ml de aceite (para experiencia en microondas):

$$\frac{17 \text{ ml aceite} \cdot 1,44 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}}}{132 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}}} = 0,185 \text{ ml} \rightarrow 185 \mu\text{l} \quad (13)$$

- De 16 ml de aceite (para experiencia en baño termostático):

$$\frac{16 \text{ ml aceite} \cdot 1,44 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}}}{132 \frac{\text{mg carotenoides}}{\text{ml aceite}}} = 0,174 \text{ ml} \rightarrow 174 \mu\text{l} \quad (14)$$

Una vez que el extracto ha sido añadido, se miden las coordenadas L*, a* y b* de cada una de las cubetas. Y estos valores corresponden a las muestras patrón y el punto inicial de la degradación.

El parámetro ΔE^*_{ab} es el que nos indica la diferencia de color entre dos muestras sujetas a comparación, esto es, entre el patrón (aceite) y la muestra (aceite enriquecido) tras someterlo a calor o luz ultravioleta.

Este parámetro ΔE^*_{ab} , será el que miraremos para monitorizar la degradación de las muestras con el tiempo. Una vez obtenidos todos los valores de este parámetro se representará gráficamente en el eje de ordenadas frente al tiempo.

4.3. Estabilidad en función de la radicación incidente: foto-estabilidad.

Los cambios de tipo químico que se producen en los aceites suelen deberse a variables tales como la exposición a la luz, la temperatura y transcurso del tiempo desde la obtención de los mismos. Estas alteraciones con respecto a las propiedades iniciales de los aceites, se pueden monitorizar siguiendo el cambio del color en los mismos, ya que existe una estrecha relación entre los cambios químicos y la variación del color de la matriz (degradación de la misma) ([Limón et al., 2015](#)).

Consecuentemente, una primera aproximación para estudiar la estabilidad de los aceites ante las variables de las que depende su degradación, en la evaluación de los cambios de color, procedimiento relativamente sencillo, que luego pueda completarse con los diferentes análisis químicos (composición, bioactividad, calidad,...).

De esta forma, se ha estudiado la degradación de aceites procedentes de Arabia Saudita frente a la exposición a radiación electromagnética: foto-estabilidad. También, se ha estudiado la degradación en función del calentamiento (termo-estabilidad) por microondas y en baño termostático, de aceites tanto saudíes como españoles, entre los que se han analizado dos grupos: distinta procedencia y distinta variedad de aceituna.

Para realizar evaluar la estabilidad de los aceites frente a radiación electromagnética, se han expuesto los aceites a radiación ultravioleta, que es la más energética (uv). Se ha escogido la radiación uv para poder acelerar el proceso de degradación de los aceites, ya que si este estudio se llevase a cabo con luz natural podría llevarnos mucho tiempo y de este modo podemos reducir el estudio a 2- 3 meses.

Este estudio solo se ha realizado con los 6 aceites procedentes de Arabia Saudita. Por lo tanto tenemos 12 muestras en total (6 aceites control y 6 aceites enriquecidos). Estas muestras colocadas en cubetas se introducen en una cabina control de iluminación ([Imagen 15](#)).

Aceite A:

Los resultados obtenidos para el aceite tipo A se presentan en la [Tabla 3](#) y [Tabla 4](#).

Tabla 3: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	91,73	-3,41	71,12	-----
0	91,73	-3,41	71,12	0,00
1	91,65	-2,99	69,94	1,25
2	91,91	-3,11	68,49	2,65
3	92,18	-3,15	67,30	3,85
6	92,86	-3,19	63,70	7,50
8	93,26	-3,38	61,92	9,32
10	93,51	-3,30	60,55	10,72
13	93,93	-3,57	58,11	13,20
15	94,10	-3,55	56,74	14,57
17	94,34	-3,66	54,85	16,48
21	94,69	-3,66	51,66	19,69
22	94,84	-3,81	50,44	20,91
24	95,09	-3,87	48,13	23,24
27	95,43	-3,87	44,69	26,69
29	95,70	-3,88	41,96	29,43
31	96,00	-3,86	38,87	32,53
34	96,50	-3,73	33,29	38,13
36	97,08	-3,57	27,89	43,55
38	97,48	-3,31	23,89	47,57
42	98,24	-2,62	16,08	55,43
48	99,10	-1,71	8,81	62,76
50	99,27	-1,43	6,99	64,60
52	99,38	-1,22	5,80	65,80
55	99,55	-1,00	4,51	67,10

Tabla 4: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,93	16,14	136,15	-----
0	83,93	16,14	136,15	0,00
1	83,06	18,51	135,98	2,52
2	83,19	18,25	135,99	2,24
3	83,33	18,08	136,01	2,03
6	83,84	17,21	136,36	1,09
8	84,19	16,53	136,63	0,66
10	84,36	16,31	136,66	0,68
13	84,86	15,38	136,84	1,38
15	85,08	15,03	136,76	1,71
17	85,36	14,50	136,63	2,23
21	85,74	13,85	136,28	2,93

22	85,92	13,37	136,11	3,41
24	86,18	12,85	135,62	4,02
27	86,49	12,22	134,90	4,85
29	86,73	11,72	134,35	5,53
31	87,01	11,09	133,35	6,55
34	87,38	10,16	131,71	8,21
36	87,82	9,15	130,03	10,07
38	88,07	8,58	128,56	11,48
42	88,79	6,79	123,09	16,78
48	90,39	3,23	109,10	30,66
50	91,21	1,30	99,86	39,88
52	92,06	-0,40	89,63	50,04
55	93,52	-2,56	72,26	67,26

La [Figura 1](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para ambos aceites.

Como se puede apreciar en la gráfica durante 52 días, el aceite A (sin adición de antioxidantes) sufre una degradación mayor que el aceite enriquecido (aceite A*), este puede deberse a una pérdida de la mayoría de los antioxidantes, de modo que queda más expuesto a la radiación ultravioleta. Ambos, llegan a una degradación de 67 unidades de ΔE^*ab .

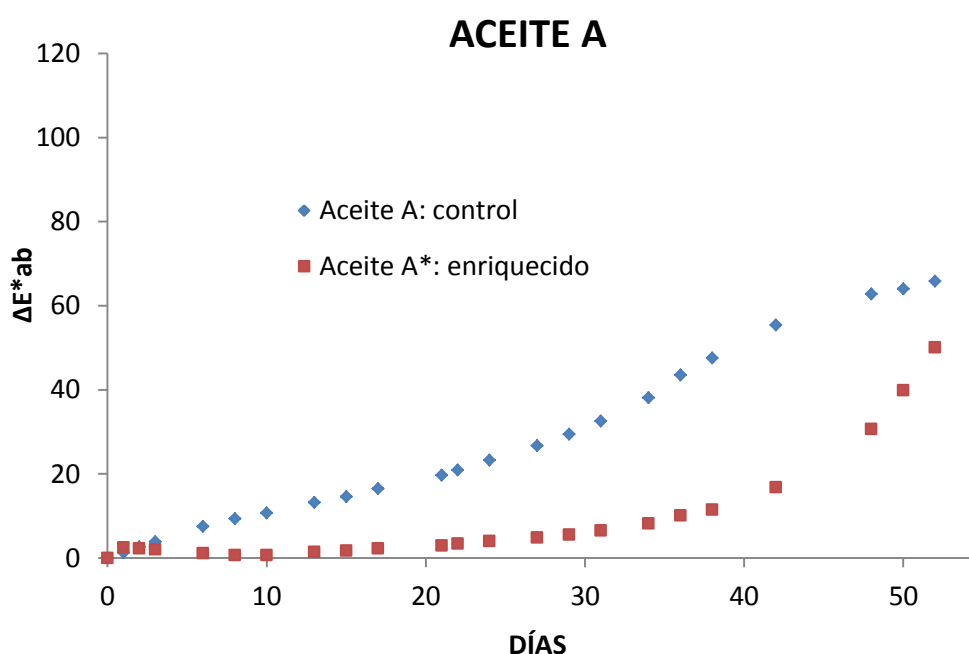


Figura 1: Variación del color en la degradación de aceite A: control y aceite A: enriquecido, [luteína] = 0.05mg/ml.

Aceite B:

La [Tabla 5](#) y [6](#), muestran los resultados obtenidos para el aceite tipo B.

Tabla 5: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,70	-0,72	96,35	-----
0	86,70	-0,72	96,35	0,00
1	86,72	-0,87	95,64	0,73
2	86,83	-1,05	93,78	2,59
3	87,03	-1,21	92,56	3,84
6	88,19	-1,43	88,71	7,83
8	88,97	-1,66	86,79	9,88
10	89,61	-1,66	85,10	11,67
13	90,57	-2,14	81,77	15,16
15	91,04	-2,31	79,84	17,15
17	91,50	-2,63	77,61	19,44
21	92,06	-2,91	74,24	22,86
22	92,24	-3,10	73,12	24,01
24	92,54	-3,36	70,86	26,29
27	92,95	-3,54	67,62	29,54
29	93,24	-3,66	65,23	31,94
31	93,57	-3,82	62,35	34,82
34	93,97	-3,95	58,12	39,05
36	94,39	-4,12	54,42	42,77
38	94,66	-4,11	51,60	45,58
42	95,34	-4,08	44,26	52,91
48	96,59	-3,79	32,71	64,48
50	97,03	-3,60	28,19	69,00
52	97,40	-3,35	24,38	72,81
55	97,95	-2,91	19,21	77,99
57	98,26	-2,59	15,98	81,22
59	98,51	-2,31	13,63	83,58
62	98,87	-1,90	10,34	86,88
64	98,98	-1,72	9,16	88,06
66	99,11	-1,56	8,00	89,22
69	99,31	-1,32	6,44	90,80

Tabla 6: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	80,51	16,79	132,38	-----
0	80,51	16,79	132,38	0,00
1	79,71	18,65	131,61	2,17
2	79,84	18,34	131,72	1,81
3	80,00	18,11	131,76	1,55
6	80,67	17,29	132,54	0,55
8	81,18	16,63	133,03	0,95
10	81,55	16,39	133,40	1,51
13	82,36	15,60	133,93	2,69
15	82,82	15,33	134,28	3,33
17	83,33	14,78	134,72	4,18
21	84,09	14,14	134,91	5,12
22	84,32	13,75	135,06	5,56
24	84,69	13,19	134,92	6,07
27	85,18	12,52	134,78	6,76
29	85,52	12,00	134,58	7,27
31	85,81	11,44	134,06	7,71
34	86,22	10,60	133,12	8,46
36	86,66	9,75	132,07	9,36
38	86,91	9,34	131,25	9,89
42	87,55	8,05	128,47	11,88
48	88,72	5,92	122,33	16,93
50	89,19	4,85	118,84	20,03
52	89,61	3,88	114,93	23,54
55	90,33	2,41	107,93	30,02
57	90,95	1,07	100,99	36,63
59	91,58	-0,06	93,44	43,85
62	92,81	-2,04	78,87	58,05
64	93,39	-2,64	71,27	65,41
66	94,21	-3,50	61,76	74,75
69	95,63	-4,18	45,76	90,39

La [Figura 2](#) muestra las curvas de degradación del color obtenidas para el aceite tipo B.

Se puede decir, que los aceites control (tanto A como B) se degradan más rápidamente que los correspondientes enriquecidos.

En los primeros 48 días la degradación del aceite B comparada con la degradación del aceite A, ambos sin enriquecer, es muy similar, llegando ambos superar las 60 unidades de ΔE^*ab . Sin embargo, la degradación del aceite B enriquecido es menor que la del aceite A enriquecido, este último, llega a superar un ΔE^*ab de 30 mientras que el primero no llega a las 17 unidades. Esto indica que el aceite B es una matriz que se comporta mejor que el aceite A, al ser enriquecido en antioxidantes.

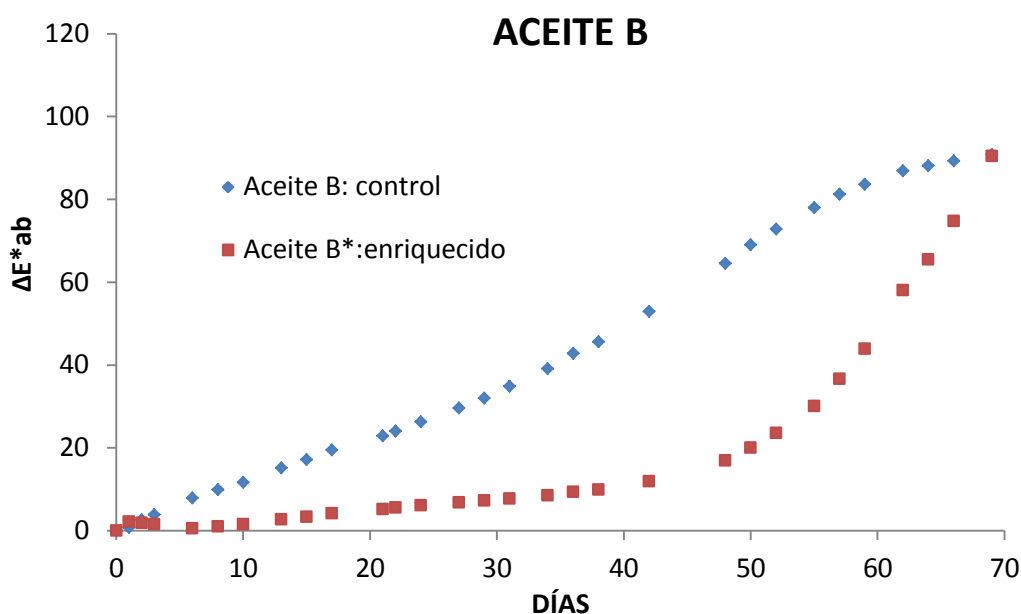


Figura 2: Variación del color en la degradación de aceite B: control y aceite B: enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

Aceite C:

Las [Tablas 7](#) y [8](#), muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo C.

Tabla 7: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,99	-0,79	96,69	-----
0	86,99	-0,79	93,69	0,00
1	87,06	-0,93	92,45	1,26
2	87,28	-1,14	90,53	3,19
3	87,70	-1,18	89,01	4,75
6	89,33	-0,89	85,15	8,86
8	90,17	-1,17	82,91	11,25
10	90,68	-1,25	81,35	12,89
13	91,51	-1,79	77,99	16,38

15	91,84	-1,94	76,33	18,06
17	92,19	-2,23	74,26	20,17
21	92,72	-2,46	70,52	23,93
22	92,85	-2,61	69,43	25,03
24	93,14	-2,83	66,97	27,50
27	93,59	-3,02	63,25	31,24
29	93,82	-3,12	60,55	33,93
31	94,13	-3,27	57,44	37,03
34	94,63	-3,46	52,39	42,09
36	95,01	-3,59	48,00	46,48
38	95,45	-3,65	44,06	50,43
42	96,33	-3,55	34,54	59,95
48	97,62	-3,07	22,82	71,70
50	97,92	-2,81	19,25	75,27
52	98,20	-2,56	16,37	78,15
55	98,60	-2,16	12,66	81,88
57	98,86	-1,91	10,43	84,11
59	99,05	-1,69	8,85	85,70
62	99,27	-1,42	6,91	87,65
64	99,27	-1,31	6,36	88,20
66	99,36	-1,21	5,70	88,86

Tabla 8: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	80,15	18,13	132,15	-----
0	80,15	18,13	132,15	0,00
1	79,45	19,86	131,64	1,94
2	79,64	19,48	131,76	1,50
3	79,81	19,26	131,87	1,22
6	80,67	18,31	132,79	0,85
8	81,25	17,74	133,50	1,78
10	81,69	17,52	134,05	2,52
13	82,55	16,74	134,63	3,72
15	82,98	16,46	135,11	4,42
17	83,45	15,92	135,41	5,13
21	84,23	15,24	136,00	6,31
22	84,49	14,86	136,12	6,73
24	84,87	14,26	136,11	7,28
27	85,36	13,57	136,01	7,92
29	85,65	13,11	135,96	8,36
31	85,98	12,52	135,48	8,74

34	86,42	11,65	134,74	9,38
36	86,88	10,71	133,90	10,16
38	87,14	10,26	133,12	10,57
42	87,81	8,83	130,34	12,18
48	89,06	6,28	123,46	17,18
50	89,59	4,94	119,12	20,80
52	90,12	3,64	113,74	25,46
55	91,09	1,52	102,93	35,35
57	91,87	-0,12	93,52	44,30
59	92,66	-1,41	83,66	53,75
62	94,23	-3,44	64,64	72,26
64	94,88	-3,84	56,44	80,19
66	95,71	-4,30	47,19	89,24

La [Figura 3](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite (tipo C). En esta, se observa que ocurre algo similar a lo que ocurre con el aceite B. En los primeros 48 días la degradación del aceite C es más rápida que el aceite C*. A partir de estos 48 días la degradación del aceite C llega a valores de $\Delta E^*ab \approx 88-89$, al igual que el aceite enriquecido.

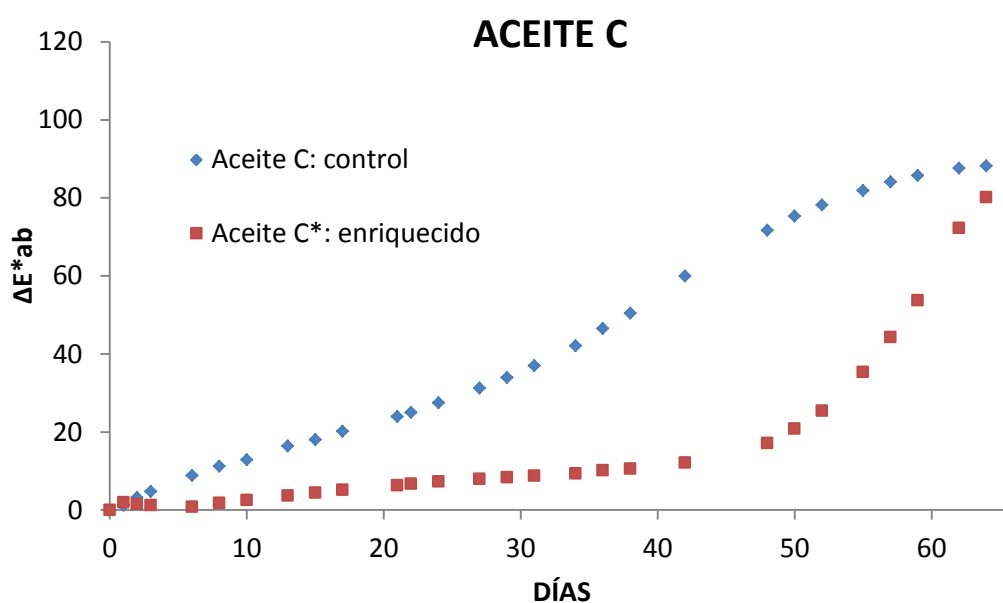


Figura 3: Variación del color en la degradación de aceite C: control y aceite C: enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

Aceite D:

Las [Tablas 9](#) y [10](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo D.

Tabla 9: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	82,38	3,32	112,77	-----
0	82,38	3,32	112,77	0,00
1	82,55	3,32	111,33	1,45
2	83,12	3,17	110,53	2,37
3	83,63	3,22	109,83	3,20
6	85,37	3,55	108,39	5,31
8	86,43	3,30	107,05	7,01
10	87,27	3,22	105,85	8,48
13	88,39	2,46	103,20	11,33
15	88,90	2,12	101,74	12,87
17	89,35	1,64	99,84	14,79
21	90,04	1,01	96,39	18,23
22	90,28	0,66	95,11	19,53
24	90,66	0,14	92,56	22,07
27	91,19	-0,47	88,61	26,00
29	91,57	-0,88	85,37	29,21
31	91,98	-1,38	81,55	33,00
34	92,56	-2,03	75,52	38,99
36	93,17	-2,66	69,35	45,15
38	93,62	-2,97	64,38	50,07
42	94,78	-3,52	51,02	63,36
48	96,71	-3,43	31,72	82,59
50	97,30	-3,15	25,45	88,83
52	97,79	-2,77	20,42	93,83
55	98,44	-2,17	14,27	99,96
57	98,73	-1,80	11,16	103,04
59	98,98	-1,50	8,95	105,26
62	99,27	-1,11	6,41	107,78
64	99,34	-0,98	5,62	108,58
66	99,44	-0,87	4,88	109,32
69	99,56	-0,73	3,97	110,22

Tabla 10: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	76,66	19,38	127,59	-----
0	76,66	19,38	127,59	0,00
1	76,12	21,11	127,11	1,87
2	76,32	21,02	127,47	1,68
3	76,58	20,88	127,86	1,53
6	77,69	20,08	129,12	1,97
8	78,32	19,55	130,08	2,99
10	78,80	19,45	130,68	3,76
13	79,70	18,90	131,72	5,15
15	80,18	18,74	132,29	5,91
17	80,71	18,37	132,87	6,73
21	81,56	17,90	133,77	8,03
22	81,82	17,65	134,16	8,53
24	82,27	17,15	134,61	9,26
27	82,82	16,57	135,01	10,04
29	83,15	16,18	135,43	10,67
31	83,53	15,64	135,44	11,08
34	84,02	14,86	135,68	11,83
36	84,51	14,09	135,81	12,54
38	84,82	13,68	135,97	13,01
42	85,54	12,53	135,56	13,75
48	86,77	10,55	134,07	14,91
50	87,25	9,53	132,90	15,41
52	87,68	8,60	131,12	15,82
55	88,38	7,13	127,72	16,95
57	88,93	5,78	123,95	18,67
59	89,50	4,51	119,16	21,38
62	90,67	1,87	107,46	30,13
64	91,22	0,82	100,35	36,03
66	92,07	-0,84	90,37	45,07
69	93,82	-3,25	69,16	64,97

La [Figura 4](#) muestra las curvas de degradación del color obtenidas para el aceite de tipo D. En este caso a diferencia de los casos anteriores la degradación del aceite enriquecido no llega a igualar la degradación del aceite sin enriquecer, si se comparan los valores de ΔE^*ab .

La degradación del aceite D* es mucho más lenta que la degradación de este aceite sin enriquecer. Hasta el día 62 la degradación del aceite D* no comienza a crecer

de forma rápida, sin llegar a superar las 65 unidades de ΔE^*ab al finalizar el estudio. Tras estos mismos días la degradación del aceite D si supera las 100 unidades de ΔE^*ab , además de que su degradación comienza a crecer de forma rápida a partir de los 27 días. Este habrá perdido la mayor parte de sus antioxidantes, quedando expuesto a la radiación ultravioleta antes que el aceite enriquecido.

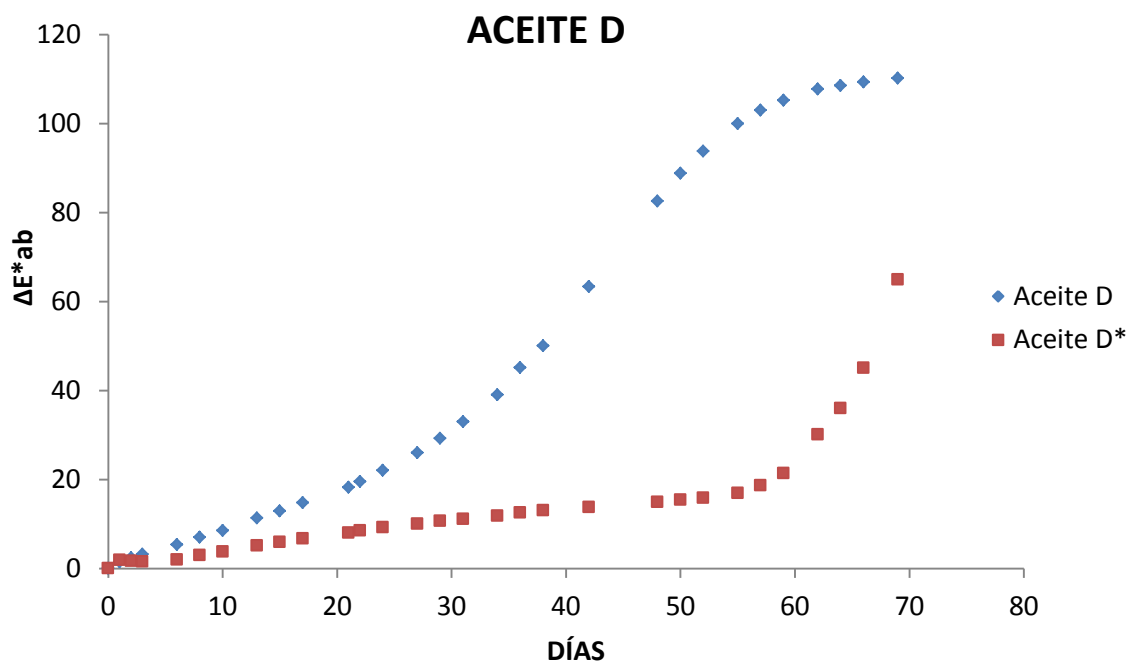


Figura 4: Variación del color en la degradación de aceite D: control y aceite D: enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

Aceite E:

Las [Tablas 11](#) y [12](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo E.

Tabla 11: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	94,43	-3,49	47,82	-----
0	94,43	-3,49	47,82	0,00
1	94,63	-3,61	46,40	1,44
2	94,85	-3,53	44,77	3,08
3	95,00	-3,38	43,69	4,17
6	95,44	-3,15	41,18	6,72
8	95,62	-3,23	40,21	7,71
10	95,76	-3,11	39,15	8,78
13	96,03	-3,14	37,13	10,81

15	96,17	-3,09	35,85	12,10
17	96,34	-3,07	34,36	13,60
21	96,68	-2,95	31,38	16,60
22	96,81	-3,00	30,39	17,59
24	97,07	-3,00	28,07	19,93
27	97,60	-2,86	23,22	24,81
29	98,02	-2,67	19,29	28,76
31	98,39	-2,43	15,74	32,34
34	98,80	-2,00	11,39	36,72
36	99,10	-1,69	8,68	39,46
38	99,26	-1,47	7,17	40,98
42	99,50	-1,05	4,54	43,64
48	99,79	-0,73	2,90	45,32

Tabla 12: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	84,02	18,82	137,26	-----
0	84,02	18,82	137,26	0,00
1	83,32	20,63	136,65	2,03
2	83,44	20,27	136,89	1,61
3	83,54	20,08	136,89	1,39
6	83,97	19,25	137,40	0,46
8	84,26	18,59	137,55	0,44
10	84,45	18,37	137,72	0,77
13	84,83	17,55	137,72	1,57
15	84,99	17,23	137,70	1,91
17	85,21	16,76	137,66	2,41
21	85,56	16,13	137,53	3,11
22	85,72	15,74	137,49	3,53
24	85,98	15,14	137,38	4,17
27	86,30	14,44	137,00	4,95
29	86,55	13,89	136,44	5,60
31	86,83	13,22	135,67	6,47
34	87,28	12,02	134,12	8,17
36	87,79	10,70	132,23	10,27
38	88,20	9,66	129,93	12,45
42	89,53	6,06	118,82	23,09
48	92,29	-0,06	88,93	52,54

La [Figura 5](#) muestra las curvas de degradación del color obtenidas para el aceite de tipo E. En ella se puede ver como la degradación en los primero 40 días es lenta, no

es muy acentuada. En los últimos días la degradación del aceite enriquecido se acelera llegando a superar la degradación del aceite E (sin enriquecer) a los 48 días.

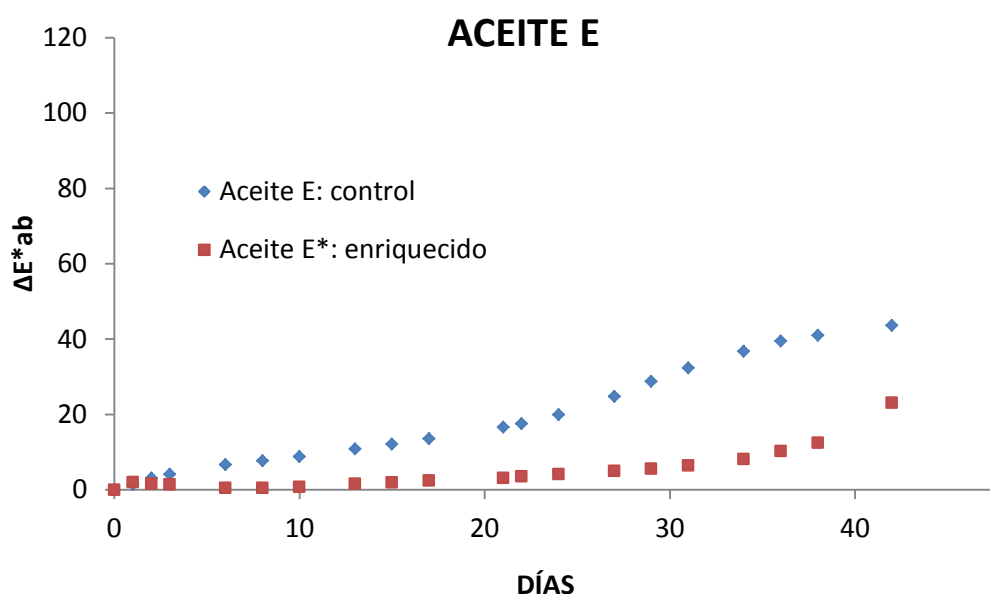


Figura 5: Variación del color en la degradación de aceite E: control y aceite E: enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

Aceite F:

Las [Tablas 13](#) y [14](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo F.

Tabla 13: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	94,05	-3,54	50,57	-----
0	94,05	-3,54	50,57	0,00
1	94,23	-3,57	49,11	1,47
2	94,44	-3,59	47,71	2,89
3	94,63	-3,44	46,50	4,11
6	95,07	-3,22	44,00	6,66
8	95,28	-3,31	42,96	7,71
10	95,41	-3,21	42,05	8,63
13	95,66	-3,26	40,23	10,46
15	95,80	-3,22	39,09	11,61
17	95,95	-3,21	37,78	12,93
21	96,26	-3,10	35,24	15,49
22	96,37	-3,14	34,39	16,35
24	96,58	-3,16	32,60	18,15

27	96,94	-3,10	29,42	21,35
29	97,30	-3,02	26,06	24,72
31	97,73	-2,89	22,07	28,74
34	98,25	-2,53	16,66	34,18
36	98,65	-2,23	13,08	37,79
38	98,89	-1,98	10,78	40,11
42	99,28	-1,44	6,80	44,13
48	99,69	-0,95	3,92	47,05

Tabla 14: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F enriquecido, [luteína] = 0.05mg/ml.

DÍAS	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,28	20,20	136,85	-----
0	83,28	20,20	136,85	0,00
1	82,65	21,80	136,28	1,82
2	82,73	21,55	136,47	1,50
3	82,84	21,35	136,45	1,30
6	83,26	20,52	136,75	0,34
8	83,60	19,88	137,18	0,55
10	83,71	19,70	137,24	0,77
13	84,07	18,94	137,60	1,67
15	84,21	18,67	137,49	1,89
17	84,40	18,23	137,61	2,38
21	84,72	17,67	137,63	3,01
22	84,90	17,28	137,52	3,41
24	85,16	16,68	137,64	4,06
27	85,46	16,07	137,47	4,71
29	85,70	15,56	137,34	5,25
31	85,99	14,89	137,11	5,96
34	86,39	13,86	136,36	7,07
36	86,88	12,67	135,37	8,48
38	87,24	11,78	134,06	9,71
42	88,41	8,62	127,31	15,86
48	90,98	2,32	103,72	38,42

La [Figura 6](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite (aceite F). En esta se observa un comportamiento totalmente similar al del aceite anterior, E.

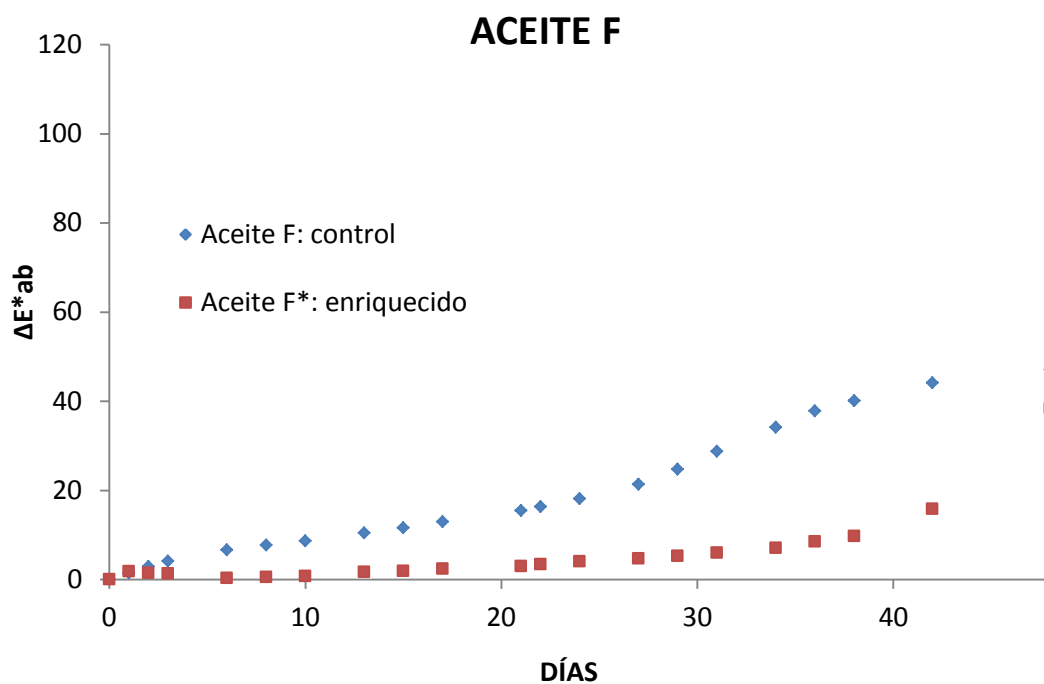


Figura 6: Variación del color en la degradación de aceite F: control y aceite F: enriquecido, [luteína] = 0.05 mg/ml.

Comparativa global de los aceites de oliva procedentes de Arabia Saudita:

En términos globales al unir los 6 aceites que no han sido enriquecidos ([Figura 7](#)) y los 6 aceites enriquecidos ([Figura 8](#)), podemos apreciar de forma global todas las curvas de degradación.

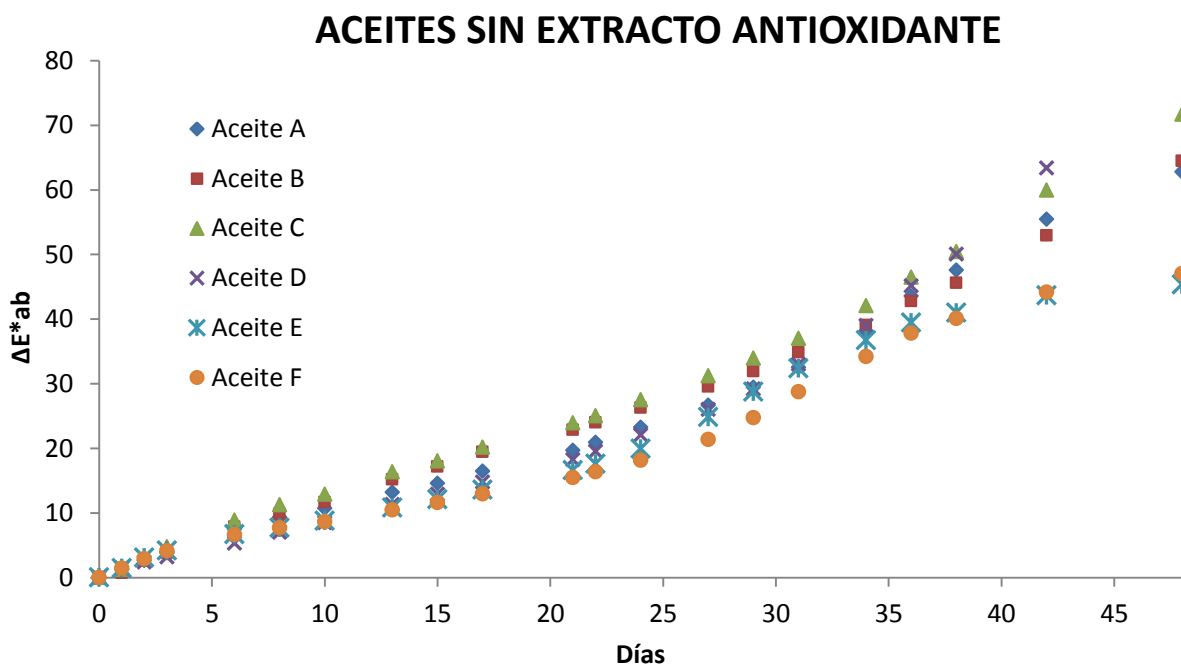


Figura 7: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante.

ACEITES CON EXTRACTO ANTIOXIDANTE

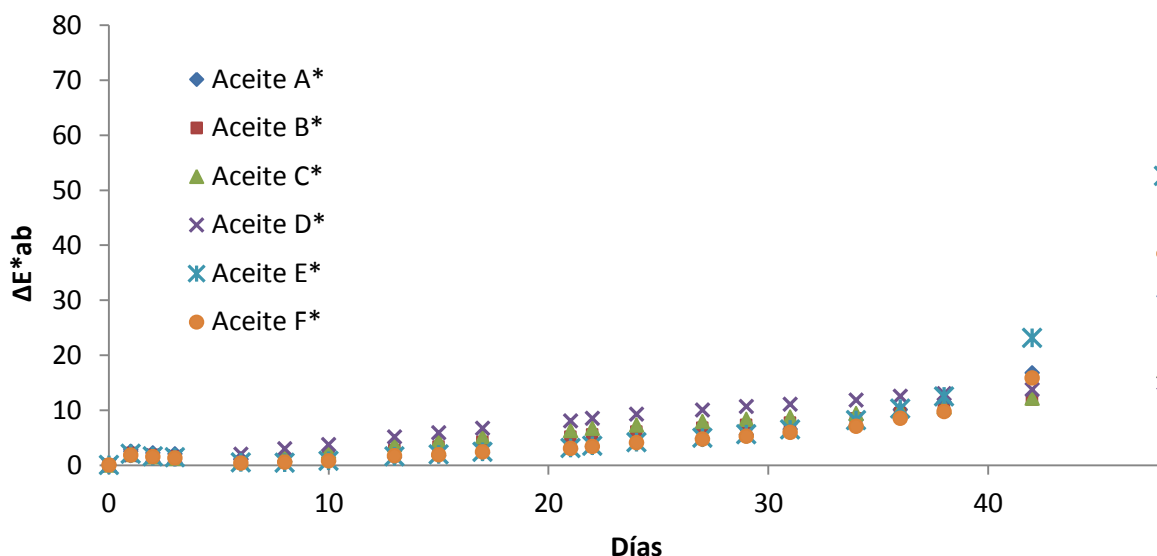


Figura 8: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante; [luteína] = 0.05 mg/ml.

En las Figuras 7 y 8, se observa como durante los 40 primeros días todos los aceites siguen un comportamiento muy similar, lo que demuestra que nuestro extracto se adapta de igual forma en los distintos 6 aceites como matriz.

Aunque con ligeras diferencias entre ellos los aceites enriquecidos siempre fueron más estables que el correspondiente control. La Tabla 15 muestra el tiempo en días en que se acelera la degradación de los aceites enriquecidos para poder comparar entre los seis ensayos.

Tabla 15: Aceleración de la degradación (días).

Aceite enriquecido Tipo:	Tiempo: aceleración degradación (días)	ΔE*ab
A	42	16,78
B	48	16,93
C	50	20,80
D	59	21,38
E	36	10,27
F	38	9,71

Si nos fijamos solo en la Figura 7, en la que se muestran las curvas de degradación de los aceites sin antioxidantes, podemos observar como el aceite que menos se degrada es el E junto con el F, como ya se ha mencionado con anterioridad siguen un comportamiento similar. De forma opuesta, el aceite que más se degrada es el D, seguido del C y B, ambos llegan a valores de ΔE*ab similares.

Totalmente al contrario ocurre con los aceites enriquecidos con antioxidantes ([Figura 8](#)). En este caso el aceite que más degradación sufre es el aceite E seguido del F. Y el aceite que menos degradación sufre y que mejor se adapta a la adición de antioxidante es el aceite tipo D, C y B.

Tanto al inicio como al final del experimento se tomaron fotos para comparar de forma visual la variación de color de los aceites de oliva. En la [Imagen 18](#) se ve los colores iniciales de cada aceite (A, B, C, D, E y F) y de este mismo enriquecido con antioxidantes (A', B', C', D', E' y F'). Por otro lado la [Imagen 19](#) muestra los aceites tras el sometimiento del estudio de foto-estabilidad, pudiendo observar el color final de las muestras.

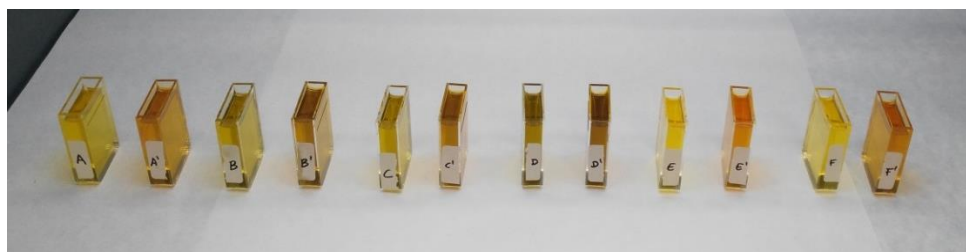


Imagen 18: Color inicial de los 6 aceites de oliva.

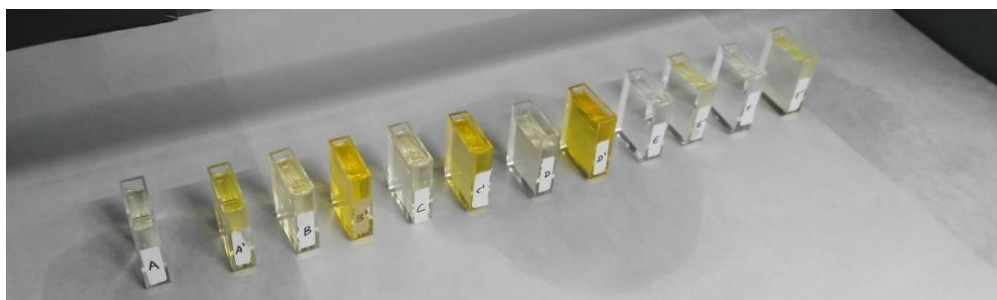


Imagen 19: Color final de los 6 aceites de oliva.

4.4. Estabilidad en función de la temperatura: termo-estabilidad.

4.4.1. En función del calentamiento por microondas.

En este experimento el estudio de termo-estabilidad ha consistido en el calentamiento de los aceites por microondas. Las muestras preparadas en tubos de vidrio, se han introducido en un vaso de precipitado y este en un microondas convencional. Las medidas se han tomado en función del tiempo hasta alcanzar los 40 minutos de calentamiento. En este experimento se han utilizado 12 aceites: 6 saudíes y 6 españoles, (ver [Tabla 2](#)).

4.4.1.1. Termo-estabilidad, microondas: aceites de oliva de Arabia Saudita.

Aceite A:

Las [Tablas 16](#) y [17](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo A.

Tabla 16: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	91,77	-3,27	72,20	-----
0	91,77	-3,27	72,20	0,00
1	92,61	-5,29	69,14	3,75
3	93,06	-6,49	64,38	8,55
5	92,80	-5,99	65,18	7,59
10	93,72	-6,61	56,20	16,46
15	94,10	-6,53	51,01	21,57
20	94,26	-6,58	49,38	23,19
25	94,07	-6,14	49,77	22,72
30	94,30	-6,31	47,75	24,77
35	94,49	-6,42	45,84	26,69
40	94,40	-6,09	45,63	26,85

Tabla 17: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	85,68	11,65	133,24	-----
0	85,69	11,63	133,12	0,11
1	85,24	12,92	135,24	2,41
3	86,17	9,79	133,27	1,92
5	85,91	10,39	133,60	1,33
10	86,73	8,58	130,79	4,07
15	87,15	7,38	129,23	6,04
20	87,25	7,09	128,54	6,73
25	87,11	7,56	128,57	6,73
30	87,31	7,01	127,44	7,60
35	87,90	5,25	124,41	11,12
40	87,61	6,21	124,61	10,38

La [Figura 9](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite (aceite A). Como se puede observar en esta figura, el aceite enriquecido con antioxidante se degrada menos que el aceite que no ha sido enriquecido. Tras los 40 minutos de calentamiento el aceite sin enriquecer llega a 26 unidades de diferencia de color ΔE^*_{ab} ,

mientras que el aceite enriquecido solo llega hasta 10 unidades de ΔE^*ab . Estos resultados indican que el aceite sin enriquecer llega a degradarse hasta dos veces más en 40 minutos.

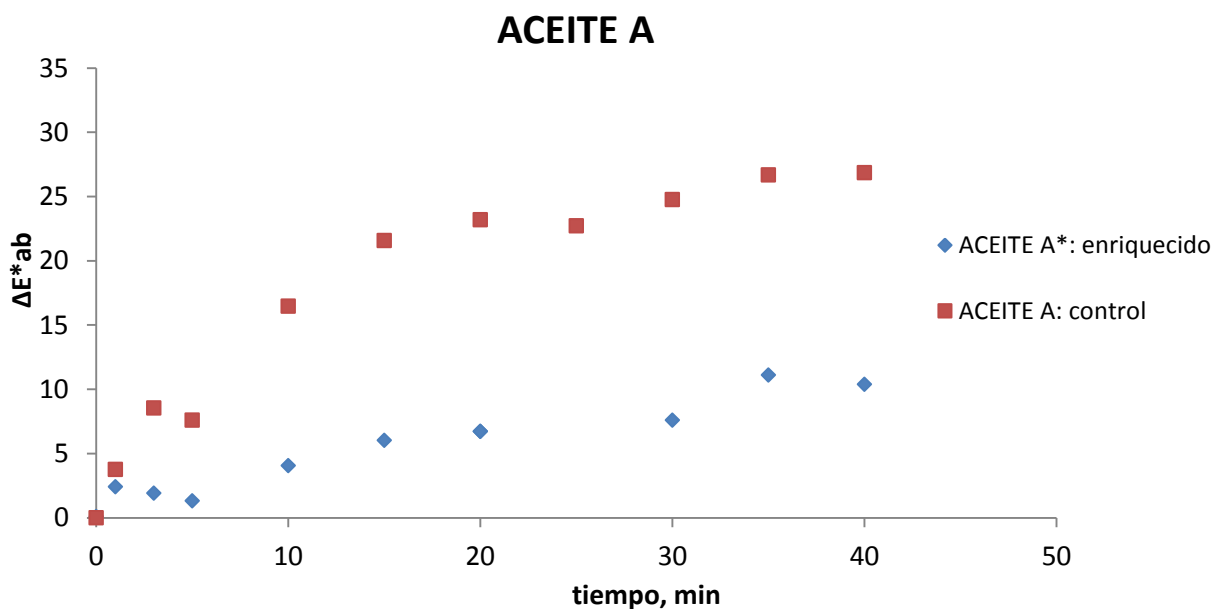


Figura 9: Variación del color en la degradación de aceite A: control y aceite A: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Aceite B:

Las [Tablas 18](#) y [19](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite tipo B.

Tabla 18: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,96	-1,13	95,93	-----
0	86,96	-1,13	95,95	0,02
1	87,63	-2,82	93,20	3,28
3	87,79	-3,51	90,26	6,20
5	87,43	-2,69	91,30	4,91
10	88,43	-4,53	81,10	15,29
15	88,47	-4,29	77,88	18,38
20	88,47	-4,13	76,48	19,74
25	88,96	-5,05	73,56	22,80
30	88,53	-3,97	74,15	22,02
35	88,80	-4,47	72,50	23,73
40	88,52	-3,75	73,31	22,83

Tabla 19: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	82,16	12,74	132,41	-----
0	82,15	12,74	132,56	0,15
1	82,32	12,41	132,47	0,37
3	82,85	10,58	131,75	2,36
5	82,64	11,11	131,80	1,80
10	82,97	10,69	131,20	2,52
15	83,48	9,39	130,21	4,22
20	83,20	10,30	130,75	3,14
25	83,44	9,69	129,81	4,21
30	83,65	9,15	129,28	4,99
35	83,85	8,63	128,46	5,95
40	83,63	9,31	128,86	5,15

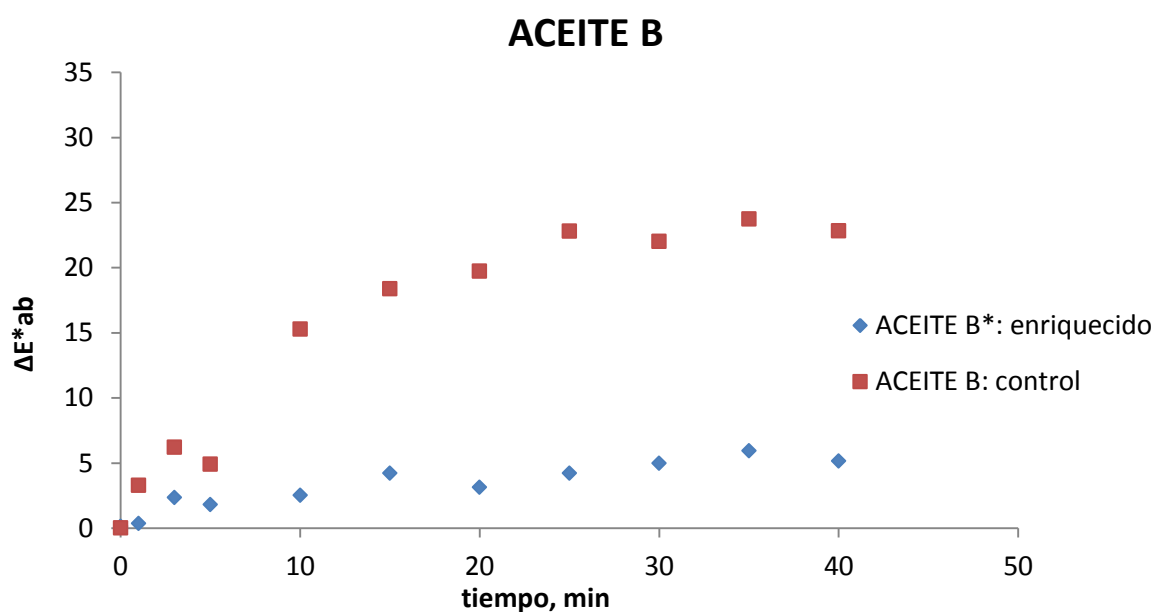


Figura 10: Variación del color en la degradación de aceite B: control y aceite B: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

La [Figura 10](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para el aceite tipo B. Como se puede ver en esta figura, la degradación del aceite B es mayor que el aceite B*. La degradación de este último apenas supera las 5 unidades de ΔE^*_{ab} , por lo que el aceite enriquecido tendría una vida útil mayor que el aceite sin enriquecer.

Incluso si se compara este aceite B enriquecido con el aceite A enriquecido, sería una buena matriz para nuestros antioxidantes, debido a que tras los 40 minutos de calentamiento llega a degradarse la mitad. Sin embargo, al comparar la degradación del

aceite B con A, sin enriquecer, vemos como ambos son similares, llegando a alcanzar unidades de ΔE^*ab parecidas.

Aceite C:

Las [Tablas 20](#) y [21](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo C.

Tabla 20: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	87,28	-1,31	93,06	-----
0	87,28	-1,31	93,06	0,01
1	87,80	-2,40	91,27	2,16
3	88,23	-3,80	87,45	6,21
5	88,26	-3,83	87,42	6,26
10	88,65	-3,97	78,44	14,93
15	89,09	-4,65	73,77	19,66
20	89,12	-4,33	71,58	21,77
25	89,00	-3,96	71,73	21,56
30	89,26	-4,36	69,41	23,93
35	89,33	-4,29	67,87	25,45
40	89,74	-4,91	64,70	28,70

Tabla 21: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,38	9,53	129,19	-----
0	83,38	9,53	129,25	0,06
1	83,15	10,64	132,03	3,06
3	83,93	8,19	129,89	1,61
5	83,44	9,49	130,69	1,50
10	84,06	8,18	129,58	1,56
15	84,23	7,76	128,81	2,00
20	83,86	8,89	129,47	0,84
25	84,10	8,29	129,06	1,44
30	83,74	9,29	129,67	0,65
35	83,88	8,93	129,20	0,78
40	84,10	8,33	128,53	1,55

La [Figura 11](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite (aceite C). Como se puede observar en la figura, la degradación del aceite enriquecido es mínima, apenas sufre degradación, llega a un valor igual a 1,55 unidades

de ΔE^*ab , tras 40 minutos. Esta degradación es mucho menor si se compara con los aceites estudiados anteriormente, que lo superaban en 4 unidades (aceite B*) y en 9 unidades (aceite A*). Sin embargo la degradación del aceite C sin enriquecer no varía con respecto a los aceites A y B, llegando a unidades de ΔE^*ab similares.

La gran diferencia de degradación entre el aceite C y aceite C*, hace que este aceite pueda ser una excelente matriz para nuestros antioxidantes, en el calentamiento por microondas.

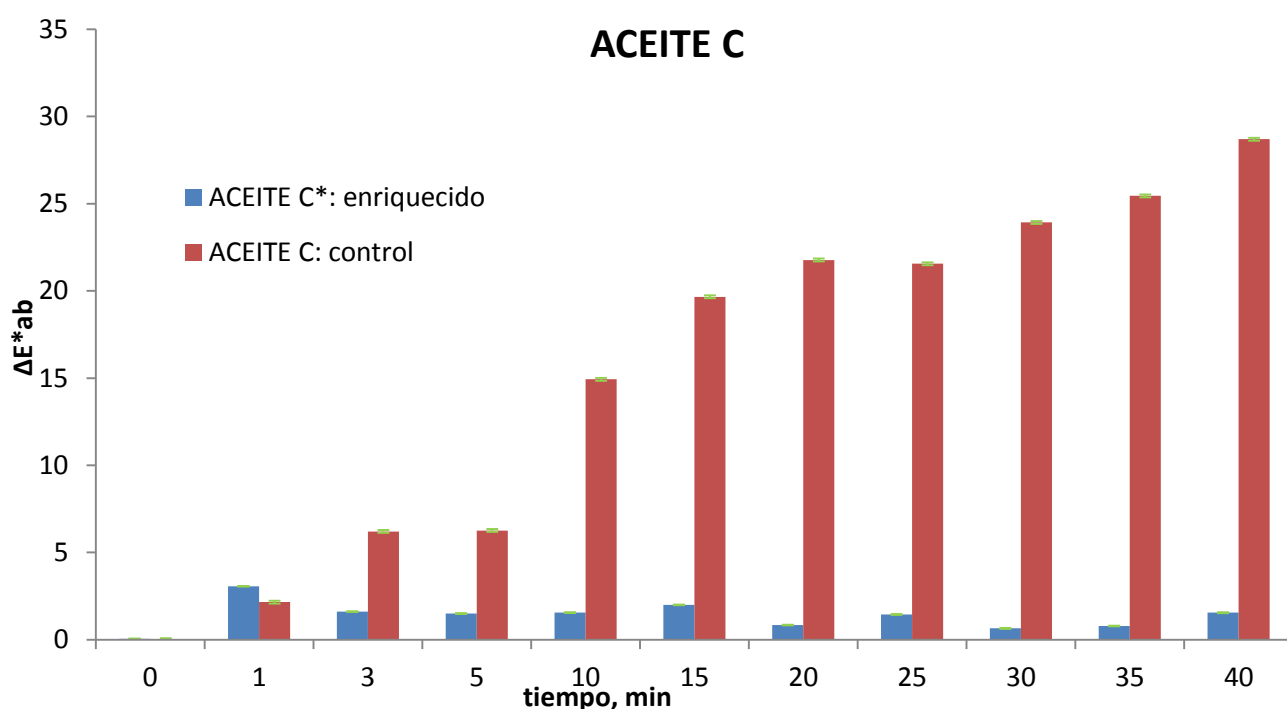


Figura 11: Variación del color en la degradación de aceite C: control y aceite C: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

En esta figura (11), se pueden ver las barras de error con desviación estándar (—). Estas muestran la desviación estándar de las medidas del color.

Aceite D:

Las [Tablas 22](#) y [23](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo D.

Tabla 22: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,21	2,49	112,41	-----
0	83,22	2,49	112,40	0,01
1	83,74	1,24	110,60	2,26
3	83,87	0,25	107,15	5,75
5	83,82	0,43	107,41	5,44
10	83,96	0,75	103,50	9,11
15	83,94	0,94	102,83	9,73
20	83,83	1,28	102,55	9,95
25	84,43	0,05	97,41	15,24
30	84,91	-0,95	93,81	18,99
35	85,01	-1,00	92,53	20,26
40	84,46	0,45	94,52	18,05

Tabla 23: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	79,55	12,80	129,58	-----
0	79,55	12,80	129,55	0,03
1	79,67	12,86	129,80	0,26
3	80,32	10,80	129,09	2,20
5	79,19	13,73	129,31	1,03
10	81,42	9,29	128,21	4,21
15	81,34	9,69	128,21	3,84
20	81,49	9,38	127,96	4,25
25	81,59	9,15	127,62	4,62
30	81,99	8,14	126,23	6,24
35	81,92	8,33	126,18	6,10
40	81,52	9,50	126,74	4,78

La [Figura 12](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite (aceite D).

Una vez más se observa como la degradación del aceite sin enriquecer es mayor que la degradación que sufre el aceite cuando ha sido enriquecido. Quedando esta última 13 unidades de ΔE^*ab , por debajo, al finalizar el experimento.

Aunque aparentemente se ve que estas curvas de degradación son similares a las mostradas en las Figuras 9, 10 y 11, existen algunas diferencias. En este caso la degradación sufrida por el aceite sin enriquecer es más lenta. Esta alcanza las 20 unidades de ΔE^*ab a los 35 minutos, mientras que en los casos anteriores son alcanzadas entre los 20 y 15 minutos, esto es 15-20 minutos antes. Una posible explicación se puede encontrar en la cantidad de antioxidantes inicial en cada aceite.

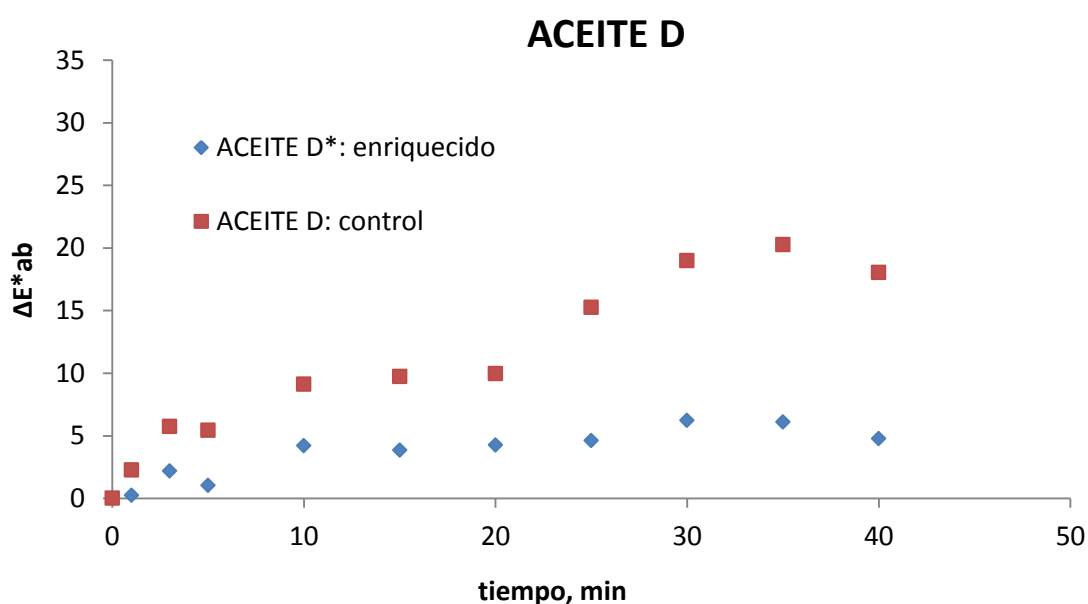


Figura 12: Variación del color en la degradación de aceite D control y aceite D: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Aceite E:

Las Tablas 24 y 25 muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo E.

Tabla 24: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	94,58	-3,87	47,94	-----
0	94,58	-3,86	47,95	0,01
1	94,86	-4,64	47,00	1,25
3	95,09	-5,43	44,67	3,66
5	94,95	-5,10	45,13	3,09
10	95,85	-5,39	36,56	11,55
15	96,03	-5,38	34,53	13,58
20	96,16	-5,43	33,18	14,92

25	96,12	-5,14	32,77	15,30
30	96,38	-5,35	30,54	17,56
35	96,37	-5,07	29,70	18,37
40	96,50	-5,02	28,30	19,77

Tabla 25: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,67	11,74	128,09	-----
0	86,66	11,76	128,15	0,06
1	86,81	11,40	134,18	6,10
3	87,70	8,04	131,17	4,92
5	87,41	8,84	131,61	4,62
10	89,02	3,91	124,83	8,80
15	88,98	4,11	123,85	9,03
20	89,40	2,89	120,52	11,97
25	89,55	2,41	118,86	13,44
30	89,84	1,54	116,04	16,11
35	89,68	2,07	115,99	15,79
40	89,94	1,31	113,34	18,36

ACEITE E

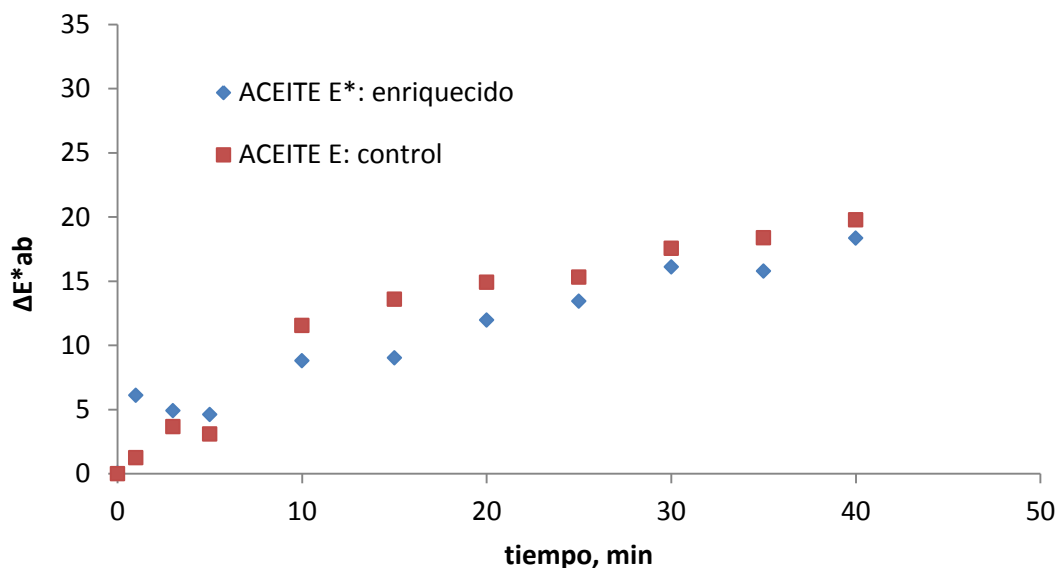


Figura 13: Variación del color en la degradación de aceite E: control y aceite E: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

La [Figura 13](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite (aceite E). En esta figura, se observan pocas diferencias respecto a la degradación del aceite enriquecido frente al aceite sin enriquecer. Durante los 5 primeros minutos, el

aceite enriquecido sufre mayor degradación que el aceite que no ha sido enriquecido, sin embargo, ocurre lo contrario a partir de los 10 minutos de calentamiento.

Ambas curvas son muy parecidas y la mayor diferencia entre ellas es de apenas 4 unidades de ΔE^*ab . Además, no sufren una degradación acentuada y no llegan a superar las 20 unidades de ΔE^*ab , pero si se puede decir que en este aceite apenas existe diferencia en la degradación del aceite enriquecido con el aceite sin enriquecer.

Aceite F:

Las [Tablas 26](#) y [27](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite de Arabia Saudita tipo F.

Tabla 26: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	94,05	-3,68	50,68	-----
0	94,05	-3,68	50,67	0,01
1	94,70	-5,00	49,07	2,18
3	95,00	-5,90	46,16	5,12
5	94,92	-5,73	46,25	4,96
10	95,41	-5,71	41,16	9,82
15	95,69	-5,73	38,34	12,61
20	95,76	-5,76	37,47	13,48
25	95,79	-5,68	36,50	14,42
30	95,81	-5,58	35,80	15,10
35	96,03	-5,75	33,98	16,94
40	95,99	-5,54	33,67	17,22

Tabla 27: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,58	11,67	130,97	-----
0	86,58	11,67	130,91	0,06
1	86,99	10,47	131,70	1,47
3	87,74	7,64	129,02	4,62
5	87,88	7,23	128,65	5,18
10	88,23	6,26	126,81	7,02
15	89,06	3,62	122,74	11,78
20	89,21	3,17	121,15	13,25
25	89,37	2,76	118,92	15,24
30	89,75	1,65	115,51	18,70
35	89,87	1,37	113,74	20,34

40	89,75	1,79	113,18	20,59
----	-------	------	--------	-------

La [Figura 14](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite (aceite D). En esta figura, se observa que al igual que pasaba con el aceite anterior (E), la degradación en los 25 primeros minutos es similar tanto para el aceite enriquecido como para el aceite sin enriquecer.

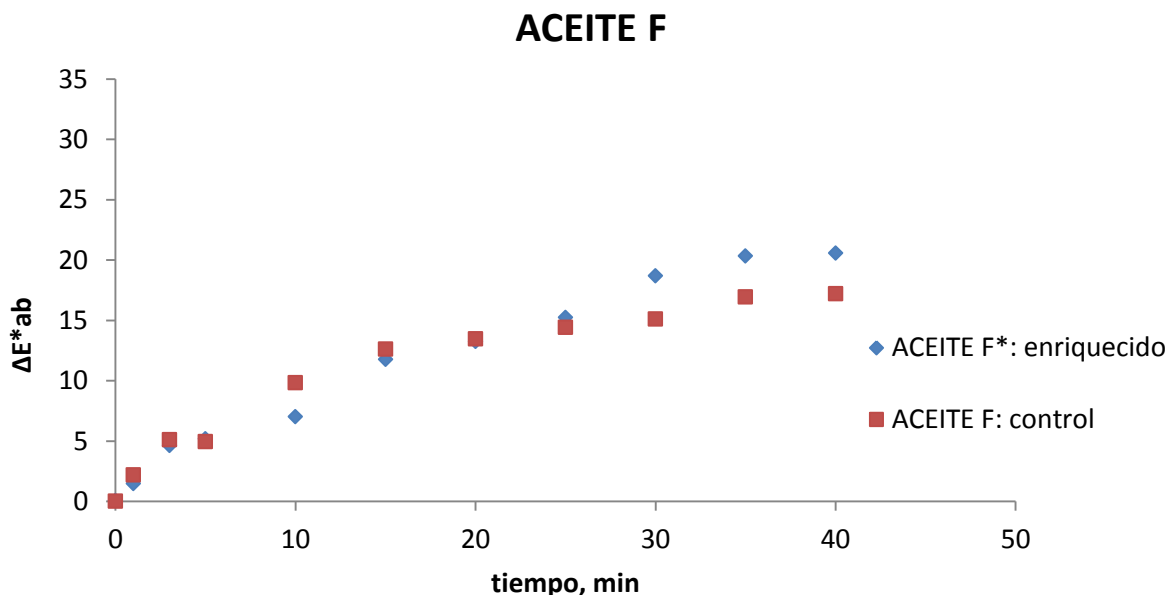


Figura 14: Variación del color en la degradación de aceite F: control y aceite F: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Para concluir este apartado de termo-estabilidad, bajo el calentamiento por microondas para aceites procedentes de Arabia Saudita, se podría destacar que los aceites que mejor se adaptarían al extracto de antioxidantes serían los aceites A, B, C y D. Por otro lado los aceites E y F no muestran un comportamiento muy diferente entre la curva control y la curva enriquecida.

Por otra parte, es importante resaltar que, al inicio y al final del estudio de cada aceite se obtuvo una foto, para poder observar la variación de color de forma visual. A modo ejemplo tenemos [Imagen 20](#), aceite E sin enriquecer a la izquierda y aceite E enriquecido a la derecha.

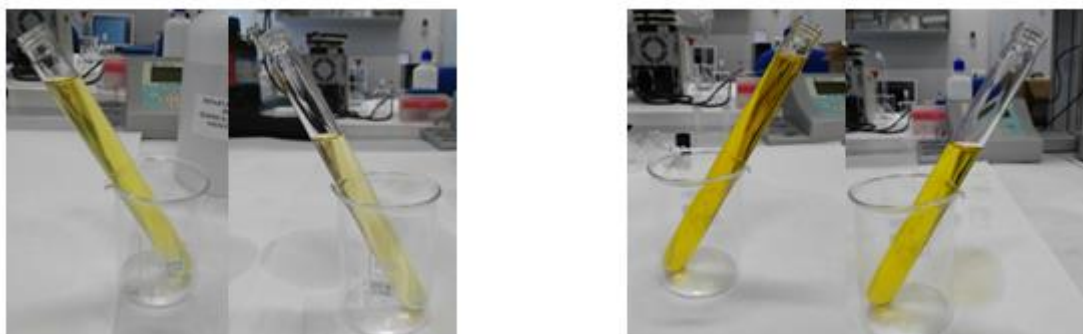


Imagen 20: A la izquierda aceite E y a la derecha aceite E enriquecido. En ambos casos, la imagen de la izquierda es la inicial (0 min) y la derecha es la final (40 min).

4.4.1.2. Termo-estabilidad, microondas: AOVEs en función de la variedad de la aceituna.

En este apartado se han estudiado los aceites G, H, I y J de la [Tabla 2](#), para poder conocer la influencia en la estabilidad de estos según la variedad del fruto.

AOVE de la variedad Frantoio (Aceite G):

Las [Tablas 28](#) y [29](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite G.

Tabla 28: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	87,47	1,53	106,44	-----
0	87,47	1,53	106,50	0,06
1	88,30	-0,81	103,39	3,93
3	88,64	-2,27	98,64	8,75
5	88,25	-1,17	99,96	7,06
10	89,20	-3,46	91,46	15,88
15	89,53	-3,81	84,81	22,37
20	90,12	-4,80	77,14	30,09
25	90,16	-4,54	75,29	31,84
30	90,29	-4,66	73,23	33,89
35	90,64	-5,10	68,88	38,28
40	90,56	-4,43	68,42	38,61

Tabla 29: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,18	13,44	134,33	-----
0	83,22	13,32	134,22	0,17
1	84,13	11,00	133,52	2,73
3	84,61	9,00	132,04	5,20
5	84,38	9,55	132,27	4,56
10	86,57	3,58	122,84	15,52
15	86,47	4,10	121,58	16,14
20	87,34	1,49	115,75	22,48
25	87,09	2,22	116,10	21,76
30	87,24	1,86	114,34	23,46
35	87,40	1,31	112,42	25,40
40	87,12	2,31	112,67	24,68

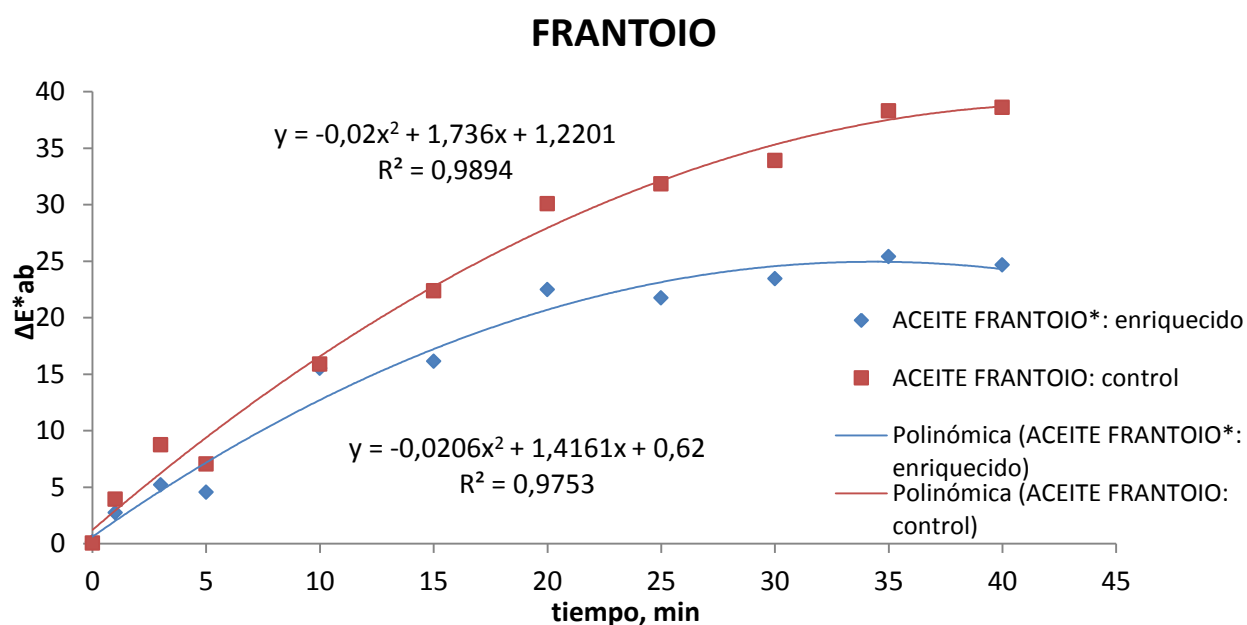


Figura 15: Variación del color en la degradación de aceite Frantoio: control y aceite Frantoio*: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

La [Figura 15](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite G, así como la línea de tendencia exponencial, atendiendo a una función de segundo grado. Igual ocurre con el resto de aceites españoles, como después se podrá comprobar.

En la representación gráfica ([Figura 15](#)), se observa como en este caso el aceite sufre una degradación rápida. Aun así, la degradación sufrida por el aceite enriquecido no llega a las 25 unidades de ΔE^*ab , tras los 40 minutos de calentamiento, mientras que el

aceite no enriquecido llega hasta las 38 unidades, lo que lo supera en 13 unidades de ΔE^*ab .

AOVE de la variedad Picual (aceite H):

Las [Tablas 30](#) y [31](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite tipo H.

Tabla 30: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	84,61	6,37	121,00	-----
0	84,61	6,36	121,02	0,02
1	85,51	3,91	117,99	3,99
3	85,46	3,35	115,09	6,69
5	85,54	2,91	113,93	7,92
10	86,33	1,34	108,35	13,72
15	86,60	0,88	105,49	16,57
20	86,74	0,66	103,86	18,19
25	87,12	-0,15	100,37	21,78
30	87,03	0,12	99,94	22,10
35	87,47	-0,76	95,78	26,36
40	87,12	0,22	96,97	24,93

Tabla 31: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	81,22	15,88	132,27	-----
0	81,23	15,84	132,30	0,04
1	81,40	15,53	132,22	0,40
3	81,69	13,84	131,42	2,26
5	81,73	13,83	131,44	2,27
10	83,18	10,43	130,19	6,16
15	83,43	9,92	129,99	6,76
20	83,39	10,05	129,95	6,64
25	83,69	9,38	129,34	7,55
30	83,84	8,98	128,96	8,09
35	83,71	9,31	129,08	7,71
40	84,33	7,96	126,63	10,21

La [Figura 16](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite H. En esta se observa como la diferencia de degradación entre el aceite enriquecido y el que no ha sido enriquecido es mayor que en el aceite de variedad Frantoio.

Además, este aceite ha sufrido menos degradación según los valores de ΔE^*ab tras el calentamiento de 40 minutos. Para el aceite sin enriquecer es de 25 unidades aproximadamente y para el aceite enriquecido con antioxidantes es de 10 unidades. Comparando con la degradación del aceite anterior está por debajo en 14 unidades. Esto significa que cuando hayan transcurrido 40 minutos el aceite Picual estará mucho menos degradado, lo que hace que su vida útil sea mayor.

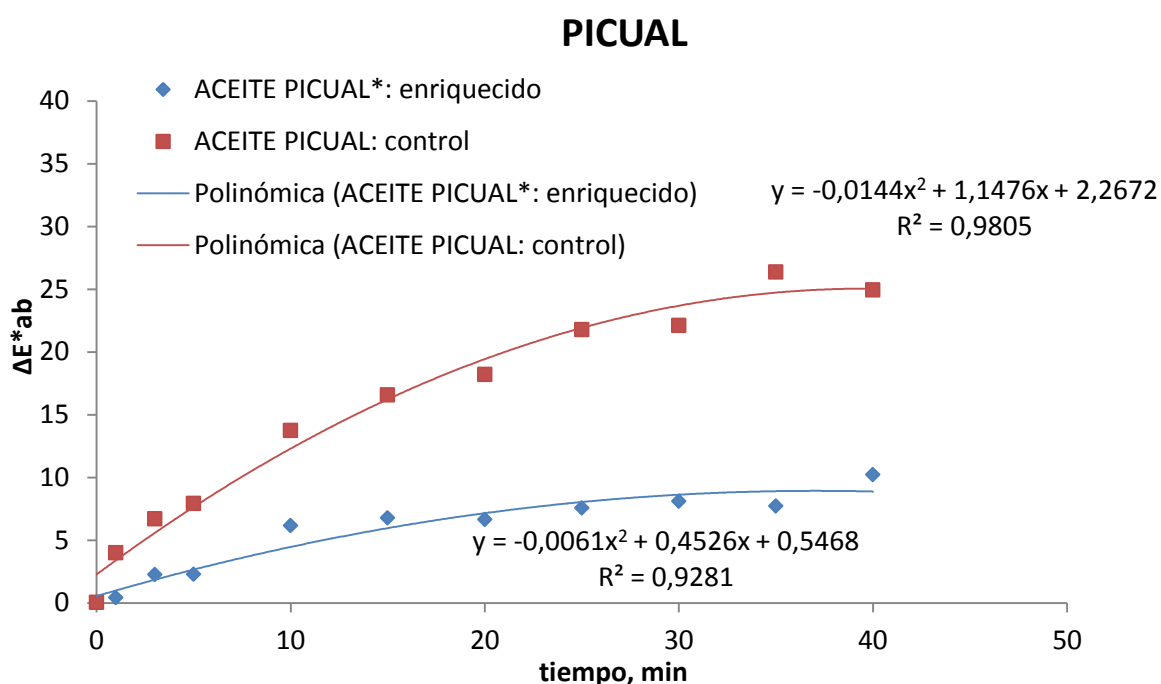


Figura 16: Variación del color en la degradación de aceite Picual: control y aceite Picual*: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

AOVE de la variedad Royal (Aceite I):

Las [Tablas 32](#) y [33](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite tipo I.

Tabla 32: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,71	5,42	117,27	-----
0	83,71	5,42	117,26	0,01
1	84,18	4,26	115,72	2,00
3	84,34	3,22	112,63	5,17
5	84,09	3,93	113,57	4,00
10	85,08	1,95	106,54	11,36
15	84,96	2,54	105,87	11,82
20	85,36	1,73	102,97	14,86
25	85,87	0,77	97,83	20,10
30	85,91	0,88	96,28	21,58

35	86,53	-0,28	90,45	27,56
40	86,68	-0,51	89,00	29,04

Tabla 33: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	80,48	14,84	130,96	-----
0	80,49	14,83	130,96	0,01
1	80,67	14,69	131,00	0,24
3	81,10	12,75	130,14	2,33
5	81,42	12,00	129,94	3,16
10	81,75	12,03	130,34	3,14
15	81,95	11,68	130,16	3,58
20	82,50	10,37	129,44	5,13
25	83,11	8,86	127,87	7,22
30	83,60	7,64	126,29	9,13
35	83,79	7,24	125,17	10,11
40	84,33	6,03	121,22	13,69

ROYAL

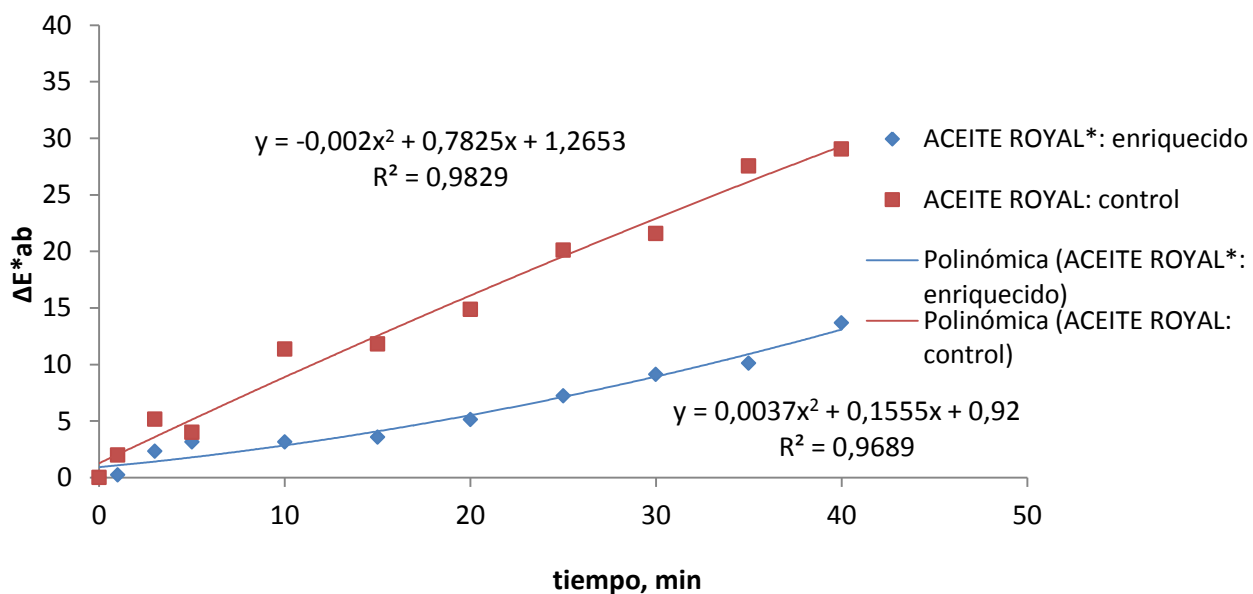


Figura 17: Variación del color en la degradación de aceite Royal: control y aceite Royal*: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

La [Figura 17](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite I.

Este presenta un comportamiento parecido al aceite de variedad Picual, aunque su degradación en valores de ΔE^*ab , lo supera en pocas unidades.

AOVE de la variedad Arbequina (Aceite J):

Las [Tablas 34](#) y [35](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite tipo J.

Tabla 34: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	85,20	3,90	117,01	-----
0	85,20	3,91	117,01	0,01
1	85,62	2,85	115,74	1,70
3	85,67	2,06	113,50	3,99
5	85,95	1,28	112,21	5,53
10	85,57	2,47	111,38	5,82
15	86,22	0,83	107,40	10,14
20	85,89	1,86	108,66	8,62
25	85,82	2,23	108,63	8,57
30	86,19	1,44	105,93	11,39
35	86,46	1,09	103,66	13,71
40	86,64	0,72	101,86	15,55

Tabla 35: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	81,44	14,87	132,18	-----
0	81,43	14,89	132,24	0,06
1	81,09	15,84	132,33	1,04
3	81,32	14,80	132,00	0,23
5	81,56	14,11	131,98	0,80
10	82,26	12,35	131,31	2,79
15	82,72	11,24	130,84	4,08
20	82,78	11,27	130,88	4,06
25	82,80	11,39	130,99	3,92
30	83,16	10,73	130,65	4,73
35	83,17	10,91	130,67	4,58
40	83,19	11,02	130,75	4,46

La [Figura 18](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este tipo de aceite J.

Su representación gráfica se ve en la. En ella observamos, que de este grupo de AOVEs, es el que menos degradación sufre ante el calentamiento.

Esta degradación para el aceite sin enriquecer supera ligeramente las 15 unidades de ΔE^*ab . Sin embargo, para el aceite enriquecido no llega a superar las 5 unidades de ΔE^*ab , esto es 3 veces menos, por lo que aumentaría su vida útil.

ARBEQUINA

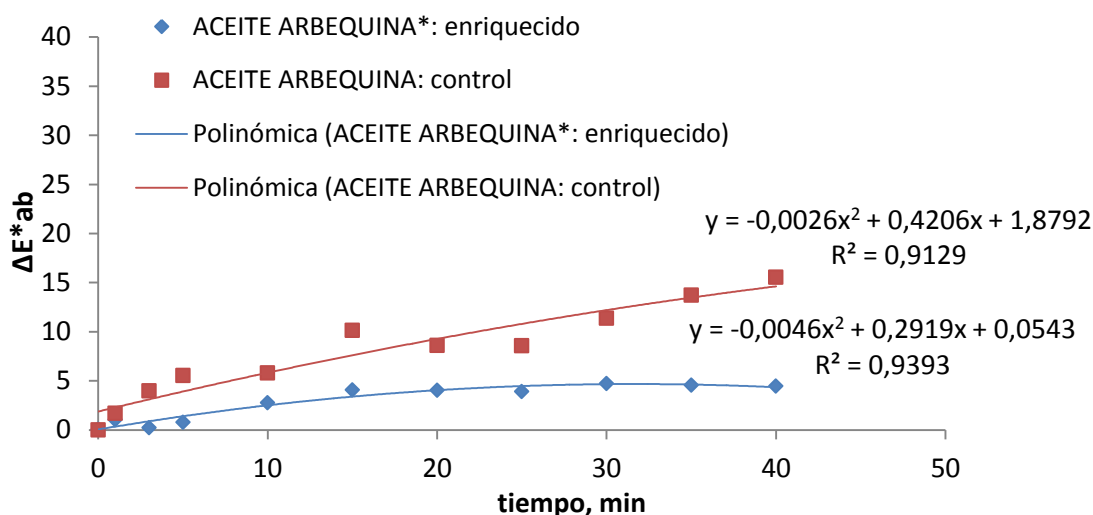


Figura 18: Variación del color en la degradación de aceite Arbequina: control y aceite Arbequina*: enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Comparativa global de los AOVEs de distinta variedad de fruto:

Una vez recogidos todos los datos de los 4 AOVEs, se representan gráficamente de forma global. En la [Figura 19](#), encontramos las curvas de degradación de los AOVEs sin enriquecer y en la [Figura 20](#), las curvas de degradación de los AOVEs enriquecidos con antioxidantes.

En la [Figura 19](#), se ve claramente como el aceite de la variedad Frantoio es el que mayor degradación sufre, y el de la variedad Arbequina el que menos. También se ve como el aceite de variedad Picual y el Royal, siguen un comportamiento muy parecido.

A continuación en la [Figura 20](#), ocurre algo similar, la curva que muestra más degradación es la del aceite de variedad Frantoio enriquecido y la que menos es la de Arbequina enriquecido.

Por lo tanto al comparar los 4 AOVEs, concluimos que el de variedad Arbequina será el que mayor vida útil tenga. Por otro lado, el de la variedad Frantoio es el que más se degrada frente al calentamiento por microondas.

ACEITES "CASTILLO CANENA", MICROONDAS

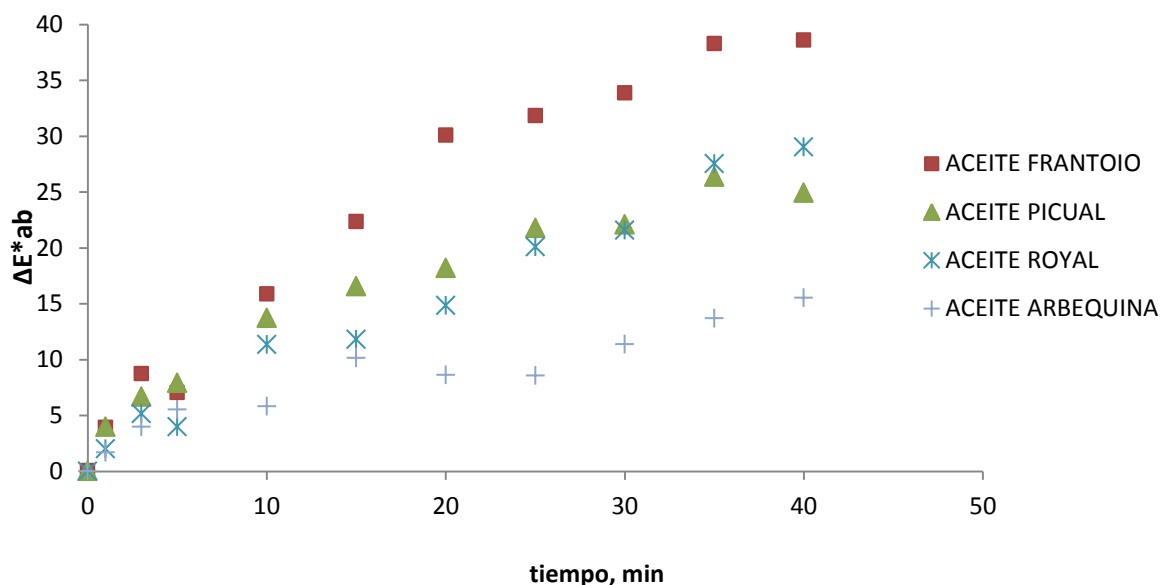


Figura 19: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites "Castillo Canena" sin extracto antioxidante, 700 W, 40 min.

ACEITES "CASTILLO CANENA" ENRIQUECIDOS, MICROONDAS

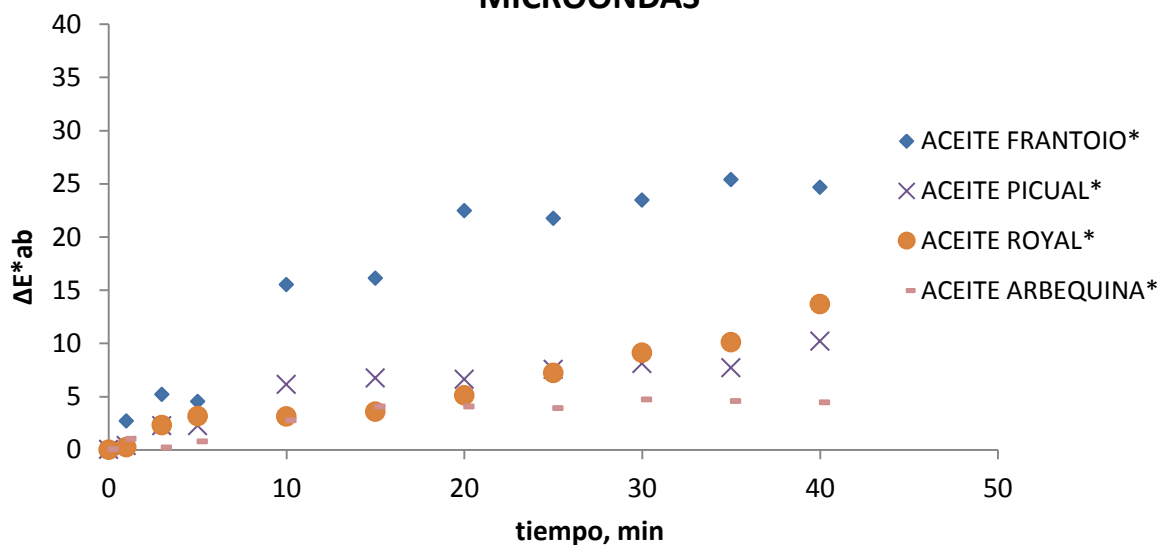


Figura 20: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites "Castillo Canena" con extracto antioxidante, 700 W, 40 min.

Al inicio y al final de cada experimento se han realizado fotos para poder comparar los colores de los distintos aceites. A modo ejemplo se muestran el aceite de variedad Arbequina (Imágenes [21](#) y [22](#)) y el de variedad Picual (Imágenes [23](#) y [24](#)).

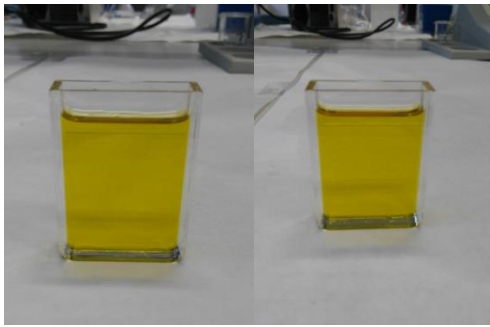


Imagen 21: Aceite variedad Arbequina, sin enriquecer, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento por microondas.

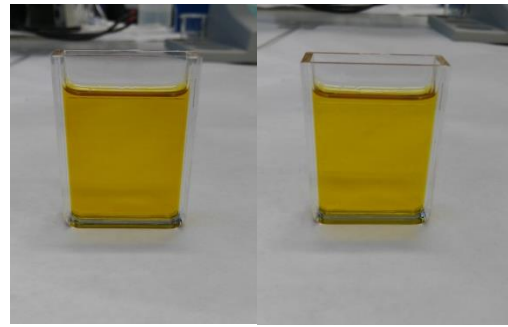


Imagen 22: Aceite variedad Arbequina enriquecido, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento por microondas.

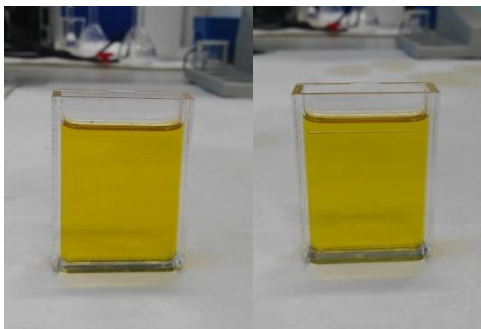


Imagen 23: Aceite variedad Picual, sin enriquecer, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento por microondas.

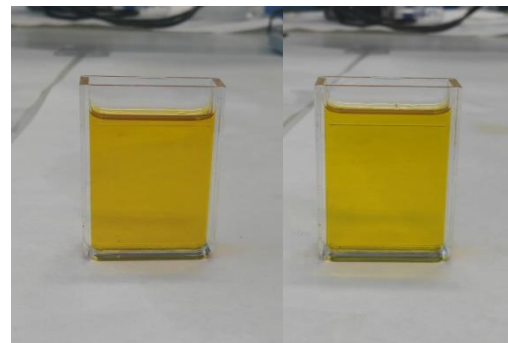


Imagen 24: Aceite variedad Picual enriquecido, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento por microondas.

4.4.1.3. Termo-estabilidad, microondas: AOVEs de la variedad picual en función de su procedencia.

En este apartado se van a estudiar tres aceites de la variedad de fruto picual y de diferentes zonas de Andalucía.

AOVE “Castillo Canena” (Jaén) (Aceite H):

El primer aceite estudiado ha sido el aceite H, cuyos resultados se han presentado en el apartado anterior 4.4.1.2. por lo que no se incluirá en este apartado para no repetirlo nuevamente.

AOVE “Baena” (Córdoba) (Aceite K):

Las [Tablas 36](#) y [37](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite “Baena”, aceite K y la [Figura 21](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 36: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	88,38	0,12	99,11	-----
0	88,39	0,11	99,09	0,02
1	88,45	-0,14	98,93	0,32
3	88,89	-1,77	95,85	3,80
5	88,90	-1,84	95,55	4,09
10	89,01	-2,26	92,43	7,12
15	89,33	-3,04	89,87	9,81
20	89,06	-2,48	90,35	9,16
25	89,70	-3,83	86,17	13,59
30	89,25	-2,73	87,36	12,12
35	89,54	-3,28	86,05	13,54
40	89,48	-2,82	84,33	15,10

Tabla 37: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,01	15,28	134,85	-----
0	83,01	15,29	134,80	0,05
1	83,18	14,96	134,95	0,38
3	83,33	14,28	134,84	1,05
5	83,79	13,01	134,62	2,41
10	83,95	12,06	133,86	3,50
15	84,50	10,44	133,18	5,33
20	84,37	10,69	133,06	5,11
25	85,34	8,00	131,26	8,44
30	84,98	8,88	131,72	7,39
35	84,91	9,09	131,80	7,16
40	84,76	9,46	131,86	6,77

PICUAL: "BAENA", MICROONDAS

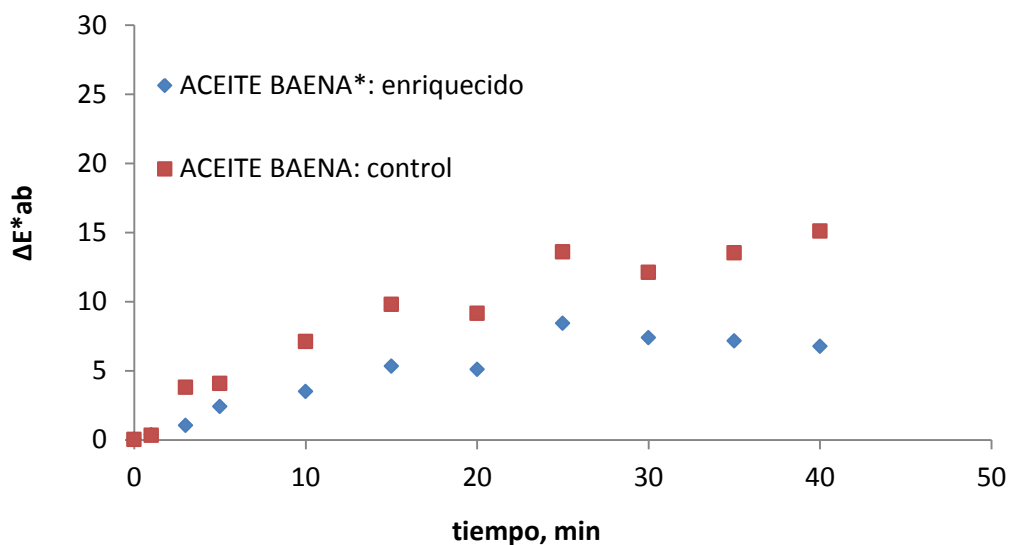


Figura 21: Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual, "Baena": control y aceite variedad Picual, "Baena": enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

AOVE "Olivar Segura" (Jaén) (Aceite L):

Las [Tablas 38](#) y [39](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite "Olivar Segura", aceite L y la [Figura 22](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 38: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L; 700 W durante 40 min.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,76	4,95	123,92	-----
0	83,76	4,95	123,92	0,01
1	84,22	3,83	122,70	1,72
3	84,56	2,31	119,58	5,14
5	84,62	2,26	119,59	5,17
10	84,36	2,92	118,54	5,78
15	84,25	3,38	118,30	5,85
20	84,36	3,03	117,06	7,15
25	84,60	2,35	115,42	8,93
30	84,39	3,05	115,80	8,36
35	84,51	2,49	114,22	10,04
40	84,22	3,29	114,95	9,13

Tabla 39: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L; 700 W durante 40 min; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	80,42	14,43	131,62	-----
0	80,42	14,44	131,64	0,02
1	80,74	13,78	131,68	0,73
3	80,79	13,28	131,48	1,21
5	80,94	12,94	131,46	1,58
10	80,95	12,82	131,10	1,77
15	81,21	12,16	131,12	2,46
20	81,08	12,45	131,04	2,17
25	81,44	11,58	130,84	3,13
30	81,92	10,23	130,34	4,64
35	80,83	13,03	130,86	1,64
40	81,44	11,55	130,78	3,16

PICUAL: "OLIVAR SEGURA", MICROONDAS

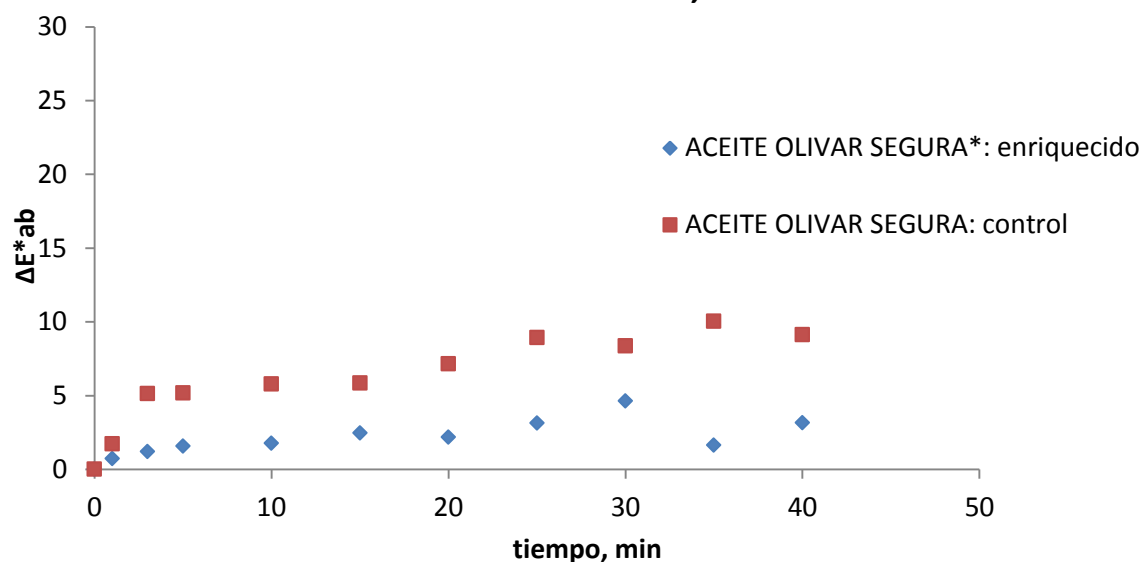


Figura 22: Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual, "Olivar Segura": control y aceite variedad Picual, "Olivar Segura": enriquecido; 700W, 40 min; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Los resultados obtenidos para los tres aceites ensayados de la variedad picual se muestran en la [Figura 23](#) (curvas de degradación de los aceites variedad Picual sin enriquecer) y en la [Figura 24](#) (aceites enriquecidos).

ACEITES PICUALES MICROONDAS

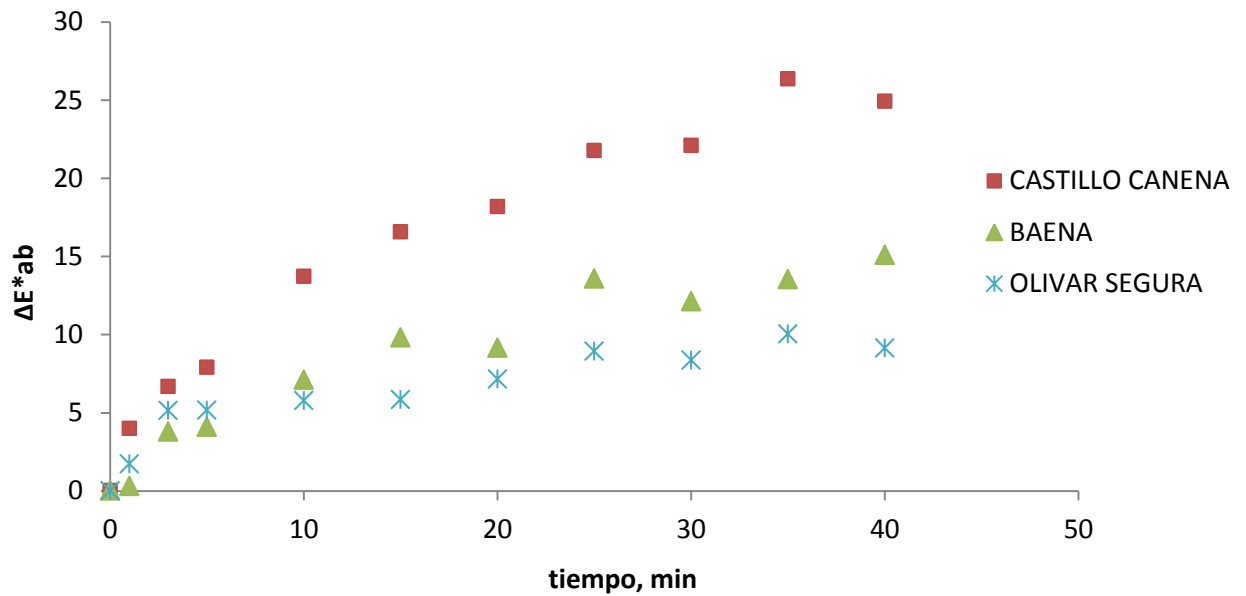


Figura 23: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites picuales sin extracto antioxidante, 700 W, 40 min.

ACEITES PICUALES ENRIQUECIDOS MICROONDAS

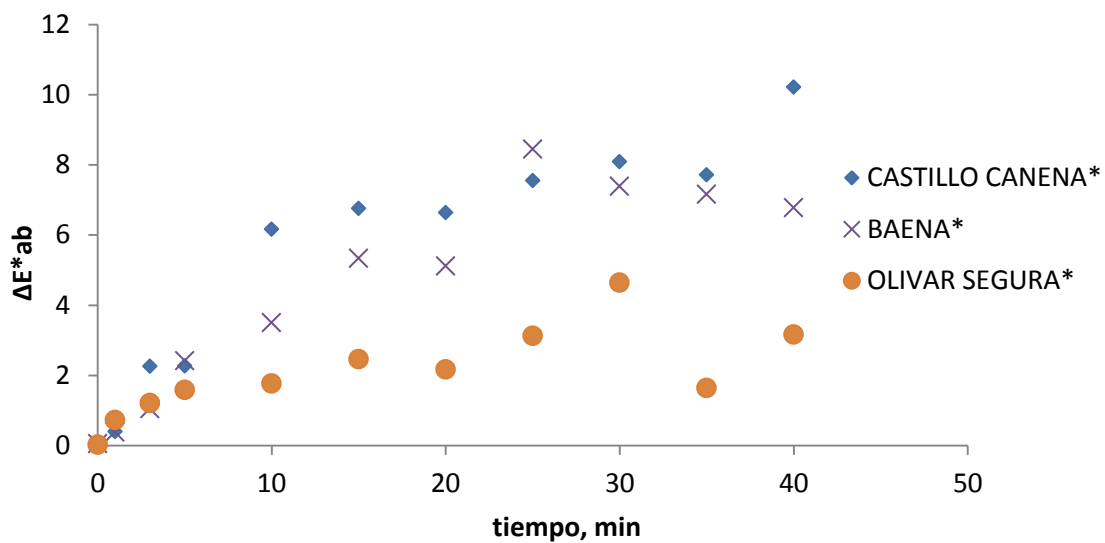


Figura 24: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites picuales con extracto antioxidante, 700 W, 40 min.

Tal y como podemos comprobar (Figuras [23](#) y [24](#)), el hecho de que los tres AOVES sean de la variedad Picual, no significa que sigan una degradación similar, ante el calentamiento por microondas.

La degradación ante microondas que sufre el aceite “Olivar Segura” es menor que la que sufre el aceite “Castillo Canena”. Así, en unidades de ΔE^*_{ab} , la degradación del Picual: “Castillo Canena” es tres veces mayor que el Picual: “Olivar Segura”.

A modo ejemplo tenemos las imágenes [25](#) y [26](#), AOVE Picual: “Olivar Segura” y como podemos observar las diferencias de color que el colorímetro es capaz de captar en ciertos momentos el ojo humano no es capaz de detectar estas diferencias.

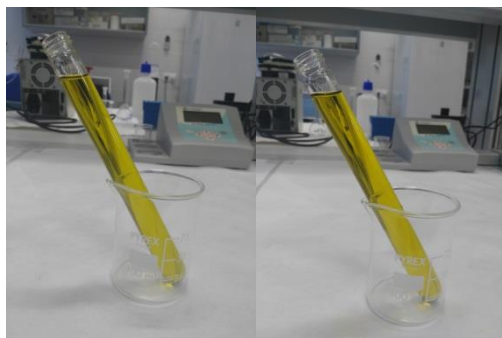


Imagen 25: AOVE Picual “Olivar Segura”, sin enriquecer, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento por microondas.

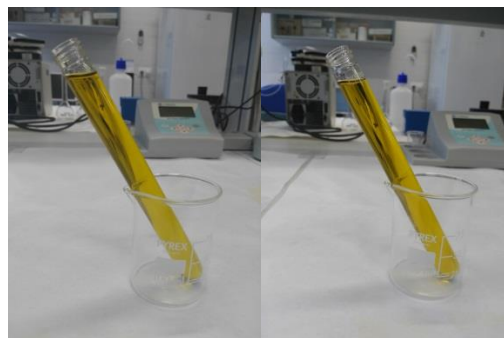


Imagen 26: AOVE Picual “Olivar Segura” enriquecido, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento por microondas.

4.4.2. En función del calentamiento en baño termostático.

En este experimento de termo-estabilidad en función del calentamiento en baño termostático, las muestras contenidas en tubos de vidrio se han sumergido en un termostato de precisión, programado para trabajar a 120 °C. Los datos del estudio se tomaron durante dos semanas y se realizaron experiencias agrupadas en tres grupos. En el primer grupo, se analizaron los valores correspondientes a los aceites de oliva procedentes de Arabia Saudita. En el segundo grupo de experiencia se utilizó los aceites españoles de distinto tipo de fruto y el tercer grupo de aceites ensayados fueron picuales de diferente procedencia.

En la [Imagen 27](#) se muestra el equipo de termostatación en el que se han introducido los tubos conteniendo los diferentes aceites ensayados.



Imagen 27: Muestras de los diferentes aceites sumergidos en el baño termostático a 120 °C.

4.4.2.1. Termo-estabilidad, baño termostático: aceites de oliva Arabia Saudita.

Aceite A:

Las [Tablas 40](#) y [41](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite A procedente de Arabia Saudita y la [Figura 25](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 40: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	91,77	-3,27	72,20	-----
0	91,77	-3,27	72,20	0,00
0,5	92,55	-4,46	66,38	5,99
1	92,88	-5,00	64,34	8,12
1,5	92,83	-4,71	63,76	8,63
2	93,11	-5,20	62,07	10,39
4	93,15	-4,70	59,78	12,58
5,5	93,48	-5,06	56,80	15,59
7	93,81	-5,47	53,98	18,46
8,5	93,70	-4,89	53,05	19,32
10	94,08	-5,36	50,11	22,31
12,5	94,31	-5,32	46,97	25,44
14	94,43	-5,23	45,42	26,98
15	94,74	-5,65	43,40	29,04

17	94,74	-5,19	41,82	30,58
18	94,93	-5,35	40,33	32,09
21	95,10	-5,05	37,65	34,76
23,5	95,46	-5,21	34,78	37,65
35,5	96,21	-4,75	27,35	45,09
37,5	96,29	-4,80	26,76	45,69
40	96,53	-4,82	25,12	47,35
43	96,70	-4,77	23,77	48,70
67	97,80	-4,17	16,59	55,94

Tabla 41: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite A, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,85	8,94	124,23	-----
0	86,85	8,94	124,23	0,00
0,5	85,81	11,76	133,42	9,67
1	86,29	10,40	132,35	8,27
1,5	86,37	10,26	131,97	7,87
2	86,67	9,42	131,19	6,98
4	86,76	9,35	130,13	5,92
5,5	87,06	8,49	128,66	4,46
7	87,39	7,55	126,84	3,00
8,5	87,29	7,98	126,11	2,16
10	87,81	6,44	123,64	2,74
12,5	88,11	5,63	120,69	5,01
14	88,16	5,51	119,32	6,13
15	88,71	3,85	116,44	9,49
17	88,48	4,75	114,79	10,46
18	88,85	3,67	112,36	13,13
21	88,95	3,75	108,59	16,61
23,5	89,65	1,79	102,57	22,98
35,5	90,77	-0,11	86,83	38,68
37,5	90,87	-0,26	84,81	40,67
40	91,45	-1,59	80,08	45,62
43	91,88	-2,34	75,44	50,33
67	94,69	-4,43	45,03	80,70

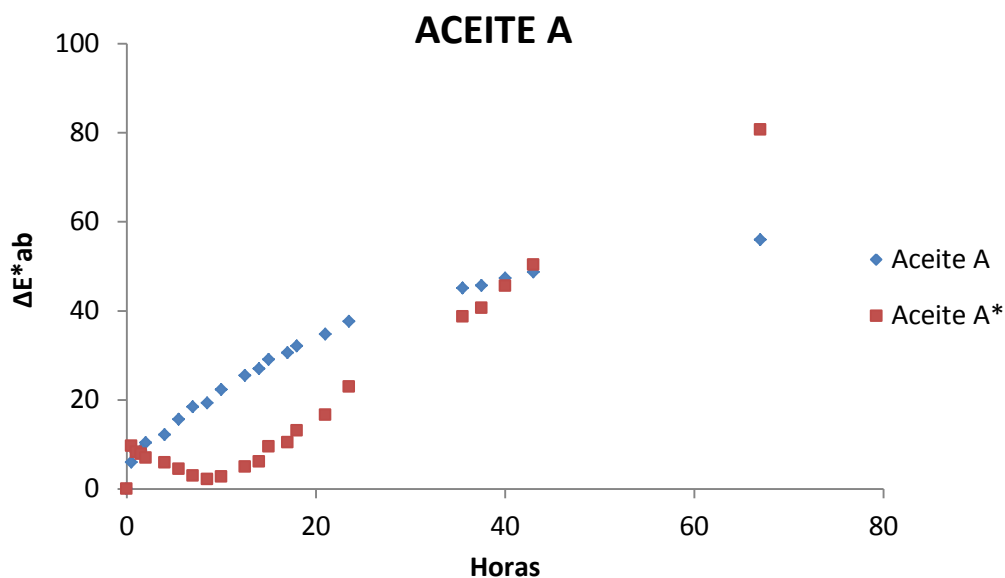


Figura 25: Variación del color en la degradación de aceite A: control (azul) y aceite A: enriquecido (rojo); 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Aceite B:

Las [Tablas 42 y 43](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite B procedente de Arabia Saudita y la [Figura 26](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 42: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,96	-1,13	95,93	-----
0	86,96	-1,13	95,93	0,00
0,5	87,77	-2,51	88,96	7,15
1	87,49	-1,76	88,44	7,53
1,5	87,59	-1,91	86,78	9,21
2	87,85	-2,35	84,73	11,29
4	88,11	-2,40	81,00	15,02
5,5	88,38	-2,75	77,98	18,08
7	88,58	-2,96	75,40	20,67
8,5	88,69	-2,97	73,13	22,93
10	89,04	-3,45	70,00	26,11
12,5	89,34	-3,70	66,35	29,79
14	89,57	-3,93	64,08	32,08
15	89,70	-4,08	62,51	33,66
17	89,87	-4,06	60,04	36,12
18	90,11	-4,35	58,43	37,77
21	90,36	-4,37	54,97	41,23
23,5	90,69	-4,63	52,16	44,06

35,5	91,68	-4,96	42,96	53,31
37,5	91,71	-4,99	42,64	53,64
40	91,99	-5,20	41,04	55,27
43	92,23	-5,36	39,36	56,97
67	93,73	-5,47	29,50	66,91

Tabla 43: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite B, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	82,79	11,37	131,88	-----
0	82,79	11,37	131,88	0,00
0,5	82,23	12,96	132,37	1,76
1	82,29	12,87	132,21	1,62
1,5	82,48	12,52	132,09	1,21
2	82,76	11,81	131,85	0,44
4	82,88	11,78	131,57	0,52
5,5	83,01	11,41	130,95	0,96
7	83,24	10,85	130,37	1,66
8,5	83,25	10,78	129,75	2,26
10	83,58	9,94	128,66	3,62
12,5	83,91	9,12	126,93	5,55
14	84,16	8,42	125,68	7,01
15	84,16	8,33	125,00	7,64
17	84,34	8,00	123,48	9,18
18	84,56	7,40	122,20	10,61
21	84,74	6,98	119,44	13,34
23,5	85,13	6,06	116,90	16,06
35,5	86,18	3,78	105,14	28,01
37,5	86,27	3,54	103,57	29,58
40	86,65	2,62	100,71	32,60
43	87,05	1,73	97,09	36,35
67	89,91	-2,44	66,56	67,14

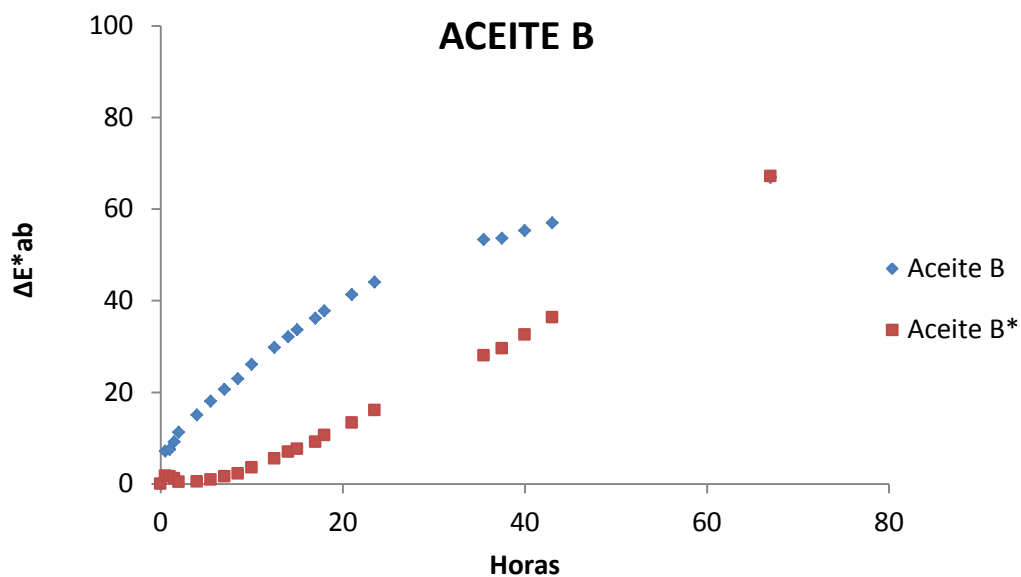


Figura 26: Variación del color en la degradación de aceite B: control (azul) y aceite B: enriquecido (rojo); 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Aceite C:

Las [Tablas 44](#) y [45](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite C procedente de Arabia Saudita y la [Figura 27](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 44: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	87,28	-1,31	93,06	-----
0	87,28	-1,31	93,06	0,00
0,5	87,55	-1,58	89,09	3,99
1	87,63	-1,65	87,52	5,56
1,5	87,79	-1,85	86,00	7,10
2	88,00	-2,22	84,38	8,76
4	88,31	-2,40	80,44	12,71
5,5	88,57	-2,68	77,68	15,50
7	88,78	-2,95	75,29	17,91
8,5	88,96	-3,11	73,03	20,19
10	89,20	-3,38	70,58	22,66
12,5	89,51	-3,71	67,21	26,06
14	89,73	-3,93	65,10	28,19
15	89,82	-4,02	63,89	29,40
17	89,97	-3,97	61,53	31,75
18	90,11	-4,14	60,31	33,00
21	90,46	-4,35	56,80	36,53
23,5	90,79	-4,64	54,02	39,35

35,5	91,91	-5,01	45,49	47,94
37,5	91,97	-5,03	45,03	48,41
40	92,14	-5,17	44,58	48,88
43	92,42	-5,29	42,99	50,50
67	94,29	-5,67	31,20	62,41

Tabla 45: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite C, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	82,17	13,36	132,70	-----
0	82,17	13,36	132,70	0,00
0,5	81,86	14,50	133,02	1,22
1	82,03	14,21	132,95	0,90
1,5	82,18	13,94	132,87	0,61
2	82,42	13,40	132,72	0,25
4	82,71	12,88	132,65	0,72
5,5	82,88	12,41	132,19	1,29
7	83,20	11,55	131,62	2,35
8,5	83,28	11,40	130,98	2,83
10	83,44	10,98	130,38	3,56
12,5	83,86	9,92	128,72	5,52
14	84,06	9,41	127,66	6,68
15	84,17	9,04	126,88	7,52
17	84,25	8,97	125,61	8,60
18	84,51	8,31	124,43	9,96
21	84,86	7,50	121,48	12,94
23,5	85,28	6,50	118,70	15,89
35,5	86,50	4,01	106,86	27,82
37,5	86,60	3,84	105,42	29,23
40	86,97	3,00	102,49	32,29
43	87,41	2,11	98,36	36,51
67	90,62	-2,61	67,31	67,84

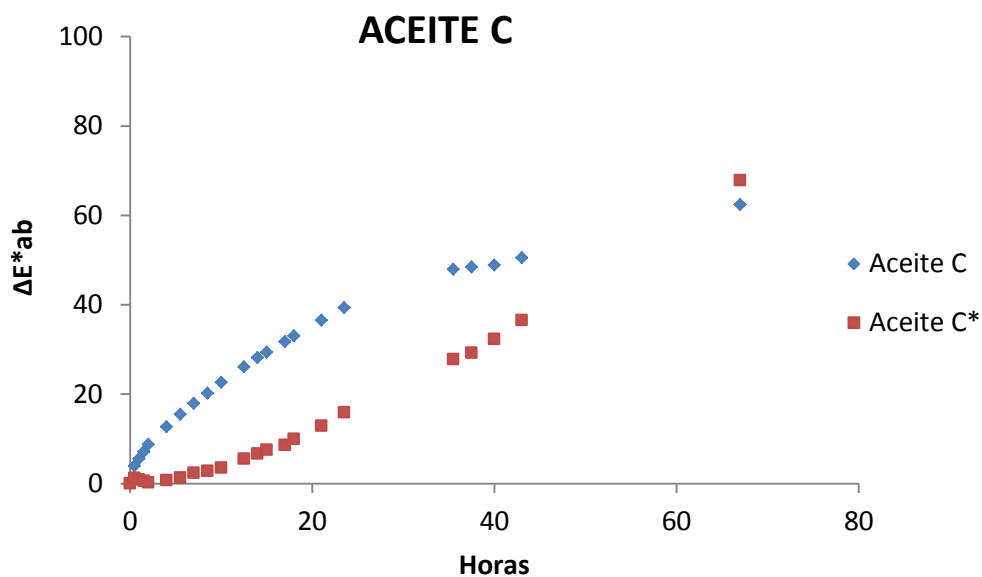


Figura 27: Variación del color en la degradación de aceite C: control (azul) y aceite C: enriquecido (rojo); 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Aceite D:

Las [Tablas 46](#) y [47](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite D procedente de Arabia Saudita y la [Figura 28](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 46: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,21	2,49	112,41	-----
0	83,21	2,49	112,41	0,00
0,5	83,38	2,39	107,87	4,54
1	83,56	2,31	105,29	7,13
1,5	83,87	1,85	102,10	10,35
2	84,14	1,50	99,31	13,16
4	85,03	0,31	90,43	22,16
5,5	85,50	-0,33	85,09	27,55
7	85,97	-0,99	79,77	32,94
8,5	86,49	-1,57	74,36	38,40
10	86,90	-2,06	69,69	43,12
12,5	87,61	-2,84	62,99	49,89
15	88,30	-3,47	56,27	56,68
17	88,79	-3,70	51,47	61,50
18	89,08	-3,92	49,09	63,91
21	89,79	-4,27	43,57	69,48
23,5	90,35	-4,46	39,84	73,25
35,5	91,89	-4,88	31,47	81,73

37,5	91,99	-4,83	30,88	82,32
40	92,35	-4,91	29,52	83,72
43	92,62	-4,88	28,67	84,58
67	94,45	-5,34	24,14	89,33

Tabla 47: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite D, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	79,50	13,23	129,72	-----
0	79,50	13,23	129,72	0,00
0,5	79,88	13,24	129,63	0,39
1	80,11	13,06	129,86	0,64
1,5	80,42	12,53	129,72	1,15
2	80,60	12,20	129,61	1,50
4	81,24	10,89	128,62	3,11
5,5	81,60	10,01	127,14	4,62
7	82,04	8,98	124,88	6,92
8,5	82,33	8,31	122,40	9,26
10	82,69	7,44	119,38	12,26
12,5	83,38	5,87	113,86	17,90
14	83,67	5,19	110,46	21,27
15	84,18	4,56	108,13	23,72
17	84,51	3,85	102,84	28,90
18	84,78	3,30	100,00	31,77
21	85,53	1,91	91,87	39,96
23,5	86,09	0,93	85,65	46,22
35,5	88,19	-2,01	64,57	67,47
37,5	88,47	-2,27	62,17	69,87
40	88,96	-2,83	58,17	73,94
43	89,51	-3,36	53,66	78,48
67	92,50	-5,33	33,85	98,51

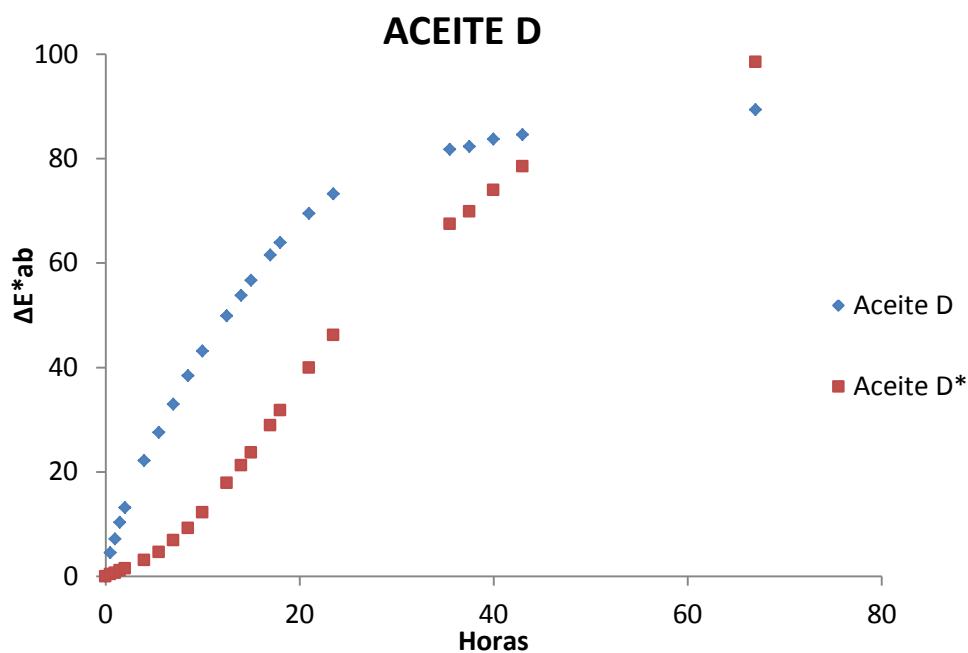


Figura 28: Variación del color en la degradación de aceite D: control (azul) y aceite D: enriquecido (rojo); 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Aceite E:

Las [Tablas 48](#) y [49](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite E procedente de Arabia Saudita y la [Figura 29](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 48: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	94,58	-3,87	47,94	-----
0	94,58	-3,87	47,94	0,00
0,5	94,98	-4,49	43,63	4,38
1	94,91	-4,23	42,90	5,07
1,5	94,93	-4,09	42,31	5,65
2	95,11	-4,32	41,23	6,74
4	95,28	-4,24	39,40	8,58
5,5	95,51	-4,41	37,56	10,43
7	95,68	-4,62	36,34	11,67
8,5	95,63	-4,27	35,73	12,27
10	95,81	-4,36	34,26	13,74
12,5	96,00	-4,39	32,46	15,55
14	96,13	-4,42	31,30	16,72
15	96,24	-4,52	30,38	17,65
17	96,35	-4,33	29,33	18,70
18	96,61	-4,43	27,21	20,84

21	96,83	-4,34	25,40	22,66
23,5	97,03	-4,31	23,90	24,17
35,5	97,74	-4,17	20,02	28,10
37,5	97,69	-4,12	19,92	28,20
40	97,82	-4,16	19,29	28,83
43	97,94	-4,14	18,56	29,58
67	98,79	-4,08	14,87	33,34

Tabla 49: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite E, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	87,68	9,58	125,41	-----
0	87,68	9,58	125,41	0,00
0,5	87,05	10,84	130,36	5,14
1	87,03	10,88	129,93	4,74
1,5	87,14	10,56	129,46	4,20
2	87,40	9,74	128,50	3,10
4	87,49	9,61	127,01	1,61
7	88,32	7,09	122,47	3,99
8,5	88,15	7,69	121,59	4,29
10	88,39	7,00	119,56	6,44
12,5	88,83	5,84	115,82	10,36
14	89,01	5,39	113,69	12,52
15	89,30	4,51	111,46	14,93
17	89,27	4,93	109,18	16,97
18	89,60	3,96	106,56	19,76
21	89,95	3,36	101,61	24,71
23,5	90,49	2,14	96,50	29,99
35,5	92,09	-0,44	80,32	46,41
37,5	92,24	-0,55	77,79	48,91
40	92,76	-1,55	73,10	53,72
43	93,30	-2,37	68,18	58,74
67	96,07	-4,83	42,51	84,57

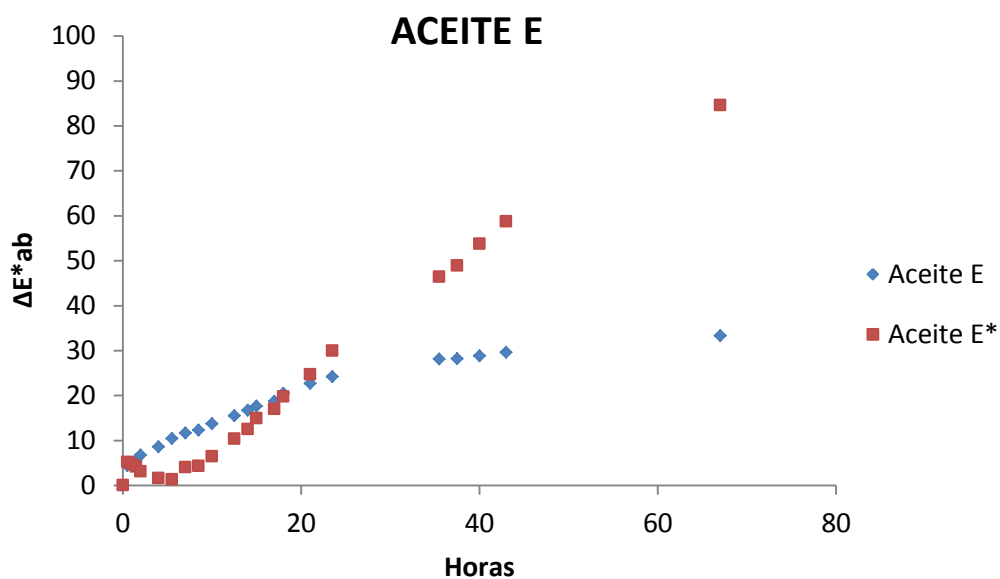


Figura 29: Variación del color en la degradación de aceite E: control (azul) y aceite E: enriquecido (rojo); 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Aceite F:

Las [Tablas 50](#) y [51](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite F procedente de Arabia Saudita y la [Figura 30](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite.

Tabla 50: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	94,05	-3,68	50,68	-----
0	94,05	-3,68	50,68	0,00
0,5	94,74	-4,50	46,16	4,64
1	94,84	-4,53	44,64	6,15
1,5	94,93	-4,51	43,45	7,33
2	95,08	-4,63	42,00	8,78
4	95,44	-4,62	38,68	12,12
5,5	95,73	-4,77	35,97	14,84
7	96,04	-4,94	33,39	17,45
8,5	96,22	-4,89	31,17	19,66
10	96,52	-4,94	28,71	22,14
12,5	96,94	-4,93	25,37	25,51
14	97,12	-4,88	23,78	27,10
15	97,29	-4,87	22,56	28,33
17	97,59	-4,67	20,71	30,20
18	97,63	-4,63	20,65	30,26
21	97,89	-4,45	18,57	32,35

23,5	98,09	-4,35	17,23	33,70
35,5	98,61	-4,09	14,52	36,44
37,5	98,64	-4,01	14,30	36,67
40	98,73	-4,01	14,04	36,93
43	98,85	-3,91	13,53	37,45
67	99,43	-3,99	12,47	38,59

Tabla 51: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite F, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	87,44	9,88	126,48	-----
0	87,44	9,88	126,48	0,00
0,5	87,01	10,79	129,33	3,02
1	87,15	10,35	128,64	2,23
1,5	87,20	10,25	128,10	1,68
2	87,38	9,73	127,31	0,85
4	87,57	9,28	125,31	1,32
5,5	87,83	8,50	123,33	3,46
7	88,35	6,94	120,33	6,88
8,5	88,24	7,35	119,30	7,66
10	88,50	6,59	116,95	10,14
12,5	88,95	5,41	112,86	14,42
14	89,18	4,78	110,25	17,11
15	89,48	3,93	107,95	19,57
17	89,50	4,20	105,23	22,09
18	89,75	3,53	102,88	24,56
21	90,21	2,58	97,33	30,18
23,5	90,62	1,66	92,65	34,96
35,5	92,14	-0,77	76,34	51,48
37,5	92,28	-0,95	74,08	53,73
40	92,68	-1,62	70,27	57,62
43	93,07	-2,18	66,18	61,75
67	95,65	-4,41	42,91	85,18

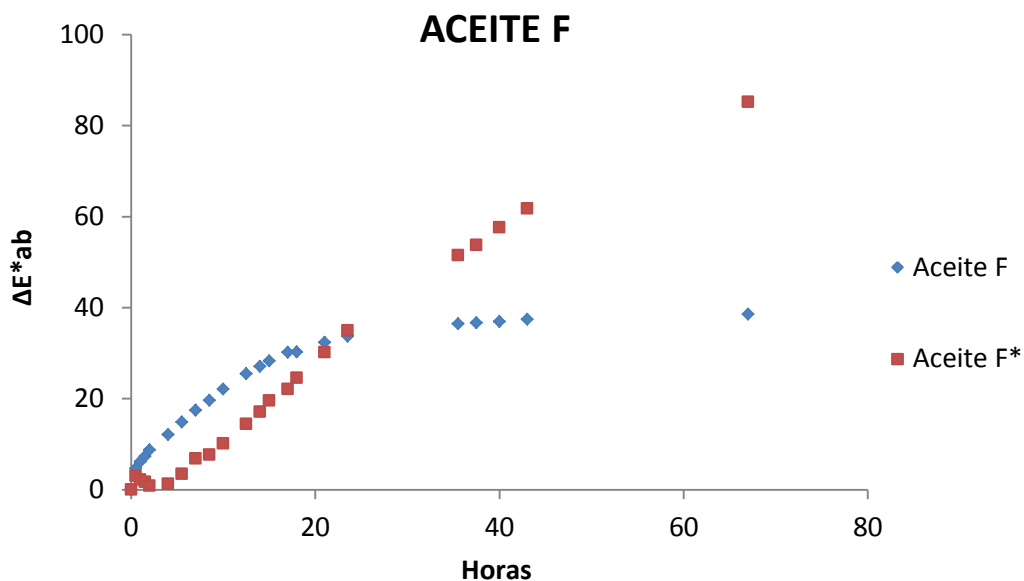


Figura 30: Variación del color en la degradación de aceite F: control (azul) y aceite F: enriquecido (rojo); 120°C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Si comparamos las curvas obtenidas de los 6 aceites, tenemos la [Figura 31](#), donde encontramos las curvas de los aceites sin enriquecer y la [Figura 32](#) donde encontramos los mismos pero enriquecidos con antioxidantes.

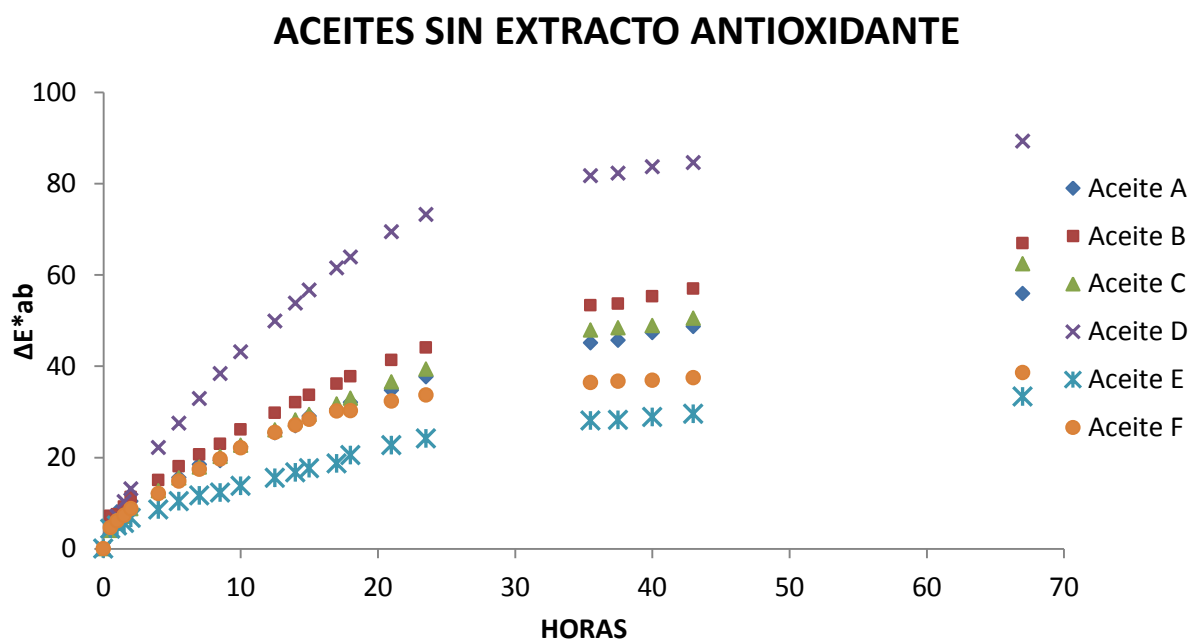


Figura 31: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante, en baño a 120 °C.

ACEITES CON EXTRACTO ANTIOXIDANTE

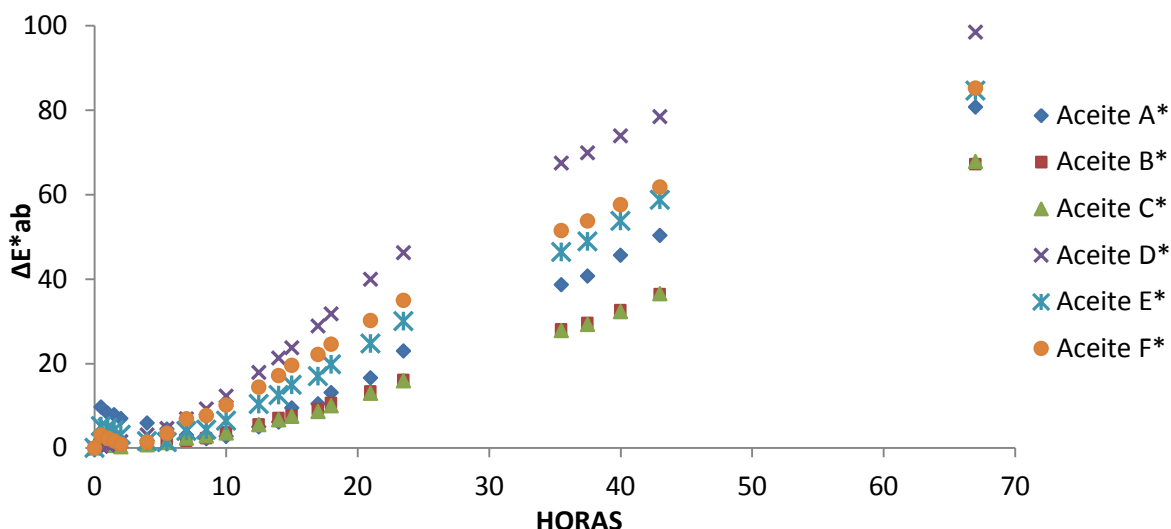


Figura 32: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Al comparar ambas figuras se observa claramente como las curvas de degradación de los aceites que han sido enriquecidos en las 30 primeras horas son mucho menos acentuadas que en los aceites enriquecidos. Además, en este periodo temporal las curvas siguen un comportamiento muy similar, hasta llegar a solaparse algunas.

En la [Figura 31](#), desde las primeras horas se observa como el aceite D sufre una degradación más acentuada en comparación con la que sigue el resto. En el lado opuesto encontramos los aceites E y F que son los que menos se degradan en estas mismas condiciones. Este comportamiento es totalmente el contrario al que se daba en el estudio de foto-estabilidad ([Figura 7](#)) y de calentamiento por microondas.

Si ahora nos fijamos en la [Figura 32](#), en la que se muestran los aceites ya enriquecidos, vemos claramente que el aceite D, sigue siendo el que más degradación sufre, seguido de los aceites E y F. Sin embargo, los aceites que menos degradación sufren ante el calentamiento son B y C, ambos con comportamiento muy similar.

En resumen, los aceites que mejor se comportan con la adición de antioxidantes ante un calentamiento en baño a 120 °C serían B y C. Así como el que peor se adaptaría sería el D.

En las siguientes imágenes podemos observar los aceites sauditas sin enriquecer: [Imagen 28](#) y enriquecidos: [Imagen 29](#), la foto de la izquierda al cabo de 1 hora en el baño y la foto de la derecha después de las 67 horas de calentamiento.

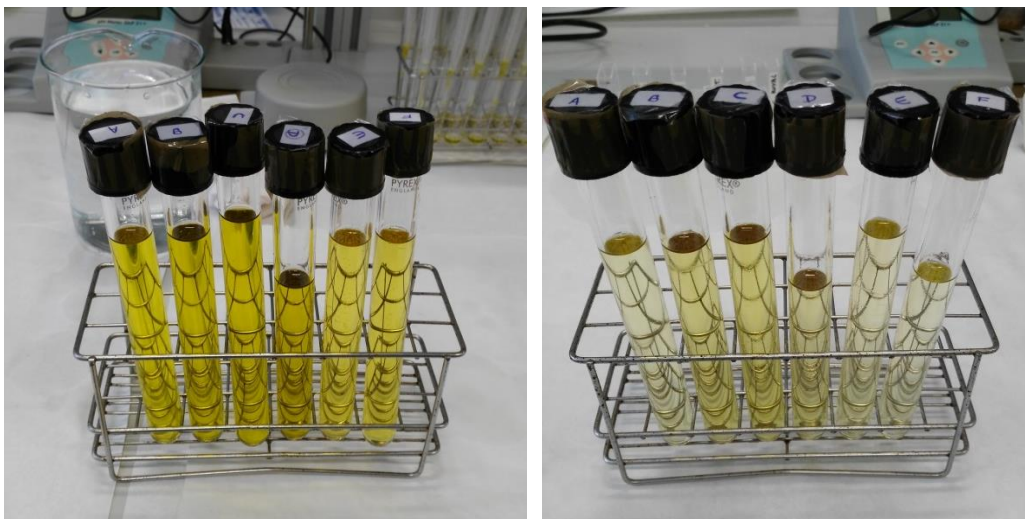


Imagen 28: Aceites de oliva sin enriquecer, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento en baño a 120 °C.

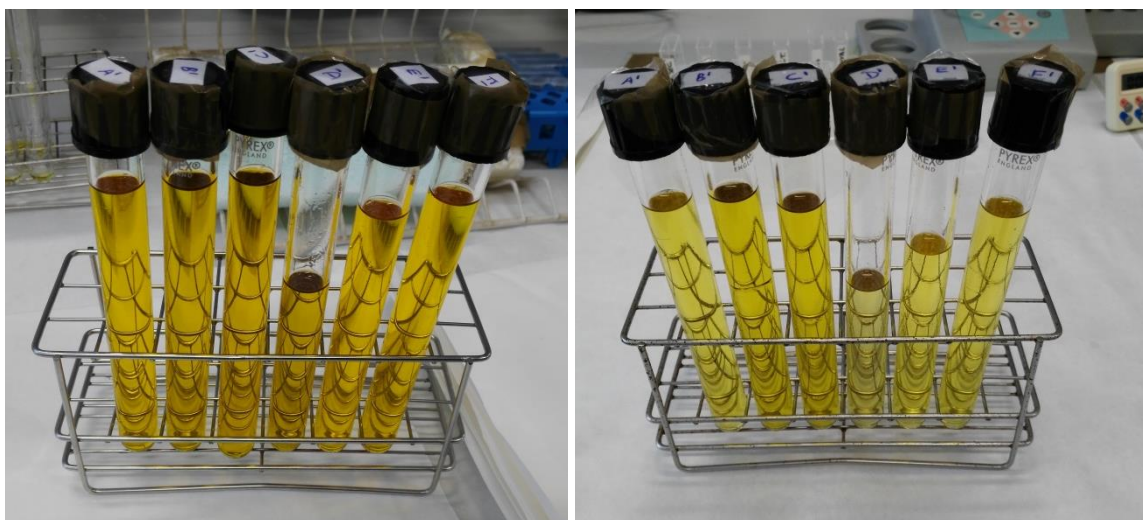


Imagen 29: Aceites de oliva enriquecidos, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento en baño a 120 °C.

4.4.2.2. Termo-estabilidad, baño termostático: AOVes en función de la variedad de aceituna.

AOVE de la variedad Frantoio (Aceite G):

Las [Tablas 52](#) y [53](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite G, aceite de variedad Frantoio.

Tabla 52: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	86,60	2,47	110,60	-----
0	86,60	2,47	110,60	0,00
2,5	87,76	0,47	97,70	13,11
5	88,48	-0,89	88,36	22,58
17,5	91,06	-3,90	56,88	54,28
18,5	91,11	-4,06	56,37	54,81
20	91,32	-4,22	53,85	57,34
23,5	91,95	-4,77	48,29	62,96
25,5	92,14	-4,79	45,83	65,41
39	93,40	-5,20	35,14	76,16
41,5	93,50	-5,22	34,04	77,26
45	93,82	-5,32	31,64	79,67
46,5	93,91	-5,31	30,81	80,50
48	94,07	-5,38	29,74	81,59
61	94,75	-5,24	25,36	85,97
63	94,80	-5,27	25,08	86,26
67	95,06	-5,25	23,76	87,60
69	95,13	-5,23	23,34	88,01
82	95,61	-5,11	21,11	90,26
84	95,62	-5,08	21,08	90,29
86	95,72	-5,11	20,72	90,66

Tabla 53: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite G, en baño a 120°C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	84,12	11,60	133,37	-----
0	84,12	11,60	133,37	0,00
2,5	83,82	12,99	134,06	1,58
5	84,47	11,25	132,54	0,96
17,5	86,63	5,63	116,80	17,78
18,5	86,69	5,36	115,70	18,91
20	86,96	4,63	112,48	22,20
23,5	87,68	2,77	105,23	29,70
25,5	87,75	2,67	102,19	32,63

39	89,55	-0,74	81,19	53,89
41,5	89,73	-1,11	78,27	56,83
45	90,36	-2,27	72,26	62,97
46,5	90,52	-2,45	69,74	65,48
48	90,81	-2,96	66,85	68,42
61	91,69	-3,95	50,90	84,26
63	91,84	-4,15	49,61	85,58
67	92,32	-4,56	45,98	89,25
69	92,55	-4,75	44,12	91,12
82	93,54	-5,19	37,10	98,18
84	93,59	-5,19	36,43	98,83
86	93,80	-5,30	35,18	100,10

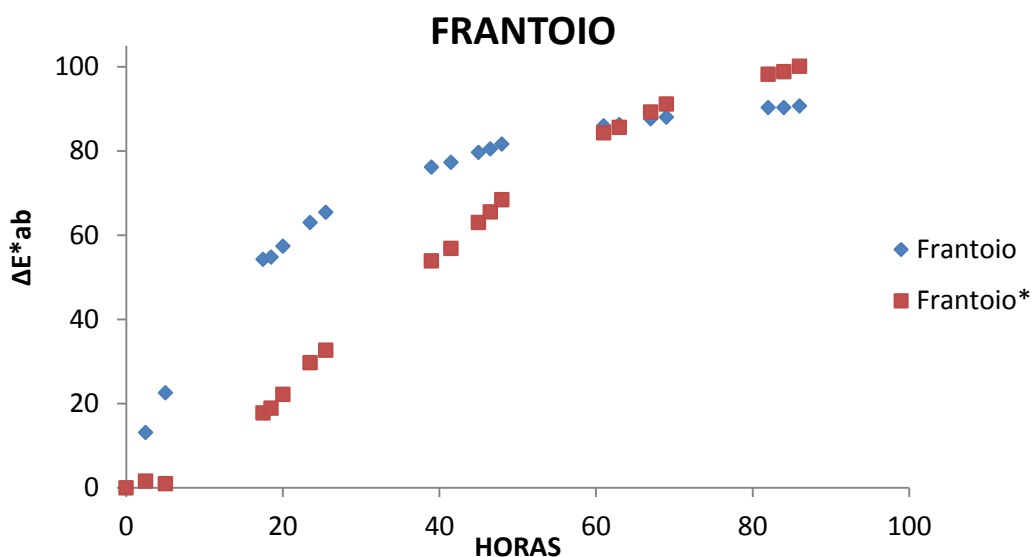


Figura 33: Variación del color en la degradación de aceite Frantoio: control (azul) y aceite Frantoio: enriquecido (rojo), en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

La [Figura 33](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite G. En esta figura se observa que el aceite control Frantoio: enriquecido muestra una degradación menor y más lineal que el que no ha sido enriquecido.

En las primeras 24 horas el AOVE enriquecido llega aproximadamente a las 30 unidades de ΔE^*ab y el que no ha sido enriquecido a las 65 unidades de ΔE^*ab . Se ve claramente como la vida útil del aceite se duplica.

AOVE de la variedad Picual (Aceite H):

Las [Tablas 54](#) y [55](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite H, aceite de variedad Picual.

Tabla 54: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	84,51	6,65	121,27	-----
0	84,51	6,65	121,27	0,00
2,5	85,54	5,06	114,36	7,17
5	86,17	3,75	109,80	11,95
17,5	88,16	0,46	91,15	30,96
18,5	88,15	0,17	89,96	32,18
20	88,13	0,37	88,86	33,21
23,5	88,43	0,16	84,94	37,11
25,5	88,60	-0,20	82,35	39,73
39	90,11	-2,08	68,28	53,99
41,5	90,22	-2,35	66,59	55,71
45	90,66	-3,06	63,04	59,36
46,5	90,51	-2,68	62,55	59,76
48	90,68	-2,96	60,87	61,47
61	91,86	-3,86	52,55	69,91
63	91,76	-3,77	52,08	70,35
67	92,24	-3,99	49,44	73,02
69	92,22	-3,93	48,62	73,82
82	93,27	-4,63	42,34	80,21
84	93,26	-4,61	41,77	80,77
86	93,47	-4,67	40,67	81,88

Tabla 55: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite H, en baño a 120°C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	80,77	16,47	132,04	-----
0	80,77	16,47	132,04	0,00
2,5	81,28	16,20	132,25	0,61
5	82,32	13,79	131,97	3,09
17,5	84,27	9,73	127,74	8,73
18,5	84,24	9,46	126,93	9,34
20	84,23	9,48	126,22	9,73
23,5	84,47	9,07	123,83	11,65
25,5	84,81	7,96	121,22	14,34
39	86,43	4,38	106,54	28,78
41,5	86,44	4,18	104,57	30,62
45	86,86	3,08	100,20	35,08

46,5	86,89	2,99	98,48	36,68
48	87,08	2,48	96,26	38,93
61	88,55	-0,06	82,44	52,86
63	88,52	-0,12	80,90	54,32
67	88,99	-0,84	76,14	59,09
69	89,15	-1,16	73,82	61,41
82	90,50	-2,92	62,51	72,83
84	90,51	-2,94	61,23	74,06
86	90,78	-3,33	58,96	76,37

La [Figura 34](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite H. Para este aceite, también se ve que la curva del aceite enriquecido es más lineal que la del aceite no enriquecido. En 24 horas la degradación que ha sufrido el aceite enriquecido llega a unas 14 unidades de ΔE^*ab , mientras que el aceite que no ha sido enriquecido alcanza las 39 unidades de ΔE^*ab . Estas unidades llegan a ser la mitad de las alcanzadas con el aceite anterior (variedad Frantoio).

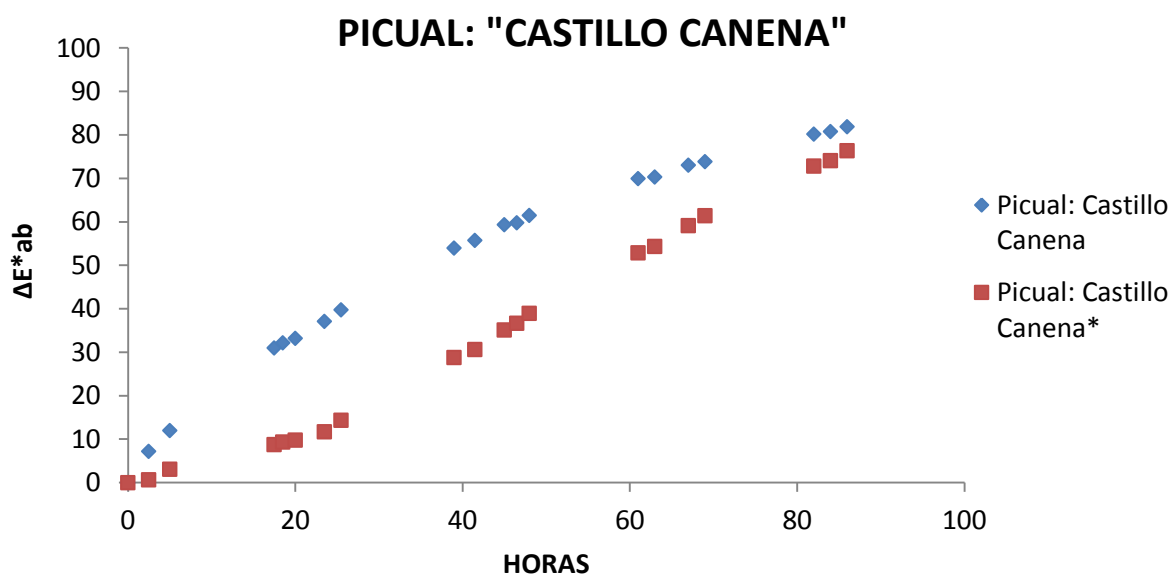


Figura 34: Variación del color en la degradación de aceite Picual: control (azul) y aceite Picual: enriquecido (rojo), en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

AOVE de la variedad Royal (Aceite I):

Las [Tablas 56](#) y [57](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite I, aceite de variedad Royal.

Tabla 56: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I, en baño a 120°C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	83,23	6,22	117,86	-----
0	83,23	6,22	117,86	0,00
2,5	84,97	3,92	106,90	11,34
5	86,10	1,90	96,86	21,64
17,5	89,38	-2,51	62,23	56,65
18,5	89,36	-2,54	62,18	56,71
20	89,63	-2,79	59,38	59,52
23,5	90,30	-3,46	53,88	65,10
25,5	90,61	-3,65	50,97	68,02
39	92,03	-4,51	40,06	79,03
41,5	92,11	-4,48	39,03	80,05
45	92,43	-4,59	36,69	82,41
46,5	92,56	-4,63	35,75	83,35
48	92,73	-4,70	34,70	84,42
61	93,58	-4,93	30,08	89,09
63	93,61	-4,90	29,86	89,30
67	93,93	-4,98	28,50	90,69
69	94,01	-4,94	28,09	91,11
82	94,59	-5,03	26,10	93,15
84	94,65	-5,01	25,82	93,42
86	94,76	-4,99	25,52	93,73

Tabla 57: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite I, en baño a 120°C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	80,71	15,15	131,29	-----
0	80,71	15,15	131,29	0,00
2,5	81,48	14,96	131,94	1,02
5	82,60	12,56	131,04	3,21
17,5	85,58	5,73	112,26	21,79
18,5	85,60	5,56	111,46	22,57
20	85,90	4,84	107,95	26,04
23,5	86,67	3,11	100,30	33,77
25,5	86,98	2,50	96,33	37,70
39	88,98	-0,88	74,73	59,36
41,5	89,11	-1,10	72,53	61,54
45	89,58	-1,83	67,63	66,48

46,5	89,79	-2,11	65,40	68,72
48	90,13	-2,64	62,71	71,48
61	91,99	-4,06	52,67	81,72
63	92,15	-4,32	51,08	83,32
67	92,67	-4,75	46,78	87,64
69	92,90	-4,96	44,77	89,66
82	93,88	-5,29	37,31	97,08
84	93,99	-5,37	36,38	98,01
86	94,17	-5,44	34,90	99,48

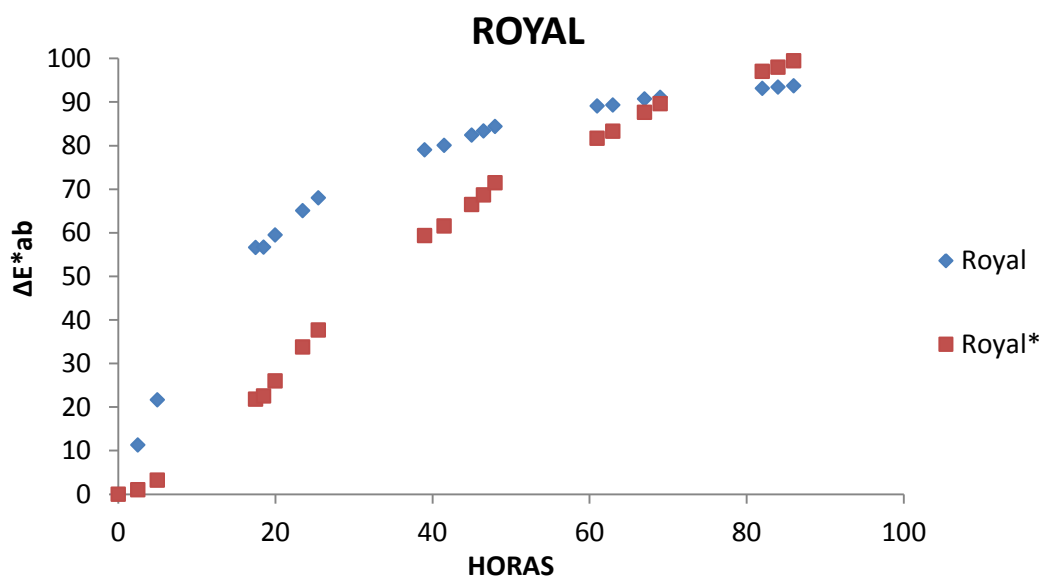


Figura 35: Variación del color en la degradación de aceite Royal: control (azul) y aceite Royal: enriquecido (rojo), en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

La [Figura 35](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite I, de variedad Royal. Como en el caso de los aceites anteriores la curva de degradación del aceite enriquecido muestra más linealidad que la curva del aceite que no ha sido enriquecido.

El comportamiento de este aceite ante el calentamiento es similar al comportamiento que ha mostrado el aceite G (variedad Frantoio), al cabo de un día, las unidades de ΔE^*ab obtenidas son: para el aceite enriquecido: 37 y para el aceite sin enriquecer: 68.

AOVE de la variedad Arbequina (Aceite J):

Las [Tablas 58](#) y [59](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite J, aceite de variedad Arbequina.

Tabla 58: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	85,05	4,57	117,22	-----
0	85,05	4,57	117,22	0,00
2,5	85,80	3,37	111,59	5,81
5	86,29	2,89	107,55	9,89
17,5	88,82	-0,74	84,21	33,64
18,5	88,76	-0,76	84,04	33,81
20	88,96	-1,09	81,62	36,26
23,5	89,61	-2,18	76,06	41,95
25,5	89,80	-2,31	73,51	44,50
39	91,37	-3,51	59,99	58,14
41,5	91,47	-3,55	58,40	59,72
45	91,93	-4,08	54,95	63,24
46,5	92,02	-4,04	53,83	64,35
48	92,26	-4,26	52,21	66,00
61	93,59	-4,77	44,05	74,26
63	93,67	-4,77	43,21	75,09
67	94,14	-4,84	40,47	77,86
69	94,36	-4,99	39,13	79,22
82	95,40	-5,05	33,80	84,61
84	95,47	-4,93	33,03	85,36
86	95,74	-5,08	31,61	86,81

Tabla 59: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite J, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	82,27	13,32	132,35	-----
0	82,27	13,32	132,35	0,00
2,5	82,31	14,14	132,33	0,83
5	82,83	13,47	132,26	0,59
17,5	85,00	9,27	126,28	7,79
18,5	84,99	9,15	125,87	8,17
20	85,16	8,75	124,49	9,53
23,5	85,76	7,16	120,81	13,54
25,5	85,85	7,08	119,46	14,76
39	87,34	4,04	105,04	29,28
41,5	87,39	3,88	103,42	30,85
45	87,86	2,65	99,12	35,34

46,5	87,89	2,64	97,78	36,62
48	88,13	2,06	95,53	38,94
61	89,51	-0,02	81,33	53,22
63	89,58	-0,26	79,90	54,66
67	90,02	-0,98	75,44	59,18
69	90,22	-1,36	73,31	61,35
82	91,33	-2,67	62,69	72,04
84	91,42	-2,83	61,41	73,32
86	91,64	-3,13	59,27	75,49

La [Figura 36](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite J (variedad Arbequina). En esta figura, se ve claramente como el aceite que ha sido enriquecido sufre una degradación más lenta. Así, en 24 horas aproximadamente, este aceite sufre una degradación de 15 unidades de ΔE^*ab . Sin embargo, el aceite sin enriquecer en las mismas horas llega a una degradación de 40 unidades de ΔE^*ab , lo que supone una degradación de más del doble en 24 horas iniciales. Estas unidades llegan a igualar las unidades del aceite de variedad Picual, pero llegan a ser la mitad de los aceites de variedad Royal y Frantoio.

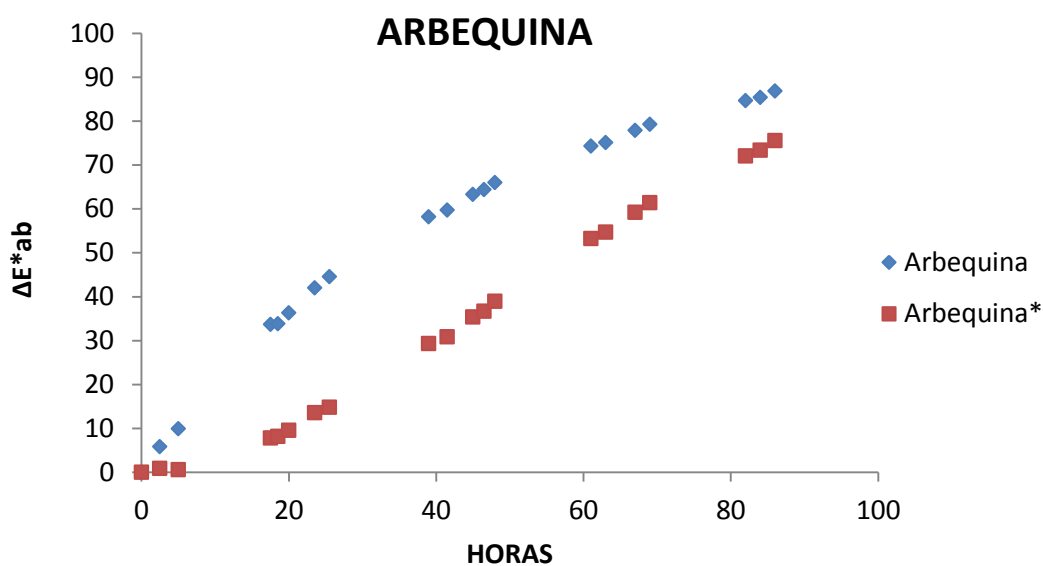


Figura 36: Variación del color en la degradación de aceite Arbequina: control (azul) y aceite Arbequina: enriquecido (rojo), en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Comparativa global de los AOVEs de distinta variedad de fruto:

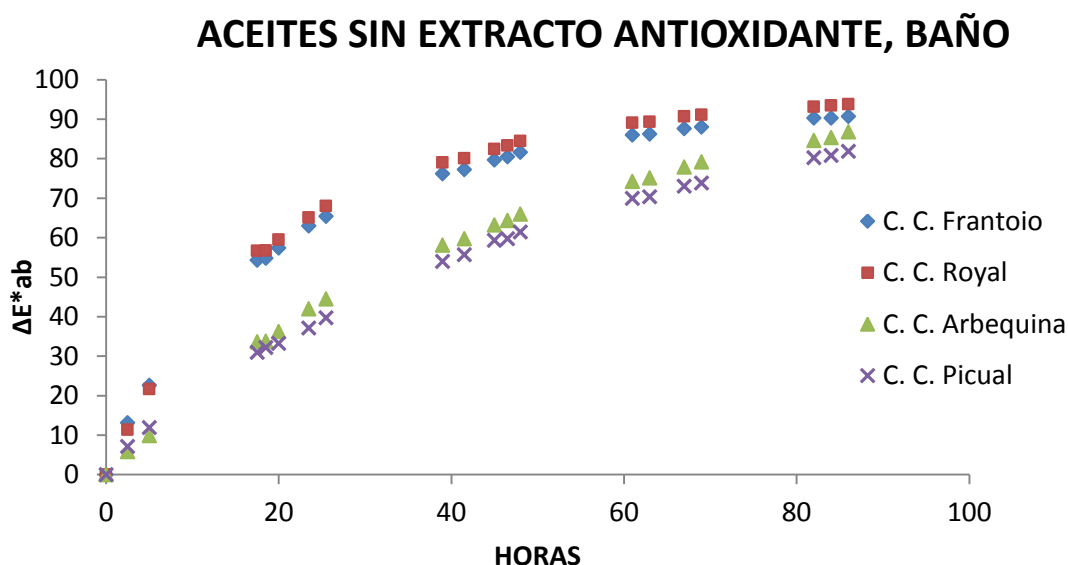


Figura 37: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante, en baño a 120 °C.

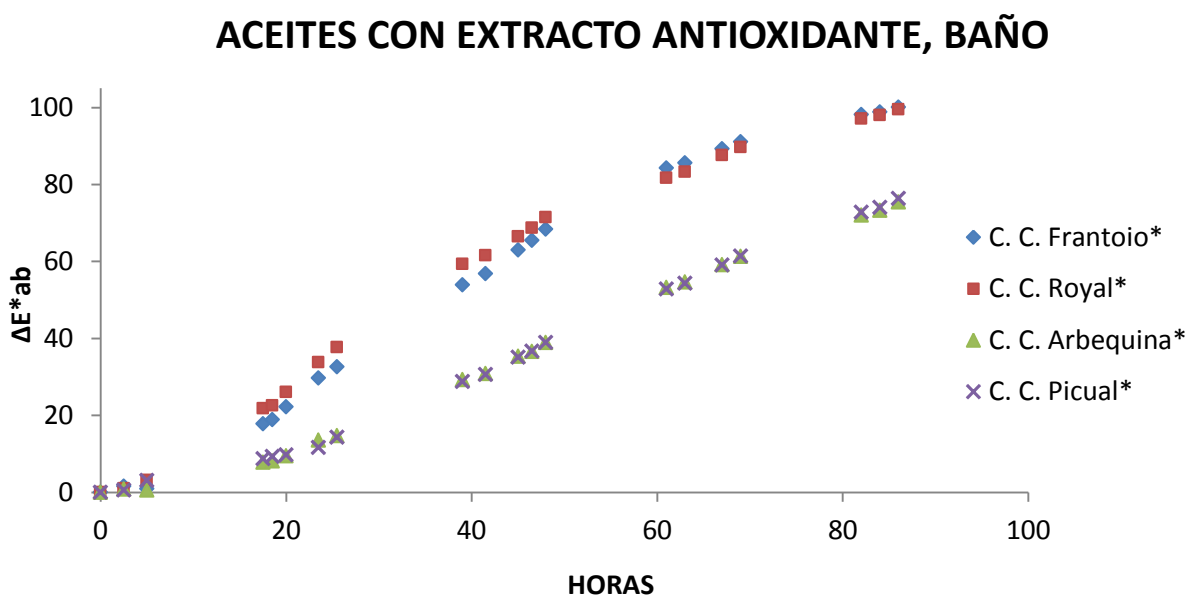


Figura 38: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante, en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Las [Figuras 37](#) y [38](#) se muestran para comparar los cuatro AOVEs de diferente variedad. Se puede ver que el comportamiento, en ambos casos, del aceite variedad Picual y Arbequina son similares, incluso sus curvas llegan a solaparse, igual ocurre con los dos aceites restantes, estos también siguen un comportamiento muy similar. Sin duda alguna el aceite de oliva de variedad Picual junto con el de Arbequina tienen mayor vida útil.

Si comparamos estos resultados con los obtenidos en la experiencia de calentamiento por microondas, vemos que coinciden en que el aceite de variedad Arbequina es el que menos se degrada y por el contrario el de variedad Frantoio es el que más degradación sufre. Sin embargo, en microondas veíamos que el comportamiento del aceite variedad Picual era similar al de variedad Royal, en este caso este comportamiento similar no se da.

4.4.2.3. Termo-estabilidad, baño termostático: AOVes de la variedad picual en función de su procedencia.

AOVE “Castillo Canena” (Jaén) (Aceite H):

El primer aceite estudiado para la experiencia del baño termostático, respecto a los aceites Picuales ha sido el aceite H, cuyos resultados se han presentado en el apartado anterior 4.4.2.2. por lo que no se incluirá en este apartado para no repetirlo nuevamente.

AOVE “Baena” (Córdoba) (Aceite K):

Las [Tablas 60](#) y [61](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite K, aceite Picual: “Baena”.

Tabla 60: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	88,59	-0,04	96,59	-----
0	88,59	-0,04	96,59	0,00
2,5	89,35	-1,62	89,30	7,50
5	89,69	-2,50	85,76	11,16
17,5	90,23	-2,78	75,74	21,10
18,5	90,43	-3,52	74,16	22,78
20	90,30	-3,08	73,85	23,02
23,5	90,49	-3,15	70,82	26,04
25,5	90,82	-3,86	67,98	28,95
39	91,80	-4,43	57,39	39,58
41,5	91,86	-4,56	56,27	40,71
45	92,46	-5,53	52,55	44,56
46,5	92,11	-4,73	52,94	44,05
48	92,41	-5,27	51,09	45,96
61	93,35	-5,45	43,93	53,16

63	93,42	-5,60	43,06	54,04
67	93,68	-5,53	40,83	56,26
69	93,76	-5,48	39,87	57,22
82	94,77	-5,76	33,82	63,34
84	94,76	-5,72	33,36	63,79
86	94,83	-5,62	32,63	64,51

Tabla 61: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite K, en baño a 120°C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	84,25	12,50	134,36	-----
0	84,25	12,50	134,36	0,00
2,5	84,46	11,51	133,14	1,58
5	84,81	10,41	132,15	3,09
17,5	85,52	8,69	128,30	7,28
18,5	85,76	7,71	126,86	9,03
20	85,65	8,03	126,37	9,26
23,5	85,76	7,83	124,47	11,05
25,5	86,30	6,10	121,48	14,53
39	87,39	3,62	109,52	26,57
41,5	87,47	3,25	107,41	28,67
45	87,90	2,09	102,89	33,35
46,5	87,79	2,41	101,87	34,21
48	88,21	1,22	98,56	37,75
61	89,32	-0,63	85,34	51,00
63	89,31	-0,69	83,82	52,48
67	89,81	-1,56	78,47	57,90
69	89,98	-1,90	75,95	60,43
82	91,37	-3,69	62,66	73,85
84	91,41	-3,74	61,20	75,29
86	-	-	-	-

La [Figura 39](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite K. Para este aceite, se ve que entre la curva del aceite enriquecido y la del aceite no enriquecido, no existe mucha diferencia, ambas curvas son lineales y la degradación no es acentuada. En 24 horas la degradación que ha sufrido el aceite enriquecido llega a unas 14 unidades de ΔE^*ab , mientras que el aceite que no ha sido enriquecido alcanza las 28 unidades de ΔE^*ab . En este caso el aceite enriquecido vuelve a duplicar su vida útil.

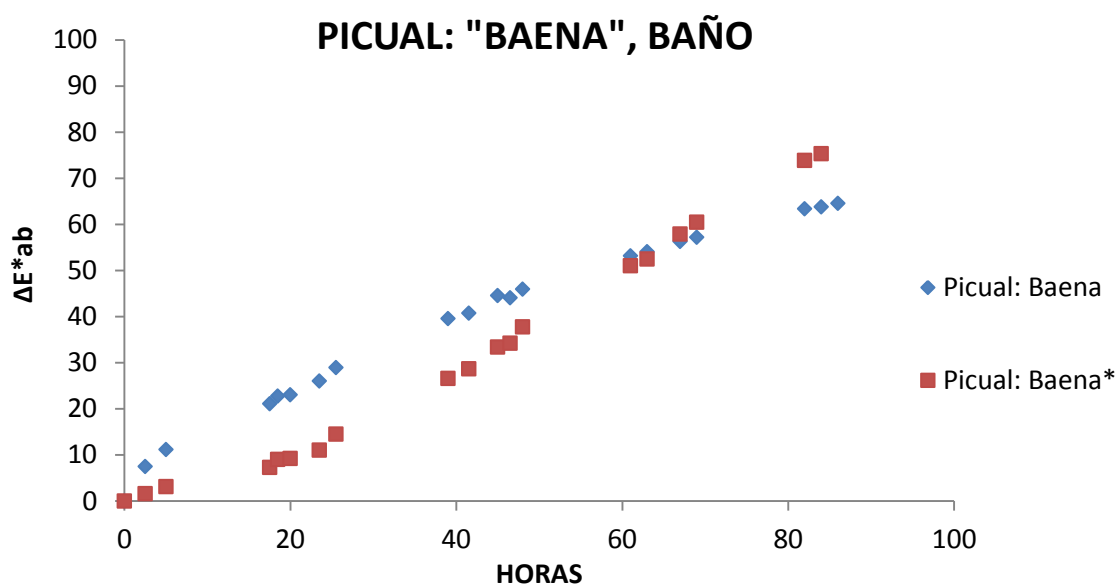


Figura 39: Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual: "Baena": control (azul) y variedad Picual: "Baena": enriquecido (rojo), en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

AOVE "Olivar Segura" (Jaén) (Aceite L):

Las [Tablas 62](#) y [63](#) muestran los resultados obtenidos con el aceite L.

Tabla 62: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L, en baño a 120 °C.

Tiempo, horas	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	82,90	5,82	124,79	-----
0	82,90	5,82	124,79	0,00
2,5	83,58	5,10	120,62	4,29
5	83,96	4,00	116,27	8,78
17,5	84,96	1,92	100,39	24,80
18,5	85,36	0,64	97,24	28,15
20	85,10	1,15	95,95	29,30
23,5	85,25	1,10	92,11	33,11
25,5	85,58	0,32	87,97	37,33
39	86,84	-1,48	71,91	53,53
41,5	86,95	-1,77	69,82	55,64
45	87,61	-2,85	65,07	60,53
46,5	87,33	-2,27	64,78	60,72
48	87,56	-2,63	62,63	62,91
61	88,86	-3,71	51,48	74,16
63	88,80	-3,71	50,98	74,66
67	89,29	-4,12	47,90	77,80
69	89,34	-4,13	46,92	78,77
82	90,33	-4,63	40,37	85,39
84	90,32	-4,61	39,94	85,82

86	90,69	-4,73	39,11	86,68
----	-------	-------	-------	-------

Tabla 63: Parámetros colorimétricos en el seguimiento de la degradación del color del Aceite L, en baño a 120°C; [luteína] = 0.025mg/ml.

Tiempo, min	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dE*ab(D65)
Patrón	80,28	14,36	131,47	-----
0	80,28	14,36	131,47	0,00
2,5	80,40	14,22	131,03	0,48
5	81,01	12,52	130,84	2,08
17,5	81,47	11,60	130,22	3,25
18,5	81,64	10,78	129,55	4,28
20	81,52	11,10	129,47	4,02
23,5	81,59	10,92	128,88	4,50
25,5	81,87	9,98	127,72	5,98
39	83,05	7,23	120,19	13,63
41,5	83,06	6,95	118,68	15,04
45	83,40	6,00	115,50	18,30
46,5	83,34	6,06	114,22	19,39
48	83,52	5,47	112,17	21,49
61	84,89	2,77	98,81	34,96
63	84,89	2,58	97,24	36,49
67	85,26	1,87	92,50	41,23
69	85,35	1,60	90,27	43,43
82	86,87	-0,86	76,73	57,20
84	86,84	-0,88	75,33	58,54
86	86,92	-1,01	73,56	60,29

La [Figura 40](#) muestra las curvas de degradación obtenidas para este aceite L. Para este aceite de variedad Picual: “Olivar Segura”, se ve como existe gran diferencia entre la curva del aceite enriquecido y la del aceite no enriquecido. Este comportamiento es totalmente diferente al comportamiento del aceite anterior, “Baena”.

En 24 horas la degradación que ha sufrido el Picual “Olivar Segura” enriquecido no llega a las 6 unidades de ΔE^*ab , mientras que el aceite que no ha sido enriquecido alcanza las 37 unidades de ΔE^*ab . Estas unidades muestran como la degradación de este AOVE en 24 horas es mucho menor que el resto de dos AOVes, picuales de distinta procedencia. Estos llegan a duplicar el valor de ΔE^*ab , en el aceite enriquecido, pero igualan las unidades de ΔE^*ab para el aceite que no ha sido enriquecido. Estos resultados convierten al aceite “Olivar Segura” como el aceite de oliva que mayor vida útil tiene, en este grupo de AOVes.

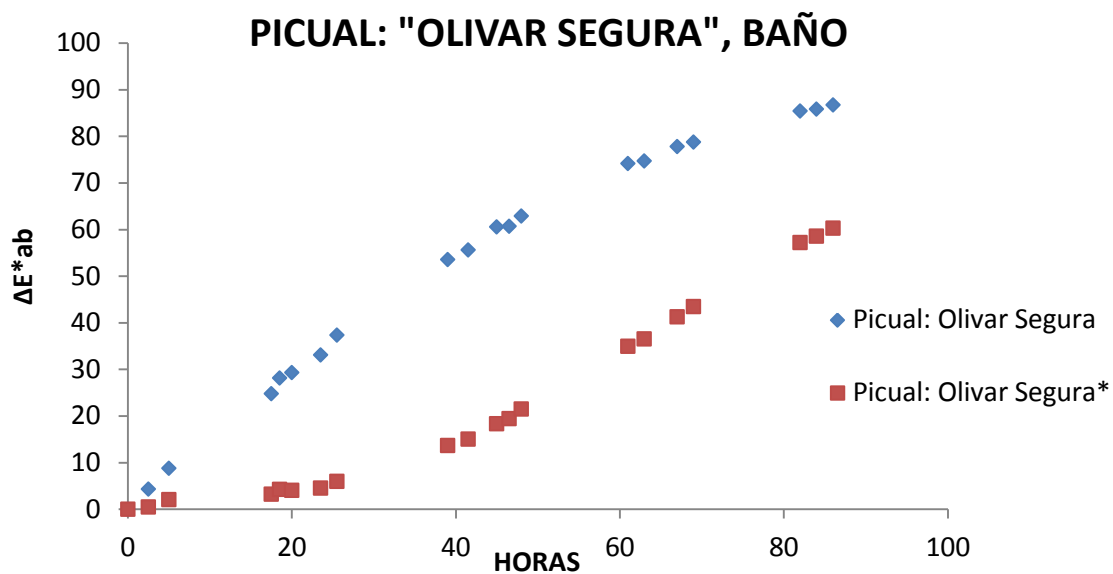


Figura 40: Variación del color en la degradación de aceite variedad Picual: "Olivar Segura": control (azul) y variedad Picual: "Olivar Segura": enriquecido (rojo), en baño a 120 °C; [luteína] = 0.025 mg/ml.

Comparativa global de los AOVEs Picuales de distinta procedencia:

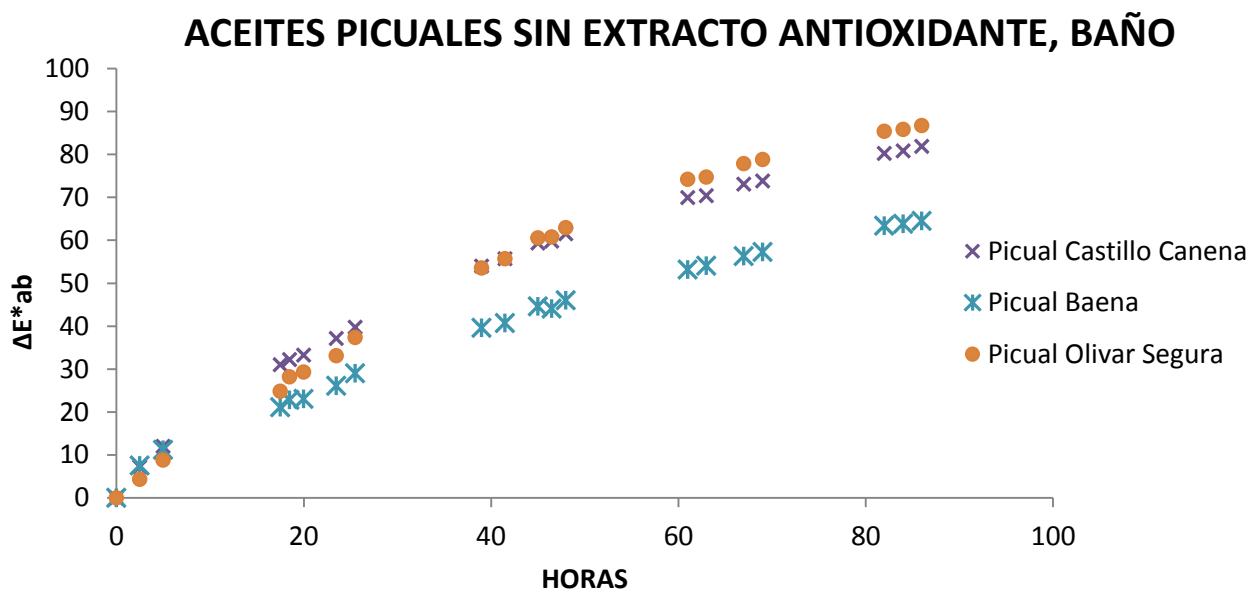


Figura 41: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites sin extracto antioxidante, en baño a 120 °C.

ACEITES PICUALES CON EXTRACTO ANTIOXIDANTE, BAÑO

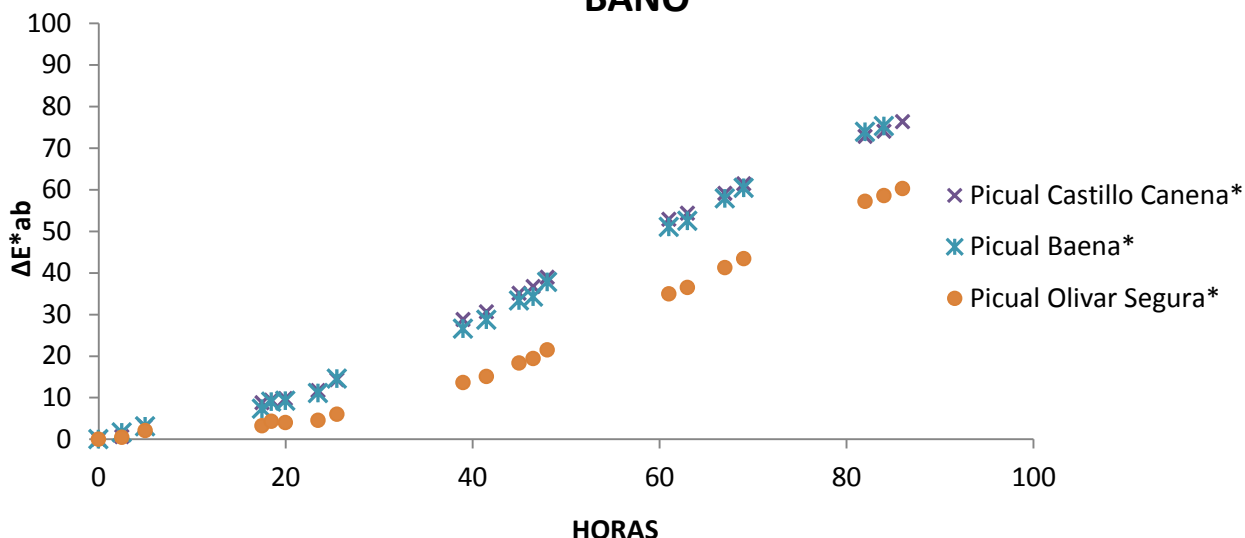


Figura 42: Comparativa de la variación del color en la degradación de los aceites con extracto antioxidante, en baño a 120 °C; [luteína]=0,025 mg/ml.

Las [Figuras 41](#) y [42](#) muestran la comparativa global de los aceites Picuales sin enriquecer y los enriquecidos con extracto antioxidante.

En la [Figura 41](#) se puede observar que los aceites de oliva “Castillo Canena” y “Olivar Segura” siguen un comportamiento similar, mientras que “Baena” es el que menos degradación sufre ante el calentamiento en baño.

Por otro lado en la [Figura 42](#), hay un cambio significativo, el comportamiento similar, incluso llega a solaparse se da en los aceites de oliva “Castillo Canena” y “Baena”. Siendo en este caso el aceite de oliva “Olivar Segura” enriquecido el que mejor aguanta el calentamiento en baño termostático.

Igual que en el estudio de calentamiento por microondas, el AOVE Picual “Olivar Segura”, es la matriz que mejor se comporta tras el enriquecimiento en antioxidantes.

Las Imágenes [30](#) y [31](#) representan a AOVes españoles, tanto los de distinta variedad de “Castillo Canena” (CCR, CCA, CCF, CCP), como los Picuales de distinta procedencia (CCP, B, OS). En la imagen de la izquierda detalle del color a tiempo 0 y en la imagen de la derecha tras 86 horas de calentamiento en baño.

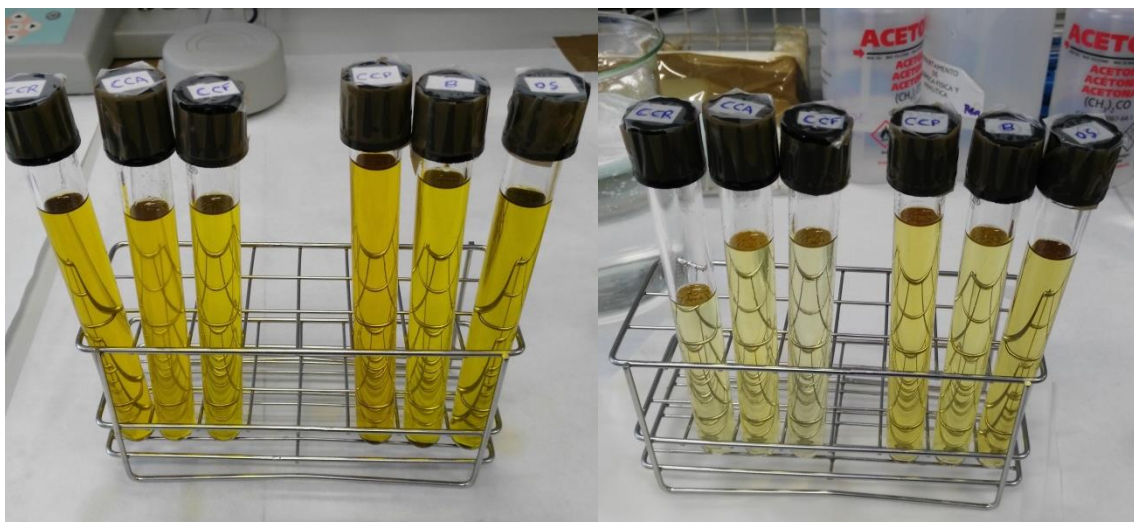


Imagen 30: AOVes sin enriquecer, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento en baño a 120 °C.

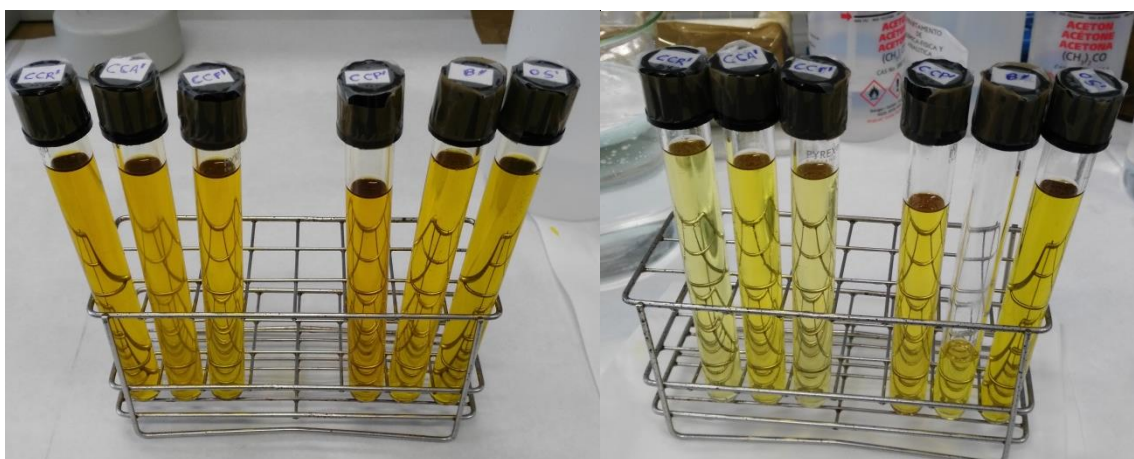


Imagen 31: AOVes enriquecidos, a la izquierda color inicial, a la derecha color final tras el calentamiento en baño a 120 °C.

4.5. Desviación estándar para cada muestra y experiencia.

En los estudios de foto-estabilidad, de termo-estabilidad y para cada muestra con y sin enriquecer, se ha calculado la desviación estándar en las medidas del colorímetro. Su cálculo se ha llevado a cabo midiendo 6 veces el color una misma muestra. Tras estas medidas se ha hecho la media de los valores obtenidos de ΔE^*ab . Una vez con la media y el número de datos se ha calculado la desviación estándar. Con este valor y la media se han rechazado los datos que quedaban fuera de los límites. Este proceso se ha repetido hasta que todos los datos han quedado dentro de los límites.

Los datos obtenidos para los aceites procedentes de Arabia Saudita se recogen en la siguiente [Tabla 64](#) y para los aceites andaluces en la [Tabla 65](#):

Tabla 64: Valores de desviación estándar para aceites saudíes.

	Foto-estabilidad	Termo-estabilidad: microondas	Termo-estabilidad: baño termostático
Aceite A	0,004	0,005	0,005
Aceite A*	0,006	0,006	0,006
Aceite B	0,010	0,010	0,010
Aceite B*	0,009	0,008	0,010
Aceite C	0,007	0,008	0,008
Aceite C*	0,020	0,020	0,030
Aceite D	0,006	0,006	0,006
Aceite D*	0,010	0,010	0,010
Aceite E	0,005	0,005	0,005
Aceite E*	0,020	0,010	0,030
Aceite F	0,005	0,004	0,004
Aceite F*	0,009	0,008	0,010

Tabla 65: Valores de desviación estándar para aceites españoles.

		Termo-estabilidad: microondas	Termo-estabilidad: baño termostático
Castillo Canena, según variedad del fruto	Picual	0,020	0,020
	Picual*	0,020	0,010
	Arbequina	0,008	0,008
	Arbequina*	0,020	0,040
	Royal	0,010	0,010
	Royal*	0,020	0,006
	Frantoio	0,060	0,006
	Frantoio*	0,010	0,006
Picuales, según procedencia	Olivar Segura	0,020	0,020
	Olivar Segura*	0,006	0,060
	Baena	0,008	0,008
	Baena*	0,005	0,010

5. CONCLUSIONES

- A partir del conjunto de experimentos para determinar la estabilidad de los aceites enriquecidos frente a la degradación producida por la radiación con luz uv, se puede concluir que el aceite que mejor responde es el aceite de oliva D. Sin embargo, los aceites que más degradación sufren ante la radiación uv son los E y F.
- Respecto a la experiencia realizada para determinar la estabilidad de los aceites enriquecidos ante calentamiento por microondas, se pueden extraer tres diferentes conclusiones:
 - Para los aceites de Arabia Saudita, los resultados muestran que los aceites A, B, C y D son los más estables.
 - En los aceites de distinta variedad de fruto, los resultados muestran que el de variedad Frantoio, sufre una degradación sufre una degradación más acentuada que el resto y el de variedad Arbequina por el contrario es más estable.
 - Por último respecto a los aceites de variedad picual de diferente procedencia, se puede deducir que el de “Castillo Canena” sufre mayor degradación frente al calentamiento por microondas, siendo “Olivar Segura” el que mayor estabilidad presenta al calentamiento.
- Respecto a la termo-estabilidad en función del calentamiento en baño termostático a 120 °C, los resultados obtenidos indican:
 - Dentro de los aceites procedentes de Arabia Saudita, el aceite tipo D es el más inestable, mientras que los aceites B y C se adaptan mejor frente al calentamiento mostrando una estabilidad superior.
 - Respecto a los resultados obtenidos en este mismo experimento pero para AOVEs de diferente variedad, los de variedad Picual y Arbequina son los aceites que menos degradación sufren.

- En el grupo de AOVes, picuales y de diferente procedencia, se puede deducir que “Olivar Segura” es el que mejor aguanta el calentamiento en baño y que “Castillo Canena” y “Baena” se degradan más.
- En términos globales los aceites enriquecidos en antioxidantes por adición del extracto de *Scenedesmus almeriensis*, son más estables ante la degradación (tanto por radiación incidente como por temperatura) que estos mismos aceites sin enriquecer.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

- Alba J., Hidalgo F., Ruíz M.A., Martínez F., Moyano M.J., Cert A.; Pérez M.C.; Ruíz M.V. Características de los aceites de oliva de primera y segunda centrifugación. *Grasas y Aceites*. 1996. 47 (3), 163-181.
- Alonso V. y Aparicio R.: "Characterization of European virgin olive oils using fatty acids". *Grasas y Aceites*. 1993. 44, 18-24.
- Andrewes P.; Busch J.; De Joode T.; Groenewegen A.; Alexandre H. Sensory properties of virgin olive oil polyphenols: identification of Deacetoxy- ligstroside aglicon as a key contributor to pungency. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2003. 51, 1415-1420.
- Aparicio, R.; Harwood, J. Manual del aceite de oliva. A. Madrid Vicente. Ediciones. Mundi-Prensa. Madrid. 2003.
- Aparicio-Ruiz R., Mínguez-Mosquera M.I., Gandul-Rojas B. Thermal degradation kinetics of lutein, beta-carotene and beta-cryptoxantin, *Journal of food Composition and analysis*. 2011. 24, 6, 811-820.

B

- Beltrán, G.; Aguilera, M.P.; del Rio, C.; Sánchez, S.; Martínez, L. Influence of fruit ripening on the natural antioxidant content of Hojiblanca virgin olive oils. *Food Chemistry*. 2005. 89, 207-215.
- Berenguer M.J.; Gracia M.S.; Espada J.L. Calidad del aceite de oliva cv. Arbequina bajo suministro variable de riego en Aragón. *Actas XIX Congreso Nacional de Riegos*. Zaragoza. 2006. 61-63.
- Boskou, D. Olive oil composition. En: *Olive oil chemistry and technology*. Ed. AOCS Press. Champaign. Illinois. 1996.
- Bravo, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*. 1998. 56, 317-333.

C

- Calvo C., Salvador A., y Fiszman S.M.: "Influence of colour intensity on the perception of colour and sweetness in various fruit8flavoured yoghurts". European Food Research and Technology. 2001. 213, 99-103.

- <http://www.cancer.gov/espanol/tipos/piel>

- Carlsson D.J.; Suprunchuk T.; Wiles H.M. Photooxidation of unsaturated oils. Effects of singlet oxygen quenchers. Journal of the American Oil Chemists Society. 1976. 53, 656.

- CEE. Características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y métodos de análisis. Reglamento 2568/91. DOCE. 1991.

- Cichelli A. & Pertesana G.P.,: High-performance liquid chromatography analysis of chlorophylls, pheophytins and carotenoids in virgin olive oils: chemometric approach to variety classification. Journal of Chromatography A. 2004.1046:141-146.

- Cinquanta L.; Esti M.; Di Matteo M. Oxidative stability of virgin olive oils. Journal of the American Oil Chemists Society. 2001. 78, 1197-1202.

- Civantos L.; Contreras R.; Grana R. Obtención del aceite de oliva virgen. 2ª Ed. Editorial Agrícola Española. Madrid. 1999.

- Codoceo R.; Muñoz R.A. Vitaminas liposolubles: vitaminas A, E y K, en Hernández M.; Sastre, A. Ed. Tratado de Nutrición. Díaz de Santos. Madrid. 1999. 177-202.

- Consejería de Agricultura y Pesca. Reglamento de la Denominación de Origen "Priego de Córdoba" y su Consejo Regulador. Orden de 29/11/1995, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. BOJA 158, 14-12-1995.

- Consejo oleícola Internacional (1987). Valoración organoléptica del aceite de oliva virgen. T-20. COI: Análisis Sensorial: Vocabulario General Básico. COI/T.20/DOC.nº4.In.;1987.

D

- De la Noue J. y De Pauw N. The potencial of microalgal biotechnology: a review of production and uses of microalgae. Biotech. 1998. Adv. 6: 725-770.

- Deiana M.; Rosa A.; Cao C.F.; Pirisi F.M.; Bandino G.; Dessi A. Novel approach to study oxidative stability of extra virgin olive oils: importance of α -tocopherol concentration. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2002. 50, 4342-4346.

- Delgado-Vargas F. y Paredes-López O. Natural colorants for food and nutraceutical uses. CRC Press. 2003.

- Di Giovachino, L.; Angerosa F.; Di Giacinto L. Effect of mixing leaves with olives on organoleptic quality of oil obtained by centrifugation. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1996. 73(3), 371-374.

- http://digital.csic.es/bitstream/10261/54093/3/Manual_Nutricion_Kelloggs_24.pdf

E

- European Patent. Composition comprising olive oil enriched and supplemented with lutein, WO 2006117826 (A2), Application number: WO2006IT00304 20060502. 2006.

F

- Fernández J.M., Ación F.G., Molina E. Biotechnological production of lutein and its applications, *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010. 86-1, 27-40.

- Fiorino P. y Nizzi F. Maturazione delle olive e variazioni di alcuni componente dell'olio. *Olivae*. 1991. 35, 25-33.

- Fitó M. Efectos antioxidantes del aceite de oliva y de sus compuestos fenólicos. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. 2003.

G

- Gandul-Rojas B. y Mínguez-Mosquera Ml. Chlorophyll and carotenoid composition in virgin olive oils from various Spanish olive varieties. *J.Sci.Food Agric*. 1996. 72, 31-39.

- García A. Caracterización, cuantificación y transformaciones de los compuestos fenólicos en aceite de oliva virgen. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. 2003.

- García-González M., Moreno J., Manzano C., Florencio F.J., García Guerrero M. Production of *Dunaliella salina* biomass rich in 9-cis- carotene and lutein in a closed tubular photobioreactor. *Journal of Biotechnology*. 2005. 115:81–90.

- Garrido J.; Gandul B.; Gallardo L.; Mínguez Ml. Pigmentos clorofílicos y carotenoides responsables del color en el aceite de oliva virgen. *Grasas y Aceites*. 1990a. 41(6), 404-409.
- Garrido J.; Gandul B.; Gallardo L.; Mínguez Ml., Pereda, J. Composición clorofílica y carotenoide del aceite de oliva virgen. Valor en provitamina A. *Grasas y Aceites*. 1990b. 41(6),410-417.
- Gerald F. y Combs J.R. The vitamins fundamental aspects in nutrition and health. Academic Press Inc. San Diego. (California). 1992.
- Gómez-Rico A.; Salvador M.D.; Fregapane G. Virgin olive oil and olive fruit minor constituents as affected by irrigation management base don SWP and TDF as compared to ETc in médium-density Young olive orchards (*Olea europaea* L. cv. Cornicabra and Morisca). *Food Research International*. 2009. 42, 1067-1076.
- Graell J.; Arbós J., Duró V., Clota J.; Torrelles R.; Ciria R.; Puig J.; Munté M. Calidad del aceite de oliva virgen "D.O. Borjas Blancas". Influencia del proceso de extracción. II Salón Industrial Oleícola SIO'92, Reus, Tarragona. 1992.
- Granado F.,López-López I., Herrero-Barbudo C., Blanco-Navarro I., Cofrades S., Pérez-Sacristan B. y Delgado-Pando G. Lutein-enriched frahkfurter-type products: physicochemical characteristics and lutein in vitro bioaccessibility, *Food Chemistry*. 2010. 120, 741-748.
- Guillén R.; Yépez F.; Heredia F.J.; Guzmán M. Chromatic parameters and oxidation index for edible vegetable oils submitted to thermal oxidation. *J. Sci.Food Agric*. 1991. 54, 619-633.
- Gutiérrez F. y Fernández J.L. Determinant parameters and components in the storage of virgin olive oil. Prediction of storage time beyond which the oils is no longer of "extra" quality. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*.2002. 50, 571-577.
- Gutiérrez F.; Perdiguero S.; Gutiérrez R.; Olías J.M. Evaluation of the bitter taste in virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*.1992. 69, 394.
- Gutteridge, J.M. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. *Clinical Chemistry*. 1995. 41, 1819-1828.

H

- Hermoso M.; Uceda M; Frías L.; Beltrán G. Maduración en El cultivo del olivo, 3 ed. (Barranco D.; Fernández.Escobar R.; Rallo L., ed.).Mundi Prensa, Consejería de Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía), Madrid. 1999.

- Hidalgo F.; Navas M.A.; Guinda A.; Ruíz M.A.; León M.; Lanzón A.; Maestro R.; Janer del Valle, M.L.; Pérez M.C.; Cert A.; Alba J.; Gutiérrez F.; Dobarganes M.C.; Graciani E. La calidad del aceite de oliva virgen: Posibles nuevos criterios para su evaluación. Grasas y Aceites. 1993. 44(1), 10-17.

- Humanes J. y Civantos M. Producción de aceite de oliva de calidad. Influencia en el cultivo. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. 1992.

J

- Jacoboni A.; Pinnol M.; Baltadori A. The production of *Olea europaea* L in Viterbo in relation to the climatological factors. Acta Horticulturae.1999. 474, 229-232.

K

- Kassem I. Influencia de parámetros físicos del sistema de elaboración en la calidad del aceite de oliva virgen, Tesis de Máster en Olivicultura y Elaiotecnia. Almazara Experimental. Instituto de la Grasa, Sevilla. 1999.

- Kiritsakis A. Olive oil. AOCS, Campaing, IL. 1991.

- Kiritsakis A. The effect of light on the oxidative deterioration of olive oil. Proc. Int. Congr. Biol. Value Olive Oil. Chanea. Greece. 1980.

- Kiritsakis A.; Koutsaftakis A.; MiKros L.The effect of processing systems Pieralisy, Hiler and Rapanelli (Sinolea-Decánter) on olive oil quality. Grasas y Aceites. 1985. 32(3), 165-170.

- Kiritsakis A.y Osman M. Efectos del β -caroteno y del α -tocoferol en la estabilidad del aceite de oliva. Olivae. 1995. 56, 25-28.

- Konica Minolta. Precise color communication .2007. 9242-4830-92.

L

- Lee E.C.; Min D.B. Quenching mechanism of β -carotene on the chlorophyll sensitized photooxidation of soybean oil. Journal of Food Science. 1988. 53, 1893.

- Limón P.; Malheiro R.; Casal S.; Acién-Fernández F.G.; Fernández-Sevilla J.M.; Rodrigues N.; Rebeca C.; Bermejo R.; Pereira J.A. Improvement of stability and carotenoids fraction of virgin olive oils by addition of microalgae *Scenedesmus almeriensis* extracts. Journal of Food Chemistry. 2015. 175, 203-211.

- Livingston A.L. Rapid analysis of xanthophyll and carotene in dried plant materials. J. Assoc. Anal. Chem. 1986. 69: 1017-1019.

- López M.C.; Godia O.; Boatella J. Evolución del contenido en carotenoides de los aceites a lo largo de la maduración de las aceitunas del Montsiá. Grasas y Aceites. 1986. 37(4), 197-202.

M

- Mann, J.E. and Myers, J., 1968. On pigments, growth and photosynthesis of *Phaeodactylum tricornutum*. Journal of Phycology, 4, pp. 349–355.

- Martínez J.M.; Gómez C.; Alba J.; Petruccili G.; Martínez J.M.; Muñoz E.; Cucarachi A.; Carola C.; Fernández P. Manual de Elaiotecnia. Agrícola Española, S.A. Madrid. 1975.

- Mensink R.P.; Katan M.B. Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins. A meta-analysis of 27 trials. Artheroscler, Thrombosis and Vascular Biology. 1992. 12, 911-919.

- Mínguez-Mosquera M.I., Rejano-Navarro L., Gandul-Rojas B., Sánchez Gómez A., Garrido-Fernández J.: Color-pigment correlation in virgin olive oil. Journal of the American Oil Chemists' Society .1991. 68(5):332-336.

- Moyano M: Estudio del color de aceites de oliva vírgenes de Andalucía. Sevilla: Universidad de Sevilla. 2002.

- Muller H.G. y Tobin G. Nutrición y ciencia de los alimentos. Acribia (Ed.). Zaragoza. 1986.

N

- Nidhi, B. y Baskaran, V. Influence of vegetable oils on micellization of lutein in a simulated digestion model, J. Am. Oil Chem. Soc. 2011. 88, 367-372.

http://www.nutrifacts.org/no_cache/esp/carotenoides/betacaroteno/resumen/?cid=3756&did=282&sechash=203793a8.

O

- O'Neill, M.E.; Carroll, Y.; Corridan, B.; Olmedilla, B; et al. A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study. Brit. J. Nutr. 2001; 85: 499-507

- Oliveras, M.J. Calidad del aceite de oliva virgen extra. Antioxidantes y función biológica. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 2005.

- <http://www.olimerca.com/noticiadet/el-consumo-per-capita-de-aceite-de-oliva-en-espana-se-situa-en-96-litrosano/79799f9fa1f30d2bc0977ff68d8ba661>

- Orgaz y Fereres. Riego. En: El cultivo del olivo. Editores: D.Barranco; R. Fernández-Escobar; L.Rallo.; M.P. Consejería de Agricultura y Pesca. 2004.

P

- Packer L. and Obemüller-Jevic U. Vitamin E in disease prevention and therapy: Future perspectives en Packer L.; Traber M.; Kraemer K.; Frei B. Ed. The antioxidant Vitamin C and E. AOCS Press. California. 2002. 255, 288.

- Pagliarini E.; Zannoni B.; Giovanelli G. Predictive study on Tuscan extra virgin olive oil stability under several commercial conditions. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2000. 48, 1345-1351.

- Palozza P. y Krinsky N. I. Antioxidant effects of carotenoids in Vivo and in Vitro: An overview. Methods Enzymol. 1992. 213: 403-420.

- Pannelli G.; Servili M.; Selvaggini M.; Montedoro G. Effect of agronomic and seasonal factor on olive (*Olea europaea* L.) production and on the qualitative characteristics of the oil. Acta Horticulturae. 1994. 356, 239-243.

- Papasseit J. El color del aceite de oliva extra virgen, características de calidad. Grass y Aceites. 1986. 37(4), 204-206.

- Philip T. y Berry J.W. Nature of lutein acylation in marigold (*Tagetes erecta*) flowers. J. Food Sci. 1975. 40: 1089-1090.

- Pulz O. y Scheibenbogen K. Photobioreactors: design and performance with respect to light energy input. *Advances in Biochemical Engineering Biotechnology*. 1998. 59, 123.

R

- Ranalli A. Parámetro cantidad de agua empleada en la extracción continua de las aceitunas con centrifugación. Nota II. Incidencia en la calidad del aceite. *Industrie Alimentari*. 1988. XXVII, 735-745.

- Ranalli A. Variabilidad de los índices cromáticos y analíticos de los aceites vírgenes de oliva en función de parámetros tecnológicos. *Industrie Alimentari*. 1992 b. XXXI, 513-526.

- Ranalli A. y Angerosa, F. Integral centrifuges for olive oil extraction. The qualitative characteristics of products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1996. 73(4), 417-422.

- Ranalli A. y De Matia G. Characterization of olive oil produced with a new enzyme processing aid. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1997. 74(9), 1105-1112.

- Ranalli A., Malfatti A., Lucera L., Contento S. y Sortiriuo E.: "Effects of the processing techniques on the natural colorings and the other functional constituents in virgin olive oil". *Food Research International*. 2005.38, 873-878.

- Ranalli A.; Martinelli N. Tecniche industriali biologiche e non convenzionali per il recupero dell'olio dalla pasta di olive. *Industrie Alimentari*. 1994. XXXIII, 1073-1083.

- Ranalli, A. Carotenoids in virgin olive oils: Effect of Technology. *Ital. J. Food Sci.* 1992 a. 1, 53-57

- Reglamento CE 61/2011

- Ridgway J. Olive Oil: its attributes and diversity. *Nutr. Food Sci.* 1993. 3, 30-32.

- Roca M. y Mínguez M.I. Changes in chloroplast pigments of olive varieties during fruit ripening. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2001. 49, 832-839.

- Ruíz D., Egea J., Tomás Barberán F.A. y Gil M.I.: "Carotenoids from new apricot (*Prunus armeniaca*, L) varieties and their relationship with flesh and skin color". *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2005. 53, 6368-6374.

S

- Salas J.; Pastor M.; Castro J.; Vega V. Influencia del riego sobre la composición y características organolépticas del aceite de oliva. *Grasas y Aceites* .1997.48 (2), 74-82.
- Sánchez J.F., Fernández-Sevilla J.M., Acién F.G., Cerón M.C, Pérez-Parra J., Molina-Grima E., Biomass and lutein productivity of *Scenedesmus almeriensis*: influence of irradiance, dilution rate and temperatura. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2008. 79:719–729.
- Sayago, A.; Marín, M.I.; Aparicio, R.; Morales, M.T. Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas y Aceites*. 2007. 58 (1), 74-86.
- Schünemann H.J., Mc Cann S., Grant B.J.B., Trevisan M., Muti P. y Freudenheim J.L. Lung function in relation to intake of carotenoids and other antioxidant vitamins in a population-based study. *American Journal of Epidemiology*. 2002. 155(5): 463-471.
- Shi X.M., Jiang Y. y Chen F. High-yield production of lutein by the green microalga *Chlorella protothecoides* in heterotrophic fed-batch culture. *Biotech. Prog.* 2002. 18(4): 723-727.
- Silva S. Luteína, alimento para tu vista. *Food Ingredients*. 2004. 80-81.
- Simic M.G. Carotenoid free radicals. *Methods Enzymol*.1992. 213: 444-453.
- Standcher B.; Zonta F.; Bogoni P. High performance liquid chromatographic analysis of olive oil carotenoids. *J. Micronutr. Anal.* 1987. 3, 97.

T

- Tous J.; Romero A.; Guerrero L.; Díaz I.; Hermoso JF. Características químico-sensoriales de los aceites de oliva “Arbequina” obtenidos en distintas zonas de España. *Grasas y Aceites*. 1997. 48 (6), 415-424.
- Tovar M.J.; Montilva M.J.; Romero M.P. Changes in the phenolic composition of virgin olive oil from Young trees (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) grow under linear irrigation strategies. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2001. 49, 5502-5508.
- Tovar M.J.; Romero M.P.; Alegre S.; Girona J.; Montilva M.J. Composition and organoleptic characteristics of oil from Arbequina olive (*Oleo europea* L.) trees under déficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2002. 82, 1755-1763.

U

- Uceda M. y Hermoso M. La calidad del aceite de oliva en el cultivo del olivo 3 ed. (Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L., ed). Mundi-Prensa, Consejería de Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía), Madrid. 1999. 571-596.

- Uceda M.; Hermoso M.; Aguilera M.P. La calidad del aceite de oliva. En: El Cultivo del Olivo. Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, R. (Eds). Mundi Prensa Junta de Andalucía. 2004.

- Uceda M.; Hermoso M.; Aguilera M.P. La calidad del aceite de oliva. En: El Cultivo del Olivo. Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, R. (Eds). Mundi Prensa Junta de Andalucía. 2004.

V

- Vázquez A. A study of the polar compounds in olive oil by gas chromatography. Grasas y Aceites. 1980. 31, 309.

- Vázquez-Roncero A. y Maestro R. Los colorantes antociánicos de la aceituna madura. I. Estudio caultativo. Grasas y Aceits. 1970. 21(4), 208-214.

-<http://www.vidaysalud.com/salud-de-a-a-z/enfermedades-y-condiciones/piel-danada-por-el-sol/>

- Visioli F.; Galli C. Olive oil phenols and their potential effects on human health. Journal of Agriculture and Food Chemistry.1998. 46, 4292-4296.

Y

- Yanagi M., Watanabe Y. y Saiki H.CO₂ fixation by Chlorella sp. HA-1 and its utilization. Energy Conversion Management. 1995. 36: 713-716.

Z

- Zunin P.; Evangelisti F.; Pagano M.A.; Tiscornia E.; Petacch R. Phenolic compounds in oil obtained from Olea europea and anti-Dacus treatments Rivista Italiana delle Sostanze Grasse. 1995. 72, 55-59.