

## ÍNDICE

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>   | II            |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>  | VII           |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>   | VIII          |
| <br>   |               |
| <b>1. RESUMEN</b>  | 1             |
| <b>2. INTRODUCCIÓN</b>   | 3             |
| <b>3. OBJETIVOS</b>  | 5             |
| 3.1. Objetivo General  | 5             |
| 3.2. Objetivos Específicos   | 5             |
| <b>4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>   | 6             |
| 4.1. Especies reactivas de oxígeno y proceso de oxidación                                  | 6             |
| 4.2. Antioxidantes   | 11            |
| 4.2.1. Antioxidantes naturales: beneficio a la salud                                       | 13            |
| 4.2.2. Grupos de antioxidantes naturales   | 17            |
| 4.2.2.1. Tocoferoles   | 17            |
| 4.2.2.2. Flavonoides   | 18            |
| 4.2.2.3. Ácidos fenólicos  | 19            |
| 4.2.3. Antioxidantes en las plantas  | 20            |
| 4.3. Romero  | 23            |
| 4.3.1. Propiedades del romero  | 24            |
| 4.3.2. Producción en México  | 27            |
| 4.4. Extracción por arrastre de vapor de aceites esenciales                                | 28            |
| 4.5. Queso fresco  | 28            |
| 4.5.1. Beneficios del queso fresco   | 32            |
| 4.5.1.1. Grasa de la leche   | 33            |
| 4.5.1.2. Proteínas   | 33            |
| 4.5.1.3. Vitaminas y minerales   | 34            |
| 4.5.1.4. Efectos anticancerígenos  | 35            |
| <b>5. PLAN DE INVESTIGACIÓN</b>  | 36            |
| 5.1. Extracción y evaluación de las características físicas del aceite esencial de romero  | 36            |
| 5.2. Evaluación de las características físicas del polvo de romero                         | 36            |
| 5.3. Evaluación de las características antioxidantes del aceite esencial y polvo de romero | 36            |

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 5.4. Elaboración de queso fresco adicionado con aceite esencial o polvo de romero | 37            |
| 5.5. Evaluación de queso fresco adicionado con aceite esencial o polvo de romero  | 37            |
| 5.5.1. Evaluación de las características físicas del queso fresco                 | 37            |
| 5.5.2. Evaluación del contenido microbiano del queso fresco                       | 38            |
| 5.5.3. Evaluación de las características antioxidantes del queso fresco           | 38            |
| 5.5.4. Evaluación sensorial del queso fresco                                      | 38            |
| <b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b>  | <b>39</b>     |
| 6.1. Materias primas  | 39            |
| 6.2. Métodos  | 39            |
| 6.2.1. Extracción del aceite esencial de romero                                   | 39            |
| 6.2.2. Evaluación de las características físicas del aceite esencial de romero    | 41            |
| 6.2.2.1. Índice de refracción   | 41            |
| 6.2.2.2. Densidad   | 41            |
| 6.2.2.3. Color  | 42            |
| 6.2.3. Evaluación de las características físicas del polvo de romero              | 42            |
| 6.2.3.1. Humedad  | 42            |
| 6.2.3.2. Tamaño de partícula  | 42            |
| 6.2.4. Cuantificación de los compuestos fenólicos                                 | 43            |
| 6.2.4.1. Determinación en aceite esencial de romero                               | 44            |
| 6.2.4.2. Determinación en polvo de romero   | 44            |
| 6.2.4.3. Determinación en queso fresco  | 45            |
| 6.2.4.4. Curva estándar   | 46            |
| 6.2.4.5. Cálculos   | 46            |
| 6.2.5. Medición de la capacidad antioxidante                                      | 47            |
| 6.2.5.1. Obtención del radical ABTS●+   | 47            |
| 6.2.5.2. Determinación en aceite esencial de romero                               | 47            |
| 6.2.5.3. Determinación en polvo de romero   | 48            |
| 6.2.5.4. Determinación en queso fresco  | 48            |
| 6.2.5.5. Curva estándar   | 49            |
| 6.2.5.6. Cálculos   | 49            |
| 6.2.6. Elaboración de queso fresco  | 50            |
| 6.2.7. Almacenamiento del queso fresco  | 52            |
| 6.2.8. Evaluación de las características físicas del queso fresco                 | 52            |
| 6.2.8.1. Textura  | 52            |
| 6.2.8.2. Color  | 52            |
| 6.2.8.3. Humedad  | 53            |
| 6.2.9. Evaluación del contenido microbiano del queso fresco                       | 53            |

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 6.2.9.1. Bacterias mesófilas aeróbias  | 53            |
| 6.2.9.2. Mohos y levaduras   | 53            |
| 6.2.10. Evaluación sensorial del queso fresco  | 54            |
| 6.2.11. Análisis estadístico   | 54            |
| <b>7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>   | <b>55</b>     |
| 7.1. Extracción y caracterización del aceite esencial de romero  | 55            |
| 7.1.1. Rendimiento obtenido en la extracción del aceite esencial de romero   | 55            |
| 7.1.2. Índice de refracción  | 56            |
| 7.1.3. Densidad  | 56            |
| 7.1.4. Color   | 57            |
| 7.1.5. Compuestos fenólicos totales  | 57            |
| 7.1.6. Capacidad antioxidante  | 58            |
| 7.2. Caracterización del polvo de romero   | 59            |
| 7.2.1. Humedad   | 59            |
| 7.2.2. Tamaño de partícula   | 59            |
| 7.2.3. Compuestos fenólicos totales  | 61            |
| 7.2.4. Capacidad antioxidante  | 63            |
| 7.3. Evaluación del queso fresco durante su almacenamiento   | 65            |
| 7.3.1. Textura   | 65            |
| 7.3.2. Color   | 67            |
| 7.3.3. Humedad   | 68            |
| 7.3.4. Compuestos fenólicos totales  | 69            |
| 7.3.5. Capacidad antioxidante  | 73            |
| 7.3.6. Contenido microbiano  | 78            |
| 7.3.7. Evaluación sensorial  | 81            |
| <b>8. CONCLUSIONES</b>   | <b>85</b>     |
| <b>9. RECOMENDACIONES</b>  | <b>88</b>     |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | <b>89</b>     |
| <b>APÉNDICES</b>   | <b>96</b>     |
| Apéndice A: Cálculo de la concentración de compuestos fenólicos  | 96            |
| Apéndice B: Cálculo de la capacidad antioxidante   | 98            |
| Apéndice C: Curva estándar de ácido gálico   | 101           |
| Apéndice D: Curva estándar de Trolox   | 102           |
| Apéndice E: Análisis de varianza para datos de compuestos fenólicos en distintos extractos de polvo de romero              | 103           |
| Apéndice F: Análisis de varianza para datos de capacidad antioxidante en distintos extractos de polvo de romero            | 105           |
| Apéndice G: Análisis de varianza para datos de compuestos fenólicos en distintos extractos de tres tipos de quesos frescos | 106           |

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Apéndice H: Análisis de varianza para datos de capacidad antioxidante en distintos extractos de tres tipos de quesos frescos | 112           |
| Apéndice I: Análisis de varianza para evaluación sensorial entre promedios generales de los tres tipos de quesos             | 115           |
| Apéndice J: Contenido de bacterias y hongos en los quesos a lo largo de su almacenamientos                                   | 120           |
| Apéndice K: Análisis de varianza para evaluación sensorial entre los días de almacenamiento de los tres tipos de quesos      | 122           |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>Tabla</b> |   | <b>Página</b> |
|--------------|---|---------------|
| I            | ROS y especies relacionadas   | 7             |
| II           | Producción de ROS   | 9             |
| III          | Antioxidantes naturales en algunos ingredientes de los alimentos            | 15            |
| IV           | Fuentes más importantes de fenoles  | 22            |
| V            | Composición proximal de hojas de romero secas por 100 g                     | 24            |
| VI           | Clasificación simple de los quesos, basada en su composición                | 29            |
| VII          | Límites microbiológicos máximos para el queso fresco                        | 32            |
| VIII         | Dimensiones de los tamices utilizados                                       | 43            |
| IX           | Comparación de valores de densidad para el aceite esencial de romero        | 56            |
| X            | Color del aceite esencial de romero   | 57            |
| XI           | Humedad promedio de almacenamiento para los quesos                          | 69            |
| XII          | Resultados promedio de la evaluación sensorial para los tres tipos de queso | 82            |
| XIII         | Evaluación sensorial para el queso testigo                                  | 83            |
| XIV          | Evaluación sensorial para el queso preparado con polvo de romero            | 84            |
| XV           | Evaluación sensorial para el queso preparado con aceite esencial de romero  | 84            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> |  | <b>Página</b> |
|---------------|--|---------------|
| 1.            | Oxidación de lípidos por autooxidación   | 10            |
| 2.            | Quelación de ROS por la acción de antioxidantes  | 12            |
| 3.            | Estructura molecular del $\alpha$ -tocoferol   | 17            |
| 4.            | Estructura química de las subclases de flavonoides más usuales   | 19            |
| 5.            | Estructura molecular del ácido vanílico  | 20            |
| 6.            | Estructura molecular del ácido caféico   | 20            |
| 7.            | Romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )   | 23            |
| 8.            | Compuestos antioxidantes del romero  | 26            |
| 9.            | Sistema de extracción por arrastre de vapor  | 40            |
| 10.           | Autoseparador  | 40            |
| 11.           | Distribución de tamaño de partícula  | 60            |
| 12.           | Curva de fracción másica acumulada   | 61            |
| 13.           | Concentración de compuestos fenólicos totales en distintos extractos de polvo de romero  | 62            |
| 14.           | Capacidad antioxidante en los distintos extractos de polvo de romero   | 64            |
| 15.           | Efecto del almacenamiento en la textura de los quesos preparados con aceite esencial de romero, polvo de romero y testigo                            | 66            |
| 16.           | Cambio de color en los quesos preparados con aceite esencial de romero, polvo de romero y testigo  | 67            |
| 17.           | Efecto del almacenamiento en la humedad de los quesos preparados con polvo de romero, aceite esencial de romero y testigo                            | 68            |
| 18.           | Evaluación de la concentración de compuestos fenólicos totales en el queso fresco testigo durante su almacenamiento                                  | 70            |
| 19.           | Evaluación de la concentración de compuestos fenólicos totales en el queso fresco preparado con polvo de romero, durante su almacenamiento           | 71            |
| 20.           | Evaluación de la concentración de compuestos fenólicos totales en el queso fresco preparado con aceite esencial de romero, durante su almacenamiento | 72            |
| 21.           | Evaluación de la capacidad antioxidante del queso fresco testigo durante su almacenamiento en refrigeración  | 74            |
| 22.           | Evaluación de la capacidad antioxidante del queso fresco preparado con polvo de romero, durante su almacenamiento en refrigeración                   | 75            |
| 23.           | Evaluación de la capacidad antioxidante del queso fresco preparado con aceite esencial de romero, durante su almacenamiento en refrigeración         | 76            |

| <b>Figura</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| 24.           | Efecto antimicrobiano del aceite esencial y polvo de romero sobre el queso fresco de vaca.            | 79            |
| 25.           | Efecto antifúngico, en mohos, del aceite esencial y polvo de romero sobre el queso fresco de vaca.    | 80            |
| 26.           | Efecto antifúngico, en levaduras, del aceite esencial y polvo de romero sobre el queso fresco de vaca | 81            |